

- RÖHLE, H. (2013): Standortleistungsschätzung und Biomasseermittlung in Kurzumtriebsplantagen, Allgem. Forst- und Jagdztg. **184** (11–12): im Druck.
- RÖTZER, TH. (2013): Modellierung des Biomassezuwachses an bayerischen Waldklimastationen unter gegebenen und möglichen zukünftigen Klimabedingungen, Allgem. Forst- und Jagdztg. **184** (11–12): im Druck.
- STRAUBINGER, F. (1988): Untersuchungen über die ertragskundlichen Zusammenhänge langfristiger Verjüngungsgänge in Buchen/Eichen/Kiefern-Mischbeständen und die Erfassung dieser Bestandesstrukturen durch Stichproben, Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München, 206 S.
- UHL, E., CH. AMMER, H. SPELLMANN und H. PRETZSCH (2013): Zuwachstrend und Stressresilienz von Tanne und Fichte im Vergleich, Allgem. Forst- und Jagdztg. **184** (11–12): im Druck.
- UTSCHIG, H. (1989): Waldwachstumskundliche Untersuchungen im Zusammenhang mit Waldschäden. Auswertung der Zuwachstrendanalyseflächen des Lehrstuhles für Waldwachstumskunde für die Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) in Bayern. Forstl Forschungsber München **97**, 198 S.
- UTSCHIG, H. (2013): Bedeutung ertragskundlicher Versuchsflächen für neue Waldbaukonzepte, Allgem. Forst- und Jagdztg. **184** (7/8): 159–167.

Messung und Modellforschung – Grundlagen der Forsteinrichtung

Ein Beitrag zum Gedenkkolloquium anlässlich des 10. Todestages von Prof. Dr. FRIEDRICH FRANZ am 27. Juli 2012

(Mit 3 Abbildungen und 3 Tabellen)

KLAUS VON GADOW^{*})

(Angenommen Oktober 2012)

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Langfristige Versuchsflächen; Wachstumsmodell; Eingriffsmodell.

Longterm observational studies; growth; thinning model.

1. STEUERUNG

KAREIVA et al. (2007) haben gezeigt, dass fast alle Ökosysteme der Erde durch Menschen genutzt werden und dass ungestörte Ökosysteme kaum noch vorhanden sind. Nach Crutzen (2002) leben wir daher nicht mehr im geologischen Zeitalter des *Holozän*, sondern im *Anthropo-*

*zän*¹⁾, in dem der Mensch den Planeten tiefgreifend formt und verändert²⁾. Nach LEINFELDER et al. (2012) ist die Erde heute von Phänomenen geprägt, die es schwer machen, klare Grenzen zwischen Natur und Kultur zu erkennen. Eine Projektion aktueller Trends in die Zukunft führt zu dem Ergebnis, dass die Erde künftig noch deutlich stärker vom Menschen geprägt sein wird, als es ohnehin schon der Fall ist. Der Mensch ist Teil der Natur; er ist aber nicht nur Zerstörer, sondern wirkt immer stärker auch als Gestalter (LEOPOLD, 1949)³⁾. Auch die „ungestörte Entwicklung“ bestimmter Areale ist häufig bewusst geplant.

Die Wissenschaftsdisziplin „Forsteinrichtung“ entstand in einer Zeit drohender Holzverknappung. Daher bestand die ursprüngliche Aufgabe dieser Disziplin darin, aufgrund von Holzvorrat und Zuwachs den nachhaltigen Hiebsatz zu ermitteln, die Holzerträge zu schätzen und den Wald raum-zeitlich zu ordnen (SPEIDEL, 1972; KURTH, 1994). Erweiterte und zum Teil im Konflikt zueinander stehende Ansprüche an den Wald, eine insgesamt steigende Nutzungsintensität und das sich ändernde Klima schaffen neue Herausforderungen für die Forsteinrichtungsforschung. Hervorzuheben ist auch die Bedeutung der Forsteinrichtung als fundamentale Disziplin der Waldforschung. Die klassische Theorie des Normalwaldes ist inzwischen weitgehend ersetzt durch ein Konzept, das in der deutschsprachigen Waldforschung als Mehrpfad-Theorie bezeichnet wird⁴⁾. Besonders in Ländern mit hoher waldbaulicher Vielfalt

^{*}) Korrespondierender Autor: Prof. Dr. Dr. h.c. KLAUS VON GADOW, Institut für Waldinventur und Waldwachstum der Universität Göttingen, Büsingenweg 5, D-37077 Göttingen.

¹⁾ In der englischsprachigen Literatur findet sich der Begriff „Anthropocene“, dessen Beginn durch ZALASIEWICZ et al. (2008) auf das Jahr 1800 festgelegt wurde.

²⁾ Für die Jahre 2014/2015 plant das Deutsche Museum eine große Anthropozän-Sonderausstellung <http://www.scilogs.de/wblogs/blog/der-anthropozaniker/allgemein/2012-04-21/gro-e-anthropoz-n-ausstellung-am-deutschen-museum-geplant>

³⁾ “That man is, in fact, only a member of a biotic team is shown by an ecological interpretation of history”.

⁴⁾ Beschreibungen der Mehrpfad-Theorie finden sich in unterschiedlicher Form u.a. bei CLUTTER et al., 1983; PAREDES und BRODIE, 1989; GADOW, 1991; LAPPI, 1992; HOF und BEVERS, 1998; BORGES et al., 1999; GADOW und PUUMALAINEN, 2000; CHEN, 2003; GADOW, 2006; GARCÍA-GONZALO et al., 2007; PUKKALA, 2008; GADOW und PUKKALA, 2008.

bietet die methodische Weiterentwicklung und Anwendung der Mehrpfad-Theorie ein großes Potential für die Waldforschung.

Der Wald ist bekanntermaßen ein träges System, aber die Rahmenbedingungen der Waldnutzung sind alles andere als konstant (LEXER et al., 2001). Die zukünftige Entwicklung einer Waldlandschaft ist ohne Bezugnahme auf die realen Ausgangsbedingungen nicht nach Belieben gestaltbar. So ist die „adaptive“ Steuerung eine wichtige Aufgabe der Forsteinrichtung geworden. Das Tempo der Anpassung wird durch die Forsteinrichtungszeiträume bestimmt, die Wirksamkeit durch die stärkere Beachtung der Realität, des jeweiligen Ist-Zustandes. In der gegenwärtigen Forschung haben sich sechs Prinzipien der nachhaltigen Waldnutzung herauskristallisiert. Sie bilden die Grundlage für die Mehrpfad-Theorie (GADOW, 2006; Tab. 1).

Die klassischen Waldbau-Programme kennen nur eine begrenzte Anzahl von Eingriffsvarianten (AMMER et al., 2011). In der *Ertragstafel* sind Stärke und Art der Eingriffe festgelegt. Ähnliche Vorgaben für Waldbestände, die eine normale Entwicklung von der Bestandesbeurteilung bis zur Endnutzung voraussetzen, bieten die *Z-Baum-Programme* (KLÄDTKE, 2005). Durch die Standardisierung im Waldbau sollen Planungen und Entscheidungen erleichtert werden. Aber der Vorzug der

vereinfachten Entscheidung und Kontrolle ist gleichzeitig auch ein Nachteil. Jede Änderung der strategischen Waldbauziele führt zwangsläufig zu einer Zunahme von Beständen, die keine normale Entwicklung durchlaufen haben und gesondert behandelt werden müssen. Alle Überführungen erfordern ganz spezifische, von der normalen Behandlung abweichende Überlegungen (SPELLMANN, 1998; LINDNER, 2000; KNOKE und PLUSZYK, 2001). Wegen der daraus resultierenden Vielfalt der Einzelentscheidungen verliert das ursprünglich sehr praktische Prinzip der Vereinfachung durch Standardvorgaben seine Wirksamkeit. Gelegentlich kann ein Bestand mit einer bestimmten Vorgeschichte eine spezifische Weiterbehandlung erforderlich machen. Durch solche „Zwangspfade“ wird der Handlungsraum zwar eingeschränkt, aber dies ändert nichts am Prinzip der notwendigen Lösung vom Schematismus im Waldbau.

In einer Waldlandschaft ist die räumliche Gliederungseinheit der durch unterschiedliche Standortbedingungen und durch Unterschiede in der historischen Nutzung gekennzeichnete Einzelbestand. Waldlandschaften werden erst durch die Einteilung in Bestände überschaubar und kalkulierbar gemacht. Jeder Bestand ist durch die räumliche Lage und durch bestimmte Merkmale definiert. Diese Merkmale bilden die Grundlage für Entscheidungen, die das Ökosystem insgesamt betref-

Tab. 1

**Prinzipien der Forsteinrichtung.
Principles of Forest Ecosystem Design.**

Raumprinzip	Waldökosysteme sind räumlich gegliedert, denn die Nutzung findet in Beständen statt. Jeder Bestand hat eine eigene Nutzungsgeschichte, und diese historische Komponente ist eine wesentliche Ursache für die räumliche Gliederung. Durch abrupte Übergänge gekennzeichnete Nachbarschaftsmuster sind typisch für genutzte Waldlandschaften. Wenn Inventurdaten mit Raumbezug vorliegen, können Harvestereinsätze räumlich konzentriert, Naturschutzaktivitäten räumlich verteilt und Pflegemaßnahmen räumlich koordiniert werden (Pukkala, 2008).
Realitätsprinzip	Zukünftige Nutzungsmöglichkeiten sind durch die Entwicklung des Holzmarktes und die strategischen Ziele des Eigentümers vorgegeben, vor allem aber durch den gegenwärtigen Zustand der Bestände, den „Zwang des Vorhandenen“. Idealistische Waldbauprogramme haben wegen der ökonomischen und politischen Wechselhaftigkeit nur theoretische Bedeutung, denn ihre konsequente Umsetzung ist nur selten möglich (Amling, 2005; Koch, 2005)
Hierarchieprinzip	Jeder Nutzungseingriff verändert die Dichte, die Struktur und den Wert des betroffenen Bestandes und hat gleichzeitig Auswirkungen auf den gesamten Kohlenstoffhaushalt, das Betriebsvermögen und die Stickstoffaufnahme. Des Weiteren gelten für jeden einzelnen Bestand betriebliche Beschränkungen (Arbeitskapazität, minimale Liquidität). Die Untrennbarkeit der unterschiedlichen Ebenen innerhalb einer räumlichen Hierarchie erfordern spezielle Methoden der Verknüpfung (Chen u. Gadow, 2002).
Ausgewogenheitsprinzip	Die Ansprüche des Waldeigentümers bestimmen die Ziele der Forsteinrichtung. Diese Ansprüche sind fast immer mehrdimensional, und sie müssen gleichzeitig berücksichtigt werden. Das Ausgewogenheitsprinzip besagt, dass bei der zeitlichen und räumlichen Zuordnung von Nutzungen möglichst alle geltenden Beschränkungen und Zielkriterien berücksichtigt werden müssen (Pukkala, 2002; 2008).
Integrationsprinzip	Die fachliche Integration der unterschiedlichen Disziplinen ist eine Aufgabe der Forsteinrichtung. Nach Sayer u. Campbell (2004) bringt diese Integration keine wissenschaftlichen Durchbrüche; aber sie kann dazu beitragen, dass bessere Problemlösungen generiert werden. Erfahrungen aus anderen Disziplinen müssen in brauchbare Handlungsempfehlungen übertragen werden.
Zeitfensterprinzip	Die historische Nutzung der Waldbestände ist nicht rückgängig zu machen, die zukünftige Entwicklung ist nur bedingt vorhersagbar. Das „Zeitfenster“ der Waldentwicklung ist ein begrenzter Zeitraum, innerhalb dessen zukünftige Entwicklungen mit einiger Sicherheit prognostiziert und bewertet werden können. Es besteht somit ein ständiger Zwang zur Anpassung (Sterba, 2002; Sekot, 1999).

fen. Auch SPEIDEL (1972) hat bereits unterschieden zwischen einer Gesamtsteuerung auf Betriebsebene und einer Einzelsteuerung auf Bestandesebene. Beide Ebenen sind untrennbar miteinander verwoben. Dementsprechend ergibt sich die Entwicklung einer Waldlandschaft durch eine ganz bestimmte Kombination von Bestandesentwicklungen.

Die methodische Grundlage für die Forsteinrichtung bilden Wachstumsmodelle und Durchforstungsmodelle. Modelle des Waldwachstums beschreiben die durch den Menschen unbeeinflusste Walddynamik. Durchforstungsmodelle schätzen die eingriffsbedingte Waldveränderung und die Auswirkungen einer anthropogenen Störung. Eine grundlegende Aufgabe der Forsteinrichtung besteht darin, die große Vielfalt der Möglichkeiten der Waldentwicklung zu erkennen, zu beschreiben und zu bewerten (KNOKE und SEIFERT, 2008). Die Steuerung bzw. das „Design“⁵⁾ der Waldentwicklung, zentrales Thema der Forsteinrichtungsforschung, ist durch die Vielfalt der Zielsetzungen und der waldbaulichen Möglichkeiten heute besonders anspruchsvoll geworden. Diese Aufgabe ist allein mit Erfahrungswissen aus der Praxis nicht mehr zu bewältigen. Begünstigt durch die Entwicklungen der Datenbank- und Modellforschung kann die Forsteinrichtung heute ein sehr effektives „Sammelbecken“ für spezielle Forschungsergebnisse aus zahlreichen Disziplinen sein. Erkenntnisse aus anderen Fachgebieten können durch die Steuerungsmodelle der Forsteinrichtung gebündelt und für die Praxis der Waldnutzung aufbereitet werden. Diese Möglichkeit wird durch zahlreiche Beispiele belegt (CHEN und GADOW, 2002; GADOW und PUKKALA, 2008).

Jede Bestandesentwicklung ist durch eine bestimmte Abfolge forstlicher Eingriffe und deren Auswirkungen auf das Ökosystem und den Betriebserfolg bestimmt. Diese Abfolge wird als Entwicklungspfad bzw. Waldbaupfad bezeichnet. Um einen Waldbaupfad beschreiben zu können, muss man in der Lage sein, nicht nur das Wachstum zwischen den Eingriffen sowie ungeplante Störungen zu schätzen, sondern auch die forstlichen Eingriffe und deren vielfältige Auswirkungen zu beschreiben. Jeder Bestand bietet eine Vielzahl oft gleichwertiger Entwicklungsmöglichkeiten. Diese Vielfalt waldbaulicher Möglichkeiten gilt es auszuloten und mit Hilfe des derzeit verfügbaren Wissens zu beurteilen. Der Entwurf eines Pfades ist also ein simulativer Prozess, bei dem die Auswirkungen unterschiedlicher forstlicher Nutzungseingriffe auf die zukünftige Waldentwicklung abgeschätzt und beurteilt werden. Eine wichtige Aufgabe der Forsteinrichtung besteht somit darin, Waldbaupfade für einzelne Bestände zu beschreiben und zu bewerten und in einem zweiten Schritt die optimale Pfad-Kombination zu bestimmen, sodass die Ziele für jeden einzelnen Bestand und gleichzeitig die gesamtbetrieblichen Ziele und Beschränkungen so gut wie möglich erfüllt werden. Dieses hierarchische Vorge-

⁵⁾ Statt „Forsteinrichtung“ könnte man auch den zur Zeit populären Begriff „Ökosystem-Design“ verwenden. In diesem Beitrag wird jedoch darauf verzichtet, u.a. auch deshalb, weil die Bedeutung der Forsteinrichtung die rein technischen Aspekte der Planung bzw. des „Designs“ übersteigt.

hen dient dem Zweck, unterschiedliche Interessen zu koordinieren und machbare Lösungen für die nachhaltige Waldnutzung zu erarbeiten. Dabei müssen reale Ausgangszustände berücksichtigt werden. Das „Optimum“ ist immer ein Kompromiss. Um optimale Kompromisse für gegebene Zielsetzungen und reale Ausgangsbedingungen zu finden, wurden die Verfahren der mathematischen Programmierung entwickelt. Die wissenschaftliche Grundlage für deren Anwendung bilden Modelle der Walddynamik.

2. MODELLE DER WALDDYNAMIK

Der Mensch ist Teil der Natur (CRUTZEN, 2002) und damit ein wichtiger Faktor der Walddynamik. Auf jeden forstlichen Eingriff folgt das Baumwachstum unter veränderten Bedingungen. Neben den indirekten Einflüssen des Menschen auf den Wald, z.B. durch Emissionen und Klimaveränderungen, ist die Waldentwicklung vor allem gekennzeichnet durch das Wechselspiel zwischen Nutzungseingriffen und Wachstum. Daher sind *Eingriffsmodelle* und *Wuchsmodelle* unabkömmlich für eine umfassende Prognose der Walddynamik. Beide Modelltypen bilden gemeinsam die wissenschaftliche Grundlage für die Steuerung der Walddynamik.

2.1 Wuchsmodelle

Auf der Basis eines umfangreichen Datenfundus haben FRANZ et al. (1973) den Wachstumssimulator STA-OET zur Simulation der standorttypischen Entwicklung von Waldbeständen bei unterschiedlicher Behandlung entwickelt (s. a. FRANZ, 1972). Diese Arbeiten waren neu und richtungweisend in Europa und haben die europäische Waldforschung entscheidend geprägt. Inzwischen hat die mitteleuropäische walddynamische Modellforschung, u.a. auch beeinflusst durch Entwicklungen in Nordamerika und Skandinavien, eine Fülle neuer Ansätze hervorgebracht. Einige Beispiele sind in Tab. 2 aufgeführt. Unter den Waldwachstumssimulatoren erweist sich der *Waldplaner* von HANSEN (2012) als

Tab. 2

Beispiele bekannter Wuchsmodelle mit jeweils einer repräsentativen Literaturangabe.
Examples of well-known growth models with one representative reference.

Modell	Quelle
<i>BWINPro</i>	Nagel u. Schmidt (2006)
<i>FBSM</i>	Erni u. Lemm (1995)
<i>ForClim</i>	Bugmann (1996)
<i>FORECAST</i>	Kimmins et al. (1999)
<i>FVS</i>	Crookston et al. (2010)
<i>MOSES</i>	Hasenauer et al. (2006)
<i>3PG</i>	Landsberg et al. (2003)
<i>MASSIMO</i>	Kaufmann (2000)
<i>MOTTI</i>	Hynynen et al. (2005)
<i>PICUS</i>	Seidl et al. (2005)
<i>PrugnAus</i>	Ledermann (2006)
<i>SILVA</i>	Pretzsch et al. (2002)
<i>TASS</i>	Goudie et al. (2005)
<i>WALDPLANER</i>	Hansen (2012)

besonders brauchbares Hilfsmittel zur Generierung von Waldbaupfaden.

Neben dem Baumwachstum und der Waldverjüngung berücksichtigt die Waldwachstumsforschung heute zahlreiche weitere Aspekte wie zum Beispiel Auswirkungen auf Stoffflüsse und die Nettoprimärproduktion sowie spezielle Reaktionen auf unterschiedliche Klimaszenarien. Der Anreiz bzw. der Zwang, möglichst viel zu publizieren, generiert eine große Vielfalt sehr spezieller methodischer Ansätze⁶⁾. Die große Auswahl an Wuchsmodellen ist häufig verwirrend für Manager, die sich für eine Variante entscheiden müssen.

Als besonders praxistauglich für die Forsteinrichtung haben sich Bestandesmodelle erwiesen (GARCÍA, 1994, 2003), die in einem zweiten Schritt alle notwendigen Informationen auf Einzelbaumebene liefern. Ein Beispiel für diesen sog. *top-down* Ansatz bietet die Arbeit von ÁLVAREZ-GONZÁLEZ et al. (2009) für Buchenbestände in der Schweiz. Der Anfangszustand ist durch drei Zustandsvariablen (Stammzahl, Grundfläche und Oberhöhe) definiert. Mit Hilfe von drei Übergangsfunktionen werden diese Zustandsvariablen zu jedem beliebigen Zeitpunkt geschätzt. In einem zweiten Schritt werden die Zustandsvariablen mit Hilfe spezieller Verteilungsfunktionen und verallgemeinerter Durchmesser-Höhenbeziehungen zerlegt, sodass Einzelbaumwerte vorliegen, die mit den Bestandeschätzungen kongruent sind. Unterschiedliche Outputfunktionen (Schaftprofilmodelle, Gleichungen zur Schätzung von Biomasse und Kohlenstoffgehalt, Kronenfunktionen) ermöglichen die Schätzung von Variablen, die für spezifische Management-Ziele relevant sind, z.B. Vorräte, Verteilung der Biomasse oder Risiko eines Kronenfeuers (CASTEDO et al., 2006). Wichtig ist hierbei, dass die Summe der Einzelbaum-Schätzungen kongruent ist mit den robusten Schätzungen auf Bestandesebene (BURKHART, 2003). Ein besonderes Problem bieten die Mischbestände, aber auch hier gilt das Prinzip der simultanen Parameterschätzung zur Schaffung der notwendigen Kompatibilität zwischen Bestandes- und Einzelbaumebene (s. z.B. CAO, 2006).

2.2 Eingriffsmodelle

Wuchsmodelle schätzen die Entwicklung eines Waldbestandes zwischen den Eingriffen. Eingriffsmodelle übersetzen forstübliche Begriffe (*starke Hochdurchforstung; qualitative Gruppendurchforstung; Auslesedurchforstung; Femelschlag*) in Entnahme-Algorithmen, die die eingriffsbedingte Bestandesveränderung beschreiben. Sie sind daher für die Generierung von realistischen Waldentwicklungspfaden unabdingbar. Nach ALBERT (2001) ist die Aussagefähigkeit von Nachbarschaftskollektiven zur Interpretation von eingriffsbedingten Strukturveränderungen besonders zu berücksichtigen.

⁶⁾ Ein Beispiel sind die Konkurrenzindizes (LEE et al., 2004). Inzwischen gibt es zahlreiche Verfahren zur Schätzung der Konkurrenzwirkung, und ständig werden neue Indizes veröffentlicht. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ein Index interpretierbare Referenzwerte aufweisen sollte, z.B. einen maximal erreichbaren Wert.

Trotz der unterschiedlichen Ansätze zur Präzisierung der Baumklassen und der Durchforstungsarten ist es bisher kaum möglich, einen bereits erfolgten Eingriff im Nachhinein mit ausreichender Genauigkeit zu beschreiben oder gar ihn vorherzusagen. Mit zunehmender Differenzierung der Eingriffsarten nimmt die Anzahl der Ausdrücke zu, mit denen sie umschrieben werden können bzw. sollten. Diesen Mangel hat zum Beispiel FRANZ (1972) erkannt und mit Hilfe eines für gleichaltrige Reinbestände konzipierten „Durchforstungsfaktors“ zu beheben versucht. Ein etwas erweiterter Ansatz nach STAUPENDAHL (1999) ist in *Abb. 1* dargestellt.

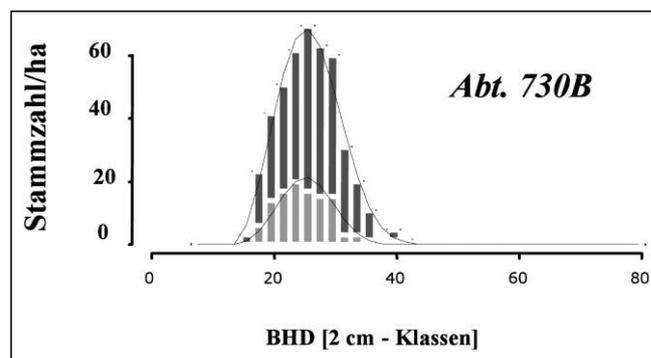


Abb. 1

Durchmesserverteilung eines Buchenbestandes aus dem Validierungsdatensatz von STAUPENDAHL (1999). Die Säulen geben die absoluten empirischen Häufigkeiten wieder (dunkelgrau: verbleibender Bestand, hellgrau: ausscheidender Bestand). Die untere Linie stellt die mit Staupendahl's Durchforstungsmodell geschätzte ausscheidende Verteilung dar, die obere Linie zeigt die angepasste Weibullverteilung des Gesamtbestandes.

Dbh distribution of a beech stand based on the validation data set of STAUPENDAHL (1999). The columns present the absolute frequencies (dark grey: remaining trees, light grey: removed trees). The fitted Weibull of the removed trees and the total stand are also shown.

STAUPENDAHL (1999) entwickelte ein Durchforstungsmodell, das die Durchmesser- und Stammzahlverteilung eines ausscheidenden Buchenbestandes mit Hilfe der Weibullfunktion schätzt. Die Parameter der ausscheidenden Weibullverteilung werden über den relativen Grundflächenanteil und den relativen Stammzahlanteil des ausscheidenden Bestandes (rG) und (rN) geschätzt.

HESSENMÖLLER (2002) konnte die eingriffsbedingten Strukturveränderungen für die drei Durchforstungsarten *Altdurchforstung*, *Femelhieb* und *Lichtung* für unterschiedliche Buchenbestände simulieren. Die Entnahmewahrscheinlichkeiten wurden mit Hilfe der logistischen Regression für die Punktverteilungstypen aggregiert, zufällig und regelmäßig geschätzt, und somit konnte der ausscheidende sowie der verbleibende Bestand beschrieben werden. Bei der Altdurchforstung war die Schätzung des ausscheidenden Bestandes als Funktion von Bestandeskennziffern erfolgversprechender als die Einzelbaum-orientierten Ansätze. Letztere gewinnen aber mit steigender Vielfalt der Bestandesstruktur zunehmend an Bedeutung.

Für Buchen-Fichten Mischbestände schätzten DAUME et al. (1998) Entnahmepräferenzen auf der Basis von Nachbarschaftskonstellationen. Die Entnahmepräferenz ergibt sich aus dem Verhältnis der bei einem forstlichen Eingriff ausscheidenden Anteile zu den Anteilen des Gesamtbestandes in einem bestimmten Strukturtyp. Zur Durchforstungsmodellierung entwickelten DAUME et al. (1998) das Expertensystem *ThiCon*. Ein Suchalgorithmus modifiziert die Parameterkombinationen der unterlegten Durchforstungsregeln derart, dass die benutzerdefinierten Durchforstungsziele hinreichend genau erreicht werden. ALBERT (2001, S. 205 f.) verwendete dieses Expertensystem als Durchforstungsmodul im waldbaulichen Entscheidungs- und Prognoseprogramm BWINPRO (NAGEL und SCHMIDT, 2006), wobei er die Ziele einer Durchforstung über die Attribute Durchforstungsstärke, Mischungsanteil, Mischungsform und Bestandesqualität definierte⁷⁾.

3. VERSUCHSFLÄCHEN

Unser Wissen über das Baumwachstum und die menschlichen Eingriffe basiert auf empirischen Beobachtungen in Versuchsflächen. Die Anlage und langfristige Beobachtung forstlicher Dauerversuchsflächen ist daher ein wichtiger Teil der Waldforschung. Der Versuchsplanung gebührt besondere Beachtung, zumal die Mittel in der Regel begrenzt sind. Das Ziel der frühen, bereits im 19. Jahrhundert begründeten Versuchsflächen war es, die Holzerträge in Reaktion auf die Standortsgüte und die waldbauliche Behandlung zu schätzen. Der Internationale Verband Forstlicher Forschungsanstalten (IUFRO) wurde im letzten Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts gegründet mit dem Ziel, diese Forschungen zu koordinieren. Einige europäische Versuchsflächen wurden über mehr als 100 Jahre wiederholt aufgenommen, häufig im 5-jährigen Rhythmus. Bestimmte Fragestellungen, wie zum Beispiel die Ermittlung der Zusammenhänge zwischen Maximaldichte, Baumart und Standort, können nur in langfristig kontrollierten Versuchsanlagen geklärt werden.

3.1 Manipulierte Experimente

In der Forschung unterscheidet man experimentelle und beobachtende Ansätze. In einem kontrollierten Experiment soll eine bestimmte Hypothese geprüft werden. Zu diesem Zweck werden einer Gruppe von Objekten, unter kontrollierten Bedingungen, unterschiedliche Behandlungen zugewiesen. Das Adjektiv „kontrolliert“ impliziert ein ganz spezifisches Versuchsprotokoll, das es möglich macht, die Reaktionen auf die unterschiedlichen Behandlungen zu beurteilen, unter Ausschaltung störender Einflüsse (FISHER, 1935; COX, 1958). Die Auswahl der Versuchsflächen ist nicht zufällig, sondern richtet sich nach der Zielsetzung.

Frühe Beispiele manipulierter Experimente sind die ersten Provenienzversuche gegen Ende des 19. Jahrhunderts und die Düngungsversuche während des frühen

20. Jahrhunderts. Seit der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts gewinnen Experimente an Bedeutung, die sich mit Evapotranspiration, Bodenversauerung und Stoffflüssen befassen (MÄRELL und LEITGEB, 2004). Ein klassisches Beispiel eines kontrollierten Experiments ist der seit 1985 auf einem homogenen Standort von etwa 70 Hektar angelegte *Pinus radiata* Durchforstungs- und Düngungsversuch *Glencoe Hill* in Südaustralien, mit 3 Durchforstungs- und 4 Düngungsvarianten und jeweils mehreren Wiederholungen (O'HEHIR, 2001).

3.1.1 Waldbauliche Groß-Experimente

Eine vollständige Kontrolle der Umweltbedingungen ist nur unter Laborbedingungen möglich. Dennoch gibt es zahlreiche, zum Teil großangelegte Waldbau-Experimente, die im Freiland durchgeführt werden. Besonders bekannt geworden sind die gegen Ende des letzten Jahrhunderts angelegten großflächige Versuchsanlagen in Nordamerika und Australien. MONSERUD (2002) beschreibt sieben waldbauliche Großversuche im Pazifischen Nordwesten der USA:

- ATC: Alternatives to Clearcutting (Alaska);
- MASS: Montane Alternative Silvicultural Systems (British Columbia);
- OHDS: Olympic Habitat Development Study (Washington);
- FES: Forest Ecosystem Study (Washington);
- CFS: Washington DNR Capitol Forest Study (Washington);
- DEMO: Demonstration of Ecosystem Management (Washington, Oregon);
- DMS: Density Management Study (Oregon).

Diese sieben Feldversuche sind alle gekennzeichnet durch große Behandlungseinheiten, durch randomisierte Waldbau-Behandlungen mit Wiederholungen und durch Zielsetzungen, die mehr als nur die Holzproduktion beinhalten. Geografisch befinden sich diese sieben Großexperimente in den feucht-maritimen Waldregionen vom westlichen Oregon und Washington und erstrecken sich durch die Küstenregion von British Columbia bis zum süd-östlichen Alaska. Das bekannteste Beispiel ist das mit sehr hohem finanziellen Aufwand betriebene Waldbau-Experiment DEMO („Demonstration of Ecosystem Management Options“). DEMO ist als interdisziplinäres Experiment in der nordwestlichen Küstenregion der USA angelegt und dient u.a. der wissenschaftlichen Untersuchung unterschiedlicher Waldbau- und Verjüngungsverfahren mit dem Ziel, die vielfältigen Auswirkungen verschiedener Hiebsarten auf Ökosystem-Prozesse zu untersuchen (Szaro et al., 2006). Beteiligt sind u.a. die *University of Washington*, die *Oregon State University*, die *University of Oregon*, die *Gifford Pinchot and Umpqua National Forests*, und das *Washington Department of Natural Resources*.

Ein ebenfalls großflächiges Waldbau-Experiment ist das zwischen 1998 und 2004 in einem ungleichaltrigen *Eucalyptus obliqua* Wald angelegte Warra Experiment in Tasmanien. Schwerpunkt der 200-ha umfassenden Anlage Warra ist die Untersuchung von fünf Verjüngungsverfahren. Jede Behandlung wurde mit zwei

⁷⁾ Weitere Untersuchungen zur Eingriffsmodellierung bieten u.a. die Arbeiten von ZUCCHINI und GADOW (1995); FÜLDNER et al. (1996); HUI (1997); STAUPENDAHL und PUUMALAINEN (1999); ALBERT (1999, 2001, 2002) und HESSENMÖLLER (2002).

Wiederholungen durchgeführt (Tab. 3). In Australien wurde 2005 beschlossen, dass ab 2010 auf 80 Prozent der mit Naturwäldern bestockten Waldfläche in Tasmanien nur noch kahlschlagfrei genutzt werden darf. Dieser Beschluss gilt als Begründung für die Anlage des aufwändigen Warra Experiments.

Solche Großanlagen sind in der Anlage und im Unterhalt in der Regel aufwändig⁸⁾. Daher kommt es nicht selten vor, dass diese Experimente wegen mangelnder Weiterfinanzierung frühzeitig abgebrochen werden müssen. Dies wiederum beeinträchtigt die erforderliche Kontinuität im forstlichen Versuchswesen.

3.1.2 Der CCT Pflanzverbandsversuch

Der langfristige Unterhalt undurchforsteter, dichtbestockter Versuchsflächen ist aufwändig. Daher sind gute Daten über maximale Bestandesdichten sehr selten. Die Mehrzahl der forstlichen Versuchsflächen in der nördlichen Hemisphäre lieferten Daten für die Praxis. Es fehlen oft die „unrealistischen“ Extrembedingungen mit sehr hohen oder sehr geringen Bestockungswerten. Um diesen Mangel auszugleichen, wurden **indirekte** Methoden angewendet, um maximale Bestandesdichten zu schätzen (STERBA, 1975; CLUTTER und JONES, 1980). Eine

⁸⁾ Kleinere Ökosystemforschungsprojekte mit Dächern, wie z.B. das sogenannte „Dachprojekt“ im Solling (DOHRENBUSCH et al., 2003) oder Open-Top-Chambers sind in eine andere Kategorie einzuordnen und sind nicht vergleichbar mit den oben genannten Großflächenexperimenten.

Ausnahme bilden die A-Grade und Nullflächen, die zum Beispiel in Bayern konsequent erhalten wurden, sodass hier Aussagen zur maximalen Dichte, zur Veränderung der maximalen Dichte über der Zeit, und zur Abhängigkeit der maximalen Dichte von der Baumart möglich sind (PRETZSCH und BIBER, 2005).

Eine **direkte** Bestimmung der Maximaldichte erfordert die langfristige Beobachtung, ohne menschliche Einwirkung, von offenen bis hin zu geschlossenen und weiter zu maximal bestockten Beständen. Ein seltenes Beispiel eines solch aufwändigen Experiments ist der durch O'CONNOR (1935) in Südafrika angelegte CCT Pflanzverbands- und Durchforstungsversuch⁹⁾. Das typische undurchforstete CCT Experiment besteht aus 8 Parzellen von je 0.081 ha (0.2 acres). Die nominale Pflanzendichte reicht vom Solitärstand (etwa 120 Bäume pro ha) bis zum Dichtstand (etwa 3000 Bäume pro ha). Detaillierte Beschreibungen des Experiments finden sich bei CRAIB (1947), MARSH (1957), O'CONNOR (1960), BURGERS (1976), VAN LAAR (1982) und BREDEKAMP (1984). CCT Verbandsversuche wurden später nach südafrikanischem Vorbild auch im Nordwesten der USA angelegt (OMULE, 1984). Abb. 2 präsentiert eine Liste der 27 südafrikanischen CCT Experimente. Mit Hilfe der Perzentil Regression (R-Funktion *Quantreg*) können die Extremwerte zur Ermittlung der Grenzbeziehung objektiv ermittelt werden.

⁹⁾ Die Abkürzung CCT steht für den von O'Connor geprägten Begriff „Correlated Curve Trend“.

Tab. 3

Behandlungen im Warra Waldbau-System Versuch
(um mögliche terminologische Missverständnisse zu vermeiden, wurde der Originaltext beibehalten).
Treatment alternatives in the Warra silvicultural system trial.

Treatment	Objectives	Established
Clearfell, burn, and sow (CBS) Up to 100-ha openings, 0% basal area retention, high-intensity burn, seeding.	Efficient and safe eucalypt harvest with maximum growth of eucalypt regeneration and adequate biodiversity.	2000, 2001
CBS with understorey islands As for CBS and up to 5% of the coupe to be in dispersed 40-m by 20-m machinery-free areas.	Efficient and safe eucalypt harvest with good growth of eucalypt regeneration and enhanced local survival of understorey flora on the machinery-free areas.	2000, 2001
Stripfell (cable harvested) 250-m by 80-m strip openings, low-intensity burn, natural seedfall.	Harvest eucalypt as safely as possible with adequate growth of eucalypt regeneration and enhanced biodiversity by using strips of undisturbed forest retained for half the rotation for habitat and seed supply (all species).	2000 (2 coupes)
Dispersed retention 10-15% basal area retention, low-intensity burn, natural seedfall.	Harvest eucalypt as safely as possible with adequate growth of eucalypt regeneration and enhanced biodiversity by using individual eucalypt trees retained for a full rotation for fauna habitat and seed supply.	1998, 2000
Aggregated retention 30% of coupe retained in aggregates of 0.5 to 1.0 ha, with distance between aggregates at least twice tree height, low-intensity burn, natural seedfall.	Harvest eucalypt and special species as safely as possible, with adequate growth of eucalypt regeneration and enhanced biodiversity by using patches of undisturbed forest retained for a full rotation for habitat, seed supply (all species), and aesthetics.	2004 (2 coupes)
Single-tree/small-group selection (SGS) Retention of > 75% forest cover, permanent snig tracks, harvest 40 m ³ /ha every 20 years, openings < tree height wide, heaping of slash, mechanical soil disturbance (no burning), natural seedfall.	Harvest of mature trees as safely as possible with adequate growth of eucalypt and special species regeneration, and enhanced biodiversity while maintaining a continuous tall forest cover.	2001

Nr.	Name	Baumart	Pflanz datum	östl. Länge
1	Border (Weza)	<i>P. roxburghii</i>	Nov-36*	29° 46'E
2	Weza	<i>Pinus patula</i>	Nov-36	29° 42'E
3	Border (Weza)	<i>Pinus eliottii</i>	Aug-37	29° 44'E
4	Dukuduku	<i>Pinus eliottii</i>	Mar-37	32° 16'E
5	KwaMbonambi	<i>Pinus eliottii</i>	Feb-37	32° 11'E
6	MacMac	<i>Pinus eliottii</i>	Feb-37	30° 49'E
7	Tshakoma (Entabeni)	<i>Pinus patula</i>	Feb-37*	30° 15'E
8	MacMac	<i>Pinus patula</i>	Feb-37*	30° 49'E
9	Nelshoogte	<i>Pinus patula</i>	Feb-37*	30° 48'E
10	Lottering	<i>Pinus pinaster</i>	Feb-37	23° 49'E
11	Kleinplaat (Bergplaa)	<i>Pinus pinaster</i>	Sep-37*	22° 42'E
12	Tokai	<i>P. radiata</i>	Jul-37	18° 25'E
13	Tokai	<i>P. radiata</i>	Aug-37	18° 26'E
14	Houwhoek	<i>P. radiata</i>	Jul-37*	19° 07'E
15	Border (Weza)	<i>P. taeda</i>	Apr-37	29° 46'E
16	Roodewal	<i>P. roxburghii</i>	Feb-38	30° 02'E
17	Houw hoek	<i>Pinus pinaster</i>	Sep-38*	19° 07'E
18	KwaMbonambi	<i>P. taeda</i>	Feb-57	32° 11'E
19	MacMac	<i>P. taeda</i>	Feb-37	30° 49'E
20	Langeplan (KwaMbonambi)	<i>Eucalyptus grandis</i>	Sep-52	32° 12'E
21	KwaMbonambi	<i>P. taeda</i>	Feb-57	32° 11'E
22	Nyalazi	<i>Eucalyptus grandis</i>	Aug-57	32° 23'E
23	Panis (Nyalazi)	<i>Pinus eliottii</i>	Sep-58	32° 24'E
24	Panis (Nyalazi)	<i>Pinus caribaea</i>	Sep-59	32° 24'E
25	Narrows (Nyalazi)	<i>Pinus caribaea</i>	May-60	32° 21'E
26	Weza	<i>P. pseudostrobus</i>	Feb-66	29° 42'E
27	Nhlozi (Nyalazi)	<i>Pinus oocarpa</i>	Mar-68	32° 25'E

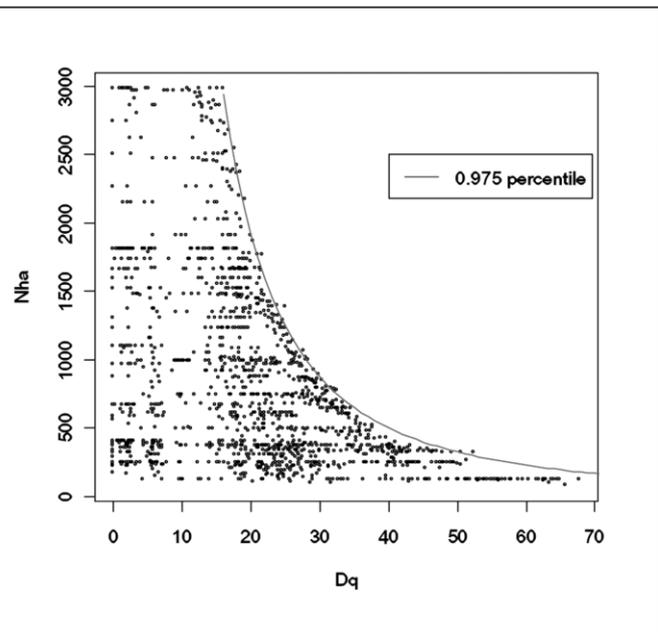


Abb. 2

Die 27 südafrikanischen CCT Experimente (links).

Rechts: direkte Schätzung der Maximaldichte aus den CCT Versuchflächen der Baumart *Pinus patula*. Die Schätzfunktion lautet $N_{\max} = 618719.5 \cdot Dq^{-1.93}$ ($Dq = \text{BHD des Grundflächenmittelstammes, cm; } N_{\max} = \text{maximale Stammzahl pro ha.}$)

Summary of the 27 South African CCT experiments (left).

Right: direct estimation of the self-thinning line of the *Pinus patula* experiments using a percentile regression. The relationship is $N_{\max} = 618719.5 \cdot Dq^{-1.93}$ ($Dq = \text{quadratic DBH, cm; } N_{\max} = \text{maximum number of trees per ha.}$)

Die Mehrzahl der inzwischen berühmt gewordenen CCT Experimente wurde zwischen 1936 und 1938 angelegt. Die Beobachtungen ermöglichen eine Bestimmung der Maximaldichte für unterschiedliche Baumarten und Standortsbedingungen, neuerdings auch unter Berücksichtigung mehr detaillierter Klima- und Bodendaten. Es überrascht nicht, dass der Exponent -1.91 beträchtlich von der Reineke-Konstante abweicht. *Reineke's* (1933) Exponent der Grenzbeziehung (-1.605) basiert auf einer einmaligen Aufnahme zahlreicher Douglasienbestände im Nordwesten der USA. In dieser Stichprobe war die Abfallrate der linearen Beziehung zwischen dem Logarithmus der Stammzahlen und dem Logarithmus der Grundflächenmittelstämme ganz zufällig -1.605 . Trotz wiederholter Hinweise (z.B. GADOW, 1986) hat sich der Mythos des Reineke Exponenten jahrzehntelang halten können. In Bezug auf die allgemeine Theorie der Allometrie liegt der Wert des self-thinning Exponenten von minus 1.91 im Beispiel der *Pinus patula* knapp unter dem Wert minus 2.0, den WEST et al. (1997, 1999) theoretisch und mechanistisch erklären.

3.2 Beobachtungsstudien

In einer Beobachtungsstudie wird kein Behandlungsprotokoll festgelegt. Interessante Objekte werden gezielt gesucht und dann für mindestens ein Zeitintervall beobachtet. Je langfristiger die Beobachtung andauert, desto wertvoller sind die Daten. Nicht alle forstlichen Versuchflächen sind kontrollierte Experimente, sondern häufig handelt es sich um Langzeitbeobachtungen, bei denen nicht in den Verlauf der Waldentwicklung eingegriffen, sondern lediglich eine Art begleitendes Protokoll geführt wird.

Die Logik der kontrollierten Experimente besteht darin, alle denkbaren Faktoren konstant zu halten und dann nur einen Faktor gezielt und kontrolliert zu verändern, um so dessen Auswirkung auf eine abhängige Variable zu untersuchen. Im Gegensatz dazu wird in einer Beobachtungsstudie nicht versucht, das Ergebnis durch vorgeschriebene Behandlungen zu beeinflussen. Wissenschaftlich interessante Objekte werden, manchmal über lange Zeiträume hinweg, lediglich beobachtet. Eine Beobachtungsstudie wird auch als *natürliches Experiment* (MEYER, 1995, ROSENZWEIG und WOLPIN, 2000) oder als *Quasi-Experiment* (CAMPBELL and STANLEY, 1963; COOK and CAMPBELL, 1979; SHADISH et al., 2002) bezeichnet. Zum Beispiel können Wachstumsraten auf unterschiedlichen Standorten miteinander verglichen werden, ohne dass ein bestimmtes Behandlungskonzept vorliegt (KUEHL, 1994). Somit sind nicht alle waldwachstumskundlichen Versuchsanlagen kontrollierte Experimente, sondern eher als langfristige Beobachtungsstudien einzustufen.

Mit seiner Berufung am 1. Januar 1973 auf den Münchner Lehrstuhl für Waldwachstumskunde war Friedrich Franz gleichzeitig auch verantwortlich für die Leitung des ertragskundlichen Versuchswesens in Bayern. Sein häufiges Plädoyer für das „eiserne Durchhalten“, die kontinuierliche Fortsetzung der Feldaufnahmen selbst in Kriegs- und Notzeiten, ist unvergessen. Damit war die langfristige, generationenübergreifende Beobachtung und wissenschaftliche Begleitung gemeint. Der Erhalt eines Netzwerkes forstlicher Versuchs-

flächen, auch über Phasen unterschiedlicher Wuchsbedingungen und Kalamitäten hinweg, erfordert Persönlichkeiten, die die Versuchskontinuität erhalten und sichern (PRETZSCH, 2001, S. 61).

3.2.1 Beispiele von Beobachtungsstudien

In diesem Abschnitt werden einige Beispiele neuerer Beobachtungsstudien vorgestellt.

Estland. In Estland wird seit etwas mehr als zwei Jahrzehnten durch die Zusammenarbeit mehrerer Forstwissenschaftler ein umfassendes Netzwerk forstlicher Versuchsflächen aufgebaut. Dieses Versuchsflächennetz umfasst alte, bereits langfristig beobachtete Versuchsflächen und Durchforstungsversuche in Järvselja, Aufforstungsflächen auf ehemaligen Ölschiefer-Abbauhalden im Nordosten des Landes, sowie neue waldwachstumskundliche Dauerversuchsflächen, die kontinuierlich aufgenommen werden (KIVISTE und HORDO 2003; SIMS et al., 2009). Mit etwa 800 Dauerversuchsflächen bietet Estland eine einmalige Kombination aus geografischer Repräsentanz und Extremvarianten aus Standort, Dichte und Baumartenmischung.

Die Versuchsfläche Vossgraben im Forstamt Lensahn. In einem artenreichen Buchenmischbestand wurde die Versuchsfläche *Vossgraben* mit einer Flächenausdehnung von 0,6 ha (60x100 m) im Frühjahr 1999 eingemessen und zum ersten Mal aufgenommen. Der Bestand wurde zwischen 1940 und 1950 aus Gross-Schirmschlag verjüngt und weist eine sehr heterogene Struktur auf. Neben der führenden Baumart Buche kommen Esche, Stieleiche, Bergahorn, Douglasie, Japanische Lärche, Vogelkirsche, Winterlinde, Sandbirke, Eberesche, Hainbuche, Fichte und Weißtanne vor. Alle Bäume der Versuchsfläche mit einem BHD ≥ 7 cm wurden lagemässig erfasst und numeriert. Die Versuchsfläche wurde in den Jahren 2004, 2009 und 2011, jeweils nach einer Durchforstung, wieder aufgenommen. Bei den Folgeaufnahmen wurden die verbleibenden und nach der Durchforstung ausscheidenden Bäume getrennt berücksichtigt und die Lagekoordinaten der Einwüchse zusätzlich eingemessen. Mit Hilfe der erfassten Daten können die Veränderungsraten unterschiedlicher Zustandsvariablen innerhalb des Zeitintervalls zwischen zwei aufeinander folgenden Messungen räumlich explizit ermittelt werden. *Abb. 3* zeigt die Raumstruktur des Gesamtbestandes, der ausscheidenden Bäume und des verbleibenden Bestandes in den drei Aufnahmejahren 2004, 2009 und 2011.

Auffällig ist, dass 2004 auch stärkere Dimensionen entnommen wurden, während die Nutzung in den Jahren 2009 und 2011 vorwiegend (bzw. 2011 ausschließlich) den Unterstand betraf. In den Jahren 2004 und 2011 verteilte sich die Nutzung etwa gleichmäßig über die ganze Fläche. Im Jahr 2009 dagegen erfolgte die Nutzung deutlich geklumpt. Während im Jahr 2004 nicht nur Buchen (hellblau eingefärbt), sondern auch andere Baumarten genutzt wurden, hat man im Jahr 2011 ausschließlich unterständige Buchen entnommen.

Dieses unschematische Vorgehen ist typisch für die naturnahe Waldnutzung im Forstamt Lensahn. Die Nut-

zung orientiert sich an den jeweiligen Absatzmöglichkeiten am Holzmarkt, unter gleichzeitiger Berücksichtigung der unmittelbaren waldbaulichen Auswirkungen und der langfristig-strategischen Vorgaben.

Mit Hilfe solcher Messdaten aus langfristigen Beobachtungsstudien können Modelle der Walddynamik entwickelt werden, die sowohl die eingriffsbedingten Strukturveränderungen als auch die zwischen den Eingriffen stattfindenden Prozesse beschreiben. Die Versuchsfläche Vossgraben diente daher als Vorbild für ein neues umfangreiches Versuchsflächennetz in China (s. u.).

China. Während der letzten 12 Jahre wurde in China durch die Forschergruppe um den Forstökologen Zhao XiuHai (赵秀海) ein neues Netz von Versuchsflächen systematisch aufgebaut (ZHAO et al., 2012). Das Versuchsflächennetz umfasst alle wichtigen Waldtypen in China. Ein wichtiges Ziel dieser Initiative ist die Entwicklung von naturnahen Management-Methoden für ungleichaltrige Mischwälder. Zu diesem Zweck werden komplett unbehandelte Flächen in der Nähe von selektiv genutzten Flächen beobachtet (*Tab. 3*). Das Auszeichnen der zu entnehmenden Bäume erfolgt teilweise unter Einbeziehung des örtlichen Managements, um so die Praxis mit neuen Methoden der naturnahen Waldnutzung vertraut zu machen.

Die Flächen der chinesischen Versuchsanlagen sind im Vergleich zu den in Deutschland üblichen Beobachtungsflächen sehr groß. Flächengrößen schwanken in der Regel zwischen 5 und 40 ha. Auch die Messungen sind besonders aufwändig. Die Koordinaten aller Bäume werden erfasst, sodass Informationen vorliegen, die eine detaillierte Analyse der Raumstrukturen, der Konkurrenzbedingungen, der Habitatansprüche und der Nutzungsmuster erlauben (ZHANG et al., 2009; ZHANG et al., 2010a; ZHANG et al., 2010b). Die Aufnahmen beschränken sich nicht auf die Messung der Bäume. Die spektralen Eigenschaften der Blattoberflächen in Reaktion auf über- und unterirdische Konkurrenz werden unter Freilandbedingungen untersucht. Außerdem werden Blüten und Früchte zweihäusiger Baum- und Straucharten erfasst und Verjüngungs- und Biomassestudien durchgeführt.

Es werden drei Behandlungsarten (Totalschutz; selektive Eingriffe durch das Management und selektive Eingriffe durch die Forschung), vier Kategorien der Naturnähe (natürlich; naturnah; wenig naturnah; Plantage) und vier Ökosystem-Typen (Laubmischwald; Picea/Abies-Typ; Pinus/Abies-Typ; Immergrüner Laubwald) unterschieden. Große, zusammenhängende Flächen sind dann nützlich, wenn man die Auswirkungen unterschiedlicher Skalen untersuchen möchte, zum Beispiel Habitat-Präferenzen, räumliche Konkurrenz, Abstoßung oder Attraktion zwischen weiblichen und männlichen Individuen einer zweihäusigen Baumart, zwischen Altbäumen und Verjüngung, sowie spezielle Raumstrukturen und die Artbezogene Diversitäts-Akkumulation. Das gegenwärtige Hauptanliegen der für dieses große Versuchsflächennetz verantwortlichen Arbeitsgruppe ist die Schaffung einer institutionellen Basis für den dauerhaften Unterhalt dieser „grünen Infrastruktur“ des Landes.

Indien. Die vielfältige Nutzung und Bewahrung der biologischen Ressourcen unter Berücksichtigung traditioneller Erfahrungen und Praktiken ist ein wichtiger Bestandteil der Kultur und der sittlichen und morali-

schen Grundhaltung in Indien. Ungefähr 4.2 Prozent der Landesfläche genießen als Nationalparks, Biosphärenreservate oder ökologisch besonders sensible Bereiche einen speziellen Status. Zu diesen Gebieten mit

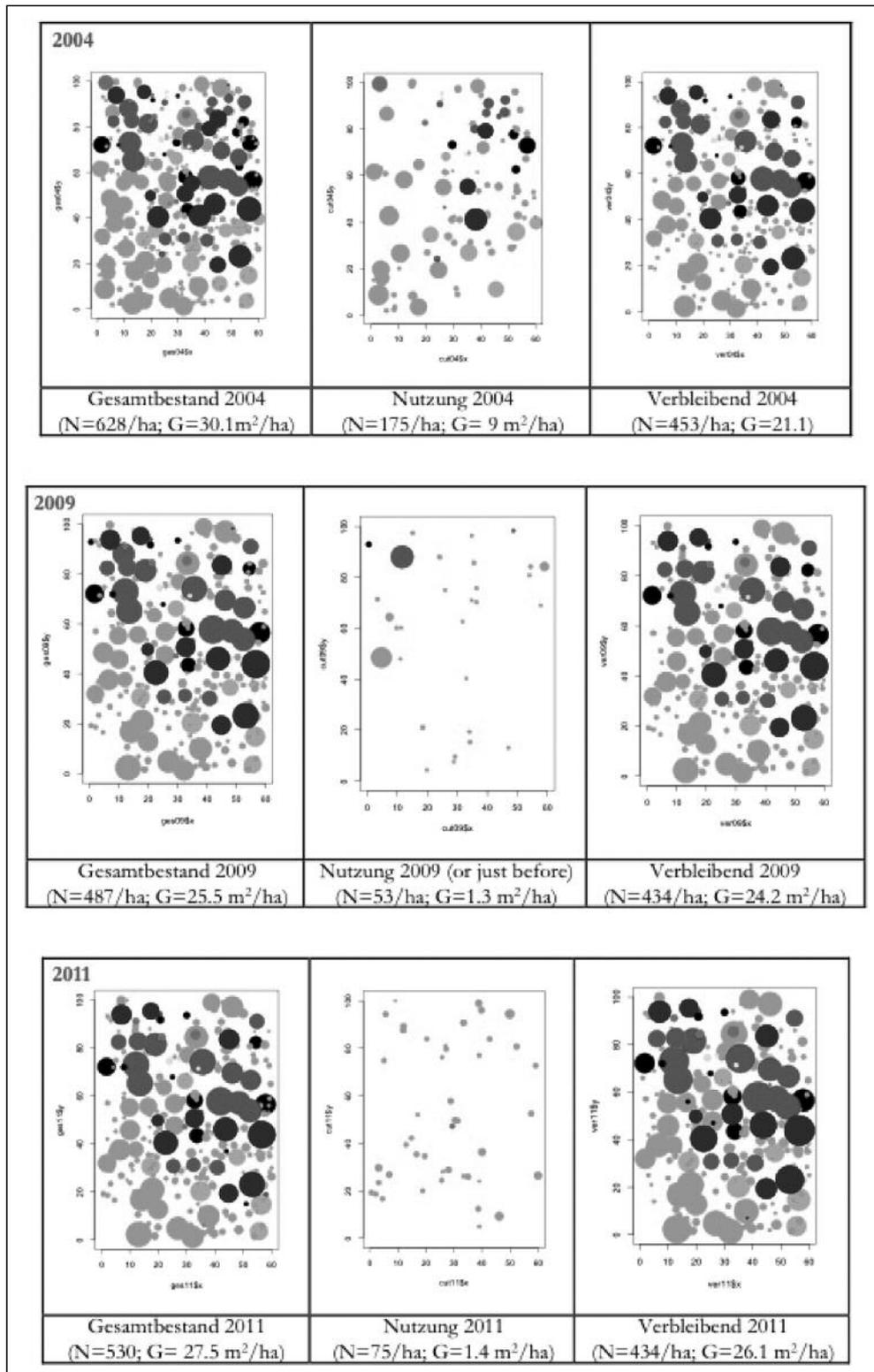


Abb. 3

Eingriffsbedingte Veränderung der räumlichen Verteilung in den Jahren 2004, 2009 und 2011 in der Versuchsfläche *Vossgraben* im Forstamt Lensahn.

Change of spatial distribution after a harvest event in the years 2004, 2009 and 2011 in the observational study *Vossgraben* in Lensahn, Germany.

besonders hoher Biodiversität gehören 85 Nationalparks und 448 Naturschutzgebiete (SAHU, 2011). Die natürlichen Ökosysteme in Indien umfassen immergrüne Regenwälder in den *Western Ghats*, auf den Inseln der Andamanen und Nicobaren, und im Nordosten des Landes; trockene alpine Strauchwälder in den nördlichen Himalayas sowie Monsun-Laubmischwälder, dornige Buschlandschaften, subtropische Kiefernwälder der unteren Montanzone, und temperate Bergwälder (CHAMPION und SETH, 1968; LAL, 1989).

Viele der forstlichen Versuchsflächen in Indien wurden bereits in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts angelegt. Sie werden als *Linear Tree Increment Plots*, *Linear Sample Plots* oder *Permanent Preservation Plots* bezeichnet. Im tropischen Regenwald von Karnataka wurden vier Flächen bereits im Zeitraum 1911–1920 und weitere sieben im Zeitraum 1937–1939 angelegt. Ähnliche Beobachtungsflächen wurden in tropischen Regenwäldern in Assam (1955), Kerala und Tamil Nadu (1938) und auf den Inseln der Andamanen (1939) etabliert. Spezielle *Shorea robusta*-Flächen wurden in Maharashtra (1931–1985), Karnataka (1951–1953), Kerala (1934–1940), in Uttar Pradesh (1935–1939), Bihar (1936–1959) und West-Bengal (1924–1926) angelegt. Ausserdem wurden Sandalholz (*Santalum album*) Flächen in Karnataka (1934–1935), Andhra Pradesh (1937) und Tamil Nadu (1936) etabliert. Im Dezember 2011 haben TEWARI und GADOW (2012) insgesamt fünf neue Versuchsflächen in Naturwäldern angelegt (eine Fläche in Assam und je zwei in Jodhpur und Bangalore) und vorläufige Untersuchungen zur Raumstruktur dieser sehr unterschiedlichen Ökosysteme durchgeführt.

Durango/Mexiko. Mit einer Waldfläche von etwa 5,5 Millionen ha und einem besonders hohen Anteil an der mexikanischen Holzproduktion ist Durango der aus forstlicher Sicht wichtigste Staat Mexikos. Das Bewaldungsprozent in Durango beträgt 44,7% (SRNyMA, 2007). Die selektive Waldnutzung, die großflächig in den Kommunalwäldern Durangos praktiziert wird, ist eine waldbauliche Besonderheit. Im Jahr 2007 wurde ein Netz mit 393 Versuchsflächen initiiert (CORRAL-RIVAS et al., 2010). In jeder Beobachtungsfläche mit einer Größe von 50 x 50 m (2500 m²) wurden alle Baumkoordinaten und zahlreiche weitere Messdaten erfasst. Unter den ersten Auswertungen ist die Untersuchung von WEHENKEL et al. (2011) zur Minimalgröße nachhaltiger Waldstrukturen erwähnenswert.

Bedeutung der Kontinuität. Wie bereits erwähnt, ist die Dauerhaftigkeit und Kontinuität der Beobachtungen eine wichtige Voraussetzung für das Verständnis der langfristigen Dynamik von Waldökosystemen. Zwar kommt es vor, dass kurzfristig große Geldsummen für Feldstudien verfügbar gemacht werden. Rezente Beispiele aus Nordamerika und Asien zeigen aber, dass diese Unterstützung dann bald wieder versiegen kann. Daher ist die Schaffung einer institutionellen Basis mit ausreichendem Personal zum dauerhaften Erhalt einer „grünen Infrastruktur“, wie sie zum Beispiel in den deutschen forstlichen Versuchsanstalten üblich ist, wichtiger als kurzzeitig bereit gestellte Projektmittel, so großzügig diese auch sein mögen.

3.2.2 Wenige große Flächen oder zahlreiche kleine Flächen?

Die optimale Form und Größe der Beobachtungsflächen hängt ab von der jeweiligen Zielsetzung. Bei ungefähr gleichem Aufwand kann man sich je nach dem speziellen Informationsbedarf entscheiden für wenige große Flächen oder zahlreiche kleine Flächen. Wegen der oft ungleichen Verteilung der Bestandesdichte in ungleichaltrigen Mischbeständen sind Eingriffsanalysen aussagekräftiger, wenn die Beobachtungsflächen möglichst groß sind. Die Eingriffsanalyse in einer großen Beobachtungsfläche erlaubt detaillierte Aussagen über Entnahmepreferenzen der verschiedenen Baumarten sowie räumliche Veränderungen der Konkurrenzbedingungen und Freistellungs effekte.

Immer wenn unterschiedliche Skalen berücksichtigt werden müssen, sind große zusammenhängende Flächen unabdingbar. Beispiele sind Untersuchungen zur Auswirkung der abstandsabhängigen Konkurrenz. Auch die Ermittlung der „Arten-Areal“ Beziehung, die eine spezielle Zunahme der Diversität mit zunehmender Flächengröße beschreibt, erfordert große Flächen. Die Analyse der räumlichen Verteilung unterschiedlicher Baumarten und unterschiedlicher Entwicklungsstadien der Bäume erfordert ebenfalls großflächige Ansätze. Nicht nur Untersuchungen zur Waldstruktur benötigen große Flächen, sondern auch Studien der räumlichen Assoziationen zwischen einzelnen Baumarten und Entwicklungsstadien. Bei zweihäusigen Baumarten sind räumliche Beziehungen zwischen den Geschlechtern häufig erst erkennbar, wenn Daten über weite Abstände vorliegen (ZHANG et al., 2009). In einer zweihäusigen Baumart, wo männliche und weibliche Reproduktionsorgane auf verschiedenen Individuen erscheinen, können unterschiedliche Abstände zwischen den Bäumen den Reproduktionserfolg beeinflussen (SHELTON, 2008). Um die Auswirkungen unterschiedlicher Abstände zwischen männlichen und weiblichen Individuen zu untersuchen, benötigt man also großflächige Versuchsanlagen. Bestimmte Statistiken zur Analyse der Raumstruktur erfordern ebenfalls eine bestimmte Versuchsflächenform und -größe (POMMERENING, 2008).

Zahlreiche systematisch verteilte kleine Beobachtungsflächen sind dagegen günstiger für großräumige geografische Analysen. Für bestimmte Fragestellungen sind Daten aus Inventur-Stichprobenerhebungen gut geeignet. SCHMIDT et al. (2011) zum Beispiel fanden deutliche Zusammenhänge zwischen der geografischen Lage und den Parametern der Durchmesser-Höhenbeziehung unterschiedlicher Baumarten in Estland. Auch spezielle Auswirkungen der Standortbedingungen auf das Baumwachstum sind einfacher über zahlreiche systematisch verteilte Stichproben zu schätzen (ALBERT und SCHMIDT, 2010; NAGEL et al., 2012). Bei der Untersuchung artspezifischer Habitatansprüche eignen sich dagegen große Flächen mit variabler Topografie und unterschiedlichen klimatischen Bedingungen.

Eine zunehmend wichtige Rolle spielen Computerexperimente, mit deren Hilfe bestimmte Fragestellungen systematischer und detaillierter untersucht werden können als dies im Gelände möglich ist. Computerexpe-

rimente können Feldexperimente ergänzen und teilweise auch ersetzen (POMMERENING, 2006; GRAMELSBERGER, 2010).

4. DISKUSSION UND ZUSAMMENFASSUNG

Dieser Beitrag beschreibt die Abhängigkeit der modernen Forsteinrichtung von der Modellforschung und die Abhängigkeit der Modellentwicklung von empirischen Beobachtungen in forstlichen Versuchsflächen. Es wurde gezeigt, dass die Bedeutung der Forsteinrichtung sich nicht auf Strategie-Entwicklung oder Planungstechnik beschränkt. Das Lehr- und Forschungsfeld Forsteinrichtung ist eine theorieschaffende Disziplin, die unabdingbar ist für das Selbstverständnis der Waldforschung. Daher ist ihre Stärkung bzw. Wiederbelebung eine Voraussetzung für die nachhaltige Nutzung der Waldressourcen.

4.1 Bedeutung von Abstraktion und Theorie in der Forsteinrichtung

Die intensive historische Nutzung der Wälder, die vielfältigen ökonomischen und politischen Rahmenbedingungen der Gegenwart und der anspruchsvollen, kleinflächig praktizierte Waldbau bieten neue Herausforderungen für die Forsteinrichtungsforschung. Diese Forschung ist in mehrfacher Hinsicht vielversprechend, denn Forsteinrichtung ist nicht nur Forstbetriebsplanung (SPEIDEL, 1972) oder „Strategisches Management Instrument“ (Hanewinkel, 2001), sondern bietet auch eine auf sechs Prinzipien (Tab. 1) beruhende disziplinübergreifende Theorie und damit ein wissenschaftliches Fundament der nachhaltigen Waldnutzung mit überregionaler Gültigkeit (GADOW, 2006). Diese Theorie ist in zahlreichen Arbeiten beschrieben und durch beispielhafte Anwendungen exemplarisch belegt (GADOW und PUKKALA, 2008).

Das zentrale Element der Mehrpfad-Theorie ist der Vergleich unterschiedlicher Waldbau-Pfade. Jede Bestandesentwicklung ist durch eine Abfolge forstlicher Eingriffe und deren Auswirkungen auf das Ökosystem und den Betriebserfolg bestimmt (HINRICHS, 2004). Diese Abfolge wird als *Pfad* bezeichnet. Jeder Pfad ist gekennzeichnet durch eine bestimmte Abfolge forstlicher Eingriffe. Ein forstlicher Eingriff ist die einzige direkt steuerbare und nicht mehr rückgängig zu machende Komponente der Waldentwicklung. Die Auswirkungen eines einzelnen Eingriffs lassen sich oft nur als Teilelement innerhalb einer Abfolge von Maßnahmen beurteilen (KRAMER, 1988, S. 186). Die Analyse von Waldentwicklungspfaden ist daher eine der wichtigsten Aufgaben der Forsteinrichtungsforschung. Ihre methodische Grundlage bilden Prognosen des Wachstums und möglicher Risiken, und Beschreibungen zukünftiger forstlicher Eingriffe und ihrer Auswirkungen auf das Ökosystem und den Betriebserfolg.

Im „Normalwald“ verläuft die Waldentwicklung schematisch. Idealisierte Waldbau-Schemata beschreiben die ideale Entwicklung eines Waldbestandes sozusagen „von der Wiege bis zur Bahre“. Diese „normalen“ Abläufe bilden die Grundlage für die Bestimmung des „Normalvorrats“ und der nachhaltigen Nutzung. Die Waldbau-

praxis und die Nachfrage am Markt ändern sich jedoch ständig. Hinzu kommen mögliche Änderungen der klimatischen Bedingungen. Daher ist es notwendig und konsequent, wenn die Forsteinrichtung sich vom Schema des „Normalwaldes“ löst und sich stattdessen an der jeweils vorhandenen Realität orientiert. Eine langfristige Fixierung auf bestimmte Waldbauprogramme erscheint wegen der Wechselhaftigkeit der Ansprüche der Gesellschaft, wegen der häufigen Gleichwertigkeit mehrerer waldbaulicher Eingriffsmöglichkeiten und wegen der Veränderlichkeit der Wachstumsbedingungen nicht mehr plausibel. Nicht die Vorgabe abstrakter idealer Waldbauschemata, sondern die Orientierung an der Realität, am Zwang des Vorhandenen, bildet ein solides Fundament für die Steuerung von Waldökosystemen.

Zu den Beschränkungen des Handlungsraumes gehören u. a. die Sicherung der Vorratsnachhaltigkeit, die Fokussierung auf bestimmte Waldentwicklungstypen und die Realisierung bestimmter Habitat-Ansprüche. Die methodische Umsetzung ist vielfach bereits ausge-reift (s. Beispiele in GADOW und PUKKALA, 2008). Erste Pilotstudien haben gezeigt, dass das Mehrpfadprinzip nicht nur die deutsche Forsteinrichtungsforschung bereichern kann, sondern auch ein erhebliches Praxispotential besitzt (CHEN und GADOW, 2002; CHEN, 2003). Eine wichtige Voraussetzung für die Realisierung dieses Potentials ist allerdings die Stärkung bzw. Wiederbelebung der Forsteinrichtungsforschung und -Lehre an den deutschen Hochschulen. Ohne grundlegende Kenntnisse der Unternehmensforschung in all ihren Facetten wird es für deutsche Forstwissenschaftler schwierig sein, eine ernstzunehmende Rolle in der internationalen Forsteinrichtungsforschung einzunehmen.

4.2 Modellforschung

Für die Steuerung der Waldnutzung braucht man Modelle, die das verfügbare Wissen über die Reaktion der Ökosysteme auf menschliche Eingriffe verfügbar machen. Modelle des Waldwachstums beschreiben die durch den Menschen unbeeinflusste Walddynamik. Durchforstungsmodelle schätzen die eingriffsbedingte Waldveränderung und die Auswirkungen einer anthropogenen Beeinflussung. Auf jeden forstlichen Eingriff folgt das Baumwachstum unter veränderten Bedingungen. Somit bilden *Wuchsmodelle* und *Eingriffsmodelle* gemeinsam die Grundlage für die Prognose der Walddynamik. Für die Entwicklung dieser beiden Modelltypen benötigt man Messdaten aus Versuchsflächen.

4.3 Kontinuität im forstlichen Versuchswesen

Die empirische Grundlage der forstlichen Modellforschung bilden Messungen und Beobachtungen, sowohl in *manipulierten Experimenten* als auch in *Beobachtungsstudien*. Die Verpflichtung zur Kontinuität im forstlichen Versuchswesen hat FRANZ (1972a) immer wieder betont. Neue Dauer-Versuchsflächennetze mit vermessenen Baumkoordinaten aus Asien, Ost-Europa und Nord Amerika bieten wegen ihrer erweiterten Flächengrößen verbesserte Möglichkeiten der Auswertung, insbesondere in artenreichen Mischbeständen. Beispiele wurden in diesem Beitrag vorgestellt.

Dauerversuchsflächen, die als Experiment konzipiert werden, erfordern eine langfristige Bindung der Forschungsinfrastruktur an einen relativ engen Bereich von Behandlungen und Standortbedingungen. Dies kann zu systematischen Fehlern in Wuchsmodellen führen. Wegen der Schwierigkeit, Behandlungsvarianten in ungleichaltrigen Mischwäldern zu definieren, haben großflächige Beobachtungsstudien an Bedeutung gewonnen. Intervallflächen vereinen die Vorzüge der Chronosequenzen (schnelle Verfügbarkeit der Information) und der Dauerversuchsflächen (Erhebung von Wachstumsraten) und bieten somit einen vernünftigen Kompromiss, wenn es darum geht, Informationen möglichst schnell verfügbar zu machen.

Wie können sich Stichprobeninventuren und Dauerversuchsflächen ergänzen? NAGEL et al. (2012) zeigen Beispiele für Synergieeffekte aus Deutschland und Österreich und den spezifischen wissenschaftlichen Nutzen beider Datenquellen. Für die betriebliche Steuerung bringt die Kombination der Inventurdaten mit Versuchsflächen-daten das für „Entscheidungen erforderliche Bild vom Ganzen“. Ohne Randkorrektur lassen sich Nachbarschaftsbeziehungen auf den kleinen Probeflächen der Betriebsinventuren aufgrund der erheblichen Randeffekte allenfalls für einzelne Bäume beschreiben. Spezielle Methoden, wie z. B. das sog. „Plus-Sampling“ bieten die Möglichkeit, auch auf kleinen Flächen alle Bäume in die Analyse einzubeziehen (s. MOTZ et al., 2010). Die unterschiedlichen Methoden der Randkorrektur hat POMMERENING (2008) zusammengefasst.

Ein besonderes Problem bieten die konzentrischen Probekreise, die eine Vorratsschätzung mit möglichst geringem Messaufwand ermöglichen sollen. Sie wurden in einer Zeit entwickelt, als das Bestandesvolumen noch die wichtigste Zielgröße war. Ähnliches gilt für die Winkelzählprobe. Zum Verständnis der Dynamik ungleichaltriger Mischbestände benötigt man nach NAGEL et al. (2012) großflächige Versuchsflächen, wie die in diesem Beitrag vorgestellten Beispiele aus anderen Ländern. Ein bedeutender Nachteil der Waldinventuren ergibt sich aus der Wahl der Aufnahmezeitpunkte. Die Inventuraufnahmen finden nicht wie in den Versuchsflächen zeitgleich mit den Nutzungen, sondern in regelmäßigen Zeitabständen statt. Dadurch ist es nicht möglich, die unmittelbare Reaktion auf die forstlichen Eingriffe oder auf Störungen direkt zu erfassen. Der Vorteil der Inventuren ist dagegen die geografische Repräsentanz.

Auch Feldexperimente können durch Beobachtungsstudien ergänzt werden. Dadurch wird die Generalisierbarkeit der Ergebnisse oftmals erhöht. Auch Computerexperimente tragen zur Generalisierung bei, weil sie von der speziellen Situation eines Waldstandorts stärker losgelöst sind. Zu diesem Zweck ist es notwendig, möglichst viele unterschiedliche Ausgangszustände zu beobachten und so die vielfältigen Reaktionen des Systems zu erfassen. Der Grad der Generalisierbarkeit hängt allerdings davon ab, ob die Versuchsflächen eine repräsentative und ausreichende Stichprobe darstellen, ob es also legitim ist, die Beobachtungen auf die Gesamtpopulation von Standortbedingungen zu erweitern (s. SCHREUDER

und THOMAS, 1991). Feldexperimente können wiederum durch Computerexperimente ergänzt werden.

4.4 Beobachtung – Modell – Steuerung

In diesem Beitrag wurde versucht, die Abhängigkeit der Steuerung von der Modellierung und die Abhängigkeit der Modellierung von der Messung in Versuchsflächen aufzuzeigen. Beispiele aus anderen Ländern zeigen die abnehmende Bedeutung der aufwändigen Feldexperimente (die häufig aus Kostengründen bald nach der Installation wieder aufgegeben werden) zugunsten großflächiger, langfristig angelegter Beobachtungsstudien, vor allem in ungleichaltrigen Mischwäldern. Aus der Zusammenführung von Messdaten aus Waldinventuren, Beobachtungsstudien und Feldexperimenten können sich zahlreiche Synergien ergeben (PRETZSCH et al., 2012).

Bei aller Liebe zum Praxisbezug sollte die Bedeutung der theoretischen Grundlagen nicht unterschätzt werden. Ein plausibles theoretisches Fundament der Forsteinrichtung ermöglicht das Erkennen von Synergieeffekten aus unterschiedlichen Datenquellen und erleichtert die Fokussierung der Modellforschung auf solche Modelltypen, die für die Gestaltung der Waldentwicklung relevant sind. Dazu gehören unter anderem Eingriffsmodelle, die nicht nur eine Beurteilung unterschiedlicher waldbaulicher Pfade ermöglichen, sondern außerdem dazu beitragen können, eine neue Systematik der oftmals unscharfen und teilweise verwirrenden Durchforstungsbegriffe zu entwickeln. Eine Überarbeitung der Waldbau-Semantik auf der Basis zahlreicher forstlicher Versuchsflächen wäre daher ein weiteres lohnendes Forschungsthema.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Dieser Beitrag zum Gedenkkolloquium am 27. 7. 2012, anlässlich des 10. Todestages von Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. FRANZ, beschreibt die aktuelle Theorie der Forsteinrichtung und ihre wissenschaftlichen Grundlagen. Die Forsteinrichtung ist nicht nur „Planung im Forstbetrieb“ oder „Strategisches Management-Instrument“, sondern auch eine theorieschaffende Disziplin, die unabdingbar ist für die Identität der Forstwissenschaften. Die Walddynamik ist ein ständiges Wechselspiel zwischen Nutzung und Wachstum. Für die „Steuerung“ der Waldnutzung im Rahmen der Forsteinrichtung braucht man Modelle, die das gegenwärtige Wissen über die Reaktion der Ökosysteme auf menschliche Eingriffe verfügbar machen. Wuchsmodelle beschreiben die Walddynamik zwischen den Eingriffen, einschließlich Baumwachstum, Überlebenswahrscheinlichkeit und Waldverjüngung. Durchforstungsmodelle schätzen die eingriffsbedingte Waldveränderung und die Nutzungserträge. Die empirische Grundlage der forstlichen Modellforschung bilden Messungen und Beobachtungen in *manipulierten Experimenten* und *Beobachtungsstudien*. Neue Dauerversuchsflächennetze mit vermessenen Baumkoordinaten aus Asien, Ost-Europa und Nord Amerika bieten wegen ihrer erweiterten Flächengrößen neue Möglichkeiten der Auswertung, insbesondere in artenreichen Mischbeständen. Beispiele werden in diesem Beitrag vorgestellt.

6. ABSTRACT

Title of the paper: *Measurement and Modelling – Basis of Forest Design*.

This contribution to the meeting on 27. 7. 2012, in memory of the 10th anniversary of the passing away of Prof. Dr. Dr. hc Friedrich Franz describes the current theory of sustainable forest use and its scientific foundations. *Forest Ecosystem Design* (known in German as “Forsteinrichtung”) has been designated using various labels, such as “Forest Planning” and “Instrument of Strategic Management”. “Forsteinrichtung” is one of the oldest disciplines of forest science. Its major research contribution during the past two centuries has been to develop methods for ensuring sustainable forest use. In a contemporary context, “Forsteinrichtung” may be appropriately designated as “Forest Ecosystem Design”. This contribution presents a theory of Forest Ecosystem Design known as the Multiple Path Concept which is based on six principles of sustainable forest use. Forest Ecosystem Design requires models which describe different kinds of disturbances and incorporate the current knowledge about ecosystem response to human use. Growth models describe tree survival, tree growth and recruitment while harvest event models estimate the immediate effects of a harvest event in terms of the structural changes, based on silvicultural terminology. Observational studies provide the essential empirical basis for developing such models. Whereas forest resource information, gathered in *Forest Inventory Systems* at local, national and global levels, is required for planning and policy decisions, *Forest Research Plot Networks* provide essential data for studying ecosystem structure and dynamics. New permanent observational studies with mapped trees in uneven-aged multi-species forests offer new possibilities for analysis and modeling, due to their increased area. This contribution presents examples from Asia, Eastern Europe and North America.

7. RÉSUMÉ

Titre de l'article: *Mesures et recherches sur les modèles – Bases de l'aménagement forestier*.

Cette contribution pour le colloque *ad memoriam* organisé le 27 juillet 2012, à l'occasion du 10^{ème} anniversaire de la mort du Pr Dr Dr h.c. FRIEDRICH FRANZ, décrit la théorie actuelle de l'Aménagement forestier et les bases scientifiques de celle-ci. L'Aménagement forestier n'est pas uniquement «une planification dans une gestion forestière» ou bien «un instrument stratégique de *management*», mais c'est aussi une discipline créatrice de théorie qui est «non modifiable par consentement mutuel» pour l'identité des Sciences forestières. La dynamique forestière est un jeu continu de variations entre exploitation et croissance. Pour la conduite de l'exploitation forestière dans le cadre de l'Aménagement forestier, on a besoin de modèles de croissance qui rendent disponibles les connaissances actuelles quant à la réaction de l'écosystème sous l'influence des interventions humaines. Les modèles de croissance décrivent la dynamique forestière entre les interventions, y compris la croissance de l'arbre, la probabilité de survie et la régé-

nération forestière. Les modèles d'éclaircies estiment les changements forestiers consécutifs aux interventions et les rendements d'exploitation. Les bases empiriques de la recherche forestière modélisatrice transforment les mesures et les observations en *expériences manipulées* et *études d'observations*. De nouveaux réseaux de placettes permanentes de recherche avec les coordonnées des arbres mesurées, en provenance d'Asie, d'Europe de l'Est et d'Amérique du Nord, offrent, en raison de leurs tailles en surface élargies, de nouvelles possibilités d'exploitation de données, en particulier dans des peuplements mélangés riches en espèces ligneuses. Des exemples sont exposés dans la présente contribution.

8. LITERATUR

- ALBERT, M. (1999): Analyse der eingriffsbedingten Strukturveränderung und Durchforstungsmodellierung in Mischbeständen. Dissertation, Institut für Waldinventur und Waldwachstum, Universität Göttingen. Hainholz-Verlag, Band 6: 201 S.
- ALBERT, M. (2001): Zum Aufbau eines waldwachstums-kundlichen Prognose- und Entscheidungssystems. In: AKCA, A., HOFFMANN, B., SCHUMANN, K. and STAUPEN-DAHL, K. (eds.): Waldinventur, Waldwachstum und Forstplanung. Festschrift K. v. GADOW, Zohab Publisher, Göttingen: 197–215.
- ALBERT, M. (2002): Zur Prognose der Z-Baum-Auswahl in Mischbeständen – ein regelbasierter Algorithmus für waldbauliche Prognose- und Entscheidungsmodelle. AFJZ, 173. Jg.: S.153–161.
- ALBERT, M. und M. SCHMIDT (2010): Climate-sensitive modelling of site-productivity relationships for Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and common beech (*Fagus sylvatica* L.). Forest Ecology and Management 259 (4): 739–749.
- ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J. G., A. ZINGG and K. v. GADOW (2009): Estimating Growth in Beech Forests – a study based on longterm experiments in Switzerland. Annals of Forest Science. 67: 307.
- AMMER, C., P. BALANDIER, N. S. BENTSEN, L. COLL and M. LÖF (2011): Forest vegetation management under debate: an introduction. European Journal of Forest Research 130: 1–5 (DOI 10.1007/s10342-010-0452-6).
- AMLING, C. (2005): Waldbaurichtlinien in NRW, 1945 – heute. Unveröff. Hausarbeit, Institut f. Waldinventur u. Waldwachstum, Universität Göttingen.
- BORGES, J. G., H. M. HOGANSON und D. W. ROSE (1999): Combining a decomposition strategy with dynamic programming to solve spatially constrained forest management scheduling problems. Forest Science 45: 201–212.
- BREDENKAMP, B.V. (1984): The CCT concept in spacing research – a review. – In Proc., IUFRO Symposium on site and productivity of fast growing plantations. Pretoria and Pietermaritzburg, South Africa, pp. 313–332.
- BUGMANN, H. K. M. (1996): A Simplified Forest Model to Study Species Composition Along Climate Gradients. Ecology 77, 2055–2074.
- BURGERS, ?. (1976): Management graphs derived from the correlated (CCT) projects: South Africa. For. Res. Inst. Bull. 1/54, Dept. Forestry, Pretoria, South Africa.
- BURKHART, H. E. (2003): Suggestions for choosing an appropriate level for modelling forest stands. In: AMARO, A., REED, D., SOARES, P. (Eds.). Modelling Forest Systems. CAB International, Wallingford, Oxfordshire, UK, pp. 3–10.

- CAMPBELL, D. and J. STANLEY (1963): Experimental and Quasi-experimental Designs for Research and Teaching. In Gage (Ed.), Handbook on research and teaching. Rand McNally, Chicago.
- CAO, Q. V. (2006): Incorporating Whole-Stand and Individual-Tree Models in a Stand-Table Projection System. *FOR. SCI.* **53**(1): 45–49.
- CASTEDO, F., U. DIÉGUEZ-ARANDA, M. BARRIO, M. SÁNCHEZ and K. v. GADOW (2006): A generalized height-diameter model including random components for radiata pine plantations in northwestern Spain. *For. Ecol. Manage.* **229**: 202–213.
- CHAMPION, H. G. and S. K. SETH (1968): A Revised Survey of the Forest Types of India. Govt of India Press, Delhi. 404 pp.
- CHEN, B. W. and K. v. GADOW (2002): Timber Harvest Planning with Spatial Objectives using the Method of Simulated Annealing. *Forstwiss. Centralblatt* **121**: 25–34.
- CHEN, B. W. (2003): Optimization in Forest Planning. Dissertation, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Georg-August-University Göttingen. Cuvillier, Göttingen. 140 S.
- CLUTTER, J. L., J. C. FORTSON, L. V. PIENAAR, G. H. BRISTER and R. L. BAILEY (1983): Timber Management- A Quantitative Approach. John Wiley & Sons.
- COOK, T. and D. CAMPBELL (1979): Quasi-Experimental Design. Rand McNally, Chicago.
- CORRAL-RIVAS, J. J., C. WEHENKEL, L. B. VARGAS, C. AGUIRRE and P. J. JIMÉNEZ (2010): The network of permanent sample Plots for forest growth and spatial structure in Durango (Mexico). In: GONZÁLEZ, T. M. A. Proceedings of the international Symposium cum Workshop on Biodiversity and Climate Change: Adaptation of Land Use Systems. Sierke Verlag, Göttingen: 27–35.
- COX, D. R. (1958): Planning of Experiments. New York: Wiley, 1958.
- CRAIB, I. J. (1939): Thinning, Pruning and management studies on the main exotic conifers grown in South Africa. Govt. Printer, Pretoria.
- CROOKSTON, N. L., G. E. REHFELDT, G. E. DIXON and A. R. WEISKITTEL (2010): Addressing climate change in the forest vegetation simulator to assess impacts on landscape forest dynamics. *Forest Ecology and Management* **260**, 1198–1211.
- CRUTZEN, P. J. (2002): Geology of Mankind. *NATURE*, Vol **415**: 23.
- DAUME, S., K. FÜLDNER und K. v. GADOW (1998): Zur Modellierung personenspezifischer Durchforstungen in ungleichaltrigen Mischbeständen. *AFJZ* **169** (2): 21–26.
- DOHRENBUSCH, A., M. BREDEMEIER und N. LAMERSDORF (2003): Manipulation of nutrient and water input of a Norway Spruce Ecosystem. Springer Verlag.
- ERNI, V. und R. LEMM (1995): Ein Simulationsmodell für den Forstbetrieb – Entwurf, Realisierung und Anwendung. In, Berichte. Eidg. Forsch.anst. WSL, Birmensdorf, p. 89.
- FISHER, R. A. (1935): The Design of Experiments. (1st ed.) London: Oliver & Boyd.
- FRANZ, F. (1972a): Gedanken zur Weiterführung der langfristigen ertragskundlichen Versuchsarbeit. *Forstarchiv* **43** (11): 230–233.
- FRANZ, F., J. BACHLER, B. DECKELMANN, E. KENNEL, R. KENNEL, A. SCHMIDT und U. WOTSCHIKOWSKI (1973): Bayrische Waldinventur 1970/71 – Aufnahme und Auswertungsverfahren. Forstl. Forschungsanstalt München. Forschungsbericht Nr. 11.
- FRANZ, F. (1972b): Ertragskundliche Prognosemodelle. *Forstwiss. Centralblatt* **91**: 65–80.
- FRANZ, F. (1987): Zum Aufbau eines neuzeitlichen Informationssystems für die Forstwirtschaft. *Forstarchiv*, **58**: 131–137.
- FÜLDNER, K., S. SATTLER, W. ZUCCHINI und K. v. GADOW (1996): Modellierung personenabhängiger Auswahlwahrscheinlichkeiten bei der Durchforstung. *AFJZ* **167** (8): 159–162.
- GADOW, K. v. und J. PUUMALAINEN (2000): Scenario Planning for Sustainable Forest Management. In: GADOW, K. v., PUKKALA, T. and TOMÉ, M., 2000: Sustainable Forest Management. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht: 319–356.
- GADOW, K. v. (1986): Observations on self-thinning in pine plantations. *S. Afr. Journal of Science* **82** (7): 364–368.
- GADOW, K. v. (1991): Integration von Einzel- und Gesamtnutzungsplanung in der Forsteinrichtung. *Allg. Forst u. JagdZtg.* **162** (4): 72–75.
- GADOW, K. v. (2006): Forsteinrichtung – Adaptive Steuerung und Mehrpfadprinzip. Universitätsdrucke Göttingen: 163 S.
- GADOW, K. v. und T. PUKKALA (2008): Designing Green Landscapes. Vol 15. Springer Series Managing Forest Ecosystems: 286 S.
- GARCÍA-GONZALO, J., H. PELTOLA, E. BRICEÑO ELIZONDO und S. KELLOMÄKI (2007): Changed thinning regimes may increase carbon stock under climate change – a case study from a Finnish Boreal Forest. *Climate Change* **81**: 431–454.
- GARCÍA, O. (1994): The State-Space Approach in Growth Modeling. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne de Recherche Forestiere* **24**, 1894–1903.
- GARCÍA, O. (2003): Dimensionality reduction in growth models: an example. *Forest biometry, Modelling and Information Sciences* **1**, 1–15.
- GHOSH, R. C. und O. N. KAUL (1977): Nature Reserves in India, *Indian Forester* **103** (8).
- GOUDIE, J. W., C. M. DI LUCCA, W. KLENNER, I. R. CAMERON, R. PARISH and K. R. POLSSON (2005): Application of Simulation Models to the Design and Analysis of silvicultural Systems in British Columbia. In: PETERSON, C. E., MAGUIRE, D. A. (Eds.), Workshop on balancing ecosystem values: Innovative experiments for sustainable forestry. USDA Forest Service, General Technical Report PNW-GTR-635, Portland, Oregon, pp. 175–186.
- GRAMELSBERGER, G. (2010): Computereperimente. Zum Wandel der Wissenschaft im Zeitalter des Computers. transcript Verlag, Bielefeld, 313 S.
- HANEWINKEL, M. (2001): Neuausrichtung der Forsteinrichtung als strategisches Managementinstrument. *AFJZ* **172** (11): 202–211.
- HANSEN, J. (2012): Modellbasierte Entscheidungsunterstützung für den Forstbetrieb. Cuvillier Göttingen (ISBN 978-3-95404-100-8), 216 S.
- HASENAUER, H., G. KINDERMANN and P. STEINMETZ (2006): The Tree Growth Model MOSES 3.0. In: HASENAUER, H. (Ed.), Sustainable forest management: growth models for Europe. Springer, Berlin, pp. 64–70.
- HESSENMÖLLER, D. (2002): Modelle zur Wachstums- und Durchforstungssimulation im Göttinger Kalkbuchenwald. Dissertation, Institut für Waldinventur und Waldwachstum, Universität Göttingen: 134 S.
- HINRICHS, L. (2004): Untersuchungen zur Generierung von Behandlungsvarianten für Buchen-Fichten Mischbestände. Ertragskundetagung, Stift Schlägl, Vortragsmanuskript: 8 S.

- HOF, J. und M. BEVERS (1998): Spatial optimization for managed ecosystems. Columbia University Press, New York: 258 p.
- HUI, G.Y. (1997): Wachstumsmodelle für die Baumart *Cunninghamia lanceolata*. Dissertation, Institut für Waldinventur und Waldwachstum, Universität Göttingen.
- HYNYNEN, J., A. AHTIKOSKI, J. SIITONEN, R. SIEVÄNEN und J. LISKI (2005): Applying the MOTTI simulator to analyse the effects of alternative management schedules on timber and non-timber production. *Forest Ecology and Management* **207**, 5–18.
- KAREIVA, P., S. WATTS, R. McDONALD und T. BOUCHER (2007): Domesticated Nature: Shaping Landscapes and Ecosystems for Human Welfare. *Science* **316** (5833): 1866–1869.
- KAUFMANN, E. (2000): Prognosis and management scenarios. In: BRASSEL, P., LISCHKE, H. (Eds.), *Swiss National Forest Inventory: Methods and Models of the Second Assessment*. Swiss Federal Research Institute WSL, Birmensdorf, pp. 197–206.
- KIMMINS, J. P., D. MAILLY und B. SEELY (1999): Modelling forest ecosystem net primary production: The hybrid simulation approach used in FORECAST. *Ecological Modelling* **122**, 195–224.
- KIVISTE, A. und M. HORDO (2003): The network of permanent sample plots for forest growth modeling in Estonia. In: MARKEVICA, A., LYPSIK, A., LEEP, R. (Eds.), *Research for Rural development 2003*. International Scientific Conference Proceedings, Jelgava, pp. 174–177.
- KLEINN, C. und M. KÖHL (eds) (1999): Long Term Observations and Research in Forestry. Proceedings Volume., International IUFRO Symposium held in Costa Rica, February 23–27, 1999.
- KNOKE T. (1997): Ökonomische Aspekte der Holzproduktion in ungleichaltrigen Wäldern: einführende Untersuchungen zur Forstbetriebsplanung im Kreuzberger Gemeinewald. *Forstwiss. Centralbl.* **116**: 178–196.
- KNOKE, T. und N. PLUSCZYK (2001): On economic consequences of transformation of a spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) dominated stand from regular into irregular age structure. *Forest Ecology and Management*, **151**, 163–179.
- KNOKE, T. und T. SEIFERT (2008): Integrating selected ecological effects of mixed European beech-Norway spruce stands in bioeconomic modelling. *Ecological Modelling*, **210**, 487–498.
- KOCH, F. (2005): Entwicklung der Waldbaurichtlinien in der DDR. Unveröff. Hausarbeit, Institut f. Waldinventur u. Waldwachstum, Universität Göttingen.
- KRAMER, H. (1988): *Waldwachstumslehre*. Verlag Paul Parey Hamburg und Berlin. 374 S.
- KUEHL, R. O. (1994): *Statistical Principles of Research Design and Analysis*. Duxbury Press, Belmont, California: 686 p.
- LAL, J. B. (1989): *India's Forests: Myth and Reality*. Natraj Publishers, New Delhi, India.
- LANDSBERG, J. J., R. H. WARING und N. C. COOPS (2003): Performance of the forest productivity model 3PG applied to a wide range of forest types. *Forest Ecology and Management* **172**, 199–214.
- LAPPI, J. (1992): JLP: A linear programming package for management planning. The Finnish Forest Research Institute, Research Papers 414.
- LEDERMANN T. (2006): Description of PrognAus for Windows 2.2. In: HASENAUER, H. (Ed.), *Sustainable forest management: growth models for Europe*. Springer, Berlin, pp. 71–78.
- LEE, W. K., K. v. GADOW, D-J. CHUNG und J-L. LEE (2004): Individual tree dbh-growth in *Pinus densiflora* and *Quercus variabilis* mixed stands in central Korea. *Ecological modelling*, **176**: 187–200.
- LEINFELDER, R., CH. SCHWÄGERL, N. MÖLLERS und H. TRISCHLER (2012): Die menschengemachte Erde – Das Anthropozän sprengt die Grenzen von Natur, Kultur und Technik. *Kultur & Technik* 2/2012 (Themenheft Mensch und Natur), S. 12-17, München (Verlag Deutsches Museum).
- LEOPOLD, ALDO (1949): *A Sand County Almanac, and sketches here and there*. Oxford University Press, Inc., 200 Madison Avenue, New York.
- LEXER, M., K. HÖNNINGER, H. SCHEIFINGER, C. MATULLA, N. GROLL, H. KROMP-KOLB, K. SCHADAUER, F. STARLINGER und M. ENGLISCH (2001): *The Sensitivity of the Austrian Forests to Scenarios of Climate Change – A large Scale Risk Assessment*. Wien. Umweltbundesamt Monographien, Band 132.
- LINDNER, M. (2000): Developing adaptive forest management strategies to cope with climate change. *Tree Physiology* **20**: 299–307.
- MÄRELL, A. und E. LEITGEB (2004): *European long-term Research for Sustainable Forestry*. www.enfors.org, Appendix MC4-8a.
- MARSH, E. K. (1957): Some preliminary results from O'Connor's correlated curve trend (CCT) experiments on thinning and spacings and their practical significance. *Commonwealth For. Conf.*, 1957.
- MEYER, B. D. (1995): Natural and quasi-experiments in economics, *Journal of Business and Economic Statistics* **13**: 151–161.
- MONSERUD, R. A. (2002): Large-scale management experiments in the moist maritime forests of the Pacific Northwest. *Landscape and Urban Planning*, Vol **59**, Issue 3: 159–180.
- MOTZ, K., H. STERBA und A. POMMERENING (2010): Sampling measures of tree diversity. *Forest Ecology and Management* **260**: 1985–1996.
- NAGEL, J. und M. Schmidt (2006): The Silvicultural Decision Support System BWINPro. In: HASENAUER, H. (Ed.), *Sustainable forest management: growth models for Europe*. Springer, Berlin, pp. 59–63.
- NAGEL, J., H. SPELLMANN und H. PRETZSCH (2012): Zum Informationspotenzial langfristiger forstlicher Versuchsflächen und periodischer Waldinventuren für die waldbaukundliche Forschung. *Allg. Forst und Jagdzeitung* **183** (5/6): 111–116.
- O'CONNOR, A. J. (1935): *Forest research with special reference to planting distances and thinning*. Govt. Printer, Pretoria.
- O'CONNOR, A. J. (1960): *Thinning research*. J. of the South African For. Assoc. **34**: 65–88.
- OMULE, S. A. Y. (1984): Results from a Correlated Curve Trend Experiment of Spacing and Thinning of Coastal Douglas Fir. *Research Note No. 93*, Province of British Columbia Ministry of Forests; Queen's Printer for British Columbia: 22 S.
- PARADES, G. und J. D. Brodie (1989): Land value and the linkage between stand and forest level analysis. *Land Economics* **65**: 158–166.
- POMMERENING, A. (2006): *Crancod, A Program for the Analysis and Reconstruction of Spatial Forest Structure*. Version 1.3. University of Wales Bangor.
- POMMERENING, A. (2008): *Analysing and modelling spatial woodland structure*. Habilitationsschrift, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, Austria.

- PRETZSCH, H. (2001): Modellierung des Waldwachstum. Parey Buchverlag, Berlin: 341 S.
- PRETZSCH, H. und P. BIBER (2005): A re-evaluation of Reineke's rule and Stand Density Index. *For Sci* **51**: 304–320.
- PRETZSCH, H., P. BIBER, J. DURSKÝ and R. SODTKE (2006): The Individual-Tree-Based Stand Simulator SILVA. *In*: HASENAUER, H. (Ed.), Sustainable forest management: growth models for Europe. Springer, Berlin, pp. 78–84.
- PRETZSCH, H., P. BIBER and J. DURSKÝ (2002): The single tree based stand simulator SILVA. Construction, application and evaluation. *Forest Eco Mngt* **162**: 3–21.
- PRETZSCH, H., 2009: Forest Dynamics, Growth and Yield. Springer: 684 p.
- PUKKALA, T. (ed.) (2002): Multi-objective Forest Planning. Vol 4 der Buchserie Managing Forest Ecosystems, Kluwer Academic Publishers.
- PUKKALA, T. (2008): Integrating Multiple Services in the Numerical Analysis of Landscape Design. *In*: GADOW und PUKKALA, 2008: Designing Green Landscapes. Springer Verlag: 137–168.
- REINEKE, L. H. (1933): Perfecting a Stand Density Index for Even-Aged Forests. *Journal of Agricultural Research*, Vol. **46**, No. 7. Pp 627–638.
- ROSENZWEIG, M. R. and K. I. WOLPIN (2000): Natural “natural experiments” in economics, *Journal of Economic Literature* **38**: 827–874.
- SAYER, J. and B. Campbell (2004): The Science of Sustainable Development. Cambridge University Press.
- SCHMIDT, M., A. KIVISTE und K. v. GADOW (2011): A spatially explicit height–diameter model for Scots pine in Estonia. *European Journal of Forest Research*. Volume **130**, Number 2 (2011), 303–315, DOI: 10.1007/s10342-010-0434-8
- SCHREUDER, H. T. und C. E. THOMAS (1991): Establishing cause-effect relationships using forest survey data. *Forest Science* **37**: 1497–1525.
- SCHRÖDER, J. und K. v. GADOW (1999): Testing a new competition index for maritime pine in North-Western Spain. *Can. J. For. Res.* **29**: 280–283.
- SEIDL, R., M. J. LEXER, D. JÄGER and K. HÖNNINGER (2005): Evaluating the accuracy and generality of a hybrid patch model. *Tree Physiology* **25**, 939–951.
- SEKOT, W. (1999): Neue Kennzahlen für die Forstwirtschaft. *In*: Österreichische Forstzeitung **110** (1999), 3, 5–7.
- SHADISH, W. R., T. D. COOK und D. T. CAMPBELL (2002): Experimental and Quasi-Experimental Designs for Generalized Causal Inference, Houghton-Mifflin, Boston.
- SIMS, A., A. KIVISTE, M. HORDO, D. LAARMAN und K. v. GADOW (2009): Estimating tree survival: a study based on the Estonian Forest Research Plots Network. *Annales Botani Fennici* **46** (4): 336–352.
- SPELLMANN, H. (1996): Waldbau im Wandel. *Forst u. Holz* **51** (1): 3–9.
- STAUPENDAHL, K. (1999): Modelling thinnings based on the ratio of relativ removal rates. *In*: PUKKALA, T. and ERIKÄINEN, K. (eds.): Growth and yield modelling of tree plantations in South and East Africa – Proceedings of the Meeting in Mombasa, Kenya, 12–15 Oct. 1999. The Univ. of Joensuu, Faculty of Forestry Res. Notes **97**: 183–194.
- STAUPENDAHL, K. und J. Puumalainen (1999): Modellierung des Einflusses von Durchforstungen auf die Durchmesserverteilung von gleichaltrigen Fichtenreinbeständen. *Centralbl. ges. Forstw.* **116** (4): 249–262.
- STERBA, H. (1975): Assmann's Theorie der Grundflächenhaltung und die „Competition-Density-Rule“ der Japaner Kira, Ando und Tadaki. *Centralblatt f. d. ges. Forstw.* **92** (1): 46–62.
- STERBA, H. (2002): Forest inventories and growth models to examine management strategies for forests in transition. *Forestry* **75** (4): 411–418.
- SZARO, R. C., C. E. PETERSON und K. v. GADOW (2006): Operational Experiments for Sustainably Managing Forests. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.*, **177**, Jg., 6/7: 98–104.
- TEWARI, V. P. und K. v. GADOW (2012): Forest Observational Studies in India – History and Future Prospects. Proceedings der Konferenz Forest Observational Studies, am 20./21. September 2012 in Beijing: 21 S.
- VAN LAAR, A. (1982): The response of *Pinus radiata* to initial spacing. *South African For. J.* **121**: 52–63.
- WEHENKEL, C., J. J. Corral-Rivas, J. C. HERNANDEZ-DIAZ und K. v. GADOW (2011): Estimating balanced structure areas in multi-species forests on the Sierra Madre Occidental, Mexico. *Annals of Forest Science* **68**: 385–394.
- WEST, G. B., J. H. BROWN und B. J. ENQUIST (1997): A general model for the origin of allometric scaling laws in biology. *Science* **276**: 122–126.
- WEST, G. B., J. H. BROWN und B. J. ENQUIST (1999): A general model for the structure and allometry of plant vascular systems. *Nature* **400**: 664–66.
- ZALASIEWICZ, J. et al. (2008): Are we now living in the Anthropocene? *In*: GSA Today. Vol. **18**, Nr. 2, Februar 2008.
- ZHANG, C. Y., X. H. ZHAO und K. v. GADOW (2009): Gender, neighboring competition and habitat effects on the stem growth of dioecious *Fraxinus mandshurica* trees in a northern temperate forest. *Annals of Forest Science* **66**: 812–821.
- ZHANG, C. Y., X. H. ZHAO und K. v. GADOW (2010a): Partitioning temperate plant community structure at different scales. *Acta Oecologica* **36** (2010) 306–313.
- ZHANG, C. Y., X. H. ZHAO, L. GAO und K. v. GADOW (2010b): Gender-related distributions of *Fraxinus mandshurica* in secondary and old-growth forests. *Acta Oecologica* **36** (2010) 55–62.
- ZHAO X. H., C. Y. ZHANG und K. v. GADOW (2012): Forest Observational Networks. Proceedings of the IUFRO-EFI-ICFFI Conference “Ecosystem Design for Multiple Services-with an emphasis on Eurasian Boreal Forests”, St. Petersburg Forest Technical University, St. Petersburg/Russia (9–11 November, 2011): p. 34–47.
- ZUCCHINI, W. und K. v. GADOW (1995): Two indices of agreement among foresters selecting trees for thinning. *Forest and Landscape Research*, Kopenhagen.