

ALLGEMEINE FORST UND JAGDZEITUNG

ISSN 0002-5852

INHALTSVERZEICHNIS

AUFSATZE

- | | | |
|--|--|-----|
| B. Metzler und
E. Kublin | Langzeitwirkung von Stubbenbehandlungen auf das Stockfäulerisiko in Fichten-Erstaufforstungen
(Long term effect of stump treatments on incidence of butt rot in Norway spruce) | 81 |
| K. Földner und
T. Spork | Entwicklungserfolg von Nonne (<i>Lymantria monacha</i> Linnaeus, 1758: Lepidoptera, Lymantriidae) an Douglasie (<i>Pseudotsuga menziesii</i>), Fichte (<i>Picea abies</i>) und Kiefer (<i>Pinus sylvestris</i>) unter Laborbedingungen
(Development of the nun moth (<i>Lymantria monacha</i> Linnaeus, 1758: Lepidoptera, Lymantriidae) on Douglas fir (<i>Pseudotsuga menziesii</i>), spruce (<i>Picea abies</i>) and pine (<i>Pinus sylvestris</i>) under controlled conditions) | 84 |
| H. Pretzsch | Diversität und Produktivität von Wäldern
(Diversity and Productivity of Forests) | 88 |
| C. T. Bues | Hagelschäden an Fichten (<i>Picea abies</i> [L.] KARST) im Dickungsalter und Vorschläge für eine mögliche waldbauliche Behandlung
(Hail damage to Norway spruce (<i>Picea abies</i> [L.] KARST.) at thicket stage and proposals for a possible silvicultural treatment) | 98 |
| G. Y. Hui, M. Albert
und B. W. Chen | Reproduktion der Baumverteilung im Bestand unter Verwendung des Strukturparameters Winkelmaß
(Reproduction of the spatial distribution of trees using the structural parameter uniform angle index [Winkelmaß]) | 109 |

174. JAHRGANG 2003 HEFT 5/6 MAI/JUNI

J. D. SAUERLANDER'S VERLAG · FRANKFURT AM MAIN

ALLGEMEINE FORST UND JAGDZEITUNG

Unter Mitwirkung der
Mitglieder der Lehrkörper der Forstlichen Fakultäten
von Freiburg i. Br. und Göttingen

herausgegeben von

Dr. K.-R. Volz
o. Professor
der Forstwissenschaft an der
Universität Freiburg i. Br.

Dr. Dr. h.c. H. Kramer
o. Professor
der Forstwissenschaft an der
Universität Göttingen

ISSN 0002-5852

Erscheinungsweise: Jährlich 12 Hefte, bei Bedarf Doppelhefte (zweimonatlich).

Bezugspreis: Jährlich € 132,- zuzüglich Zustellgebühr; Studenten und in Ausbildung befindliche Forstreferendare € 105,60 (empfl. Richtpreis). Preis der Einzelhefte je nach Umfang verschieden.

Bezug: Durch den Buchhandel oder direkt vom Verlag. Das Abonnement gilt jeweils für einen Jahrgang. Es läuft weiter, wenn nicht unmittelbar nach Lieferung des Schlussheftes eines Jahrgangs eine Abbestellung erfolgt.

Manuskripte (es werden nur Erstarbeiten veröffentlicht) sind nach vorheriger Anfrage an die Herausgeber einzusenden. Für unverlangt eingegangene Manuskripte wird keine Gewähr übernommen. Rücksendung erfolgt nur, wenn Rückporto beiliegt.

Entsprechend dem international weit verbreiteten Review-Verfahren wird jeder Beitrag von zwei Fachgutachtern (vor allem Mitglieder der Lehrkörper der Forstlichen Fakultäten der Universitäten in Freiburg i. Br. und Göttingen) hinsichtlich Inhalt und Form geprüft.

Die Manuskripte sind möglichst auf Diskette und in dreifacher Ausfertigung einzureichen. Sie sollten 3 bis 4 (maximal 6 Druckseiten) umfassen. Hierbei entspricht eine Druckseite ungefähr 4 Schreibmaschinenseiten mit 30 Zeilen und 65 Anschlägen je Zeile. Neben einem möglichst kurz gehaltenen Titel der Arbeit sind bis zu maximal 10 Schlagwörter und key words anzugeben. Manuskripte mit Tabellen und Abbildungen werden nur angenommen, wenn die Tabellen-Überschriften und die Abbildungsunterschriften in deutscher und englischer Sprache abgefasst sind. Der Beitrag soll neben einer deutschen Zusammenfassung eine Zusammenfassung in englischer Sprache (Summary mit Title of the paper) enthalten. Die Übersetzung ins Französische (Résumé) erfolgt i. Allg. durch den Verlag.

Um unnötige Korrespondenz zu vermeiden, werden die Autoren gebeten, bei Abfassung ihres Manuskriptes eine neuere Ausgabe der Allgemeinen Forst- und Jagdzeitung sowie die beim Verlag und bei den Herausgebern erhältlichen „Hinweise für die Autoren“ zu beachten.

Die in dieser Zeitschrift veröffentlichten Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Übersetzung, Nachdruck – auch von Abbildungen –, Vervielfältigung auf photomechanischem oder ähnlichem Wege oder im Magnettonverfahren, Vortrag, Funk- und Fernsendung sowie Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen – auch auszugsweise – bleiben vorbehalten. Werden von einzelnen Bei-

trägen oder Teilen von ihnen einzelne Vervielfältigungsstücke im Rahmen des § 54 UrhG hergestellt und dienen diese gewerblichen Zwecken, ist dafür eine Vergütung gem. den gleichlautenden Gesamtverträgen zwischen der Verwertungsgesellschaft Wort, Abt. Wissenschaft, Goethestr. 49, 80336 München und dem Bundesverband der Deutschen Industrie e. V., dem Gesamtverband der Versicherungswirtschaft e. V., dem Bundesverband deutscher Banken e. V., dem Deutschen Sparkassen- und Giroverband und dem Verband der Privaten Bausparkassen e. V., in die VG Wissenschaft zu entrichten. Die Vervielfältigungen sind mit einem Vermerk über die Quelle und den Vervielfältiger zu versehen. Erfolgt die Entrichtung der Gebühren durch Wertmarken der VG Wissenschaft, so ist für jedes vervielfältigte Blatt eine Marke im Wert von € 0,20 zu verwenden.

Anzeigenannahme: J. D. Sauerländer's Verlag, Finkenhofstraße 21, D-60322 Frankfurt am Main.

Anzeigenpreis: Die 43 mm breite mm-Zeile € 0,44. Für Geschäftsanzeigen gilt die Preisliste Nr. 8. Anfragen an Verlag erbeten.

Verlag: J. D. Sauerländer's Verlag, Finkenhofstraße 21, D-60322 Frankfurt am Main, Fernruf (069) 55 52 17, Telefax (069) 5 96 43 44. eMail: J.D.Sauerlaenders.Verlag@t-online.de *Bankkonten:* Commerzbank, Frankfurt a. M. 5 408 075; Frankfurter Sparkasse (Girokonto 96 958); Postgirokonto: Frankfurt a. M. Nr. 896-607.

This journal is covered by ELFIS, EURECO, CAB Forestry Abstracts, Chemical Abstracts, by Current Contents Series Agriculture, Biology and Environmental Sciences (CC/AB) and by the Science Citation Index® (SCI®) of Institute for Scientific Information.

Die Anschriften der Herausgeber:

Prof. Dr. K.-R. VOLZ, Institut für Forstpolitik der Universität Freiburg, Tennenbacher Str. 4, D-79106 Freiburg

Prof. Dr. Dr. h. c. H. KRAMER, Institut für Waldinventur und Waldwachstum der Universität Göttingen, Büsgenweg 5, D-37077 Göttingen

Die Anschriften der Mitarbeiter von Heft 5–6 des 174. Jahrgangs:

Dr. MATTHIAS ALBERT, Universität Göttingen, Institut für Waldinventur und Waldwachstum, Büsgenweg 5, D-37077 Göttingen

Prof. Dr. Dr. habil. CLAUS-THOMAS BUES, Technische Universität Dresden, FR Forstwissenschaften, Postfach 1117, D-01735 Tharandt

Dr. BOWANG CHEN, Universität Göttingen, Institut für Waldinventur und Waldwachstum, Büsgenweg 5, D-37077 Göttingen

Dr. KAI FÜLDNER, Universität Göttingen, Institut für Forstzoologie und Waldschutz, Büsgenweg 5, D-37077 Göttingen

Prof. Dr. GANGYING HUI, Universität Göttingen, Institut für Waldinventur und Waldwachstum, Büsgenweg 5, D-37077 Göttingen

ORR Dipl. Math. Dr. EDGAR KUBLIN, FVA Baden-Württemberg, Abt. Biometrie und Informatik, Postfach 708, D-79007 Freiburg

Dipl. Biol. Dr. BERTHOLD METZLER, Sachgebiet Forstpathologie, FVA Baden-Württemberg, Abt. Waldschutz, Postfach 708, D-79007 Freiburg

Prof. Dr. HANS PRETZSCH, Technische Universität München, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Department für Ökosystem- und Landschaftsmanagement, Am Hochanger 13, D-85354 Freising

THOMAS SPORK, Universität Göttingen, Institut für Forstzoologie und Waldschutz, Büsgenweg 5, D-37077 Göttingen

Übersetzung der Résumés,

soweit sie nicht von den Autoren zur Verfügung gestellt werden:
J. MAHEUT, 25 Av. du Gal Leclerc, F-54600 Villers-les-Nancy



Aufsätze der Allgem. Forst- und Jagdzeitung seit 1949 in einem exklusiven Recherche-Modul auf dieser CD von EURECO: 26.279 Publikationen, 930.000 Keywords, zweisprachige Recherche Deutsch-Englisch, virtuelle Bibliothek, Ausdrücke und Datenport in Profiversion; ab 69,- DM. aid, Konstantinstraße 124, Stichwort 'ÖKOWALD', D-53179 Bonn
<http://www.fh-rottenburg.de/greenlink/oekowald/index.html>

Langzeitwirkung von Stubbenbehandlungen auf das Stockfäulerisiko in Fichten-Erstaufforstungen

Aus der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

(Mit 2 Tabellen)

Von B. METZLER¹⁾ und E. KUBLIN²⁾

(Angenommen Oktober 2002)

SCHLAGWORTER – KEY WORDS

Picea abies; *Heterobasidion annosum*; Fichte, Wurzelschwamm; Stockfäule; Stockbehandlung; Pflanzenschutz; Erstaufforstung; Durchforstung.

Picea abies; *Heterobasidion annosum*; Norway spruce; Fomes root and butt rot; stump treatment; afforestation; thinning.

EINLEITUNG

Die Stockfäule der Fichte wird überwiegend durch den Wurzelschwamm *Heterobasidion annosum* verursacht, in geringerem Maß auch durch den Hallimasch (*Armillaria sp.*), sehr selten durch andere Pilzarten (GRABER, 1994; SCHÖNHAR, 1994, 1996). *H. annosum* führt zu einer stark verminderten Standfestigkeit der Bäume, zusätzlich entwertet er wesentlich stärker als die anderen Erreger die Stämme bis zu einer Höhe von mehreren Metern. *H. annosum* gilt in Deutschland als die forstökonomisch bedeutendste Krankheit der Fichte. Für Deutschland werden die jährlichen finanziellen Verluste durch *H. annosum* an Fichte grob auf 56 Mio. Euro geschätzt (DIMITRI und TOMICZEK, 1998). GRABER (1994) beziffert den Schaden durch Stockfäule in der Schweiz auf bis zu 25.000 SFr /ha während einer Umtriebszeit.

Der Befall der Bäume durch *H. annosum* kann in geringem Maß durch Stammwunden wie Schäl- oder Rückeschäden erfolgen, weitaus bedeutender ist jedoch der Infektionsweg über Wurzelkontakte (RISHBETH, 1950; SCHÖNHAR, 1976). Bei zunächst unbefallenen Erstaufforstungen findet der Pilz seinen Weg mit Hilfe von Sporeneninfektion auf frischen Stubben der ersten Durchforstungen und von dort über Wurzelkontakte zu den noch stehenden Nachbarbäumen. Ein Ansatz für Bekämpfungsmaßnahmen stellen deshalb die frischen Stubben dar, die bei Fichte innerhalb etwa vier Wochen nach Fällung der Bäume für *H. annosum*-Sporen infizierbar sind (SCHÖNHAR, 1979). Wenn *H. annosum* sich bereits in einem Wurzelsystem befindet, sind kurative Maßnahmen nicht mehr möglich. Die Ausbreitung im Bestand ist dann schwer zu beeinflussen. Als sinnvoll hat sich deshalb die Prävention in noch unbefallenen Erstaufforstungen erwiesen. In mehreren europäischen Ländern, besonders in Skandinavien und Großbritannien, sowie in Nordamerika werden Koniferenstubben nach Eingriffen in Erstaufforstungen routinemäßig chemisch oder biologisch behandelt (PRATT und JOHANSSON, 1998).

In Baden-Württemberg sind reine Fichten-Erstaufforstungen in den letzten 30 Jahren fast ausschließlich im Privat- und Kommunalwald angelegt worden. Präventive Bekämpfungsmaßnahmen (Anonymus, 1987) wurden dabei nur in wenigen Fällen angewandt.

Wirkungsuntersuchungen nach Stockbehandlungen werden meist an den behandelten Stubben innerhalb von 6 bis 12 Monaten durchgeführt. Untersuchungen am verbleibenden Bestand sind jedoch aussagekräftiger (SCHÖNHAR, 1988, VOLLBRECHT und JOERGENSEN, 1995). Um entsprechende Erfahrungen zu erweitern wurden Fich-

tenbestände mit Stockbehandlungen etwa 12 Jahre nach ihren Erstdurchforstungen untersucht.

MATERIAL UND METHODEN

Die Probeflächen

Die Probeflächen liegen auf flachgründigem Kalkverwitterungslehm oder auf Hang-Terra fusca in einer Höhenlage von ca. 700 m N.N. im Forstbezirk Gammertingen/Schwäbische Alb. Die Vornutzung war landwirtschaftlich als Schafweide, Wiese oder Acker. In den 80er Jahren waren hier zahlreiche, damals ca. 8 bis 15-jährige Fichten-Erstaufforstungsflächen im Kommunal- und Kleinprivatwald erstmalig durchforstet worden. Auf einem Teil der Flächen waren die Stöcke unmittelbar danach mit einer wässrigen 10%-igen Natrium-Nitrit-Lösung mit dem Pinsel nass gestrichen worden (SCHÖNHAR, 1977; Anonymus, 1987). Für die Untersuchung wurden sieben so behandelte Flächen (Tab. 1) von jeweils ca. 0,5 bis 1,5 ha Größe sowie gleich viele benachbarte unbehandelte Vergleichsflächen (Tab. 2) ausgewählt, die hinsichtlich Vornutzung, Pflanzverband sowie in Eingriffzeitpunkt und -stärke möglichst ähnlich waren.

Tab. 1

Auftreten von Wurzelschwamm und Stockfäule in Flächen mit Natrium-Nitrit behandelten Stöcken
Incidence of *Heterobasidion annosum* and butt rot on plots with stumps treated with sodium nitrite

Behandelte Flächen					
Fläche	Jahre seit Erstein-griff	n untersuchte Stöcke	davon mit Stockfäule	davon mit <i>H. annosum</i> Nachweis	Σ verfärbte/faule Stamm-länge (m)
A	16	50	12	6	6,5
C	11	50	1	0	0,2
F	10	50	1	1	1,0
Q	9	50	0	0	0,0
H	10	50	1	0	1,0
L	14	50	0	0	0,0
M	6	50	3	3	3,1
Summe		350	18	10	11,8
Mittelwert	10,9		2,6	1,4	0,03
%			5,1	2,9	
Abweichung gegenüber unbehandelt			-56%	-71%	-83%

¹⁾ Abt. Waldschutz, email: berthold.metzler@forst.bwl.de

²⁾ Abt. Biometrie und Informatik, Wonnhaldestr. 4, D-79100 Freiburg

Tab. 2
**Auftreten von Wurzelschwamm und Stockfäule in
 unbehandelten Flächen**
**Incidence of *Heterobasidion annosum* and butt rot on
 untreated plots**

Unbehandelte Flächen					
Fläche	Jahre seit Erstein- griff	n untersuchte Stöcke	davon mit Stockfäule	davon mit <i>H. annosum</i> Nachweis	verfärbte/ faule Stamm- länge (m)
B	16	50	20	15	33,5
D	15	50	0	0	0,0
E	8	50	0	0	0,0
G	9	50	2	2	2,0
J	11	50	4	3	9,0
K	13	50	1	0	7,0
N	16	50	14	14	19,0
Summe		350	41	34	70,5
Mittel- wert	12,6		5,9	4,9	0,20
%			11,7	9,7	

Probennahme und Boniturkriterien

Die Proben wurden im Zuge einer weiteren Durchforstung im Frühjahr 1996, durchschnittlich etwa 12 Jahre nach der Erstdurchforstung, entnommen. Aus jeder behandelten und unbehandelten Fläche wurden je 50 frische Stöcke, also insgesamt 700, zufällig ausgewählt und auf Rotfäule untersucht. Die Entfernung zum nächsten Stock aus dem vorhergehenden Eingriff war im Durchschnitt bei den behandelten Flächen 1,4 m, bei den unbehandelten 1,7 m. Der durchschnittliche Stockdurchmesser der entnommenen Bäume auf den behandelten Flächen war 15,9 cm, auf den unbehandelten Flächen 14,6 cm.

Stämme mit einer Stockfäule wurden gesundeschnitten und die Länge des faulen oder verfärbten Erdstammstückes gemessen. In Fläche N (Tab. 2) wurde wegen der teilweise sehr hoch reichenden Verfärbungen die betroffene Stammlänge vorsichtig geschätzt. Von Stöcken mit Befallssymptomen (Verfärbungen oder Fäulen) wurden ca. 4 cm dicke Stammscheiben entnommen. Jeweils eine Hälfte davon wurde im Labor in feuchtes Zeitungspapier gewickelt und für etwa eine Woche bei Raumtemperatur bebrütet (SCHÖNHAR, 1971). Anschließend wurden im Stereomikroskop die auswachsenden Mycelien auf die typischen Konidienträger bzw. Mycelstrukturen untersucht, um die verursachende Pilzart zu bestimmen. Aus der anderen Hälfte der Scheibe wurden unter sterilen Bedingungen jeweils vier Einzelproben (je ca. 20 mm³) auf SNA-Agar-Nährmedium ausgelegt, um die auswachsenden Pilze zu bestimmen (METZLER et al., 1993; METZLER, 1997). Wenn sich *H. annosum* mindestens nach einer Methode eindeutig nachweisen ließ, wurde der Stockbefall entsprechend gewertet. Holzverfärbungen oder Fäulen, die eindeutig auf Verletzungen wie Schälsschäden oder auf Zwiesel zurückzuführen waren, wurden separat erfasst.

Zur Beurteilung der Wirksamkeit der chemischen Stubbenbehandlung mit Natrium-Nitrit wurden das an den Stöcken erfasste Befallssymptom Stockfäule, sowie der jeweilige Nachweis von *H.*

annosum als binäre Variable kodiert (Y=1 für befallene und Y=0 für unbefallene Stöcke) und als unabhängige Stichprobe aus einer binomialverteilten Grundgesamtheit mit der Befallswahrscheinlichkeit π aufgefasst. Die Befallswahrscheinlichkeit auf den behandelten Flächen π_B lässt sich dann über die beobachtete Befallshäufigkeit $p_B = n_B/N_B$ unverzerrt schätzen. Hierbei ist N_B die Anzahl der untersuchten Stöcke auf den Flächen mit einer Natrium-Nitrit Behandlung, wovon $n_B = \sum_B \sum_j Y_j$ Befallssymptome aufweisen. Entsprechend ist $p_U = n_U/N_U$ eine Schätzung für die Befallswahrscheinlichkeit auf den unbehandelten Flächen π_U . Mit der Stichprobenvarianz $s_d^2 = p_B(1-p_B)/(N_B-1) + p_U(1-p_U)/(N_U-1)$ für die Differenz $d = p_B - p_U$ und dem 100(1- α)/2 Perzentil der Standard-Normalverteilung $z_{\alpha/2}$ ergibt sich ein 100 (1- α) Prozent Vertrauensintervall für $\phi = \pi_B - \pi_U$ gemäß VB(ϕ ;1- α) = $d \pm [z_{\alpha/2} s_d + (1/N_B + 1/N_U)/2]$ (STOKES et al., 1995). Die Befallswahrscheinlichkeiten π_B und π_U unterscheiden sich signifikant, wenn der Vertrauensbereich VB(ϕ ;1- α) den Wert Null nicht mit einschließt.

Der statistische Vergleich der verfärbten Stammlängen auf den behandelten bzw. unbehandelten Flächen erfolgt auf der Basis des Wilcoxon-Rangsummentest für unabhängige Stichproben. Dieser ist dem klassischen t-Test vorzuziehen, weil er keine Normalverteilung der Messgrößen voraussetzt. Darüber hinaus ist der Wilcoxon-Rangsummentest bei normalverteilten Messwerten bei der Aufdeckung von statistisch signifikanten Unterschieden fast genau so effizient wie der entsprechende t-Test (BÜNING und TRENKLER, 1994).

ERGEBNISSE

Auf den unbehandelten Flächen wurden an 41 Bäumen, also an 11,7% eine Stockfäule festgestellt (Tab. 2). An 34 davon ließ sich *Heterobasidion annosum* eindeutig nachweisen. Die Flächen B und N waren besonders stark mit Stockfäule befallen. Die für alle 350 Bäume aufsummierte faule oder verfärbte Stammlänge lag bei 70,5 m, im Durchschnitt der 41 betroffenen Bäume bei 1,7 m.

Auf den mit Natrium-Nitrit behandelten Flächen waren nur 18 der 350 Bäume, d. h. nur 5,1% und damit deutlich weniger von Stockfäulen betroffen (Tab. 1). An 10 der 350 Stämme (2,9%) ließ sich *H. annosum* identifizieren. Die Fäule bzw. Verfärbung reichte bei den 18 betroffenen Bäumen der behandelten Flächen durchschnittlich 65 cm in den Stamm. Aus je einem verfärbten Stock in den Fläche A und H und wurde *Resinicium bicolor* bzw. eine Hallimasch-Art als Verursacher isoliert. Jeweils in zwei Parzellen des behandelten und des unbehandelten Kollektivs waren alle Bäume ganz frei von Verfärbungen oder Fäulen.

Verfärbungen, die eindeutig von Stammverletzungen (Rücke- oder Schälsschäden) oder von Zwieselrissen herrührten, sind nicht als Stockfäulen mitgezählt. Dies war an zwei Bäumen der behandelten Flächen und an drei Bäumen der unbehandelten Flächen der Fall. Hier konnte der Rotstreiferreger *Stereum sanguinolentum* als Verursacher der Verfärbung isoliert werden.

Insgesamt lässt sich auf den behandelten Flächen ein deutlich niedrigerer Fäulebefall feststellen: 56% weniger Bäume mit Stockfäule oder -verfärbungen sowie 71% weniger Bäume mit *H. annosum*-Nachweis) und 83% weniger faule oder verfärbte Stammlänge. Für alle drei Parameter konnten mit den beschriebenen Verfahren signifikante Unterschiede ($\alpha = 0.05$) zwischen den behandelten und unbehandelten Flächen nachgewiesen werden.

DISKUSSION

Durch die Stubbenbehandlung mit Natrium-Nitrit bei der ersten Durchforstung konnte der Befall durch *Heterobasidion annosum* etwa 12 Jahre später im verbleibenden Bestand von 9,7% auf 2,9% der Stammzahl gesenkt werden. Anders ausgedrückt heißt

dies, dass der Befall im behandelten Kollektiv um 71 % gegenüber dem unbehandelten Kollektiv gesenkt wurde. Auf der Datenbasis von etwa 600 Durchforstungen haben VOLLBRECHT und JOERGENSEN (1995) errechnet, dass gegenüber unbehandelten Beständen die Stockbehandlung mit 20 % Harnstoff die jährliche Ausbreitung von Stockfäule auf etwa ein Drittel, die mit Natrium-Nitrit auf etwa die Hälfte reduzierte. Das Ergebnis ist insofern besonders interessant, weil das Untersuchungsmaterial aller Behandlungsvarianten unterschiedliche Standorte, Nutzungsgeschichte und Ausgangsbefall und nicht nur Erstaufforstungen beinhaltete.

Das Fehlen des Nachweises von *H. annosum* in insgesamt 11 von 59 Bäumen mit Stockfäule ist dadurch zu erklären, dass *H. annosum* (wie auch andere Fäulepilze) nicht an allen sichtbaren Fäulnisstellen gleichermaßen aktiv ist (HOLDENRIEDER und BAUMANN, 1994). Dies zeigt sich auch an den incubierten Stammscheiben, wo oft nur an kleinen Stellen das entsprechende Mycel auswächst, während in größeren Fäulnisbereichen keine aktiven Erreger mehr nachweisbar sind.

Als Einflussfaktoren auf die Streuung der Befallsintensität innerhalb der Versuchsvarianten kommen in Betracht: a) Die Witterungsabhängigkeit des Sporenflugs von *H. annosum* zum Zeitpunkt der Durchforstungen (YDE-ANDERSEN, 1962; SYLVESTRE-GUINOT und DELATOUR, 1978). b) Befallsherde in Baumgruppen aus der Vornutzung. c) Übertragungsmöglichkeit über Wurzelkontakte in Abhängigkeit vom lokalen Pflanzverband. – SCHÖNHAR (1997) empfiehlt einen Pflanzverband von mindestens 2 x 1,5 m, um die Übertragung der Krankheit über Wurzelkontakte zu reduzieren.

Unsere Untersuchung zeigt exemplarisch die Wirksamkeit einer Stubbenbehandlung. Allerdings kann Natrium-Nitrit heute nicht mehr in der Praxis eingesetzt werden. Diese Verbindung würde für die Anwendung in der Forstpraxis eine amtliche Zulassung als Pflanzenschutzmittel gemäß Pflanzenschutzgesetz benötigen. Diese Verbindung ist zumindest in der Ausgangskonzentration warmlütertotoxisch und stellt damit ein Risiko für den Anwender und für Wildtiere dar. Die in der Lebensmittelindustrie eingesetzten Konzentrationen liegen etwa um den Faktor 1000 niedriger.

Alternative Mittel, insbesondere Harnstoff und der Antagonist *Phlebiopsis gigantea* (Fr.) Jülich (synonym: *Peniophora gigantea* (Fr.) Masee) werden in anderen europäischen Ländern, vor allem in Skandinavien und Großbritannien in großem Umfang mit speziellen Zusatzaggregaten beim Harvestereinsatz in der Holzernte ausgebracht (PRATT und JOHANSSON, 1998; THOR, 2001). Eine Verwendung ist auch bei uns unter den gegenwärtigen gesetzlichen Bedingungen als Düngemittel bzw. nach § 6a des Pflanzenschutzgesetzes zulässig. Als weiteres Mittel ist die Bor-Verbindung DOT im Gespräch, die jedoch als Fungizid amtlich zugelassen werden müsste (PRATT, 1996).

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die vorliegende Untersuchung unterstützt die Erkenntnis, dass fachgerecht durchgeführte Stubbenbehandlungen hohe Erfolgsaussichten zur Verhinderung der Stubbenfäule des verbleibenden Bestandes haben. Die gesetzliche Bestimmungen des Pflanzenschutzgesetzes sowie Anwendungsbeschränkungen in Wasserschutzgebieten müssen eingehalten werden.

ZUSAMMENFASSUNG

In Privat- und Kommunalwäldern im Bereich der Schwäbischen Alb (Baden-Württemberg) wurden Fichten-Erstaufforstungen auf Befall durch den Rotfäuleerreger *Heterobasidion annosum* untersucht. Ziel war es, die Wirkung von etwa 12 Jahre zurück liegenden chemischen Stubbenbehandlungen mit Natrium-Nitrit auf den verbleibenden Bestand zu ermitteln. Anhand von insgesamt 700 unter-

suchten Bäumen zeigte sich, dass auf den behandelten Flächen der Befall der Bäume mit *H. annosum* gegenüber den unbehandelten Flächen um 71 % geringer war.

Das damals verwendete Mittel kann aufgrund seiner Toxizität unter den heutigen Bedingungen nicht mehr verwendet werden. Die Verwendung von alternativen biologischen oder chemischen Mitteln (*Phlebiopsis gigantea* bzw. Harnstoff) wird diskutiert.

Summary

Title of the paper: *Long term effect of stump treatments on incidence of butt rot in Norway spruce.*

First rotation stands of Norway spruce in private and public forests in the Swabian Alb region (Baden-Wuerttemberg/Germany) were monitored for *Heterobasidion annosum* butt rot. Seven stands treated with sodium nitrite and the same number of untreated ones were monitored for butt rot during a second thinning campaign, c. 12 years after first thinnings. The total of 700 trees showed, that butt rot incidence in treated stands was by 71% lower than in untreated stands (Tab. 1).

Because of its toxicity and lack of approval, sodium nitrite must no longer be used for butt treatment. Alternative biological and chemical substances like the antagonistic fungus *Phlebiopsis gigantea* resp. the fertilizer urea are discussed.

Résumé

Titre de l'article: *Effets à long terme des traitements des souches sur les risques de pourriture dans des plantations initiales d'épicéas.*

Dans des forêts privées et des forêts communales du Jura Souabe (Bade-Wurtemberg) on a étudié, dans des plantations initiales d'épicéas, quels étaient les dégâts dus à l'agent de pourriture *Heterobasidion annosum*. Le but était d'évaluer l'effet des traitements chimiques de souches avec du nitrite de sodium pratiqués il y a environ 12 ans.

A partir des 700 arbres étudiés on a montré que le nombre d'arbres atteints par *H. annosum* dans les parcelles traitées était de 71% inférieur à celui des parcelles non traitées (Tab. 1). Le produit qui avait été alors utilisé ne peut plus l'être aujourd'hui en raison de sa toxicité. L'emploi de moyens de substitution biologiques ou chimiques a été discuté (*Phlebiopsis gigantea* ainsi que une solution aqueuse d'urée).

Danksagung

Für die Auswahl und Bereitstellung der Flächen, sowie für wertvolle Anregungen bedanken wir uns besonders bei Herrn Forstdirektor SCHAM und den beiden Revierleitern WOLF und ZIMMERMANN vom Forstamt Gammertingen. Dank gebührt auch Herrn Forstwirtschaftsmeister DICK/FVA für die tatkräftige Unterstützung bei der Stubbenbonitur, Frau GUDRUN SEIFFERT/FVA für die Mitwirkung bei den Laborarbeiten, sowie Herrn DR. FILLBRANDT/FVA für wertvolle Diskussionen und Hinweise bei der Erstellung des Manuskripts.

Literatur

- Anonymus: Bekämpfung der durch *Fomes annosus* verursachten Rotfäule in Fichtenbeständen. Merkblatt der FVA Baden-Württemberg, Freiburg Nr. 16 (2. Aufl), 1987
- BÜNING, H., Trenkler, G.: Nichtparametrische statistische Methoden. Berlin, New York: de Gruyter, 2. Aufl. 485 S., 1994
- DIMITRI, L. und TOMICZEK, C.: Germany and Austria. In Woodward et al. Eds: *Heterobasidion annosum*-Biology, Ecology, Impact and Control. CAB Int. p. 355–68, 1998
- GRABER, D.: Die Fichtenkernfäule in der Nordschweiz: Schadensausmass, ökologische Zusammenhänge und waldbauliche Massnahmen. Schweiz. Z. Forstwesen 145: 905–926, 1994

- HOLDENRIEDER, O., BAUMANN, E. und SCHMID-HAAS, P.: Isolation of decay fungi from increment cores: frustrating experience from Switzerland. IUFRO Conf. Root and Butt Rots 1993. Uppsala.: 577–581, 1994
- METZLER, B.: Quantitative assessment of fungal colonization in Norway spruce after green pruning. Eur. J. Forest Pathol. **27**: 1–11, 1997
- METZLER, B., GROSS, M. und MAHLER, G.: Pilzentwicklung in Fichtenholz unter Schutzgasatmosphäre. Eur. J. Forest Pathol. **23**: 281–289, 1993
- PRATT, J. E.: Borates for stump protection – A literature review. Forestry Commission Edinburgh Technical paper 15:19 pp., 1996
- PRATT, J. E. und JOHANSSON, M.: Chemical control of *Heterobasidion annosum*. in WOODWARD, S. et al. eds: *Heterobasidion annosum*: Biology, Ecology, Impact and Control, CAB International Wallingford: 259–282, 1998
- RISHBETH, J.: Observations on the biology of *Fomes annosus*, with particular reference to East Anglian Pine Plantations. Ann. Bot. **14**, 55: 365–383, 1950
- SCHÖNHAR, S.: Untersuchungen über die Ausbreitung von *Fomes annosus* in Fichtenbeständen 1. Generation auf ehemaligen landwirtschaftlichen Nutzflächen. Mitt. Verein Forstl. Standortsk. und Forstpflanzenzüchtung **20**: 3–8, 1971
- SCHÖNHAR, S.: Versuche zur Bekämpfung der durch *Fomes annosus* verursachten Rotfäule in Fichten-Erstaufforstungen durch eine chemische Stockbehandlung. AFJZ **147**: 109–111, 1976
- SCHÖNHAR, S.: Erprobung von Chemikalien zur Verhütung einer Infektion frischer Fichtenstöcke durch *Fomes annosus*. AFJZ **148**: 181–182, 1977
- SCHÖNHAR, S.: Über die Anfälligkeitsdauer frischer Schnittflächen von Fichtenstubben gegen eine Infektion durch *Fomes annosus*-Sporen. AFJZ **150**: 162–163, 1979
- SCHÖNHAR, S.: Zur Bekämpfung von *Heterobasidion annosum* in Fichten-Erstaufforstungen. Forst und Holz **43**: 209–210, 1988
- SCHÖNHAR, S.: Der Hallimasch (*Armillaria*) als Kernfäuleerreger in Fichtenbeständen der Schwäbischen Alb. AFJZ **165**: 132–136, 1994
- SCHÖNHAR, S.: *Resinicium bicolor* als Kernfäuleerreger in Fichtenbeständen auf basenreichen Böden. AFJZ **167**: 86–88, 1996
- SCHÖNHAR, S.: *Heterobasidion annosum* in Fichtenbeständen auf basenreichen Böden Südwestdeutschlands – Ergebnisse 30jähriger Untersuchungen –. AFJZ **168**: 26–30, 1997
- STOKES, M. E., DAVIS, CH. S. and KOCH, G. G.: Categorical Data Analysis Using the SAS System. Cary, NC: SAS Institute Inc., 499 S., 1995
- SYLVESTRE-GUINOT, G. und DELATOUR, C.: Recherches sur les variations saisonnières de l'inoculum aérien du *Fomes annosus* (Fr.) Cooke dans l'est de la France. Ann. Sci. Forest. **35**: 151–163, 1978
- THOR, M.: Operational stump treatment against *Heterobasidion annosum* in European Forestry – Current situation. Vortrag bei IUFRO-Tagung "Root and Butt Rot" in Quebec, Canada 9/2001
- VOLLBRECHT, G. und JOERGENSEN, B. B.: The effect of stump treatment on the spread rate of butt rot in *Picea abies* in Danish permanent forest yield research plots. Scand. J. Forest Res. **10**: 271–277, 1995
- YDE-ANDERSEN, A.: Seasonal incidence of stump infection in Norway Spruce by air-borne *Fomes annosus* spores. Forest Science **8**: 98–103, 1962

Entwicklungserfolg von Nonne (*Lymantria monacha* Linnaeus, 1758: Lepidoptera, Lymantriidae) an Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*), Fichte (*Picea abies*) und Kiefer (*Pinus sylvestris*) unter Laborbedingungen

Aus dem Institut für Forstzoologie und Waldschutz der Universität Göttingen

(Mit 4 Abbildungen)

Von K. FÜLDNER und T. SPORK

(Angenommen Oktober 2002)

SCHLAGWORTER – KEY WORDS

Nonne; *Lymantria monacha*; *Douglasie*; *Pseudotsuga menziesii*.

Nun moth; *Lymantria monacha*; *douglas fir*; *Pseudotsuga menziesii*.

1. EINLEITUNG

Die Douglasie gilt aufgrund der relativ bescheidenen Nährstoff- und Wasserversorgungsansprüche und des hohen Massenzuwachses auf entsprechenden Standorten als Anbaualternative für die Kiefer wie auch für die Fichte (OTTO, 1994); aus Forstschuttsicht stellt sich daher die Frage, inwieweit die Kiefern und Fichten schädigenden Insektentaxa auch diese Baumart besiedeln können. Ergebnisse der Laborversuche über die Tauglichkeit der Douglasie als Nährpflanze für den Kiefernspinner (*Dendrolimus pini* L.) wurden an anderer Stelle in dieser Zeitschrift bereits veröffentlicht (FÜLDNER, 2001).

Die Nonne (*Lymantria monacha* L.) gilt als eines der wichtigsten Schadinsekten an Fichte und Kiefer. Bei Massenvermehrungen dieser Art in der Lüneburger Heide konnte beobachtet werden, dass auch angrenzende Douglasienbestände oder -verjüngung kahlgefressen wurden (mdl. Mittlg. HABERMANN); Hinweise in der Literatur auf den Fraß der Nonne an dieser Baumart finden sich bislang jedoch nicht.

Inwieweit ein Entwicklungserfolg von *L. monacha* an Douglasie grundsätzlich möglich ist, zusätzlich beeinflusst durch unterschied-

liche Außentemperaturen und Populationsdichten, sollte durch die vorliegende Untersuchung unter definierten Laborbedingungen als Grundlage für weitere Freilandversuche betrachtet werden.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1 Lebendmaterial

Das verwendete Zuchtmaterial stammt aus Freilandpopulationen. Hierbei wurden Eier während eines Prognoseverfahrens April 1996 in Räber und Hösseringen (Samtgemeinde Suderburg, südliche Lüneburger Heide) am Rande eines Nonnen-Gradationsgebietes gesammelt. Die ausschlüpfenden Raupen wurden im Frühjahr und Sommer 1996 an Fichte an gewässerten Zweigen in Zwingern gezüchtet. Als Ausgangsmaterial für die vorliegende Untersuchung wurde die hieraus resultierende F1-Generation verwendet. Diese Zuchten wurden von Mitte Mai bis Ende Juli 1997 durchgeführt.

2.2 Aufzuchtbedingungen

Die Zuchten erfolgten an Futtermaterial derselben standörtlichen Herkunft an gewässerten Zweigen in Plexiglaszylindern (nach BOMBOSCH und RAMAKERS, 1976) in Tageslichtthermostaten (System Schütt). An allen drei Baumarten standen den frisch geschlüpfen Eirauen sowohl Altnadeln wie auch frisch ausgetriebene Maitriebe zur Verfügung. Eine Fütterung der Eirauen mit High-Protein-Diät (BELL et al., 1981), wie dies zur Anzucht von

L.monacha-Raupen nötig ist, wenn keine Maitriebe zur Verfügung stehen (WALDMANN, 1999), konnte so vermieden werden.

Überwinterte und im Frühjahr bei 6 °C kühl gehaltene Eier wurden Anfang Mai 1997 bei 22 °C warm gestellt, so dass der bald darauf folgende Raupenschlupf mit dem Erscheinen der Maitriebe im Freiland synchronisiert wurde.

Für die drei zu untersuchenden Baumarten wurden zeitgleich parallele Fraßversuche bei unterschiedlicher Temperatur (16 °C, 23 °C und 30 °C Dauertemperatur und 25/15 °C Wechseltemperatur) jeweils unter Langtagbedingungen (14 h/10 h) angelegt. Je Baumart und Temperatur wurden zehn Zylinder mit jeweils 40 Raupen angesetzt. Ein Versuch mit hoher Populationsdichte mit 100 Raupen je Zylinder und Baumart (hD) bei 23 °C wurde in vierfacher Wiederholung durchgeführt.

In allen Zylindern wurden Raupen aus einem Eigemisch verschiedener Weibchen angesetzt, um eine Verzerrung der Ergebnisse durch genetische Einflüsse auszuschließen.

2.3 Auswertung der Daten

Als Größen zur Bestimmung des Entwicklungserfolges wurden die Parameter Entwicklungsgeschwindigkeit, Mortalität im Raupenstadium und die Gewichte im Raupen- und Puppenstadium bestimmt.

Entwicklungsgeschwindigkeit und Mortalität der Larve

Die Dauer des Raupenstadiums vom Ausschlüpf aus dem Ei bis zur Verpuppung wurde für jedes Individuum festgehalten.

Die angegebene Mortalität bezieht sich nur auf das Raupenstadium. Sonstige Ausfälle, wie Verkrüppelungen von Puppen, schlüpfenden Faltern oder Absterben der Puppe sind hier nicht berücksichtigt. Diese Fälle traten während der Zucht so gut wie nicht auf und können daher in diesem Zusammenhang vernachlässigt werden.

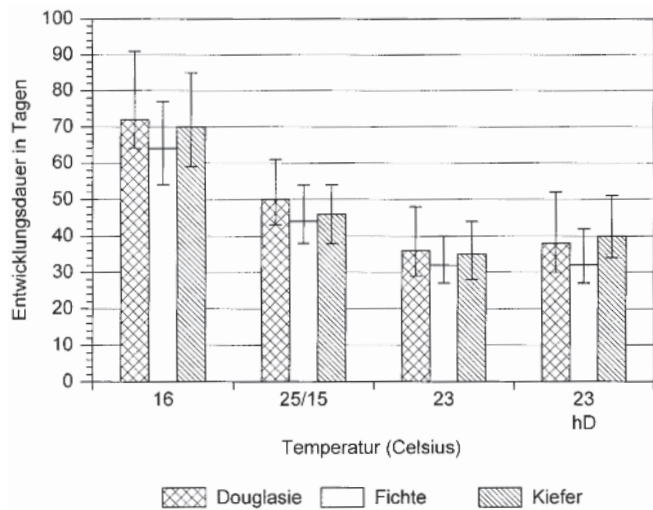


Abb. 1

Mittelwerte und Maximal- und Minimalwerte der Entwicklungsgeschwindigkeit von *L.monacha* im Raupenstadium in Tagen (vom Schlupf aus dem Ei bis zur Verpuppung) bei verschiedenen Temperaturen (in °C). hD: hohe Dichte

Average speed (in addition maximum/minimum values are shown) of development of the larvae of *L.monacha* from hatching to cocooning with different food plants and different temperature regimes (°C).

hD: 100 larvae/cage. X-axis: experimental temperature conditions; Y-axis: speed of development in days

Raupen- und Puppengewichte

Die Frischmasse aller Raupen der Teilversuche bei 23 °C an Fichte, Kiefer und Douglasie wurden gewogen (Feinwaage Sartorius 2462, Wägebereich 0,1 mg bis 200 g). Da eine Unterscheidung nach dem Geschlecht noch nicht möglich war, wurde ein gemeinsamer Mittelwert für alle Raupen erfaßt. Die Wägung wurde im wöchentlichen Abstand durchgeführt.

Die Puppen wurden am Tage der Verwandlung nach Aushärtung der Cuticula gewogen. Da das Gewicht im Verlaufe der Puppenphase etwas abnimmt – bei Kontrollwägungen von 10 Tage alten Tieren waren dies 10 bis 15% – war nur so eine Vergleichbarkeit der Werte gewährleistet.

3. ERGEBNISSE

Innerhalb aller erfolgreichen Teilversuche wurden ähnliche Verteilungsmuster der Varianzen der untersuchten Parameter beobachtet. Eine Vergleichbarkeit der Einzelversuche untereinander ist somit möglich.

3.1 Entwicklungsgeschwindigkeit der Raupen

Es wurden unabhängig von der Versuchsanordnung fünf bis sechs Larvalstadien durchlaufen. Abb.1 zeigt die mittlere Entwicklungsgeschwindigkeit der Raupen vom Ausschlüpf bis zur Verpuppung bei den verschiedenen Temperaturen.

Bei zunehmender Temperatur verkürzte sich die mittlere Dauer des Larvalstadiums, bei 30 °C wurde unabhängig von der Wirtspflanze das Optimum überschritten, es erfolgte keine weitere Beschleunigung der Entwicklung, bis auf wenige Tiere an Fichte trat 100% Mortalität auf. Für diesen Versuch können daher in Folge keine Werte angegeben werden.

3.2 Mortalität

Die Mortalität im Raupenstadium wies deutliche baumartsspezifische Unterschiede auf.

Die geringste Mortalität über alle Temperaturbereiche wiesen die an Fichten fressenden Raupen auf, an Kiefer war sie geringfügig

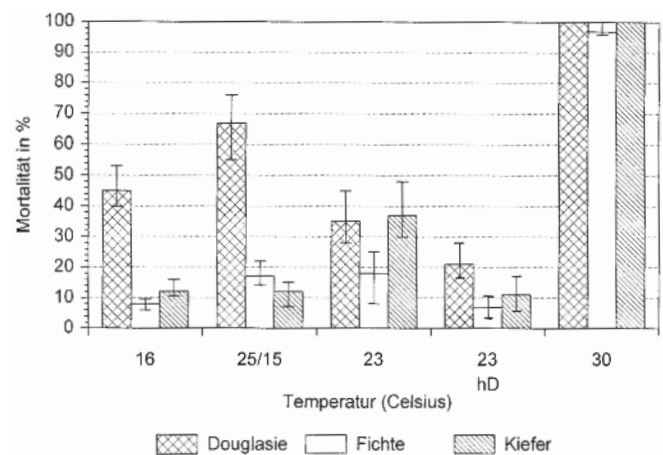


Abb. 2

Mittelwerte der Mortalität der *L.monacha*-Raupen bei verschiedenen Temperaturen und Fraß an Douglasie, Fichte und Kiefer. Die Spanne zeigt das Minimum und Maximum der Mittelwerte der einzelnen Teilversuche. hD: hohe Dichte

Average mortality (in addition maximum/minimum values are shown) of the larvae of *L.monacha* on douglas fir, spruce and pine at different temperatures (°C). hD: 100 larvae/cage. X-axis: experimental temperature conditions; Y-axis: larvae mortality (%)

höher und an Douglasie deutlich am höchsten. Dabei wies der Teilversuch bei 23 °C und hoher Individuendichte prozentual die geringste Raupensterblichkeit auf.

3.3 Raupengewichte

Die an Fichte fressenden Larven wiesen an jedem Wiegetermin im Mittel die höchsten, die Douglasie die niedrigsten Gewichte auf. Die überproportional hohen Gewichtsunterschiede in der dritten Aufnahmewoche sind vornehmlich durch das schnellere Wachstum der Larven an Fichte bedingt.

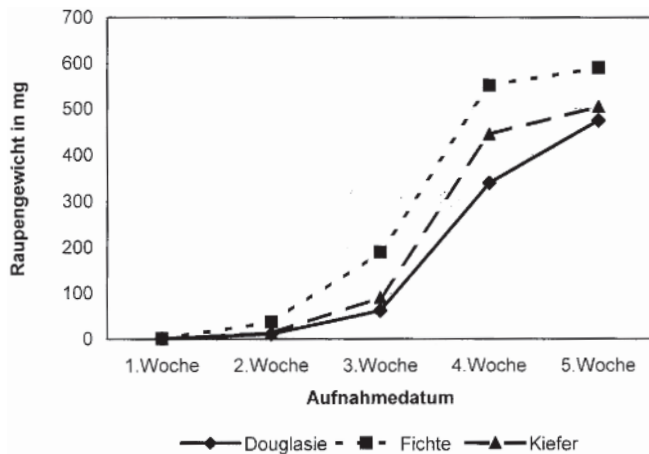


Abb. 3

Durchschnitt der Frischemasse der Raupen von *L.monacha* bei Fraß an Fichte, Kiefer und Douglasie (23°C). Wöchentliche Wägung

Average weight of *L.monacha*-larvae feeding of douglas fir, spruce and pine at the temperature of 23°C. X-axis: week of weight-measurement; Y-axis: weight of larvae (mg)

3.4 Puppengewichte

Die Puppengewichte in den einzelnen Zuchtansätzen werden in Abb. 4 getrennt für Männchen und Weibchen dargestellt.

Je höher die Temperatursumme während der Raupenphase, umso höher lag – unabhängig von der Baumart – das resultierende Puppengewicht beider Geschlechter. An Fichte wurden tendentiell die höchsten, an Douglasie die niedrigsten Puppengewichte innerhalb

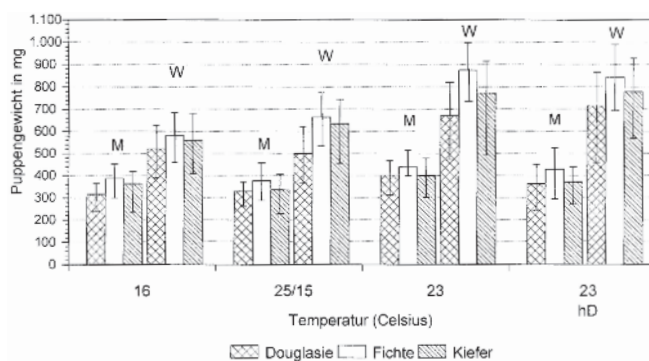


Abb. 4

Mittelwerte und Maximal- und Minimalwerte für die Frischemasse der Puppen von *L.monacha* (M: Männchen, W: Weibchen) nach Raupenfraß an Douglasie, Fichte und Kiefer bei unterschiedlichen Temperaturen. hD: hohe Dichte während der Raupenphase

Average weight (in addition maximum/minimum values are shown) of the pupae of males (M) and females (W) of *L.monacha* on douglas fir, spruce and pine at different temperatures. X-axis: experimental temperature conditions; Y-axis: weight of pupae (mg)

eines Temperaturbereiches erreicht, die Unterschiede sind zumeist signifikant¹⁾.

4. DISKUSSION

Freilandfunde von Nonnenraupen an Douglasie sind bislang kaum dokumentiert. Dies hat jedoch nur wenig Aussagekraft, da in der Latenzphase auch an Fichte oder Kiefer nur in Einzelfällen Raupen auftreten, diese dann aber sehr viel häufiger an Laubgehölzen, insbesondere Buchen und Eichen, zu finden sind (EBERT, 1994).

Die Entwicklung der Nonne unter Laborbedingungen ist an Fichte, Douglasie und Kiefer möglich, wenn auch mit unterschiedlichem Erfolg. Aus Laborversuchen gewonnene Erkenntnisse sind aufgrund der künstlichen Umgebung nur bedingt ins Freiland zu übertragen. So läßt der Einsatz gewässerter Zweige in der vorliegenden Untersuchung die mögliche Abwehrfähigkeit des Baumes durch Harzdruck und Nährstoffverlagerung unbeachtet (LUNDERSTÄDT und AHLERS, 1984; SPILLER und LUNDERSTÄDT, 1988; FÜLDNER und FRANKEN, 2001). Für die Fichte liegen detaillierte Untersuchungen zur Aufnahme und Verwertung der Nadelinhaltsstoffe durch *L.monacha* unter Laborbedingungen vor. Insbesondere die Verwertung der nadelbürtigen Proteine stellt für *L.monacha* zur Bildung der Körpermasse eine entscheidende Rolle (KULCKE, 1983).

Freilandversuche unterliegen dagegen häufig nur schwer erkennbaren und auszufilternden abiotischen und biotischen Einflüssen (HÄTTENSCHILER und SCHAFELLNER, 1999; WALDMANN, 1999). Die von WALDMANN (1999) bei Versuchen mit gezwingerten Raupen an lebenden Freilandkiefern erzielten Puppen-Durchschnittsgewichte sind jedoch mit den eigenen Ergebnissen bei den Temperaturversuchen 16 °C und 25/15 °C an Kiefer vergleichbar. Die unter optimalen Laborverhältnissen zu beobachtenden Entwicklungstendenzen könnten unter Freilandbedingungen durchaus in verstärkter Form auftreten und bilden daher eine wichtige Grundlage weitergehender Untersuchungen.

Die unterschiedliche Körpergröße der Individuen eines Arthropodentaxons bedingt auch deren Dispersionsvermögen (DEN BOER, 1990; GATHMANN et. al., 1991; NOVOTNY, 1994). Für Insekten, die als Imagines keine Nahrung mehr aufnehmen, ist das Puppengewicht als Wert für die Beurteilung der Vitalität geeignet (ECKSTEIN, 1911; LEBEDEV und SAVENKOV, 1930). So weisen z.B. Imagines vom Kiefernspinner (*Dendrolimus pini* L.) bei höherem Körpergewicht eine größere Lebensdauer und ein besseres Flugvermögen auf (HILGENDORFF, 1999).

Die Nonne zeigt bei zunehmenden Temperaturen in der Raupenphase bis zum Überschreiten eines Optimums einen Anstieg der resultierenden Puppengewichte. Dies wurde auch im Freiland in warmen Jahren schon häufiger beobachtet (SÄTTLER, 1939). Die in fast allen Temperaturversuchen und im Versuch mit hoher Populationsdichte signifikant niedrigeren Larven- und Puppengewichte an Douglasie (hier im Gegensatz zu *D.pini*, s. FÜLDNER, 2001) im Vergleich zur Kiefer und insbesondere zur Fichte weisen diese Baumart als weniger günstige Nahrungsquelle aus.

Die im Versuch an Douglasie festgestellte höhere Raupenmortalität im Vergleich zur Fichte und bedingt zur Kiefer läßt eine Eignung dieser Baumart als Grundlage für eine stabile *L.monacha*-Population mit der Befähigung zur Gradation zweifelhaft erscheinen. SÄTTLER (1939) wies jedoch nach, dass an Kiefer die

¹⁾ Eine Überprüfung nach dem KOLMOGOROW-SMIRNOW-Test ergab eine hinreichend gute Anpassung der Daten aller Teilversuche an eine Normalverteilung. Das Signifikanzniveau von $p = 0,05$ für den Einfluß der Fraßpflanze wurde nur im Teilversuch bei 16 °C bei den weiblichen Tieren unterschritten.

Raupenmortalität in Vergleich zu Eiche, Fichte und Lärche höher und die Eizahl hieran gezogener Weibchen am geringsten war. Trotz dieses Umstandes durchläuft die Nonne innerhalb der Kiefern-anbaubereiche regelmäßig Gradationen, die offensichtlich eher auf standörtliche als auf ernährungsspezifische Gründe zurückzuführen sind; bei der Douglasie wäre ähnliches denkbar. In gemischten Kiefern-Douglasien- oder Fichten-Douglasienbeständen besteht zudem die Gefahr des Übergreifens des Fraßes auch auf Douglasie nach Verbrauch der Fichte oder Kiefer als Ressource.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Raupen der Nonne (*Lymantria monacha* L.) wurden in parallelen Zuchten mit möglichst identischem Elternmaterial an Gemeiner Kiefer (*Pinus sylvestris*), an Rotfichte (*Picea abies*) und Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) gehalten. Die Zuchten wurden unter gleichbleibenden Außenbedingungen in Thermostaten oder Klimäräumen durchgeführt. Untersucht wurden der Temperaturbereich zwischen 16 °C und 30 °C und eine Raupendichte von 40 oder 100 Tieren je Gefäß. Befressen wurde Zweigmaterial, das in leitungs-wassergefüllten Behältern stand. Entwicklungsgeschwindigkeit, Raupenmortalität und Puppengewichte zeigten signifikante Unterschiede. Die Fichte erwies sich hinsichtlich der untersuchten Größen als die günstigste Nährpflanze für *L. monacha*.

An Douglasie gezüchtete Tiere wiesen in allen Fällen ungünstigere Werte auf als an Kiefer und insbesondere an Fichte. Ob die Douglasie als Fraßpflanze für die Entwicklung der Nonne weniger geeignet ist, sollte unter Freilandbedingungen überprüft werden.

6. Summary

Title of the paper: *Development of the nun moth (Lymantria monacha Linnaeus, 1758: Lepidoptera, Lymantriidae) on douglas fir (Pseudotsuga menziesii), spruce (Picea abies) and pine (Pinus sylvestris) under controlled conditions.*

Larvae of the nun moth (*Lymantria monacha* L.) were bred in parallel experiments on pine (*Pinus sylvestris*), douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) and spruce (*Picea abies*). The larvae were kept under constant conditions in climated rooms or climated chambers on cut branches, which were positioned in tap water.

The effect of a temperature range between 16 °C und 30 °C and of two different population densities of larvae was examined. The speed of development, the larval mortality, the weight of the larvae and the resulting pupae depending on the tree species were noticed. The development of the larvae with high population density was marginally slower than in populations with low population density, causing slightly lower weights of the pupae in both sexes (Fig. 1, Fig. 4).

Spruce is – depending on the examined parameters – the most suitable food source and even caused a faster development (Fig. 1) and higher pupae weights (Fig. 3, Fig. 4) in all temperature experiments.

The mortality of the larvae, mainly due to the mortality of young and middle aged larvae, was significantly higher on douglas fir than on spruce or pine (Fig. 2). This result could indicate that the douglas fir is a more unfavourable tree species for the development success of the nun moth than spruce or pine. It is pointed out that results of experiments under controlled conditions can be transferred to field experiments only to a limited extent.

7. Résumé

Titre de l'article: *Résultats de l'élevage de la nonne (Lymantria monacha Linnaeus 1758 – Lepidoptera – Lymantriidae) sur douglas (Pseudotsuga menziesii), épicéa (Picea abies) et pin sylvestre (Pinus sylvestris) dans les conditions du laboratoire.*

Des chenilles de *Lymantria monacha* ont fait l'objet d'élevages en parallèle à partir d'un matériel parental le plus homogène possible sur pin sylvestre (*Pinus sylvestris*), épicéa (*Picea abies*) et douglas (*Pseudotsuga menziesii*). Ces élevages ont été menés en maintenant constantes les conditions régnant dans les enceintes thermostatées ou climatisées. On a étudié une amplitude de températures allant de 16 ° à 30 °C et une densité de chenilles dans les enceintes ressortant à 40 ou 100 sujets. La nourriture des nonnes était constituée de rameaux mis dans des récipients remplis d'eau potable.

La vitesse de croissance, la mortalité des chenilles, le poids des cocons présentent des différences significatives. En ce qui concerne les grandeurs étudiées c'est l'épicéa qui apporte la nourriture la plus favorable à *L. monacha*. Les lépidoptères nourris avec le douglas ont toujours des chiffres moins bons que ceux concernant le pin sylvestre et surtout l'épicéa. Bien que le douglas se révèle être une espèce alimentaire qui convient peu au développement de la nonne, il conviendrait de le confirmer dans les conditions du terrain découvert.

J. M.

8. Dank

Wir danken Prof. Dr. J. LUNDERSTÄDT für seine Anregungen und die kritische Durchsicht des Manuskriptes.

9. Literatur

- BELL, R. A., OWENS, C. D., SHAPIRO, M. and TARDIF, J. G. R.: Development of mass rearing technology. In: Gipsy Moth: research towards Integrated Pest management. (ed. C. C. Doane und M. L. McManus). U. S. Dep. Agric. Tech. Bull. 1584. S. 599–633, 1981
- BERGMANN, H.-J.: Ökologische Bewertung des Douglasienanbaus im Gebiet des Norddeutschen Pleistozäns. *Waldhygiene* **20**, 161–192, 1994
- BOMBOSCH, S. und RAMAKERS, P. M. J.: Zur Dauerzucht von *Gilpinia hercyniae*. *Ztg. z. Pfl. Krankh. u. Pfl. Schutz*, **83**, S. 40–44, 1976
- DEN BOER, P. J.: The survival value of dispersal in terrestrial arthropods. *Biol. Conserv.* **54**, S. 175–192, 1990
- EBERT, G. (Hrsg.): Die Schmetterlinge Baden-Württembergs. Bd. 4: Nachtfalter II. Ulmer Verlag, Stuttgart. 535 S., 1994
- FÜLDNER, K. und FRANKEN F.: Überlebensfähigkeit der L₁-Raupe der Forleule (*Panolis flammea* Linnaeus, 1758: Lepidoptera, Noctuidae) an Maitrieben und Altnadeln der Gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris*). *AFJZ* **172**, S. 21–26, 2001
- FÜLDNER, K.: Entwicklungserfolg von Kiefernspinner (*Dendrolimus pini* Linnaeus, 1758: Lepidoptera, Lasiocampidae) an Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*), Fichte (*Picea abies*) und Kiefer (*Pinus sylvestris*) unter Laborbedingungen. *AFJZ* **172**, S. 221–225, 2001
- GATHMANN, A., GREILER, H. J. und TSCHARNKE, T.: Trap-nesting bees and wasps colonizing set-aside fields: succession and body size, management by cutting and sowing. *Oecologia* **98**: S. 8–14, 1991
- HÄTTENSCHILER, S. and SCHAFELLNER, C.: Opposing effects of elevated CO₂ and N deposition on *Lymantria monacha* larvae feeding on spruce trees. *Oecologia* **118**: S. 210–217, 1999
- HILGENDORFF, D.: Aktivitätsmuster von Imagines des Kiefernspinners (*Dendrolimus pini*) während der Dunkelphase. Dipl. Arb. Fak. f. Forstswiss. u. Waldökologie, Göttingen, 1999
- KULCKE, J.: Zur Nahrungsqualität von Fichtennadeln für forstliche Schadinsekten. *Z. ang. Ent.* **95**, S. 141–150, 1983
- LEBEDEV, A. G. und SAVENKOV, A. N.: Einige neue Ergebnisse aus der Biologie und Physiologie des Kiefernspinners (*Lasiocampa pini* L.). *Zeitschrift f. angew. Entomologie*, **16**, 159–177, 1930
- LUNDERSTÄDT, J. und AHLERS, S.: Zur Steuerung der Populationsdichte von phytophagen Insekten durch ihre Nahrungspflanze. *Zeit. ang. Ent.* **98**, S. 448–462, 1984
- MOORE, G. E. and CLARK, E.W.: Suppressing microorganisms and maintaining turgidity in coniferous foliage used to rear insects in the laboratory. *J. Econ. Entomol.*, **61**, S. 1030–1031, 1968
- NIEDERSÄCHSISCHE LANDESFORSTVERWALTUNG: Entscheidungshilfen zur Behandlung und Entwicklung von Douglasienbeständen. Merkblatt Nr. 36, 1997
- NOVOTNY, V.: Relation between temporal persistence of host plants and wing length in leafhoppers (Hemiptera, Auchenorrhyncha). *Ecol. Entomol.* **19**, S. 168–176, 1994
- OTTO, H. J.: Standortansprüche der wichtigsten Baumarten. AID-Reihe, Bonn, 1994

- SÄTTLER, H.: Die Entwicklung der Nonne, *Lymantria monacha*, in ihrer Abhängigkeit von der Nahrungsqualität. Z. angew. Ent. **25**, S. 543–587, 1939
- SCHWENKE, W.: Die Forstschädlinge Europas. Band 3: Schmetterlinge. Paul Parey, Hamburg und Berlin. 468 S., 1978
- SPILLER, R. und LUNDERSTÄDT, J.: Auswirkungen unterschiedlicher Anzuchtbedingungen auf die Populationsstruktur während der Larvalentwicklung

- von *Gilpinia hercyniae* Htg. (Hym., Diprionidae). J. Appl. Ent. **105**, S. 229–248, 1988
- WALDMANN, R.: Einfluß von Bestandesstruktur und waldbaulicher Behandlung auf die Entstehung großflächiger Massenvermehrungen nadelfressender Kieferinsekten am Beispiel der Nonne (*Lymantria monacha* L.) in Dauerschadgebieten des Niedersächsischen Tieflandes. Dissertation Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Göttingen, 1999

Diversität und Produktivität von Wäldern

Aus dem Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München

(Mit 9 Abbildungen)

Von H. PRETZSCH

(Angenommen Dezember 2002)

SCHLAGWORTER – KEY WORDS

Biodiversität; Artenvielfalt; Produktivität; Leistungsvergleich Reinversus Mischbestand; ökologische Nische; Dichte-Wachstums-Beziehung; Risiko; Störung.

Biodiversity; species richness; productivity; productivity of pure and mixed stands; ecological niche; density-growth-relationship; risk; disturbances.

1. GESCHICHTE DER MISCHBESTANDSFRAGE

Am Anfang der planmäßigen Forstwirtschaft und der systematischen Forstwissenschaft stand das Streben nach nachhaltiger Holzproduktion. Aus dem von HANS KARL VON CARLOWITZ (1645–1715) vorgedachten Prinzip der Nachhaltigkeit entwickelten GEORG LUDWIG HARTIG (1764–1837) und HEINRICH COTTA (1763–1844) Methoden zur nachhaltigen Bewirtschaftung von Forstbetrieben. Hauptforderung war die nachhaltige Produktion von Holz. Diversität, Schutz- und Erholungsfunktionen wurden u. a. von OTTO FRIEDERICH VON HAGEN (1817–1880) benannt, im Regelwerk der Nachhaltsplanung aber nicht berücksichtigt. Verbreitet war die Auffassung, dass sonstige Waldfunktionen automatisch – gleichsam im Kielwasser einer nachhaltigen Holzproduktion – mit erfüllt würden. Erst DIETRICHS Funktionenlehre (1957) brachte den Wald als Lebens- und Erholungsraum und als Schutz für Klima, Boden und Wasser in die Debatte. Heute besteht internationaler Konsens darin, dass die Funktionenvielfalt des Waldes Schutz der forstlichen Ressourcen, Gesundheit und Vitalität forstlicher Ökosysteme, Produktion von Holz und anderen Produkten des Waldes, biologische Diversität, Schutzfunktionen und sozio-ökonomische Funktionen des Waldes einschließt (MCPFE, 2000). Die Nachhaltigkeit der Biodiversität wird zum Imperativ erhoben wie früher die Nachhaltigkeit der Holzproduktion. Wie aber hängen Biodiversität und Produktivität zusammen? Im Folgenden wird die forstpraktisch besonders relevante Frage in den Mittelpunkt gestellt, wie Baumartenvielfalt und Produktivität von Wäldern zusammenhängen.

Zur Mischbestandsfrage bemerkt GEORG LUDWIG HARTIG (1791, S. 134) „...daß die Vermischung der Laub- und Nadelhölzer nicht vorteilhaft sei, weil das Nadelholz gewöhnlich das Laubholz verdrängt, und weil eine Art die andere im Wachstum hindert; daß man also mit Fleiß keine vermischte Laub- und Nadelwälder anziehen...solle“. Gravierende Produktionsverluste von Misch-

beständen befürchtend, empfiehlt HARTIG (1804, S. 40) „...alle aus Nadelholz und Laubholz vermischten Bestände sollen, sobald es die Umstände erlauben, in reine Bestände von der einen oder andern Holzart umgeformt werden.“. Widerspruch dagegen kommt von COTTA (1828, S. 115) „Das Bestreben überall reine Waldungen zu erzielen, gründet sich auf ein altes höchst schädliches Vorurteil... Da nicht alle Holzarten sich auf gleiche Weise ernähren, so ist ihr Wuchs bei Vermischungen freudiger, und weder die Insekten noch die Winde können so viel Schaden anrichten; auch erlangt man überall verschiedenerlei Holz zur Befriedigung mehrfacher Bedürfnisse.“. GAYER unterstützt diese Auffassung (1886, S. 31) „...der Mischwald erzeugt nicht nur mehr, sondern auch wertvolleres Nutzholz, als der reine Bestandswuchs.“. Noch optimistischer äußert sich MÖLLER (1922, S. 41–42) „... setzen wir den Bestand aus Licht- und Schattenholzarten zusammen, [...] so wird die Möglichkeit der Holzerzeugung weiter erhöht; denn es kann nun mit dem Untereinanderschieben der Altersklassen noch erheblich weiter gegangen werden als im reinen Bestandesaufbau einer Holzart“. WIEDEMANN kommentiert den Optimismus der zitierten Waldbauer (1951, S. 341) „...auch im Waldbau muss neben das Gefühl die Zahl treten.“. Erst die Auswertung langfristiger Versuchsflächen, die seit Gründung der Forstlichen Versuchsanstalten in den Jahren 1870 bis 1880 in vielen europäischen Ländern unter Beobachtung genommen wurden, ermöglicht ein nach Arten und Standorten differenzierteres Bild der Leistungsrelation zwischen Rein- und Mischbestand.

Zunächst einmal dämpften die Auswertungen langfristiger Versuchsflächen die Hoffnung auf Mehrleistung durch Mischung. Denn sie erbrachten für Reinbestände aus Fichte *Picea abies* (L.) Karst. oder Douglasie *Pseudotsuga menziesii* Mirb. auf vielen Standorten in temperierten und borealen Zonen eine weit überlegene Produktivität (ASSMANN, 1970; SCHÖBER, 1975; SCHWAPPACH, 1912; WIEDEMANN, 1949). Ähnliche Überlegenheit erbringen Pinus-Arten im mediterranen und Eukalyptus- und Albizia-Arten in subtropischen und tropischen Klimazonen (KELTY, 1992; WECK, 1955). Soll die Trockenstoffleistung maximiert werden, so gibt es auf vielen Standorten keine Alternative zu Reinbeständen dieser Arten.

Vorliegender Beitrag wertet die aus dem eigenem Versuchsflächennetz verfügbaren und aus der Literatur bekannten Mischbestandsversuche zusammenfassend aus, um Möglichkeiten der Mehr- oder Minderleistungen in Mischbeständen einzugrenzen und

Ursachen dafür zu identifizieren. Über die Arbeiten von CANNELL et al. (1992), KELTY (1992) oder OLSTHOORN et al. (1999) geht der Beitrag in folgenden Punkten hinaus: Nach Entwicklung geeigneter Ansätze und Maßzahlen für Leistungsvergleiche werden für wirtschaftlich wichtige Baumarten der temperierten und borealen Klimazone gesicherte Rahmenwerte der Mehr- und Minderleistungen abgeleitet. Es wird die Art- und Standortabhängigkeit der Leistungsrelation zwischen Rein- und Mischbestand dargestellt. Entscheidend ist, dass Bestandesbehandlung und Risiko in den Leistungsvergleich einbezogen werden. Die Auswertung kann sich auf ein in Beobachtungsdauer, Stichprobenumfang und waldbaulichem Behandlungsspektrum einmaliges Netz von Rein- und Mischbestandsversuchen stützen.

2. THEORIE

In Grünland- und Waldökosystemen wird ein logarithmischer Anstieg der Produktivität mit der Artenzahl festgestellt (CASPERSEN und PACALA, 2001; HECTOR et al., 1999; LOREAU et al., 2001). Ein Produktionsgewinn ist demnach am ehesten beim Übergang von Monokulturen zu Zwei-Arten-Mischungen quantitativ nachweisbar. Eine etwaige Produktionssteigerung nimmt mit jeder weiteren Art degressiv ab. Deshalb stehen im Folgenden Reinbestände und Mischbestände aus zwei Arten im Mittelpunkt. Unter den Mischwäldern sind Zwei-Arten-Mischungen flächenmäßig von besonderer Bedeutung (BARTELINK und OLSTHOORN, 1999) und wissenschaftlich am ehesten untersucht (KELTY, 1992).

Ökologische Nische, Standort-Leistungs-Relation

Überlegungen zur Produktivität p_{12} eines Mischbestandes aus zwei Arten beziehen sich meist auf die Leistung p_1 bzw. p_2 entsprechender Reinbestände auf demselben Standort. Bei zuwachsneutralen Wechselwirkungseffekten stellt sich die Leistung des Mischbestandes p_{12} als mit den Mischungsanteilen m_1 und m_2 gewichtete Leistung der Reinbestände dar $p_{12} = m_1 \cdot p_1 + m_2 \cdot p_2$. Ausschlaggebend für das Gesamtwachstum als Resultat der Mischung sind die ökologischen Nischen der Arten und ihre Kompatibilität, denn hier-

durch wird ihre Leistung auf gegebenem Standort determiniert. Von besonderem Interesse sind positive Wechselwirkungen, die eine Überlegenheit des Mischbestandes erbringen. Die Aussicht auf eine solche Überlegenheit der Mischung hängt von der Leistungsrelation zwischen p_1 und p_2 und von eventuellen positiven Mischungseffekten ab.

Die Zusammenhänge werden an zwei Modellbeispielen verdeutlicht, die sich aus Arten mit ähnlicher bzw. unterschiedlicher ökologischer Nische aufbauen (Abb. 1 a bzw. b). Die unimodalen Dosis-Wirkungskurven repräsentieren die unterschiedlichen Nischen, indem sie die arttypische Abhängigkeit der Produktivität von den Wuchsbedingungen darstellen. Die hier einfachheitshalber eindimensional aufgetragenen Wuchsbedingungen bauen sich aus einem n-dimensionalen Vektor von Umweltfaktoren (z. B. Temperatur, pH-Wert des Bodens, Immissionsbelastung, Sturm- oder Schneebelastung) und Ressourcenangebot (z. B. Strahlung, Wasser, Nährstoffversorgung, Kohlendioxid-Gehalt der Luft usw.) auf. Im ersten Fall (Abb. 1 a) besitzen die Baumarten 1 und 2 eine ähnliche ökologische Nische, unterscheiden sich auf gegebenem Standort aber erheblich in der Wuchsleistung. Beispiele hierfür sind die Überlegenheit der Douglasie *Pseudotsuga menziesii* Mirb. gegenüber Kiefer *Pinus sylvestris* L. oder die der Roteiche *Quercus rubra* L. gegenüber Traubeneiche *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. in weiten Bereichen der ökologischen Amplitude dieser Baumarten. Die Leistungen p_1 und p_2 der über- und unterlegenen Baumarten sind in diesen Fällen so unterschiedlich, dass die Beimischung der unterlegenen Baumart meist zur Minderung der Gesamtleistung führt.

Verwickelter werden die Verhältnisse, wenn sich die Mischbaumarten in ihrer ökologischen Nische deutlich unterscheiden (Abb. 1 b). Angenommen die Arten 1 und 2 werden auf insgesamt 4 verschiedenen Standorten gemischt (Standorte 1 bis 4). Dann werden die Leistungsrelationen je nach Standortbedingungen erheblich variieren. Auf dem für Art 1 optimalen Standort 1 wird eine Beimischung der Art 2, die dort im Pessimum ist, zur Bürde. Auf dem für beide Arten gut geeigneten Standort 2 sind die Kräfteverhältnisse balanciert. Auf dem für Art 2 optimalen Standort 3 wirkt die im Pessimum befindliche Art 1 zuwachsbremsend. Praxisrelevante Beispiele für eine derartige Unterlegenheit einer Art bilden Mischbestände aus Buche *Fagus sylvatica* L. und Eiche *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. auf frischen Kalkstandorten oder aus Fichte *Picea abies* (L.) Karst. und Buche *Fagus sylvatica* L. auf basenarmen feucht-kühlen Standorten; im ersten Fall ist die Eiche, im zweiten die Buche nur durch waldbauliche Förderung zu halten. Auf Standort 4 wird Art 1 über kurz oder lang verschwinden und Art 2 eine gute Produktivität erreichen. **Abbildung 2, a–d** veranschaulicht die Produktivitäten p_1 und p_2 der Arten 1 und 2 auf den Standorten 1 bis 4. Auf der rechten und linken Seitenlinie ist jeweils die Produktivität der Arten 1 bzw. 2 im Reinbestand aufgetragen. Für die Standorte 1 bis 4 ergibt sich die Relation $p_1 > p_2$, $p_1 = p_2$, $p_1 < p_2$ und $p_1 < p_2$ mit $p_1 = 0$. Das Modellbeispiel macht die je nach Standort divergierenden Leistungsrelationen zwischen Mischbaumarten verständlich und warnt vor Verallgemeinerung von Versuchsergebnissen. Bestehen zuwachsneutrale Wechselwirkungen zwischen den Arten, so liegt die Produktivität im Mischbestand p_{12} auf der Referenzgeraden zwischen p_1 und p_2 (gestrichelte Linien). Eine zunehmende Beimischung äußert sich dann in einer proportionalen Veränderung von p_{12} .

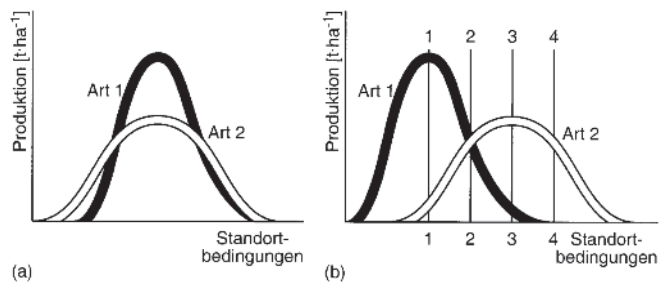


Abb. 1a und b

Trockenstoffproduktion verschiedener Baumarten in Abhängigkeit von den Standortbedingungen.

- (a) Produktivität zweier Baumarten mit ähnlicher ökologischer Amplitude, aber unterschiedlichem Leistungsniveau.
 (b) Produktivität zweier Baumarten mit unterschiedlicher ökologischer Amplitude. Die unterhalb der x-Achse eingetragenen Ziffern 1 bis 4 repräsentieren unterschiedliche Standortbedingungen, auf welche die Arten 1 und 2 mit unterschiedlichem Wachstum reagieren (vgl. Abb. 2).

Dry biomass production of various tree species in relation to site conditions.

- (a) Productivity of two tree species with similar ecological amplitude but different levels of production.
 (b) Productivity of two tree species with different ecological amplitudes. Numbers 1 to 4 below the x-axis represent different site conditions to which species 1 and 2 show different growth responses (cf. Fig. 2).

Quantifizierung von Wechselwirkungseffekten

Weicht die Leistung p_{12} positiv oder negativ von dieser Referenzgeraden ab (konvexe bzw. konkave Kurven in Abb. 2), so zeigt dies eine produktivitätssteigernde bzw. -mindernde Wechselwirkung zwischen den Arten an. Missverständnisse resultieren häufig aus

einer Verwechslung von relativen mit absoluten Leistungsüberlegenheiten.

Eine *relative* Leistungsüberlegenheit des Mischbestandes gegenüber dem Reinbestand liegt vor, wenn die Arten 1 und 2 im Mischbestand zusammen mehr produzieren, als auf gleichgroßen, vergleichbaren Reinbestandsflächen nebeneinander, sodass $p_{12} > m_1 \cdot p_1 + m_2 \cdot p_2$. Die prozentische relative Leistungsüberlegenheit bzw. -unterlegenheit errechnet sich nach $\mathcal{O}_{rel} = [p_{12} / (m_1 \cdot p_1 + m_2 \cdot p_2) - 1] \cdot 100$. Dabei bezeichnen p_1 und p_2 die Produktionsleistung der Arten 1 und 2 im Reinbestand, p_{12} die Produktionsleistung beider Arten im Mischbestand, m_1 und m_2 geben die Anteile der Arten 1 und 2 im Mischbestand an, die z.B. über die Anteile beider Arten an der Trockenmasse w berechnet werden $m_1 = w_1 / (w_1 + w_2)$ bzw. $m_2 = w_2 / (w_1 + w_2)$. Auf *Abbildung 2* repräsentieren die durchgezogenen, konvex verlaufenden Linien positive Wechselwirkungen und die punktierten, konkav verlaufenden Linien negative Wechsel-

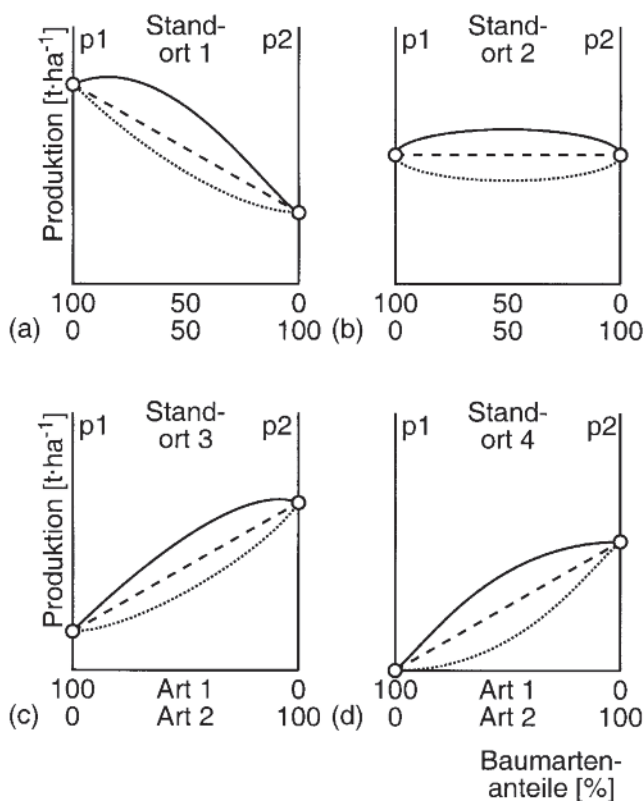


Abb. 2 a-d

Trockenstoffproduktion zweier Baumarten im Rein- und Mischbestand unter variierenden Standortbedingungen 1 bis 4 (vgl. *Abb. 1*). Schematisch dargestellt ist die Trockenstoffleistung p_1 und p_2 der Arten 1 und 2 im Reinbestand (linke bzw. rechte y-Achse). Die Verbindungslinien geben die Erwartungswerte für die Produktivität p_{12} im Mischbestand für unterschiedliche Mischungsproportionen an. Die linearen Verbindungslinien (gestrichelt) repräsentieren neutrale Wechselwirkungen zwischen Baumarten 1 und 2, die durchgezogenen und punktierten Linien spiegeln positive bzw. negative Wechselwirkungen wider.

Dry biomass production for two species in pure and mixed stands under varying site conditions 1 to 4 (cf. *Fig. 1*). The scheme represents the dry biomass productivities p_1 and p_2 of species 1 and 2 in the pure stand (left and right y-axis respectively). The connecting lines show expected values for productivity p_{12} in the mixture for different mixture proportions. The linear connecting lines (dashed) represent neutral interaction effects between species 1 and 2, the continuous and dotted lines reflect positive and negative effects from the species mixture respectively.

wirkungen durch Mischung. Welche der beteiligten Arten durch die Mischung gefördert oder gebremst wird, kann analog ermittelt werden. Die im Reinbestand gemessene Leistung p_1 wird dem Zuwachs dieser Baumart im Mischbestand $p_{1(2)}$ gegenübergestellt. Wenn sich, wie bei der Mischung von Lärche *Larix decidua* Mill. und Fichte *Picea abies* (L.) Karst. (vgl. *Abb. 6 c*) ergibt, dass $p_{1(2)} > m_1 \cdot p_1$ und $p_{1(2)} > m_2 \cdot p_2$, so beweist das für beide Baumarten einen positiven Mischungseffekt.

Von einer *absoluten* Überlegenheit des Mischbestandes gegenüber dem Reinbestand kann gesprochen werden, wenn $p_{12} > \max(p_1, p_2)$ ist. Eine absolute Unterlegenheit liegt dann vor, wenn $p_{12} < \min(p_1, p_2)$ ist. Die Leistung des Mischbestandes liegt dann über bzw. unter jener der Reinbestände aus den Arten 1 und 2. Für die absolute Über- und Unterlegenheit ergibt sich demnach $\mathcal{O}_{abs} = [p_{12} / \max(p_1, p_2) - 1] \cdot 100$ bzw. $\mathcal{O}_{abs} = [p_{12} / \min(p_1, p_2) - 1] \cdot 100$. Zur Verdeutlichung dieser Zusammenhänge soll ein letztes Mal auf das Modellbeispiel zurückgekommen werden. Überschreiten die konvex verlaufenden, durchgezogenen Verbindungslinien in *Abbildung 2* sowohl p_1 als auch p_2 , so liegt absolute Überlegenheit vor. Dies trifft auf Standort 2 für alle Mischungsproportionen und auf den Standorten 1 und 3 bei Annäherung der Mischungsanteile an den leistungsstärkeren Reinbestand zu.

Nur selten steht für Leistungsvergleiche die Trockensubstanz an Baumholz zur Verfügung; Aussagen beschränken sich meist auf das forstwirtschaftlich relevante Stammvolumen. Die folgenden Leistungsvergleiche basieren überwiegend auf der Gesamtwuchsleistung an Trockenstoff ($t \cdot ha^{-1}$), denn aufgrund ihrer verschiedenen spezifischen Dichten sind Leistungsvergleiche zwischen den im Folgenden genannten Baumarten nur auf der Basis der Trockensubstanzleistung aussagekräftig (ASSMANN, 1970). Recherchierte Volumenangaben werden mit den Raumdichten von TRENDELENBURG et al. (1955) bzw. KNIGGE und SCHULZ (1966) in Trockenmasse umgerechnet. Die Dichten betragen für Buche *Fagus sylvatica* L. 0,554, Fichte *Picea abies* (L.) Karst. 0,377, Kiefer *Pinus sylvestris* L. 0,431, Eiche *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. 0,561, Douglasie *Pseudotsuga menziesii* Mirb. 0,412, Lärche *Larix decidua* Mill. 0,487, Ahorn *Acer pseudoplatanus* L. 0,522 und Esche *Fraxinus excelsior* L. 0,564 $kg \cdot m^{-3}$.

Leistungsgewinne durch Risikostreuung und Diversifikation

Reagiert eine der gemischten Arten empfindlicher auf eine Störung, so kann die Dank ihrer ökologischen Amplitude robustere andere Art von dieser Schwächung oder dem Ausfall der unterlegenen Art profitieren. Verschieben sich beispielsweise Umweltfaktoren und Ressourcenangebot zu Ungunsten von Art 1 (*Abb. 3*, Pfeil 1 \rightarrow 3), so würde das in Reinbeständen eine signifikante Produktionsminderung bewirken. Wenn nun aber eine zweite Art beige mischt ist, die besser an die neuen Wuchsbedingungen angepasst ist, so kann sie den Zuwachs stabilisieren. Verfügbare Ressourcen werden dann vermehrt von Art 2 genutzt, verbessern deren Produktivität und deren Raumbesetzung. Bei der Ressourcenverteilung wird also von der einen Baumart auf die andere umgesteuert. Ähnliches gilt beim Totalausfall einer Art infolge von biotischen Kalamitäten oder Alterstod. Die verbleibende Mischbaumart kann Zuwachsverluste durch Mehrzuwachs ausgleichen, und das um so besser, je regelmäßiger sie über die Bestandesfläche verteilt ist. Der Vorteil der Mischung besteht in beiden Fällen in der Risikostreuung als Folge waldbaulicher Diversifikation.

3. EMPIRIE

Leistungsrelation zwischen den Mischbaumarten

Unter den Hauptbaumarten einer Wuchsregion überragen meist einige die anderen in ihrer Gesamtwuchsleistung, z. B. *Pinus pinaster* ARR. auf der iberischen Halbinsel, *Picea sitchensis*

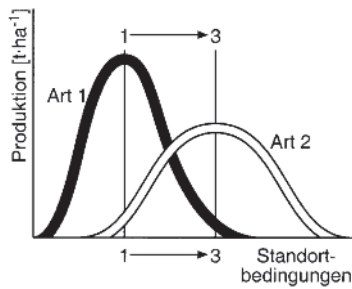


Abb. 3

Trockenstoffproduktion der Arten 1 und 2 (fett bzw. mager ausgezogene Linie) in Abhängigkeit von den Standortbedingungen. Die Verschiebung der Standortbedingungen von 1 nach 3 (eingetragene Pfeile) bedeutet für Art 1 eine einschneidende Zuwachsminderung. Sind die Arten 1 und 2 gemischt, so kann Art 2 eine Minderung des Bestandeszuwachses auffangen.

Dry biomass production for species 1 and 2 (fat and thin solid lines respectively) in relation to site conditions. The shift in site conditions from 1 to 3 (arrows) results in a considerable increment loss for species 1. If species 1 and 2 are mixed, species 2 is capable of compensating for a loss in stand increment.

(BONG.) CARR. im atlantisch getönten Westeuropa. In Zentral-europa übernehmen diese Favoritenrolle häufig Fichte *Picea abies* (L.) Karst. und Douglasie *Pseudotsuga menziesii* Mirb. An der auf Stammholz bezogenen Überlegenheit ändert sich kaum etwas, wenn Ast-, Blatt- und Wurzelbiomasse sowie Fruktifikation eingerechnet werden (ASSMANN, 1970). Auf vielen Standorten übernehmen Fichte und Douglasie deshalb die Überlegenheit der Art 1 in der auf *Abbildung 1* a skizzierten Mischungskonstellation.

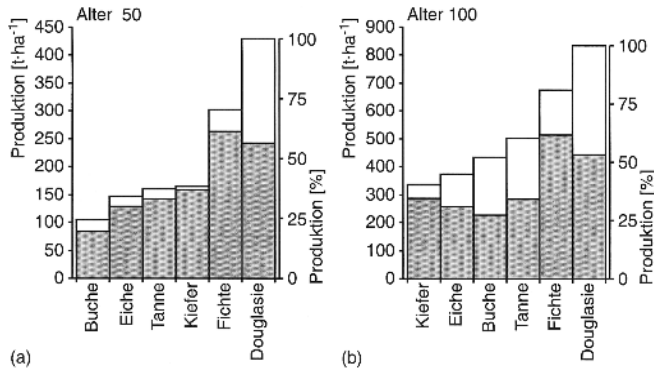


Abb. 4 a und b

Gesamtwuchsleistung an Stammholz-Trockenstoff für ausgewählte Wirtschaftsbaumarten im Alter 50 und 100 (a bzw. b) bei mäßiger Durchforstung. Dargestellt ist die Produktion für die beste und schlechteste Bonität (obere bzw. untere Säulenhöhe), berechnet nach den Ertragstabellen für Buche *Fagus sylvatica* L. (SCHÖBER, 1967), Eiche *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. (JÜTTNER, 1955), Tanne *Abies alba* Mill. (HAUSSER, 1956), Kiefer *Pinus sylvestris* L. (WIEDEMANN, 1948), Fichte *Picea abies* (L.) Karst. (ASSMANN und FRANZ, 1963) und Douglasie *Pseudotsuga menziesii* Mirb. (BERGEL, 1985).

Total yield in stem dry biomass for selected commercial tree species aged 50 to 100 years (a and b respectively) under moderate thinning. This shows production for best and worst yield classes (upper and lower column respectively) calculated from yield tables for *Fagus sylvatica* L. (SCHÖBER, 1967), *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. (JÜTTNER, 1955), *Abies alba* Mill. (HAUSSER, 1956), *Pinus sylvestris* L. (WIEDEMANN, 1948), *Picea abies* (L.) Karst. (ASSMANN and FRANZ, 1963) and *Pseudotsuga menziesii* Mirb. (BERGEL, 1985).

Abbildung 4 zeigt für das Alter 50 (links) und 100 (rechts) die Reihung wichtiger Baumarten im Reinbestand hinsichtlich der Gesamtwuchsleistung an Trockenstoff. Für den Vergleich wurden die Volumenleistungen ($m^3 \cdot ha^{-1}$), die gängige Ertragstabellen bei mäßiger Durchforstung für die besten bzw. schlechtesten Standorte ausweisen, in Trockenstoffleistung ($t \cdot ha^{-1}$) umgerechnet. Da sich die verwendeten Ertragstabellen teilweise auf unterschiedliche Wuchsgebiete beziehen und dort sicher nicht immer die absolut besten und schwächsten Standorte repräsentieren, sind die folgenden Leistungsvergleiche als grober Anhalt zu verstehen. Douglasie *Pseudotsuga menziesii* Mirb. und Fichte *Picea abies* (L.) Karst. leisten bis zum Alter 50 das 2- bis 4-fache sonstiger Wirtschaftsbaumarten. Im Alter 100 stehen Fichte und Douglasie noch immer an der Spitze, das Gefälle zu anderen Baumarten wird lediglich geringer. Buche *Fagus sylvatica* L. und Tanne *Abies alba* Mill., die im Alter 50 im unteren oder mittleren Drittel lagen, rücken bis zum Alter 100 deutlich auf. Andersherum büßt die früh kulminierende Kiefer *Pinus sylvestris* L. ihre Überlegenheit ein. Die Veränderung der Rangfolge hinsichtlich der Produktivität zwischen dem Alter 50 und 100 unterstreicht den Einfluss des Alters auf die Ergebnisse von Leistungsvergleichen.

Angesichts ihrer überlegenen Produktivität laufen Beimischungen zu Fichte *Picea abies* (L.) Karst. und Douglasie *Pseudotsuga menziesii* Mirb. regelmäßig auf eine Produktionsminderung hinaus. Die Einbußen durch Beimischung einer unterlegenen Baumart können in der Regel nicht durch positive Wechselwirkungen der Mischbaumarten kompensiert werden. Angenommen auf einem Standort beträgt die Trockenstoffleistung der Fichte im Reinbestand 800 und die der Buche $480 t \cdot ha^{-1}$. Nehmen wir weiter an, dem Fichtenbestand werden 50% Buche beigemischt und es herrschen neutrale Wechselwirkungen zwischen den Arten. Dann würde sich die Leistung des Mischbestandes auf $p_{12} = 0.5 \cdot 800 t \cdot ha^{-1} + 0.5 \cdot 480 t \cdot ha^{-1} = 640 t \cdot ha^{-1}$, d. h. 80% des Fichtenreinbestandes vermindern, was einem Verlust von 20% entspräche. Um dennoch eine Überlegenheit gegenüber dem Reinbestand zu erzielen, müsste die positive Wechselwirkung der Mischung dieses Defizit kompensieren. Für eine wechselseitige Förderung der Baumarten Fichte und Buche von 20% gibt es aber keine Beispiele. So gesehen ist gegenüber dem besserwüchsigen Reinbestand aus Fichte *Picea abies* (L.) Karst. fast jede Beimischung eine Bürde. Diese große Überlegenheit erklärt den Siegeszug von Reinbeständen aus Fichte oder Douglasie. Angesichts des eingangs skizzierten Strebens nach multikriterieller Nachhaltigkeit gerät die einseitige und kurzfristige Optimierung der Produktivität allerdings zunehmend in die Kritik.

Leistungsrelation in Abhängigkeit vom Standort

Das zuvor diskutierte Modellbeispiel zeigt, wie stark die Leistungsrelation zwischen zwei Baumarten mit unterschiedlichen ökologischen Amplituden von Standort zu Standort variieren kann (*Abb. 2 a-d*). Zunächst widersprüchlich erscheinende Resultate von identischen Artenmischungen werden durch Einbeziehung der Standortbedingungen verständlich. Für die in Mitteleuropa wichtigste und am besten untersuchte Mischung Fichte/Buche *Picea abies* (L.) Karst./*Fagus sylvatica* L. sei der Einfluss der Standortbedingungen auf die Leistungsrelation zwischen Rein- und Mischbestand verdeutlicht. Hierfür steht eine einzigartige Datenbasis von 9 langfristig beobachteten Versuchsflächen mit 33 Parzellen zur Verfügung. Sie datieren bis in das Jahr 1928 zurück. Das Standort-spektrum reicht von basenreichen, warm-trockenen Buchenstandorten in Mittel- und Norddeutschland bis zu basenarmen, kühlen, niederschlagsreichen typischen Fichten-Standorten in Südbayern. Die Versuchsanlagen umfassen Parzellen in Rein- und Mischbeständen mit unterschiedlichen Mischungsanteilen. Seit Versuchsbeginn wurden die Rein- und Mischbestandsparzellen mäßig hochdurchforstet, also im Kronendach geschlossen gehalten. Der

Mischungsanteil der Buche liegt zwischen 30 und 50 Prozent. Die folgenden Ergebnisse beziehen sich auf das Alter 100.

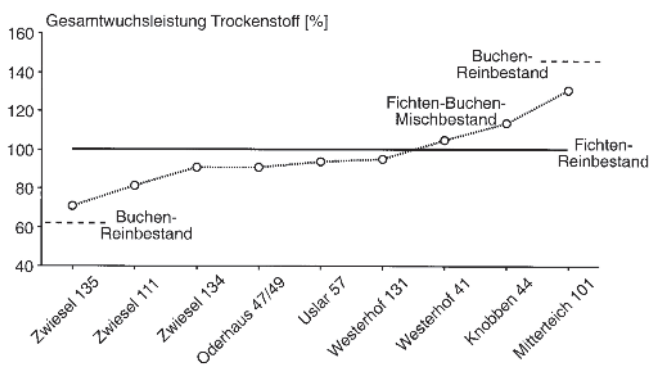


Abb. 5

Leistungsrelation zwischen Fichtenreinbeständen *Picea abies* (L.) Karst. (100 %-Linie) und Fichten-Buchen-Mischbeständen (*Picea abies* (L.) Karst. bzw. *Fagus sylvatica* L.) in Abhängigkeit von den Standortbedingungen. Dargestellt ist die relative Gesamtwuchsleistung an Trockenstoff auf langfristigen Versuchsflächen im Alter 100.

Productivity relationships between pure Norway spruce stands *Picea abies* (L.) Karst. (100 % line) and spruce-beech stands (*Picea abies* (L.) Karst., *Fagus sylvatica* L. resp.) in relation to site conditions.

It shows the relative total growth of dry biomass on long-term experimental plots at age 100.

Die Vorräte an Trockensubstanz liegen in diesem Alter zwischen 500 und 1300 t · ha⁻¹ bei der Fichte und 400 bis 1100 t · ha⁻¹ im Buchenreinbestand. Die Vorräte der Mischbestände liegen jeweils zwischen den zugehörigen Reinbestands-Parzellen. Je nach Gunst oder Ungunst des Standortes für Fichte und Buche nähern sie sich dem Fichten- bzw. Buchen-Reinbestand. Dasselbe gilt für die Gesamtwuchsleistung an Trockenstoff, die aufgrund der langen Beobachtungsdauer bekannt ist. In *Abbildung 5* ist die Gesamtwuchsleistung der Mischbestände jeweils in Relation zur Gesamtwuchsleistung der benachbarten standortgleichen Fichten-Reinbestände (100 %-Linie) dargestellt. Dabei sind die Versuchsflächen so gereiht, dass im linken Bereich der Grafik die Versuche auf optimalen Fichtenstandorten eingetragen sind. Von links nach rechts verschlechtern sich die Wuchsbedingungen für die Fichte, während sie sich für die Buche verbessern. Ganz rechts sind die Mischungsergebnisse auf optimalen Buchenstandorten aufgetragen. Für die Versuche Zwiesel 135 und Mitterteich 101, die das untere bzw. obere Leistungsspektrum der Buche markieren, ist das Leistungsniveau der Buche, ebenfalls bezogen auf den Fichten-Reinbestand, eingetragen (gebrochene Linie). Demnach führt eine 30–50 %-ige Beimischung der Buche auf Fichten-Standorten zu einem Produktivitätsrückgang auf 70 % des Fichten-Reinbestandes. Auf Buchenstandorten bewirkt die Beimischung der Buche eine Produktivitätssteigerung auf 130 % der Fichte. Im ersten Fall ist jede beigemischte Buche eine Bürde, im zweiten Fall jede beigemischte Buche ein Gewinn gegenüber der Produktivität im Fichten-Reinbestand. Die Wechselwirkungseffekte \varnothing_{rel} zwischen Fichte und Buche liegen zwischen +10 und -20%. In allen Fällen liegt der Mischbestand in der Produktivität aber zwischen den jeweiligen Reinbeständen.

Auch in der Untersuchung von JENSEN (1983) spannen die Reinbestände gewissermaßen den Korridor auf, in welchem die Produktivität der Mischbestände liegt. Mit einem West-Ost-Transect durch Jütland/Dänemark liefert er ein Musterbeispiel für den Effekt des Standortes auf die Wuchsrelation zwischen Fichte *Picea abies* (L.)

Karst. und Tanne *Abies alba* Mill. In dem küstennahen Dünen-gürtel ist die Tanne der Fichte überlegen, die daran anschließende risseiszeitliche Landschaft erbringt eine Gleichwüchsigkeit von Tanne und Fichte, auf den Würm-Altmoreänen des Inlandes unterliegt die Tanne der Fichte in der Trockenstoffleistung. Ausschlaggebend für die Überlegenheit der Fichte im Inland ist ihre Anpassung an geringe Wasserversorgung und basenarme Standorte. Demgegenüber profitiert die Tanne von der besseren Wasserversorgung und dem günstigeren Nährstoffangebot in Küstennähe. Die nachgewiesenen positiven Wechselwirkungen der Mischung reichen auch hier nicht für eine absolute Überlegenheit gegenüber den Reinbeständen aus.

Diese für die Mischung von Schattenbaumarten Fichte/Buche und Fichte/Tanne gefundene Eingrenzung lässt sich nicht auf Mischungen aus Licht- und Schattenbaumarten übertragen. FRIVOLD und KOLSTRÖM (1999) untersuchen das Wachstum von Birke *Betula pendula* ROTH, Kiefer *Pinus sylvestris* L. und Fichte *Picea abies* (L.) Karst. in Finnland, Schweden und Norwegen. Sie unterstreichen die Standortabhängigkeit etwaiger Über- und Unterlegenheiten dieser Baumarten in Mischung. Die Wechselwirkungen können je nach Standortbedingungen negativ, neutral oder positiv ausfallen und im letzteren Fall auch zu einer absoluten Überlegenheit der Mischbestände gegenüber dem leistungsstärkeren Reinbestand führen. In Süd- und Zentral-Finnland sind Kiefern-Birken-Mischbestände dem Kiefernreinbestand um 10 % und dem Birkenreinbestand um 14 % überlegen (MIELIKÄINEN, 1980). Für Fichten-Birken-Bestände ergibt sich je nach Standort eine Überlegenheit von 10 bis 15 % gegenüber den entsprechenden Reinbeständen (MIELIKÄINEN, 1985). In ozeanisch geprägten Gebieten von Norwegen und Schweden verliert die Birke gegenüber den Koniferen an Wüchsigkeit. Dort erbringen der Kiefer-Birken-Bestände keine Mehrleistungen gegenüber Reinbeständen und Fichten-Birken-Bestände nur in der Jugendphase einen positiven Mischungseffekt (FRIVOLD und FRANK, 2002).

Archetypische Mischungsreaktionen

Die in *Abbildung 6* gegebenen Beispiele für negative, neutrale und positive Wechselwirkungen (a–c) spannen den Rahmen der in temperierten und borealen Zwei-Arten-Mischbeständen zu erwartenden Mischungseffekte auf. Auf den linksseitigen Ordinaten ist die Trockenstoffleistung in den Buchen- bzw. Lärchen-Reinbeständen *Fagus sylvatica* L. bzw. *Larix decidua* Mill. aufgetragen, auf der rechtsseitigen Ordinate diejenige der Fichten-Reinbestände *Picea abies* (L.) Karst. Die dazwischen liegenden, miteinander verbundenen Rauten (obere Verbindungslinie) repräsentieren die Produktivität der Mischbestände p_{12} insgesamt. Außerdem ist die Produktivität der Mischbaumarten $p_{1(2)}$ bzw. $p_{(1)2}$ eingetragen (Dreiecke bzw. Kreise). Bei zuwachsneutralem Mischungseffekt läge die Produktivität der Mischbestände auf den geraden Verbindungslinien zwischen den Reinbeständen. Abweichungen von den Referenzgeraden lassen erkennen, ob der Bestand insgesamt Vor- oder Nachteil aus der Mischung zieht und welche Arten dafür verantwortlich sind. Die Darstellungsweise wurde in Abschnitt 2 eingeführt.

Der Fichten-Buchen-Versuch Freising 813 (*Abb. 6 a*) repräsentiert negative Wechselwirkungen durch die Mischung, erkennbar durch die U-Form der durch Rauten gekennzeichneten Verbindungslinie. Bei einer Beimischung von 40 bis 50 % Buche geht die Produktivität gegenüber den Erwartungswerten bei neutralem Mischungseffekt um circa 30 % zurück. Der Blick auf die Reaktionsmuster von $p_{1(2)}$ bzw. $p_{(1)2}$ zeigt, dass die Produktivität der Fichte proportional, die der Buche dagegen nur unterproportional zu ihrem Mischungsanteil ansteigt. Die Buche ist damit als leidtragende und zuwachsmindernde Art der Mischung identifiziert.

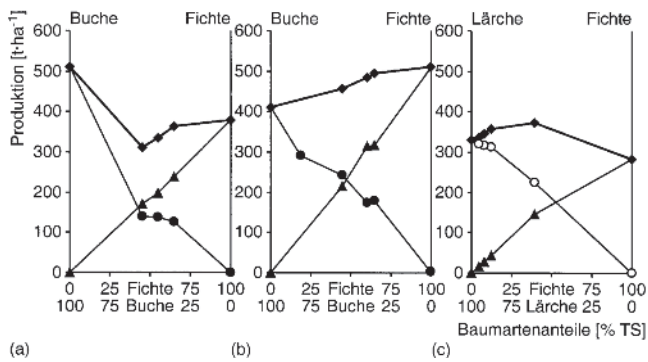


Abb. 6 a–c

Archetypische Reaktionsmuster der Trockenstoffleistung bei Mischung zweier Baumarten. Mischungen aus Fichte *Picea abies* (L.) Karst. und Buche *Fagus sylvatica* L. im Flachland mit negativem Mischungseffekt, Fichte und Buche im submontanen Bereich mit neutralem Effekt und Lärche *Larix decidua* Mill. und Fichte *Picea abies* (L.) Karst. im subalpinen Bereich mit positiven Mischungseffekten (von a nach c). Bei neutralem Mischungseffekt würden die Leistungsdaten der Mischbestände auf linearen Verbindungslinien zwischen den Reinbeständen liegen (links- bzw. rechtsseitige Ordinate).

Archetypal response pattern of dry biomass production in two-species mixtures. Mixtures of spruce *Picea abies* (L.) Karst. and beech *Fagus sylvatica* L. in flat land areas with unfavourable mixture effects, spruce and beech in submontane areas with neutral effects and larch *Larix decidua* Mill. and spruce *Picea abies* (L.) Karst. in sub-alpine areas with beneficial mixture reactions (from a to c). For neutral mixture effects the yield data for mixed stands would lie on a linear line connecting the pure stands (left-hand and right-hand ordinates).

Der Fichten-Buchen-Mischversuch Zwiesel 111 (Abb. 6 b) repräsentiert einen neutralen Mischungseffekt. Auf allen Parzellen dieser Versuchsflächen nimmt die Gesamtwuchsleistung an Trockenstoff proportional zum Mischungsanteil zu. Die Punkte liegen auf der Verbindungslinie zwischen den Reinbestands-Parzellen. Demnach geht die Produktionssteigerung allein auf den Ersatz der Buche durch die auf diesem Standort besser wüchsige Fichte zurück, nicht aber auf positive Wechselwirkungen zwischen beiden Arten.

In beiden Fichten-Buchen-Mischbeständen (Abb. 6 a und b) steigt die Leistung der Fichte (Dreiecke) proportional zum Mischungsanteil an. Die Reaktion der Buche (Kreise) fällt dagegen negativ bzw. neutral aus. Im ersten Fall leidet die Buche unter der im Höhenwachstum überlegeneren Fichte. Im zweiten Fall sind die Kräfteverhältnisse ausbalanciert. Diese zwei Reaktionstypen unterscheidet schon WIEDEMANN (1942, 1943, 1951). In Norddeutschland erbringen Fichten-Buchen-Mischbestände bei gleichwüchsiger Buche etwa dieselbe Trockenstoffleistung wie die entsprechenden Reinbestände. Bei mattwüchsiger Buche liegt der Mischbestand um etwa 19% unter der Trockenstoffleistung des Buchenreinbestandes auf gleichem Standort. KENNEL (1965) untersucht die Mischung aus Fichte und Buche im bayerischen Voralpengebiet, im Bayerischen Wald und im niedersächsischen Harz und BURGER (1941) in der Schweiz mit ähnlichem Ergebnis. Es lässt sich zusammenfassen, dass bei Mischung dieser Schattenbaumarten die Trockenstoffleistung der Mischbestände in keinem Fall gesichert über jener gleich großer vergleichbarer Reinbestandsflächen liegt, häufig aber deutlich darunter.

Positive Wechselwirkungen und absolute Überlegenheit ergeben sich dagegen häufig bei Mischung von Licht- und Schattenbaumarten. ZÖHRER (1969) weist für Lärchen-Fichten-Mischbestände

Larix decidua Mill. bzw. *Picea abies* (L.) Karst. im Salzburger Land eine Überlegenheit in der Trockenstoffproduktion gegenüber standortgleichen Reinbeständen nach (Abb. 6 c). Bei Zunahme des Fichten-Anteils steigt die Gesamtwuchsleistung überproportional an, kulminiert bei Anteilen von 30 bis 40% und geht bei Annäherung an den Fichten-Reinbestand zurück. Die Lage der Befunddaten über der Verbindungslinie zwischen den Trockenstoffleistungen beider Reinbestände belegt positive Wechselwirkungseffekte zwischen den gemischten Baumarten. Der Lärchen-Fichten-Mischbestand übertrifft den Fichtenreinbestand damit um 22–28% und den Lärchenreinbestand um 2–13%. Auch für andere Mischbestände aus Licht- und Schattenbaumarten wie Eiche/Buche *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl./*Fagus sylvatica* L., Kiefer/Fichte *Pinus sylvestris* L./*Picea abies* (L.) Karst. und Kiefer/Buche *Pinus sylvestris* L./*Fagus sylvatica* L. weisen BONNEMANN (1939) bzw. WIEDEMANN (1943, 1951) nach 50 Jahre langer Beobachtung positive Wechselwirkungseffekte nach. Diese Mischbestände weisen Mischungsanteile zwischen 30 und 70 auf, sind 120 bis 140 Jahre alt und der jeweils leistungsfähigeren Baumart in der Trockenstoffleistung um bis zu 6% überlegen. DITTMAR et al. (1986) beschreibt für langfristige Kiefern-Buchen-Versuchsflächen in der Dübener Heide positive Wechselwirkungseffekte gegenüber dem Reinbestand, die je nach Alters- und Mischungsstruktur 7–25% betragen. Ähnlich hohe Überlegenheit erbringen nach BURGER (1941) und WIMMENAUER (1941) Lärchen-Buchen-Mischbestände.

Wesentlich höhere Überlegenheit von 50% weisen DEBELL et al. (1989) für die Mischung von *Eucalyptus saligna* SM. und der Leguminose *Albizia falcataria* (L.) FOSBERG in Hawaii nach. Gemessen an solchen Leistungsrelationen im subtropischen Raum, fallen die Mischungseffekte bei Wirtschaftsbaumarten im temperierten und borealen Bereich mit circa $\pm 30\%$ eher gering aus.

Störungen, waldbauliche Behandlung

Je größer die Amplitudenvariation seiner Mischbaumarten, umso elastischer ist ein Bestand gegenüber Störungseinflüssen (Abschn. 2). Beispielhaft zeigen das die Jahreszuwachsgänge auf der Fichten-Buchen-Versuchsfläche Schongau 814 von 1960–1995 (Abb. 7). Auf das Trockenjahr 1976 reagiert die Fichte *Picea abies* (L.) Karst. dort, im Unterschied zur Buche *Fagus sylvatica* L., mit einem drastischen Zuwachsrückgang. In Fichten-Reinbeständen würde das zu empfindlichen Produktionsverlusten führen. In Fichten-Buchen-Mischbeständen können solche Störungen abgepuffert werden, indem die Produktion auf die Buche umgesteuert wird (Abb. 3).

Leistungsvergleiche zwischen Rein- und Mischbeständen stützen sich meist nur auf mehr oder weniger ungestörte Versuchsbestände. Nach Kalamitäten oder ungeplanten Nutzungen werden betroffene Parzellen aufgegeben und nur geschlossene Parzellen weiter geführt. Die aus solchen Versuchsflächen abgeleiteten Aussagen zur Unter- oder Überlegenheit von Mischbeständen sind damit auch nur für solche „normalen“ Verhältnisse gültig. Durch Einbeziehung der Reaktionsmuster nach Störungen gewinnt ein Leistungsvergleich an Realitätsnähe. Am Beispiel von Fichte und Buche wird im Folgenden nachgewiesen, dass Reinbestände dieser Arten auf Störungen in Form von Durchforstungen grundlegend anders reagieren als Mischbestände.

Die Analyse der Durchforstungs-Zuwachs-Beziehung in Reinbeständen baut auf 19 Durchforstungsversuchen mit 26 Fichten- und 30 Buchenparzellen (*Picea abies* (L.) Karst. bzw. *Fagus sylvatica* L.) auf, die in Bayern und Niedersachsen liegen. Die ältesten sind seit der Gründerzeit des Ertragskundlichen Versuchswesens, Mitte des 19. Jahrhunderts, unter regelmäßiger Beobachtung. Sie setzen sich mit wenigen Ausnahmen aus jeweils drei Parzellen zusammen, die im Standort und Alter identisch sind, seit Versuchsbeginn aber

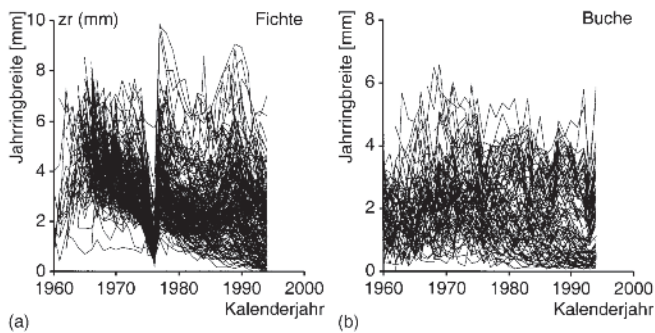


Abb. 7 a und b

Jahringbreitenentwicklung von Fichten *Picea abies* (L.) Karst. (a) und Buchen *Fagus sylvatica* L. (b) auf der Mischbestands-Versuchsfläche Schongau 814. Die Fichte reagiert gegenüber der Buche wesentlich empfindlicher auf die Trockenheit im Jahr 1976.

Development of annual ring width in spruce *Picea abies* (L.) Karst. (left) and beech *Fagus sylvatica* L. (right) on the mixed stand trial area Schongau 814. On that site spruce shows much more sensitive reactions to the drought of the year 1976 than beech.

konsequent nach den Vorschriften für den A-, B- und C-Grad (schwache, mäßige bzw. starke Niederdurchforstung) behandelt wurden und deshalb ein breites Spektrum von Bestandesdichten abdecken. Die Analyse der Dichte-Zuwachs-Relation im Mischbestand basiert auf insgesamt 23 vorwiegend in Süddeutschland gelegenen Fichten-Buchen-Versuchsflächen mit insgesamt 78 Parzellen, die seit 1954 unter Beobachtung stehen. Mit einem Grundflächenspektrum von 25–80 m² · ha⁻¹ im Alter von etwa 100

Jahren variieren die Dichten dort noch stärker als in den Reinbeständen. Aus den bis zu 20 turnusmäßigen Aufnahmen von auscheidendem, verbleibendem und gesamtem Bestand sind die Durchforstungsentnahmen, die Reaktion des verbleibenden Bestandes und damit auch die Gesamtwuchsleistung quantifizierbar.

Abbildung 8 (a–c) verdeutlicht für den Fichten-Reinbestand, Buchen-Reinbestand bzw. Fichten-Buchen-Mischbestand die Trockenstoffleistung auf unterschiedlich stark durchforsteten Parzellen im Vergleich zum undurchforsteten A-Grad (=100 Prozent) im Alter 100. Betrachtet man zunächst das Reaktionsmuster der Reinbestände (a und b), so ist bemerkenswert, dass die Trockenstoffleistung beim Übergang vom A- zum B-Grad bei beiden Baumarten um 5–10% ansteigt. Beim Übergang vom B- zum C-Grad lässt sich eine Abnahme der Gesamtwuchsleistung feststellen; auf der Mehrzahl der Buchen-Versuchsflächen liegt die Gesamtwuchsleistung beim C-Grad aber immer noch höher als beim A-Grad. Die eingetragenen Balken für den einfachen Standardfehler weisen für den B-Grad signifikante Unterschiede vom A-Grad nach. Die Wuchsleistung der unbehandelten Parzellen dient den behandelten als Referenz, ist gleich 100%-Wert gesetzt und besitzt deshalb keinen Standardfehler.

Nach über 130-jähriger Versuchsarbeit lässt sich damit eindeutig ein Wachstumsanstieg vom A- zum B-Grad und ein Wachstumsrückgang bei Überschreitung des B-Grades konstatieren. Der Zusammenhang zwischen Dichte und Wachstum stellt sich damit als Optimumkurve dar. Die Annäherung an die maximale Dichte ist mit Wachstumseinschränkungen von 5–10% verbunden. Dagegen nimmt die Trockenstoffleistung in den Fichten-Buchen-Mischbeständen (Abb. 8 c) über einen breiten Dichtebereich hinweg recht ähnliche Werte an. Selbst Dichteabsenkungen über 50% ziehen

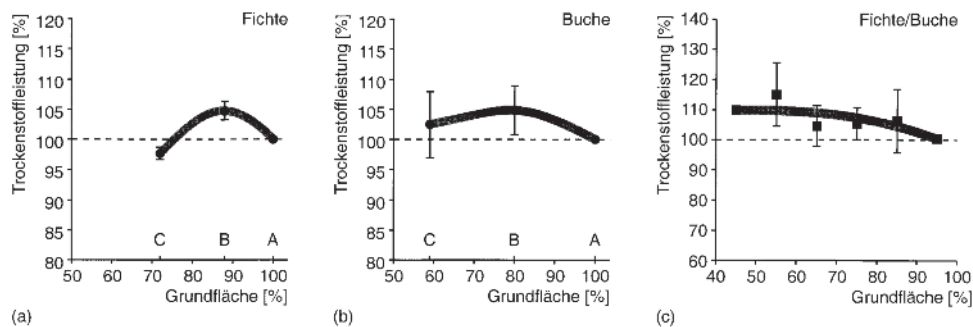


Abb. 8 a–c

Dichte-Wachstums-Beziehungen in Rein- und Mischbeständen aus Fichte *Picea abies* (L.) Karst. und Buche *Fagus sylvatica* L. Dargestellt ist die relative Trockenstoffleistung bei verschiedener Grundflächenhaltung im Alter 100.

- (a) Ergebnisse aus 9 Fichten-Durchforstungsversuchen mit 26 Parzellen. Seit 1870 konsequent A-, B- und C-Grad durchforstet (schwache, mäßige bzw. starke Niederdurchforstung).
- (b) Ergebnis von 10 Buchen-Durchforstungsversuchen mit 30 Parzellen. Seit 1870 konsequent schwach, mäßig bzw. stark niederdurchforstet.
- (c) Ergebnisse von 23 Mischbestandsversuchen mit 78 Parzellen, unter Beobachtung seit 1954. Der Versuchsaufbau schließt unbehandelte Parzellen, schwache, mäßige und starke Durchforstung sowie Lichtung ein.

Density-growth-relationships in pure and mixed stands from spruce *Picea abies* (L.) Karst. and beech *Fagus sylvatica* L.. The relative dry biomass production, given variations in basal area at age 100 is represented.

- (a) Results from 9 spruce thinning experiments with 26 plots. Consistently applied A, B and C thinning-degree since 1870 (light, moderate and heavy thinning from below respectively).
- (b) Results from 10 beech thinning experiments with 30 plots. Consistently subjected to light, moderate and heavy thinning from below since 1870.
- (c) Results from 23 mixed stand experiments with 78 plots under observation since 1954. The experimental design included untreated plots, light, moderate and strong thinning as well as clearance.

kaum Produktionsverluste nach sich. Im Vergleich zu entsprechenden Reinbeständen können Fichten-Buchen-Mischbestände Störungen durch Durchforstungseingriffe besser durch Mehrzuwachs des verbleibenden Bestandes kompensieren.

Ursache für dieses Reaktionsmuster ist die Raumbesetzung mit dominanter Fichte und dominanter aber auch subdominanter Buche. Hierdurch nimmt die Summe der Kronenschirmflächen und auch die Häufigkeit von Mehrfachüberschirmung vom Rein- zum Mischbestand zu. In solchen Beständen können Entnahmen oder Ausfälle in einer Schicht durch Zuwachs einer anderen Schicht aufgefangen werden. Diese Abfederung wird insbesondere mit zunehmendem Alter wirksam. Im Mischbestand können die verbleibenden Bäume die entstehenden Lücken schließen, die altersbedingte Verlichtung bremsen und den Bestandeszuwachs stabil halten.

4. DISKUSSION

Aussagen über die Leistungsrelation zwischen Rein- und Mischbeständen waren in der Gründerzeit der Forstwissenschaften wegen schmäler Datenbasis mehr von Glauben als von Wissen getragen (MÖLLER, 1922; WIEDEMANN, 1951). Dank langfristiger Versuchsanlagen lässt sich heute das Wissen über Zwei-Arten-Mischungen verdichten. Je nach Artenmischung, Standort, waldbaulicher Behandlung und Risiko können die Mischungseffekte sehr unterschiedlich ausfallen. Mit der Kombination von Pionier- mit Klimaxbaumarten, ontogenetisch früh mit spätkulminierenden Arten, Licht- mit Schattenbaumarten wird ein „Job-sharing“ der Arten ermöglicht, das ihre Ressourcenausbeute um bis zu 30% gegenüber dem Reinbestand steigern kann. Bei Ähnlichkeit der ökologischen Amplituden und funktionalen Eigenschaften konkurrieren die Arten dagegen gleichzeitig um dieselben Ressourcen im Kronen- und Wurzelraum. Negative Wechselwirkungen und Minderleistungen von 30% können die Folge sein.

Besondere Aussichten auf Mehrleistung bestehen bei Arten, die auf einem Standort etwa gleiche Leistung erbringen, und sich in ihrer räumlich-zeitlichen Raumbesetzung ergänzen. Das kann beispielsweise durch die kombinierte Raumbesetzung mit Lichtbaumarten (z. B. *Larix decidua* Mill., *Pinus sylvestris* L.), Halbschattenbaumarten (*Picea abies* (L.) Karst., *Pseudotsuga menziesii* Mirb.) und Schattenbaumarten (*Fagus sylvatica* L., *Abies alba* Mill.) erreicht werden. Durch eine solche Schichtung von Arten mit unterschiedlicher Schattentoleranz kann durch obere Schichten transmittierte Strahlung von darunter liegenden Schichten genutzt werden. Produktivitätsgewinne erbringen auch Baumartenmischungen, deren Jahres- oder Altersgänge sich zeitlich ergänzen. Angenommen der Zuwachs von Art 1 in einem Zwei-Arten-Mischbestand kulminiert früh und fällt dann rasch ab, dann kann einem Abfall des Gesamtzuwachses durch Beimischung einer Art 2, die sich antizyklisch entwickelt, entgegengewirkt werden. ASSMANN (1970) zeigt, dass sich die arttypische Periodizität auf verschiedenen Zeitskalen widerspiegelt. Arten, die im Jahresverlauf früh kulminieren, zeigen diese Eigenschaft auch innerhalb des Lebens. Mischbaumarten mit antizyklischem Jahreszuwachsengang ergänzen sich häufig auch innerhalb des Alterszuwachsanges. Räumliche und zeitliche Differenzierungen in der Ressourcennutzung treten z. B. in Fichten-Buchen-Mischbeständen auch kombiniert auf. Im Frühjahr, vor Laubaustrieb der Buche, kann die Strahlung tiefer und intensiver in den Bestand eindringen, die Winterruhe der Fichte verkürzen und ihre per se überlegene Vegetationszeit gegenüber der Buche weiter nach vorne verlängern (SCHOBER, 1950/51). Die Wechselwirkungseffekte werden umso größer, je intensiver Fichte und Buche miteinander gemischt sind (ELLENBERG et al., 1986). Wie zuvor gezeigt, kann aber auch eine Art alleine von der Mischung profitieren, sodass die unterlegene Art nur bei kontinuierlicher Begünstigung im Rahmen der Pflege erhalten bleibt.

In Wäldern lassen sich solche räumlich-zeitlichen Prozesse der Raumbesetzung durch Wachstum oder Raumbefreiung durch Mortalität, auf Grund der räumlichen und zeitlichen Dimensionierung individuell und zerstörungsfrei erfassen. Deshalb können langfristig und räumlich explizit aufgenommene Versuchsbestände in Wäldern einen einzigartigen Beitrag zum Verständnis der Raum-Zeit-Dynamik von Mischungen leisten.

Die für Grasland und natürliche Waldökosysteme gefundenen systematischen Leistungsanstiege um 30 bis 50 Prozent beim Übergang vom Reinbestand zur Zwei-Arten-Mischung (CASPERSEN und PACALA, 2001; HECTOR et al., 1999; LOREAU et al., 2001; PFISTERER und SCHMID, 2002) lassen sich also nur sehr eingeschränkt auf Wirtschaftswälder übertragen. Vermutlich ist in borealen und temperierten Wäldern die Nischendifferenzierung aufgrund der Artenreduktion durch die Eiszeiten und der geringeren Evolutions- und Koevolutiongeschwindigkeit langlebiger Bäume vergleichsweise gering. Deshalb fällt die Effizienzsteigerung in der Ressourcenausbeute und der Produktivitätsanstieg beim Übergang von Rein- zu Mischbeständen mit maximal 30% geringer aus. Hinzu kommt, dass viele der untersuchten Wälder nicht die natürliche Artenmischung repräsentieren. Es handelt sich dabei oft um Kunstprodukte aus leistungsstarken Arten wie Fichte *Picea abies* (L.) Karst. und Douglasie *Pseudotsuga menziesii* Mirb., die außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebietes kultiviert werden. Ihre genetische Variation spiegelt häufig nicht mehr die natürliche Selektion, sondern eine vom Menschen unter wirtschaftlichen Kriterien gesteuerte Auslese wider. Solche Wälder sind also nicht auf eine optimale Nischennutzung durch die Mischbaumarten ausgerichtet. Es können Nischenüberlappungen und Risiken auftreten, die sich in negativen Wechselwirkungseffekten der Mischung äußern.

Die Kombination mehrerer Arten ist gleichbedeutend mit einer Risikostreuung. Mischbestände sind in der Regel elastischer gegenüber Änderungen der Standortbedingungen und resilienter bei natürlichen Ausfällen oder Störungen durch waldbauliche Eingriffe. Angenommen auf einem gut wasserversorgten, basenarmen Standort im bayerischen Alpenvorland, auf dem die Fichte *Picea abies* (L.) Karst. die Buche *Fagus sylvatica* L. im Wachstum weit übertrifft, würden einem Fichtenreinbestand zur Erhöhung von Biodiversität und ästhetischem Wert Buchen beigemischt. Dann bedeutet der Ersatz der Fichte durch die langsamere wüchsige Buche unter ungestörter Entwicklung einen beträchtlichen Ertragsentgang, verursacht also Opportunitätskosten. Kalkuliert man aber die größere Stabilität gegenüber Störungen mit ein, so können die Opportunitätskosten u. U. wesentlich geringer ausfallen. Das zeigen Simulationsstudien zum Effekt der Klimaveränderungen auf das Wachstum von Rein- und Mischbeständen aus Fichte und Buche in Deutschland (PRETZSCH und ĎURSKÝ, 2002; PRETZSCH et al., 2002). Nimmt man für den genannten Standort einen Temperaturanstieg in der Vegetationsperiode um 2 Grad Celsius, ein Rückgang der Niederschläge in der Vegetationsperiode um 10 Prozent und eine Verlängerung der Vegetationszeit um 10 Tage an, dann sinkt die Produktivität der Fichte dort um mehr als 10 Prozent. Eine 30-prozentige Beimischung von Buche, die den unterstellten Klimaänderungen besser gewachsen ist, könnte die klimabedingten Zuwachsverluste der Fichte überkompensieren. Angesichts zunehmender Störungen unserer Waldökosysteme durch Stoffeinträge und Klimaveränderungen werden die Vorteile einer solchen Risikostreuung künftig vermutlich steigen (LINDNER und CRAMER, 2002).

Abweichungen von der normalen Bestandesdichte mit lockerem Kronenschluss können Mischbestände besser abpuffern. Das gilt sowohl für eine Annäherung an die maximale Dichte durch unterlassene Pflege, als auch für Dichteabsenkungen infolge von waldbaulichen Eingriffen und Kalamitäten. Im Reinbestand besteht zwischen Dichte und Wachstum eine Optimumbeziehung. Im

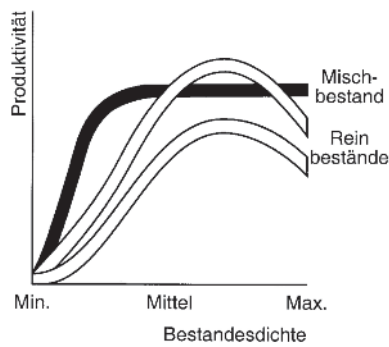


Abb. 9

Zusammenhang zwischen Bestandesdichte und Wachstum im Rein- und Mischbestand in schematischer Darstellung. Die Bestandesdichte-Wachstums-Beziehung folgt in Mischbeständen einer Sättigungskurve, in Reinbeständen einer Optimumkurve. Das bringt die größere Zuwachsresilienz von Mischbeständen (schwarz ausgezogene Linie) im Vergleich zu Reinbeständen (weiß ausgezogene Linien) zum Ausdruck.

Schematic representation of relationships between stand density and growth in pure and mixed stands.

In mixed stands the density-growth relationship follows a saturation curve and an optimum curve in pure stands. This reflects the greater growth resilience in mixed stands (black solid line) as compared with that in pure stands (white solid line).

Mischbestand geht die Trockenstoffleistung weder bei Grundflächenabsenkungen auf 40 bis 50 % noch bei Annäherung an die maximale Dichte signifikant zurück. Dieser wichtige Zusammenhang ist in *Abbildung 9* schematisch dargestellt. Dem Mischbestand (schwarz ausgezogene Linie) sind zwei Reinbestände (weiß ausgefüllte Linien) gegenübergestellt. Der erste Fall (obere Linie) unterstellt die für manche Baumarten bei mittlerer Dichte nachgewiesene Leistungsüberlegenheit des Reinbestandes gegenüber dem Mischbestand. Senkt eine Störung die Dichte ab, so reagieren Reinbestände mit empfindlichen Zuwachsverlusten und werden unterlegen. Das Wachstum im Mischbestand bleibt dagegen in einem weiten Dichtebereich stabil. Selbst wenn Mischbestände unter „normalen“ Bedingungen unterlegen sind, können sie bei Störungen oder Nichtbehandlung aufgrund ihrer größeren Resilienz eine Überlegenheit entfalten. Im zweiten Fall (untere Linie) ist der Reinbestand dem Mischbestand schon unter „Normalbedingungen“ unterlegen. In diesem Fall nimmt die Unterlegenheit bei positiven oder negativen Abweichungen von der mittleren Dichte, z. B. bei unterlassener Pflege oder ungeplanter Unterbrechung des Bestandesschlusses weiter zu. Die unter „Normalbedingungen“ gefundene Leistungsrelation zwischen Rein- und Mischbeständen kann sich also durch Einbeziehung des Risikos erheblich verschieben. Ausschlaggebend dafür ist letztlich die Eintrittswahrscheinlichkeit und das räumliche Verteilungsmuster von Schäden und Störungen. Beispielsweise nimmt die Produktivität eines Mischbestandes nach Reduktion der Bestandesdichte (vgl. *Abb. 9*, schwarz ausgezogene Linie) umso empfindlicher ab, je geklumpter die Störung auftritt. Die temporär blendende Leistungsüberlegenheit künstlicher Reinbestände kehrt sich häufig in Unterlegenheit um, wenn die Risiken einkalkuliert werden. So ist die Fichte unter Normalbedingungen zwar auf vielen Standorten der Buche erdrückend überlegen, ihre Schädigung durch Sturmwurf ist aber vier mal so groß (VON LÜPKE und SPELLMANN, 1999). Mischbestände können über solche Störungen, die gleichbedeutend mit einer abrupten Auslenkung der Bestandesdichte vom mittleren in den geringen Bereich sind, mit geringeren Zuwachsverlusten als Reinbestände hinwegkommen. Stärkere Einbrüche der Bestandesdichte, bei-

spielsweise durch flächendeckenden Windwurf vorwüchsiger und großkroniger Fichten in Mischbeständen mit führender Buche (ROTMANN, 1986), verursachen aber auch in Mischbeständen empfindliche Zuwachsverluste.

Die gefundenen Leistungsrelationen in der Trockenstoffleistung alleine erlauben selbstverständlich noch keine Entscheidung für die Begründung von Rein- oder Mischbeständen oder für eine bestimmte Bestockungsdichte. Eine solche Entscheidung wird je nach Rahmenbedingungen und Zielhierarchie, wenn beispielsweise die Quantität der Produktion (z. B. Papierholz, Energieholz, C-Speicherung), die Qualität (z. B. Bau- oder Furnierholz) oder Sicherheit und Risikovorsorge (Stabilisierung gegen Sturm oder Erosionsschutz) im Vordergrund stehen, sehr unterschiedlich ausfallen. Vergewärtigt man sich aber, dass eine geeignete Mischung die Trockensubstanzproduktion um bis zu 30 Prozent erhöhen kann und darüber hinaus andere Waldfunktionen gewährleistet, so können die aufgezeigten Leistungsrelationen zum ausschlaggebenden Kriterium der Entscheidungsfindung werden. Aufgrund ihrer im Vergleich zu annuellen Systemen um zwei Zehnerpotenzen längeren Lebensdauer haften Wäldern eine höhere Risikogefährdung an. Hinzu kommen zyklische Störungen durch waldbauliche Eingriffe. Deshalb hat die durch Mischung hergestellte Risikostreuung in Wäldern einen größeren Stellenwert als in kurzlebigeren Ökosystemen. Die Risikostreuung durch Baumartenvielfalt muss aber nicht zwangsläufig auf eine Baumartenmischung hinauslaufen. Denn die gewünschte Diversifikation könnte man auch durch räumlich voneinander getrennte Reinbestände dieser Arten herstellen. Durch eine solche räumliche Trennung der Arten könnten sogar etwaige negative Wechselwirkungen der Artenmischung umgangen und vermehrter Pflegeaufwand bei enger Verzahnung von Mischbaumarten mit unterschiedlichem Leistungsvermögen vermieden werden. Die gefundenen positiven Mischungseffekte bis zu 30 %, die Zuwachsresilienz gegenüber Störungen und Einsparung von Bestandesbegründungskosten bei Totalausfall einer Art können aber nur bei inniger Verzahnung ausgeschöpft werden.

5. DANKSAGUNG

Der Autor dankt der DFG für die Förderung der Mischbestandsforschung im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 607 und dem Bayerischen Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten für die Unterstützung des Ertragskundlichen Versuchswesens. Den Versuchsleitern am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, MARTIN NICKEL und GERHARD SCHÜTZE sei für die Aufbereitung und Auswertung der zugrunde liegenden historischen Zeitreihen gedankt und Dr. HERMANN SPELLMANN von der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt in Göttingen für die Überlassung von Daten der ehemals Preußischen Forstlichen Versuchsanstalt.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Im Mittelpunkt steht die Frage, wie Baumartenvielfalt und Produktivität von Wäldern zusammenhängen. Auf der Basis langfristiger Versuchsflächen wird analysiert, wie sich der Übergang von Monokulturen zu Mischbeständen auf die Produktivität auswirkt. Betrachtet werden wirtschaftlich wichtige Baumarten der temperierten und borealen Klimazone. Je nach Artenmischung und Standort können die Mischungseffekte sehr unterschiedlich ausfallen (*Abb. 2*). Durch Kombination von Pionier- mit Klimaxbaumarten, ontogenetisch früh mit spätkulminierenden Arten, Licht- mit Schattenbaumarten kann die Ressourcenausbeute um bis zu 30 % gegenüber dem Reinbestand gesteigert werden. Bei Ähnlichkeit der ökologischen Amplituden und funktionalen Eigenschaften konkurrieren die Arten dagegen gleichzeitig um dieselben Ressourcen im Kronen- und Wurzelraum. Negative Wechselwirkungen und Minderleistungen von 30 % können die Folge sein (*Abb. 6*). Diese für

mittlere Bestandesdichten nachgewiesenen Leistungsrelationen zwischen Rein- und Mischbeständen können sich bei Eintritt von Störungen zugunsten von Mischbeständen verschieben (Abb. 7 und 8). Denn die Kombination mehrerer Arten ist gleichbedeutend mit einer Risikostreuung. Mischbestände sind in der Regel elastischer gegenüber Änderungen der Standortbedingungen und resilienter bei natürlichen Ausfällen oder Störungen durch waldbauliche Eingriffe (Abb. 9). Im Mischbestand können Entnahmen und Ausfälle einer Art durch Mehrzuwachs der verbleibenden Art abgepuffert werden.

7. Summary

Title of the paper: *Diversity and Productivity of Forests.*

This contribution focuses on the question how tree species richness is related to forest productivity. Based on long-term experimental plots the effects of the transition from mono-cultures to mixed stands are analysed. Important commercial tree species from temperate and boreal climate zones are considered. Depending on the type of mixture and site conditions the effects from species mixtures on productivity may vary considerably (Fig. 2). Combinations of early and late successional tree species, ontogenetically early and late culminating species, shade-intolerant and shade-tolerant species may raise the efficiency of resource utilisation by up to 30 % compared with that in pure stands. By contrast, where ecological amplitudes and functional characteristics are similar, species will compete for the same resources in crown and root system. Antagonistic effects from species interaction and productivity reductions by up to 30 % may ensue (Fig. 6). With the occurrence of risk the productivity relationships between pure and mixed stands, related to medium stand densities, may experience a shift in favour of mixed stands (Fig. 7 and 8). The reason being that the combination of several species is synonymous with risk distribution. As a rule, mixed stands are more flexible in the face of changes in site conditions and more resilient to natural disturbances or perturbations on account of silvicultural treatment (Fig. 9). In mixed stands silvicultural removals or severe loss of one species may be compensated for by accelerated growth of the remaining species.

8. Résumé

Titre de l'article: *Diversité et productivité des forêts.*

La question centrale est de savoir dans quelle mesure sont liées la diversité et la productivité des forêts. En se basant sur des placettes expérimentales permanentes on a analysé comment le passage des monocultures aux peuplements mélangés influençait la productivité; pour ce faire on a pris en considération les essences des zones climatiques tempérée et boréale importantes au plan économique. Selon le mélange des essences et al station les conséquences peuvent se manifester fort différemment. En combinant les essences pionnières et climatiques, les essences à ontogenèse précoce avec celles, qui culminent tardivement, les essences de lumière et d'ombre les produits récoltés peuvent être jusqu'à 30 % supérieurs à ceux d'un peuplement pur. Avec des niches écologiques et des caractéristiques fonctionnelles identiques les essences sont eu revanche toutes en concurrence, simultanément, pour les mêmes ressources, dans la zone des couronnes et dans celle des racines, dans ce cas on peut aboutir à des effets négatifs du changement et à une perte de production de 30 % (Fig. 6). Les relations ainsi établies entre la production des peuplements purs et celle des peuplements mélangés – dans le cas de degrés de plénitude moyens – peuvent se trouver modifiées au bénéfice des peuplements mélangés si des éléments perturbateurs interviennent (Fig. 7 et 8). En effet combiner plusieurs espèces revient à répartir les risques. En règle générale les peuplements mélangés font preuve d'élasticité vis à vis des modifications des conditions de station et

de résilience lors de phénomènes naturels ou de perturbations liées à des interventions sylvicoles (Fig. 9). Dans un peuplement mélangé, des prélèvements ou des pertes sur une espèce peuvent être compensés par le gain d'accroissement de celles qui demeurent.

9. Literatur

- ASSMANN, E.: The principles of forest yield study. Pergamon Press Ltd., Oxford, New York, Toronto, Sydney, Braunschweig, 507 S., 1970
- ASSMANN, E. und FRANZ, F.: Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. Institut für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt, München, 104 S., 1963
- BARTELINK, H. H. und OLSTHOORN, A. F. M.: Mixed forest in western Europe, In: [Ed.] OLSTHOORN, A. F. M., BARTELINK, H. H., GARDINER, J. J., PRETZSCH, H., HEKHUIS, H. J. und FRANZ, A., Management of mixed-species forest: silviculture and economics. IBN Scientific Contributions, Wageningen, Vol. 15, 9–16, 1999
- BERGEL, D.: Douglasien-Ertragstafel für Nordwestdeutschland. Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt, Abt. Waldwachstum, 72 S., 1985
- BONNEMANN, A.: Der gleichaltrige Mischbestand von Kiefer und Buche, Mitteilungen aus Forstwirtschaft und Forstwissenschaft, X. Jg., H. 4, S. 1–45, 1939
- BURGER, H.: Beitrag zur Frage der reinen oder gemischten Bestände. Mitteilungen der Schweiz. Anst. f. d. Forstl. Versuchsw., XXII. Band, H. 1, S. 164–203, 1941
- CANNELL, M. G. R., MALCOM, D. C. und ROBERTSON, P. A.: The Ecology of Mixed-Species Stands of Trees. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 312 S., 1992
- CARLOWITZ, H. C. v.: Sylvicultura Oeconomica oder Haußwirthliche Nachricht und Naturmäßige Anweisung zur wilden Baum-Zucht. J. F. Braun, Leipzig, 1713
- CASPERESEN, J. P. und PACALA, S. W.: Successional diversity and forest ecosystem function. Ecological Research, 16, 895–903, 2001
- COTTA, H.: Anweisung zum Waldbau, Arnoldische Buchhandlung, Dresden, Leipzig, 413 S., 1828
- DEBELL, D. S., WHITESELL, C. D., SCHUBERT, T. H.: Using N₂-fixing *Albizia* to increase growth of *Eucalyptus* plantations in Hawaii. Forest Science, Vol. 35, 64–75, 1989
- DIETERICH, V.: Langfristige Folgerungen des forstwirtschaftlichen Grundgebots der Nachhaltigkeit. Forstw. Cbl., 76, 193–207, 1957
- DITTMAR, O., KNAPP, E. und ZEHLER, H.: Die langfristige Versuchsfläche Tornau im StFB Dübener Heide, ein Beispiel für den Weg vom Kiefernreinbestand zum Buchennaturverjüngungsbetrieb. Sozialistische Forstwirtschaft, 36(11), 344–348, 1986
- ELLENBERG, H., MAYER, R. und SCHAUERMANN, J.: Ökoystemforschung – Ergebnisse des Sollingprojektes. Ulmer Verlag, Stuttgart, 507 S., 1986
- FRIVOLD, L. H. und KOLSTRÖM, T.: Yield and treatment of mixed stands of boreal tree species in Fennoscandia. In: [Ed.] OLSTHOORN, A. F. M., BARTELINK, H. H., GARDINER, J. J., PRETZSCH, H., HEKHUIS, H. J. und FRANZ, A., Management of mixed-species forest: silviculture and economics, IBN Scientific Contributions, Wageningen, 15, 37–45, 1999
- FRIVOLD, L. H. und FRANK, J.: Growth of mixed birch-coniferous stands in relation to pure coniferous stands at similar sites in South-eastern Norway, Scandinavian Journal of Forest Research, 17(2), 139–149, 2002
- GAYER, K.: Der gemischte Wald, seine Begründung und Pflege, insbesondere durch Horst- und Gruppenwirtschaft. Paul Parey, Berlin, 168 S., 1886
- HAGEN, O. v.: Die forstlichen Verhältnisse Preußens, Band 1. J. Springer, Berlin, 1867
- HARTIG, G. L.: Anweisung zur Holzzucht für Förster. Neue Akademische Buchhandlung, Marburg, 144 S., 1791
- HARTIG, G. L.: Anweisung zur Taxation und Beschreibung der Forste. Gießen und Darmstadt. bey Georg Friedrich Heyer, 208 S., 1804
- HAUSSER, K.: Tannen-Ertragstafel. In: SCHÖBER, R. (Hrsg.), 1975: Ertragstafeln wichtiger Baumarten, J. D. Sauerländer's Verlag, 154 S., 1956
- HECTOR, A., SCHMID, B., BAIERKUHNLIN, C., CALDEIRA, M. C., DIEMER, M., DIMITRAKOPOULOS, P. G., FINN, J. A., FREITAS, H., GILLER, P. S., GOOD, J., HARRIS, R., HÖGBERG, P., HUSS-DANELL, K., JOSHI, J., JUMPPONEN, A., KÖRNER, C., LEADLEY, P. W., LOREAU, M., MINNS, A., MULDER, C. P. H., O'DONOVAN, G., OTWAY, S. J., PEREIRA, J. S., PRINZ, A., READ, D. J., SCHERER-LORENZEN, M., SCHULZE, E.-D., SIAMANTZIOURAS, A.-S. D., SPEHN, E. M., TERRY, A. C., TROUMBIS, A. Y., WOODWARD, F. I., YACHI, S., LAWTON, J. H.: Plant Diversity and Productivity Experiments in European Grasslands. Science, 286, 1123–1127, 1999
- JENSEN, A. M.: Growth of Silver Fir (*Abies alba* Mill.) compared with the growth of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in pure and mixed stands on sandy soils in the Western parts of Denmark, Reports from department of Forestry, Series 2. Studies, No. 14, Royal Veterinary and Agricultural University, Department of Forestry, Copenhagen, 498 S., 1983
- JÜTTNER, O.: Eichen-Ertragstafel, In: SCHÖBER, R. (Hrsg.), 1975: Ertragstafeln wichtiger Baumarten. J. D. Sauerländer's Verlag, 154 S., 1955

- KELTY, M. J.: Comparative productivity of monocultures and mixed stands. In: [Ed.] KELTY, M. J., LARSON, B. C. und OLIVER, C. D., The ecology and silviculture of mixed-species forests. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 125–141, 1992
- KENNEL, R.: Untersuchungen über die Leistung von Fichte und Buche im Rein- und Mischbestand. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, **136**, 149–161 und 173–189, 1965
- KNIGGE, W. und SCHULZ, H.: Grundriss der Forstbenutzung, Paul Parey, Hamburg, Berlin, 584 S., 1966
- LINDNER, M. und CRAMER, W.: German forest sector under global change. An interdisciplinary impact assessment. In: PRETZSCH et al. [Hrsg.]: German Forest Sector under Global Change, 121. Jg., Supplement 1/2002, German Journal of Forest Science, S. 3–17, 2002
- LOREAU, M., NAEEM, S., INCHAUSTI, P., BENGSSON, J., GRIME, J. P., HECTOR, A., HOOPER, D. U., HUSTON, M. A., RAFFAELLI, D., SCHMID, B., TILMAN, D., WARDLE, D. A.: Biodiversity and Ecosystem Functioning: Current Knowledge and Future Challenges. Science **294**, 804–808, 2001
- LÜPKE, B. V. und SPELLMANN, H.: Aspects of stability, growth and natural regeneration in mixed Norway spruce-beech stands as a basis of silvicultural decisions. In: [Ed.] OLSTHOORN, A. F. M., BARTELINK, H. H., GARDINER, J. J., PRETZSCH, H., HEKHUIS, H. J. und FRANC, A., Management of mixed-species forest: silviculture and economics. IBN Scientific Contributions, Wageningen, **15**, 245–267, 1999
- MCPFE: General declarations and resolutions adopted at the Ministerial Conferences on the protection of forests in Europe. Strasbourg 1990-Helsinki 1993-Lisbon 1998. Ministerial Conference on the protection of forests in Europe. Liaison Unit Vienna, 88 pp., 2000
- MIELIKÄINEN, K.: Mänty-koivusekametsiköiden rakenne ja kehitys. Summary: Structure and development of mixed pine and birch stands. Commun. Inst. For. Fenn., **99**(3), 1–82, 1980
- MIELIKÄINEN, K.: Koivusekoituksen Vaikutus Kuusikon Rakenteeseen ja kehitykseen, Effect of an admixture of birch on the structure and development of Norway Spruce Stands, Commun. Inst. For. Fenn. **133**, 79 S., 1985
- MÖLLER, A.: Der Dauerwaldgedanke. Sein Sinn und seine Bedeutung. Verlag Julius Springer, Berlin, 84 S., 1922
- OLSTHOORN, A. F. M., BARTELINK, H. H., GARDINER, J. J., PRETZSCH, H., HEKHUIS, H. J. und FRANC, A., [Ed.]: Management of mixed-species forest: silviculture and economics. IBN Scientific Contributions, Wageningen, Vol. 15, 389 S., 1999
- PFISTERER, A. B., SCHMID, B.: Diversity-dependent production can decrease the stability of ecosystem functioning. Nature, **416**, 84–86
- PRETZSCH, H.: Modellierung des Waldwachstums. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, Wien, 341 S., 2001
- PRETZSCH, H.: Grundlagen der Waldwachstumsforschung. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, Wien, 414 S., 2002
- PRETZSCH, H., BIBER, P. und ĎURSKÝ, J.: Single tree based stand simulator SILVA. Construction, application and evaluation, Forest Ecology and Management, **162**, 3–21, 2002
- PRETZSCH, H. und ĎURSKÝ, J.: Growth response of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) upon expected climatic changes in Germany. In: PRETZSCH et al. [Hrsg.]: German Forest Sector under Global Change. An Interdisciplinary Impact Assessment, Supplement 1/2002, German Journal of Forest Science, 145–154, 2002
- ROTTMANN, M.: Wind- und Sturmschäden im Wald. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. Main, 128 S., 1986
- SCHÖBER, R.: Zum jahreszeitlichen Ablauf des sekundären Dickenwachstums. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, **122**, 81–96, 1950/51
- SCHÖBER, R.: Buchen-Ertragstafel für mäßige und starke Durchforstung. In: Die Rotbuche 1971. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. Main, 1972, Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, 43/44, 333 S., 1967
- SCHÖBER, R.: Ertragstafeln wichtiger Baumarten. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. Main, 154 S., 1975
- SCHWAPPACH, A.: Ertragstafeln der wichtigeren Holzarten in tabellarischer und graphischer Form, Verlag J. Neumann, Neudamm, 81 S., 1912
- TRENDELENBURG, R. und MAYER-WEGELIN, H.: Das Holz als Rohstoff. Carl Hanser Verlag, München, 541 S., 1955
- WECK, J.: Forstliche Zuwachs- und Ertragskunde. Neumann Verlag, Radebeul und Berlin, 160 S., 1955
- WIEDEMANN, E.: Der gleichaltrige Fichten-Buchen-Mischbestand. Mitteilungen aus Forstwirtschaft und Forstwissenschaft, 13. Jg., 88 S., 1942
- WIEDEMANN, E.: Der Vergleich der Massenleistung des Mischbestandes mit dem Reinbestand, Allgemeine Forst- und Jagdzeitung **119**, 123–132, 1943
- WIEDEMANN, E.: Die Kiefer 1948. Verlag Schaper, Hannover 1948, 337 S., 1948
- WIEDEMANN, E.: Ertragstafeln der wichtigen Holzarten bei verschiedener Durchforstung. Verlag M. & H. Schaper, Hannover, 100 S., 1949
- WIEDEMANN, E.: Ertragskundliche und waldbauliche Grundlagen der Forstwirtschaft. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt, 346 S., 1951
- WIMMENAUER, K.: Zur Frage der Mischbestände. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung **90**, 90–93, 1941
- ZÖHRER, F.: Bestandeszuwachs und Leistungsvergleich montan, subalpiner Lärchen-Fichten-Mischbestände, Forstwissenschaftliches Centralblatt **88**(1), 1–64, 1969

Hagelschäden an Fichten (*Picea abies* [L.] KARST) im Dickungsalter und Vorschläge für eine mögliche waldbauliche Behandlung

Zum Gedenken an Prof. Dr. HORST SCHULZ

Aus dem Institut für Forstnutzung und Forsttechnik, TU Dresden

(Mit 6 Abbildungen und 10 Tabellen)

Von C. T. BUES

(Angenommen Januar 2003)

SCHLAGWORTER – KEY WORDS

Hagel; Holzqualität; Fichte; Waldbau.

Hail; wood quality; spruce; silviculture.

1. EINLEITUNG

Als Hagel werden überwiegend rundliche, erbsen- bis tennisballgroße Eisstücke bezeichnet (Anonymus, 1999). Hagel entsteht in hochreichenden Gewitterwolken aus feinem Graupel, der in starken Auf- und Abwinden mehrfach angeschmolzen und neu gefroren wird und so ständig wächst, bevor er niedergeht. Massiver Niederschlag von Hagel, der Hagelschlag, verursacht in verschiedenen

Regionen der Erde große Sachschäden, Ernteeinbußen in der Landwirtschaft sowie Stamm- und Kronenschäden an Einzelbäumen und Waldbeständen. Kanadische und australische Waldbauern greifen nach starken Hagelschäden in Kiefernbeständen auf die Fernerkundung zurück, um das Schadausmaß und die Hiebsdringlichkeit von Wäldern zu beurteilen (MYERS, 1984; GILLIS et al., 1990). SARTZ (1968) beschreibt verheerende Hagelschäden an jungen Weymouthskiefer in den USA. In Südafrika werden *Pinus radiata*-Plantagen vermehrt in hagelarmen Gebieten begründet (ZWOLINSKI et al., 1995). Die Auswirkungen schwerer Hagelschläge auf Waldbestände in Mitteleuropa beschreiben u.a. FRIEDERICH

(1893), BARDOUX (1917), CRUG (1928), TANNER (1953), v. PECHMANN (1949, 1958), FREI (1961) und BUES (1989).

Je nach Intensität verursachen Hagelschläge bei Fichten Schäden an Nadeln, Knospen und Trieben sowie Wunden in dünner Rinde. Hagelschlag schädigt folglich besonders die Baumkronen. In Kulturen und Jungbeständen können die Schäden so groß werden, dass nur ein Abtrieb und die Neubegründung dieser Flächen zu empfehlen war. Hinweise für eine weitere Behandlung hagelgeschädigter Fichtendickungen liegen der forstlichen Praxis mangels wissenschaftlicher Untersuchungen bisher nicht vor. Ziel der Untersuchung war es, die unterschiedlichen Schäden eines schweren Hagelschlages in Fichtendickungen zu erfassen und die Entwicklung des Wuchsverhaltens und der Holzqualität von jungen Fichten, die nach Hagelschlag in unterschiedlichen Höhen geköpft wurden, zu analysieren.

2. MATERIAL UND METHODE

Am 12. Juli 1984 kam es im süddeutschen Raum zu schweren Hagelschlägen (Abb. 1), bei denen bis zu tennisballgroße Hagelstücke niedergingen. Die Auswirkungen und die Entwicklung von Hagelverletzungen an Ästen und Stamm auf das weitere Wachstum von besonders stark geschädigten Fichtendickungen nahe Neukeferloh wurde in Feldaufnahmen erfaßt und durch Laboruntersuchungen ergänzt. Zusätzlich wurde ein im Jahre 1975 hagelgeschädigter Fichtenbestand in Neupullach zu Vergleichszwecken in die Untersuchung aufgenommen. Die Ergebnisse dienen zur Beurteilung von Schäden im Kronen- und Stammbereich der Fichten und deren Folgen für die Holzqualität. Die Auswahl der Versuchsflächen (Tab. 1) erfolgte unter Mitwirkung der Erzbischöflichen Finanzkammer München und der Finck'schen Forstverwaltung.

Neben einer visuellen und fotografischen Erfassung frischer Hagelschäden wurde eine umfangreiche Analyse der Schadentwicklung vorgenommen (Tab. 2; vgl. zur Methode v. PECHMANN (1949, 1958); BUES (1991)). Zur Beobachtung der langfristigen Entwicklung der Holzqualität wurden Versuchsflächen angelegt (Tab. 3), auf denen die Wirkung von Köpfungsmaßnahmen als mögliche Behandlungsmethode zur Schadensminderung untersucht werden konnte. Untersuchungen erfolgten 5 Monate sowie 5 bzw. 14 Jahre nach Versuchsanlage.

3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION DER BEFUNDE

3.1 Kurz- und mittelfristige Auswirkungen starken Hagelschlages auf Jungfichten

3.1.1 Schäden am Leittrieb (Gipfeltrieb) und Nadelverluste

Die Ergebnisse der Untersuchungen an den Leittrieben und Terminalknospen 5 Monate nach dem Hagelschlag vom 12.7.1984 auf 2 ca. 0,01 ha großen Teilflächen der 11-jährigen Fichtendickung bei Neukeferloh belegen an fast allen Fichten deutliche Schädigungen (Tab. 4; Abb. 2, links). Die etwas geringer ausgeprägten Schäden auf der Teilfläche 2 waren mit stärkeren Baum- und Terminaltrieb-Durchmessern zu erklären. Außerdem schützten ein im Westen (Zugrichtung des Hagelschlages West/Ost) vorgelagerter 4 m hoher Fichten-Buchen-Mischbestand und einige auf der Fläche verteilte, über 5 m hohe Birken und Salweiden die Fichten auf Teilfläche 2.

Ergänzende Erhebungen in einem 7-jährigen Douglasienjungwuchs im Ebersberger Forst kamen zu ähnlichen Ergebnissen: 97%

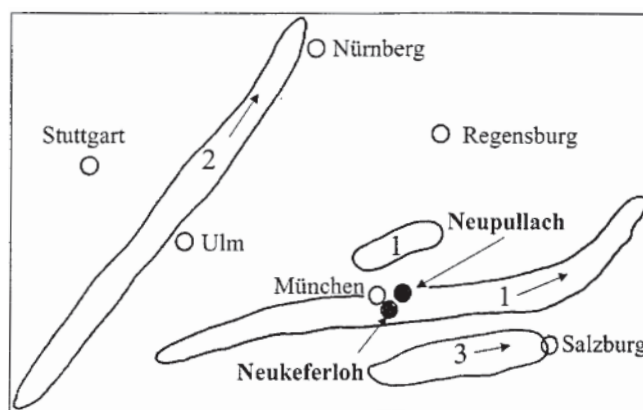


Abb. 1

Drei Gebiete schweren Hagelschlages am 12. Juli 1984 im Süddeutschen Raum. Zwei Hagelschläge trafen die bayerische Landeshauptstadt München und ihre Umgebung.

Three different areas of heavy hailstorm over Southern Germany. Two hailstorms hit Munich, the capital of Bavaria and surrounding areas.

Tab. 1

Beschreibung der untersuchten Fichtenbestände
Description of the spruce stands investigated

Bestand stand	Jahr des Hagels year of hailstorm	Mittl. Bestandesalter zum Zeitpunkt des Hagels average stand age at the time of hailstorm (Jahre - years)	Bestandesgröße stand size (ha)	Bonität site class	Jahr der Untersuchung year of investigation	Mittl. Bestandesalter zum Zeitpunkt der Untersuchung average stand age at the time of investigation (Jahre - years)	Mittl. BHD mean dbh (cm)	Mittl. Höhe mean height (m)	Zahl der Probebäume number of sample trees
Neupullach	1975	13	0,2	1,5	1984	22	10,3	7,0	130*
Neukeferloh	1984	11	0,1	1,5	1984	11	3,5	2,8	100*
					1989	16	6,7 ¹	4,5 ¹	113*/ 41**
					1998	25	14,3 ¹	10,8 ¹	129*/ 16**

¹ Durchschnittswerte für die unbehandelten Flächen – average values for the untreated plots

* Feldaufnahme – field survey

** Laboruntersuchung – laboratory examination

Tab. 2

Untersuchungen zur Erfassung von Hagelschäden an Jungfichten
Investigations for assessment of hail damage to young spruces

Feldaufnahmen field survey	Laboruntersuchungen laboratory examination
Häufigkeit und Arten der Leittriebeschädigung bzw. -zerstörung frequency and type of damage to the leading shoot;	Erfassung von Zahl, Größe und Form der Wunden assessment of number, size and shape of the wounds;
Nadelverluste needle losses;	Messungen von Jahrringbreiten, Druckholzanteilen, Exzentrizität, Fäuleanteilen measurement of growth ring widths, eccentricity, proportions of rot;
Verletzungs- bzw. Wundarten an Ästen injuries or wounds on branches;	Überwallungsverhalten und -geschwindigkeit occlusion behavior and speed;
Verletzungs- bzw. Wundarten am Stamm injuries or wounds on the stem;	Abimpfungen und Pilzbestimmungen subcultures and identification of fungi
Harzfluss resin exudation;	
Aufrichtverhalten von Seitenästen erecting behavior of lateral branches;	
Stammkrümmungen stem crookedness	

Tab. 3

Behandlung der Versuchsflächen „Neukeferloh“ (Versuchsdesign von Prof. Dr. H. SCHULZ, ehemaliger Leiter des Instituts für Holzforschung, LMU München)

Treatment of the trial plots "Neukeferloh" (experimental design by Prof. Dr. H. SCHULZ, former director of the Institute of Wood Research, LMU Munich)

Probefläche trial plot	Baumzahl tree number	Nach Köpfung verbliebene Baumresthöhe residual tree height after topping	Wundverschlussmittel wound sealant
O-A (= Teilfläche - plot 1)	49	keine Köpfung - no topping	kein - none
O-B (= Teilfläche - plot 2)	51	keine Köpfung - no topping	kein - none
I-A	35	0,3-0,6 m (Köpfung oberhalb des untersten vitalen Astquirls topping above the lowermost vital whorl)	kein - none
I-B	36	0,3-0,6 m (Köpfung oberhalb des untersten vitalen Astquirls topping above the lowermost vital whorl)	Lac-Balsam
II-A	45	0,75 m; ca. - approximately 30%	kein - none
II-B	46	0,75 m; ca. - approximately 30%	Lac-Balsam
III-A	50	1,45 m; ca. - approximately 50%	kein - none
III-B	61	1,45 m; ca. - approximately 50%	Lac-Balsam

der gleichaltrigen Pflanzen wiesen abgeschlagene Terminaltriebe auf. RICHTER (1935) beobachtete bei Untersuchungen in einer stark verhagelten Kiefernsonnung sehr ähnliche Schäden. Gleiches berichtete auch TANNER (1953) für Weißtannen-Jungwüchse.

Die durch den Hagelschlag verursachte Entnadelung war von der sozialen Stellung und der Abschirmung der Bäume durch Nachbarn abhängig (Tab. 5). Nach Westen ungeschützte Fichten wiesen erwartungsgemäß die stärksten Nadelverluste auf.

3.1.2 Stammverletzungen und Harzfluss

Aufgrund noch fehlender Borkebildung waren die Fichtenjungwüchse und Jungbestände besonders empfindlich gegen mechani-

sche Einwirkungen auf die Stammoberfläche. Bei den Hagelverletzungen konnten zwei Wundformen beobachtet werden:

- Länglich bis elliptische offene Wunden, sogenannte Streifwunden (65%–90% der Fälle).
- Mit abgestorbener Rinde bedeckte Quetschwunden (10%–35% der beobachteten Wunden).

Nach dem Hagelschlag traten an allen untersuchten Quetschwunden zunächst schmale, strichförmige, in Längsrichtung zur Stammachse verlaufende Verfärbungstreifen auf. Die verletzte und durch den Aufschlag der Hagelkörner später abgestorbene Innenrinde war dunkel verfärbt. Unter abgestorbenen Kambiumteilen waren deut-

lich Bereiche zu erkennen, welche sich bräunlich verfärbt vom gesunden Holz abhoben (Abb. 2, Mitte). Die Verfärbungen waren bei den Fichten und den vergleichsweise untersuchten jungen



Abb. 2

Links: Hagelgeschädigter Leittrieb (Gipfeltrieb) mit sich aufrichtenden Seitenzweigen. Mitte: Nach Entfernen der Rinde sichtbare bräunliche Kambialverfärbungen unter kleineren Hagelquetschwunden (Stammmitte) sowie durch Hagelschlag freigelegte, verharzte Holzoberflächen (Stammfuß). Rechts: Hagelfolgeschäden durch Einwachsen des vertrockneten ehemaligen Leittriebes und aufgerichteter Seitenzweige.

Left: Hail damaged terminal shoot and erecting lateral branches. Middle: After removal of bark good visible brown discolored cambium under small bruises (middle of the stem); by hail exposed wood surface with resin exudation (lower stem part). Right: Secondary tree damage by partly ingrowth of dried terminal shoot (spear) and erected lateral branches into the stem body.

Kiefern stärker ausgeprägt als bei verschiedenen Laubböhlzern (vgl. SCHULZ et al., 1987). Im Durchschnitt konnte bei Fichte und Kiefer in den letzten 4, bei Laubbäumen in den letzten 2 vor dem Hagelschlag gebildeten Jahrringen Verfärbungen und Schutzholzbildung beobachtet werden.

Eine Erfassung der Wunddimensionen an den Stämmen der Fichten Neukeferloh ergab bei den Wundlängen Werte von 2–220 mm, die Anteile der geschädigten Rindenoberfläche zur Gesamtfläche reichte von 3–86 %. Bei ungeschützten Fichten wurden – auf die geschädigte Rindenoberfläche bezogen – ca. 6–12 %, bei geschützt stehenden rund 3 % des Holzes bloßgelegt. Rund 1 Jahr nach dem Hagelschlag waren von den Wunden der ungeschützt stehenden Bäume nur noch 2–4 % nicht überwallt. Bei den überschirmten Fichten waren bis auf Reste größerer Wunden (Restgröße unter 2,5 cm², bei sehr vitalen Bäumen bis 4 cm²) alle Verletzungen überwallt. Die offene Wundfläche hatte sich somit in nur einer Vegetationsperiode um 60 % verringert.

Die Erfassung von Ausmaß und Stärke einer äußerlich sichtbaren Verharzung der Stammwunden zeigte 20 Wochen nach dem Hagelschlag bei 16 % der Bäume in der Dichtung Neukeferloh nur geringen Harzfluss, bei 31 % mäßige und bei 53 % starke Verharzung der Stammoberflächen. Ein Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der durch Hagelschlag verursachten Kronen- und Stammschäden und der Verharzung konnte in diesem relativ frühen Stadium der Wundreaktion und Wundentwicklung nicht gefunden werden.

Bei Untersuchungen in einem 22-jährigen Fichtenstangenholz bei Neupullach ließen sich 9 Jahre nach starkem Hagelschlag an allen Bäumen noch immer eindeutige Schadmerkmale im Rindenbild der Stämme erkennen (Tab. 6). Große Einzelwunden bzw. flächige Zusammenschlüsse kleinerer Wunden führten mehrheitlich zu heftigen Abschottungsreaktionen der Fichten durch Verharzen der Wunden.

Tab. 4

Schäden an Terminalknospen und Leittrieben einer ca. 11 Jahre alten Fichtendichtung bei Neukeferloh
Damage to terminal buds and leading shoots of a 11-year-old spruce thicket at Neukeferloh

Beschädigung damage	Bestand Neukeferloh stand Neukeferloh	
	Teilfläche - plot 1 (Häufigkeit - frequency %)	Teilfläche - plot 2 (Häufigkeit - frequency %)
Terminalknospe 1984 terminal bud as of 1984		
unbeschädigt undamaged	4	4
gering beschädigt slightly damaged	8	10
teilweise abgeschlagen partly chopped off	19	51
ganz abgeschlagen oder abgetrocknet totally chopped off or dried off	69	25
Leittrieb 1983 leading shoot as of 1983		
unbeschädigt undamaged	2	0
gering beschädigt slightly damaged	10	14
stark beschädigt heavily damaged	86	84
ganz abgeschlagen oder abgetrocknet totally chopped off or dried off	2	2

Tab. 5

Nadelverluste (in %) in der Fichtendickung Neukeferloh und deren Verteilung auf die Gesamtbaumzahl (Häufigkeit)
Needle losses (in %) in the spruce thicket Neukeferloh, and the distribution of which, referring to the total number of trees (frequency)

Nadelverluste needle losses	Bestand Neukeferloh stand Neukeferloh	
	Teilfläche - plot 1 (Häufigkeit - frequency %)	Teilfläche - plot 2 (Häufigkeit - frequency %)
gering (< 30 %) light (< 30 %)	20	31
mäßig (30-60 %) moderate (30-60 %)	41	30
stark (> 60 %) heavy (> 60 %)	39	39

Tab. 6

Merkmale ehemaliger Rindenverletzungen 9 Jahre nach schwerem Hagel an einem 22-jährigen Fichtenstangenholz bei Neupullach in Prozent der Gesamtbaumzahl (Häufigkeit)
Characteristics of former bark injuries 9 years after heavy hailstorm in a 22-year-old pole-sized spruce stand near Neupullach in percent of the total number of trees (frequency)

Stärke der Merkmale im Rindenbild intensity of the characteristics in the bark pattern	Ehemalige Rindenverletzung former bark injuries (Häufigkeit - frequency %)	Ehemaliger Harzfluß former resin exudation (Häufigkeit - frequency %)
nicht erkennbar not discernible	0	0
gering (< 25 % der Halbmantelfläche auf Schadseite) slight (< 25 % of longitudinal half-stem surface on the side of damage)	23	27
mäßig (25-50 % der Halbmantelfläche auf Schadseite) moderate (25-50 % of longitudinal half-stem surface on the side of damage)	25	28
häufig (> 50 % der Halbmantelfläche auf Schadseite) frequent (> 50 % of longitudinal half-stem surface on the side of damage)	52	45

3.1.3 Stammkrümmungen

Das Absterben des Leittriebes und ein Aufrichten tiefer gelegener Seitentriebe führte erwartungsgemäß zu Krümmungen und Zwieselbildungen im unteren Stammabschnitt der Fichten im 22-jährigen Stangenholz bei Neupullach (Tab. 7). Bei Zwieselbildungen besaßen die einzelnen Höhentriebe nur sehr selten die gleichen Durchmesser. Die vertrockneten ehemaligen Leittriebe hatten sich neben den neugebildeten Ersatztrieben als seitlich herausragende trockene Triebe (Spieße) erhalten (Abb. 2, rechts). Der frühere Leittrieb war bei 90 % der Fichten noch ganz erhalten und wies bei der Mehrzahl der Bäume eine Länge von 40–80 cm auf. Nach dem Hagelschlag waren somit rund 1/5–1/4 der Länge des ursprünglichen Stammes vertrocknet.

3.1.4 Jahrringbreiten

Die Jahrringe der Bäume aus der Dickung Neukeferloh zeigten keine ausgeprägten Zuwachseinbußen im Jahr nach dem Hagelschlag 1984: Im Vergleich zur Jahrringbreite 1983 (= 100%)

betrug die mittlere Ringbreite 1984 81 % und 1985, im Jahr nach dem Hagel, 66 %. Im Gegensatz dazu erbrachten Jahrringmessungen an den Fichten aus dem Stangenholz bei Neupullach deutliche Zuwachseinbußen nach dem Hagelschlag: Die mittlere Jahrringbreite erreichte im Jahr des Hagelschlages nur noch 50–65 % der Vorjahreswerte. Im Jahr nach dem Hagel wurden nur noch Werte zwischen 10–30 % im Vergleich zu 1974 erzielt, was sicherlich auch auf die Sommertrockenheit im Jahre 1976 zurückgeführt werden muß. Etwa 4 bis 7 Jahre nach dem Hagelschlag zeigten die Jahrringbreiten keine nennenswerten Einbußen mehr (vgl. v. PECHMANN, 1949).

3.1.5 Verfärbungen und Fäulen

Bei den Fichten auf der Fläche Neupullach begannen Verfärbungen immer in unmittelbarer Nähe des ehemaligen Leittriebes und dehnten sich im Extremfall bis zum Stammfuß der z. Zt. der Untersuchung ca. 7 m hohen Bäume aus. Meist jedoch bewegte sich die Längsausdehnung des verfärbten Holzes zwischen 60 und 80 cm

Tab. 7

Häufigkeit von Stammkrümmungen (in Prozent der Gesamtbaumzahl) 9 Jahre nach schwerem Hagel an einem 22-jährigen Fichtenstangenholz bei Neupullach
Frequency of stem crookedness (in% of total tree numbers) 9 years after heavy hailstorm in a 22-year-old pole-sized spruce stand near Neupullach

Art der Krümmungen type of crookedness	Anzahl der Bäume number of trees (%)
keine (Krümmung <2 cm/lfm) none (crookedness <2 cm/1 solid meter)	0
1 Seitenast aufgekümmert 1 lateral branch curved upwards	57
2 Seitenäste aufgekümmert (Zwieselbildung) 2 lateral branches curved upwards (forking)	34
Mehrfachverzweigung multiple branching	9

unterhalb der Austrittsstelle des ehemaligen Leittriebes aus dem Stamm. In allen Fällen war die Verfärbung auf der Schadseite am stärksten ausgeprägt und beschränkte sich auf die vor dem Hagel gebildeten Jahrringe bzw. Stammbereiche. Bei 21% der Bäume konnten 9 Jahre nach dem Hagelschlag noch nicht gänzlich überwundene Wunden und davon ausgehende Holzverfärbungen beobachtet werden. Eine innere Fäule der Bäume, wie sie auch von v. PECHMANN (1949) und TANNER (1953) beschrieben wurde, konnte nur an Fichten mit größeren, noch offenen Stammwunden festgestellt werden.

Bei Abimpfungen aus grau bis braun verfärbten Holzbereichen hinter vollständig überwundenen Wunden wurden bei keinem Baum aus dem Bestand Neukeferloh Holzzerstörer oder -verfärbter, die noch immer aktiv waren, in den Kulturen nachgewiesen. Gleiche Ergebnisse erbrachten auch Untersuchungen an je 10, 5–10-jährigen Fichten und Douglasien aus dem Ebersberger Forst. Neben einer Reihe verschiedener Wundbewohner und Holzverfärbter (Bläuepilze und verschiedene Nicht-Basidiomyceten) fanden sich 15 Monate nach dem Hagel nur noch Bakterien. Die Ergebnisse der Pilz- und Bakterienbestimmungen entsprachen weitgehend den Untersuchungen von OUELLETTE (1967) sowie BUTIN und ZYCHA (1973).

3.1.6 Holzfeuchte

Bestimmungen der darrgewichtsbezogenen Holzfeuchte auf der vom Hagel geschädigten Stammseite nach DIN 52183 an Probe-

bäumen aus der Dichtung Neukeferloh zeigten eine durchschnittliche Verringerung der Werte um 20–60% im Vergleich zur ungeschädigten Seite. Die Abnahme der Holzfeuchte war hinter Wunden besonders deutlich und tiefreichend ausgeprägt. Quetschwunden bedingten im Stamminneren eine ähnliche Absenkung der Holzfeuchte wie offene Streifwunden, welche direkt hinter den Verletzungen absolute Werte unter 50% darrgewichtsbezogene Holzfeuchte erreichten (vgl. auch v. PECHMANN, 1958).

3.2 Langfristige Auswirkungen von Hagelschäden

3.2.1 Wuchsleistungen

Aufgrund mehrerer Durchforstungen auf der Basis einer Negativauslese im Bestand Neukeferloh nahmen die Stammzahlen im Laufe der Jahre von durchschnittlich 5000 Bäumen/ha (1985) über 4400 Stück/ha (1989) auf 1500 Fichten/ha im Jahr 1998 ab. Die mittlere Bestandeshöhe nahm von 2,85 m im Jahr 1985 über 4,6 m (1989) auf 10,8 m im Jahr 1998 zu und erreichte somit vergleichbare Höhenwerte der Ertragstafel SCHÖBER (1995) – vgl. hierzu auch Tab. 9 mit Fußnoten! Der Stammdurchmesser in Brusthöhe erreichte im Jahr 1998 durchschnittliche Werte von 14,3 cm (1985: 3,7 cm; 1989: 6,3 cm) und lag damit etwas über den Ertragstafelwerten von 10,1 cm.

3.2.2 Äußere Schadensmerkmale

14 Jahre nach dem schweren Hagelschlag von 12. Juli 1984 konnten keine offenen Wunden an den unbehandelten Fichten im Bestand Neukeferloh beobachtet werden. Eine Aufnahme der auf den Stammoberflächen sichtbaren Narben erbrachte die in Tab. 8 aufgeführten Ergebnisse für 31 Bäume und bestätigten die bereits kurz nach dem Hagelschlag zu Beginn der Untersuchungen beobachteten Unterschiede der Hagelschädigung auf den Teilflächen 1 und 2. Der Wundharzfluss war auf beiden Flächen weitgehend abgeschlossen, nur 5% der überwundenen Wunden wiesen noch immer frisches Harz auf. An 75% der Fichten war der vertrocknete ehemalige Leittrieb noch zu erkennen. Der durchschnittliche Austrittswinkel des Leittriebes zur Stammlängsachse betrug 30°, die mittlere Austrittshöhe aus dem Baumschaft lag bei 2,57 m (Teilfläche 1) bzw. 2,75 m (Teilfläche 2). Die Länge des durch Holzfehler entwerteten Erdstammstückes betrug somit durchschnittlich 2,66 m. Die von der Stammoberfläche abstehende Restlänge der vertrockneten Leittriebe wies Werte von 80 cm (Teilfläche 1) bzw. 30 cm (Teilfläche 2) auf. Nur bei 13% der Bäume konnte eine Zwieselbildung beobachtet werden. Die Ergebnisse bestätigen somit weitgehend die Befunde an dem 22-jährigen Fichtenstangenholz bei Neupullach.

3.2.3 Innere Schadensmerkmale

Die Überwallung der Hagelwunden wies eine durchschnittlich 4–5 cm dicke Wundholzschiicht auf. Die größten Wunden benötigten

Tab. 8

Auf der Stammoberfläche sichtbare Narben von Hagelverletzungen, unbehandelter Bestand Neukeferloh
Scars due to hail injuries on the stem surface, untreated stand Neukeferloh

Erkennbarkeit der Narben visibility of scars	Narbengröße size of scars	Narbenhöhe height of scars (mm)	Häufigkeit frequency %	
			Teilfläche - plot 1	Teilfläche - plot 2
kaum sichtbar hardly visible	klein small	<30	19	27
gut sichtbar well visible	mäßig moderate	31-50	25	47
sehr deutlich sichtbar very distinct visible	groß large	>50	56	27

bis zu 11 Jahre zum vollständigen Wundverschluss und weitere 3 bis 5 Jahre zum Wiederherstellen konzentrischer Jahrringstrukturen.

Die Untersuchung von Verfärbungen und Fäulen an längs der Markröhre aufgesägten Fichtenstämmen zeigte bei 75 % der Probestämme von Teilfläche 1 innere Stamminfektionen durch die Hagelwunden, die sich in den ersten Monaten nach dem Hagelereignis entwickelten (Kapitel 3.1.5). Auf der etwas geringer hagelgeschädigten Teilfläche 2 erfolgte bei 50 % der Fichten eine Infektion des Holzes aus dem Wurzelbereich. Nur bei einem Stamm wurde die Fäule durch eine Besiedelung mit Pathogenen im Bereich der Austrittsstelle des vertrockneten ehemaligen Leittriebes verursacht. Mit durchschnittlichen Längen der Stamminfektionen von 297 cm (minimal 143 cm, maximal 501 cm) waren die Fichten aus dem Bestand Neukeferloh deutlich stärker infiziert als die Bäume aus dem Stangenholz Neupullach. Bei etwa 50 % der Probestämme wurde Druckholz in den Stammbereichen identifiziert, die durch das Aufrichten eines Seitenastes als Ersatz für den abgestorbenen Leittrieb geprägt waren. Bei allen Fichten setzte die Bildung von Druckholz unmittelbar nach dem Hagelereignis im Bereich der dem Hagel zugewandten Stammseite ein, erreichte nach etwa 5 Jahren ihr Maximum und klang nach 14 Jahren langsam aus. Die mit Druckholz durchsetzten Anteile der Stammquerschnitte betruhen durchschnittlich 20 cm².

Messungen der Exzentrizität der Markröhre auf den Querschnitten von Stammscheiben in Brusthöhe zeigten bei allen untersuchten Bäumen ein verstärktes, häufig von Druckholzbildung begleitetes, ungleiches Dickenwachstum in West-/Ostrichtung (hagelgeschädigte/ungeschädigte Stammseite). Der mittlere Wert für das Verhältnis der beiden Stammradien betrug 1:1,5, was einer durchschnittlichen Abweichung der Markröhre vom geometrischen Mittelpunkt um 2 cm entsprach. Dem Hagelschlag folgende Durchmesser-Zuwachs-Verschiebungen in Brusthöhe hielten bei den stark geschädigten Fichten auf dem Ostradius 5 Jahre, auf dem Westradius 16 Jahre an.

3.3 Wuchsverhalten „geköpfter“ Jungfichten

Zur Untersuchung des Einflusses von Zwiesel- und Druckholzbildung auf das Holz junger Fichten durch sich aufrichtende Seitentriebe wurden in der stark verhagelten Fichtendickung Neukeferloh mehrere Versuchsflächen unterschiedlicher Behandlung angelegt (Tab. 3). Die Köpfung der Fichten sollte eine Alternative zur Neubegründung der Dickungen darstellen, mit deren Hilfe die Kosten für den Abtrieb und die Neubegründung der Flächen eingespart werden können. Dieser Ersparnis stehen dann die Kosten für die Köpfungsmaßnahme gegenüber und mögliche Erlöseinbußen durch köpfungsbedingte Holzfehler. Daher sollte mit dem Köpfen der jungen Bäume der durch den Hagelschlag verwundete Stammteil möglichst kurz gehalten werden. Die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Holzfehler würden ohne Köpfung am Ende der Umtriebszeit im wertvollen Stammbereich voraussichtlich zwischen Fällschnitt und zwei bis drei Meter Höhe liegen. Durch eine Köpfung rückt der unweigerlich entstehende Krümmungs- und Druckholzbereich näher in den Bereich der üblichen Fällschnitthöhe und reduziert somit die Länge des entwerteten Erdstammstückes. Auch wird ein Einwachsen von vertrockneten Trieben und Ästen und deren Folgen für die Wundüberwallung durch eine Köpfung verhindert.

3.3.1 Kurz- und mittelfristige Auswirkungen der Köpfung

Ein Jahr nach Anlage der Versuchsflächen konnte bei allen Versuchsbäumen ein reges Aufrichten von Seitentrieben beobachtet werden. Unterschiede zwischen den Versuchsflächen wurden nicht festgestellt. Im Verharzungsverhalten der Schnittflächen zeigten die Fichten mit Köpfung in halber Baumhöhe die besten Abdeckungen

(80 % der Schnittflächen), gefolgt von den Bäumen mit Köpfung in 30 % der Baumhöhe (61 % der Schnittflächen). Die Fichten mit Köpfung oberhalb der untersten vitalen Äste wiesen nur durchschnittlich 51 % Flächenabdeckung auf. Bei den Bäumen mit künstlichem Wundverschluss durch Lac Balsam konnten keine Unterschiede zwischen den drei Versuchsflächen beobachtet werden. Das Überwallungsverhalten der Schnittflächen war wie die Verharzung bei den Bäumen mit Köpfung in halber Höhe am deutlichsten, bei den Fichten mit Köpfung oberhalb der untersten vitalen Äste am geringsten ausgeprägt. Der künstliche Wundabschluss behinderte die Überwallung der Schnittfläche nicht. Ein erneutes Austreiben von Knospen an Seitentrieben wurde bei den stark geköpften Fichten am deutlichsten, bei den in halber Höhe abgeschnittenen Bäumen am wenigsten deutlich beobachtet, mit künstlichem Wundverschluss behandelte Fichten zeigten keine Unterschiede zu den unbehandelten.

Eine Untersuchung des Wuchsverhaltens der geköpften Fichten zeigte 4 Jahre nach den ersten Beobachtungen, dass durch die Köpfung in der ca. 16 Jahre alten Fichtendickung je nach Köpfungstärke Zuwachseinbußen von mehr als drei Jahren entstanden. Das Aufrichten der Seitenzweige erfolgte nach dem Streckungswachstum im Sommer im Bereich des maximalen Dickenzuwachses durch Druckholzbildung auf der Astunterseite. Vier Jahre nach der Köpfung entstammten 90 % der Ersatztriebe dem obersten Astquirl oder unmittelbar darunter angesetzten Zwischentrieben. Hagelwunden an Seitenzweigen verursachten keine Stamminfektionen. Hagelwunden am Reststamm hinterließen bei 52 % der Fichten mit künstlichem Wundschutz der Köpfungsstelle und bei 83 % der Fichten ohne zusätzlichen Wundschutz erhebliche Sekundärschäden im Stammholz.

3.3.2 Langfristige Auswirkungen der Köpfung

Eine ausführliche holzkundliche Beschreibung der ehemals geköpften Fichten gibt STAEGEMANN (2000) unter Berücksichtigung der Vorarbeiten von ZEYER (1985) und KALTENMORGEN (1990).

3.3.2.1 Wuchsleistungen

Die im Vergleich zu den Ertragstafelwerten z.T. ebenbürtigen Wuchsleistungen der geköpften Fichten (Tab. 9) werden u.a. durch die vergleichsweise geringen Stammzahlen begünstigt. Die aktuellen Bestandeshöhen scheinen mit der ehemaligen Köpfungshöhe der Probestämme zu korrelieren, die am stärksten zurückgeschnittenen Fichten sind rund 2 m kürzer als die in halber Höhe geköpften Bäume. Das geringere Höhen- und Durchmesserwachstum der Fichten auf der Fläche II-B kann sowohl mit der Heterogenität der Fläche als auch mit einem größeren Anteil an mehrstämmigen Kronenformen erklärt werden (Tab. 10). V. PECHMANN (1949) beschreibt auch für sehr stark kronengeschädigte Fichten nach kurzer Wuchsstockung hohe Wuchsleistungen. Die Vermutung, dass durch einen großen Verlust an oberirdischer Biomasse auch größere Wurzelbereiche absterben (vgl. Kapitel 3.2.3) und damit deutliche Zuwachsverluste eintreten, werden durch die bisherigen Befunde nicht bestätigt.

3.3.2.2 Äußere Schadensmerkmale

Die Kronenneubildungen an den 25-jährigen Probestämmen wurde nach den in Abbildung 3 dargestellten Kronentypen erfasst. Aus den Ergebnissen der Feldaufnahmen (Tab. 10) ist ersichtlich, dass die drei unterschiedlichen Köpfungsvarianten zu verschiedenartigen Ausprägungen der Fichtenkronen in den Folgejahren geführt haben.

Eine Köpfung oberhalb des untersten grünen Quirls führte wie bei allen anderen Köpfungsvarianten zum Aufrichten zahlreicher Seitenäste (KALTENMORGEN, 1990). Das Fehlen von unterschiedlichen Verzweigungsformen der Leittriebe auf den Flächen I-A und

Tab. 9

Wuchsleistungen ehemals geköpfter Jungfichten
Growth performances of formerly topped young spruces

Probefläche trial plot	Baumzahl number of trees	Nach Köpfung verbliebene Baum- resthöhe residual tree height after topping (m)	Mittelhöhe* mean height* (m)	BHD dbh (cm)
I-A	12	0,3-0,6	8,3	10,4
I-B	19	0,3-0,6	8,7	10,2
II-A	10	0,75	9,0	14,0
II-B	16	0,75	8,1	11,6
III-A	24	1,45	10,2	12,8
III-B	17	1,45	10,7	14,0
ET-Wert** YT value**	30	keine Köpfung no topping	10,5	10,1

* Zuwachs der durch Astaufriechung hinzugekommenen Höhe enthalten

* including increment of the height added by branch erection

** Ertragstafel WIEDEMANN 1942, überarbeitet von SCHÖBER 1995, Ertragsklasse 1,0/starke Durchforstung. Der Ertragstafelwert (ET-Wert) entspricht der Mittelhöhe (h_w) des Grundflächenmittelstammes der 20% stärksten Bäume. Der ermittelte arithmetische Mittelwert der Versuchsflächen ist im Vergleich zum h_w geringer

** WIEDEMANN yield table 1942, revised by SCHÖBER 1995, yield class 1.0/intense thinning. The yield table value (YT value) corresponds to mean height (h_w) of mean basal area tree of the 20% of trees largest in diameter. The determined arithmetic mean of the trial plots is lower as compared to h_w .

Tab. 10

Häufigkeit unterschiedlich verzweigter Kronentypen ehemals geköpfter Jungfichten
(vgl. zu den Kronentypen Abbildung 3)

Frequency of differently ramified crown types of formerly topped young spruces
(corresponding to the crown types in Figure 3)

Probefläche trial plot	Kronentyp - crown type (Anzahl - number [~%])						
	0 (1)	Z (1/1)	M (1/2)	Z (1/1)	M (1/x)	Z (1/1)	M (X)
I-A	10 [100]	- [-]	- [-]	- [-]	- [-]	- [-]	- [-]
I-B	16 [94]	- [-]	- [-]	1 [6]	- [-]	- [-]	- [-]
II-A	4 [40]	5 [50]	- [-]	- [-]	- [-]	1 [10]	- [-]
II-B	6 [38]	1 [6]	2 [12]	2 [12]	5 [32]	- [-]	- [-]
III-A	13 [54]	6 [25]	- [-]	2 [8]	2 [8]	1 [4]	- [-]
III-B	8 [47]	4 [24]	1 [6]	- [-]	- [-]	4 [24]	- [-]

I-B ist auf eine versuchsverfälschende Entfernung konkurrierender Seitenäste durch KALTENMORGEN zurückzuführen. Lediglich ein Stamm besaß einen nach der Schnittmaßnahme vergessenen oder zu einem späteren Zeitpunkt aufgerichteten Seitenast.

Bei Fichten, die in etwa 1/3 der ehemaligen Stammhöhe geköpft wurden, bewirkte die Köpfung in einigen Fällen die Bildung eines Zwiesels mit einem unbedeutenden, meist abgestorbenen zweiten Leittrieb. Ein Rückschnitt der Probebäume auf die Hälfte der ursprünglichen Baumhöhe förderte die Entstehung unterschiedlichster Sekundärkronen bis hin zur Bildung von Zwieseln mit zwei gleich starken Stämmlingen.

Häufig war zu beobachten, dass degenerierte oder stagnierende Triebe als kümmernde oder abgestorbene Steiläste an den Probebäumen verbleiben (Typen Z (1/1) und M (1/x) vgl. Abbildung 4).

Im Höhenwachstum benachteiligte bzw. verbuschte Formen (M (1/x) und M (X)) starben häufig aus Lichtmangel ab und wurden bei Durchforstungsmaßnahmen umgeschnitten.

Eine Betrachtung der ehemaligen Köpfungswunden zeigte, dass ein rasches Einwachsen der Köpfungsstelle in den neu gebildeten Holzkörper von der Länge des Leittriebstummels abhängig war. In den Fällen, in denen die Stummel nachträglich zurückgeschnitten wurden (Probeflächen I-A/B), war der Wundverschluss bzw. das Einwachsen des Stummels bis auf einzelne fast geschlossene Stellen beendet. Je größer die Auslenkung des aus dem aufgerichteten Seitenast hervorgegangenen neuen Leittriebs war, um so länger dauerte das Einwachsen des Stummels in den Stammkörper. Bei den Probefichten ohne Einkürzung des ehemaligen Leittriebstummels wird das Einwachsen der Köpfungsstelle voraussichtlich weitere 10 Jahre beanspruchen.

3.3.2.3 Innere Schadensmerkmale

Nach dem Auftrennen der Probestämme in Längsrichtung durch die Markröhre (Abb. 5) war erkennbar, dass nur die Stummelreste der ehemaligen Leittriebe verfärbt, in 4 Fällen weichfaul waren. Alle nach dem Hagelschlag gebildeten Holzschichten des nach der Köpfung verbliebenen bzw. oberhalb der Köpfung neugebildeten Stammes waren befallsfrei. Nur bei einem Stamm von Probestfläche III-A war eine aus dem Wurzelraum aufsteigende Fäule zu beobachten. Lokale Verfärbungen und Fäulen im unmittelbaren Wundbereich ehemaliger durch Hagelschlag verursachte Rindenverletzungen im nach der Köpfung verbliebenen untersten Stammtteil traten nur bei 2 Fichten auf. Kleine und mäßig große Wunden bis

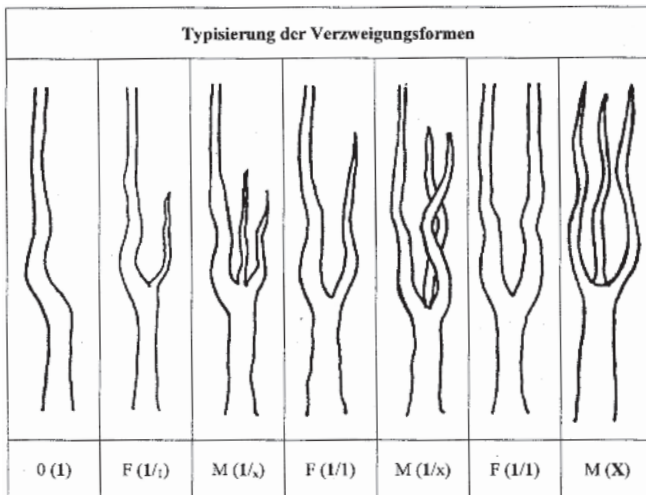


Abb. 3

Kronentypen ehemals geköpfter Jungfichten (Bestand Neukeferloh).
Crown types of formerly topped young spruces (stand Neukeferloh).

Legende:

- 0 (1) ohne Verzweigung
- Z (1/1) Zwiesel mit unbedeutendem feinen/abgestorbenen ehemaligen Konkurrenztrieb
- M (1/x) Mehrfachverzweigung mit unbedeutenden feinen/abgestorbenen ehemaligen Konkurrenztrieben (x = Anzahl)
- Z (1/1) Zwiesel mit soziologisch untergeordnetem Konkurrenzstamm
- M (1/x) Mehrfachverzweigung mit soziologisch untergeordneten Konkurrenzstämmen (x = Anzahl)
- Z (1/1) Zwiesel mit etwa gleichstarken Einzelstämmen
- M (X) Mehrfachverzweigung mit etwa gleich starken Einzelstämmen (x = Anzahl)

Legend:

- 0 (1) without branching
- Z (1/1) forking with insignificant thin/also dead former competition shoot
- M (1/x) Multiple branching with minor thin/also dead former competition shoots (x = number)
- Z (1/1) Forking with sociologically subordinate competition stem
- M (1/x) Multiple branching with sociologically subordinate competition stems (x = number)
- Z (1/1) Forking with two individual stems of similar radii
- M (X) Multiple branching with the individual stems of similar radii (x = number)

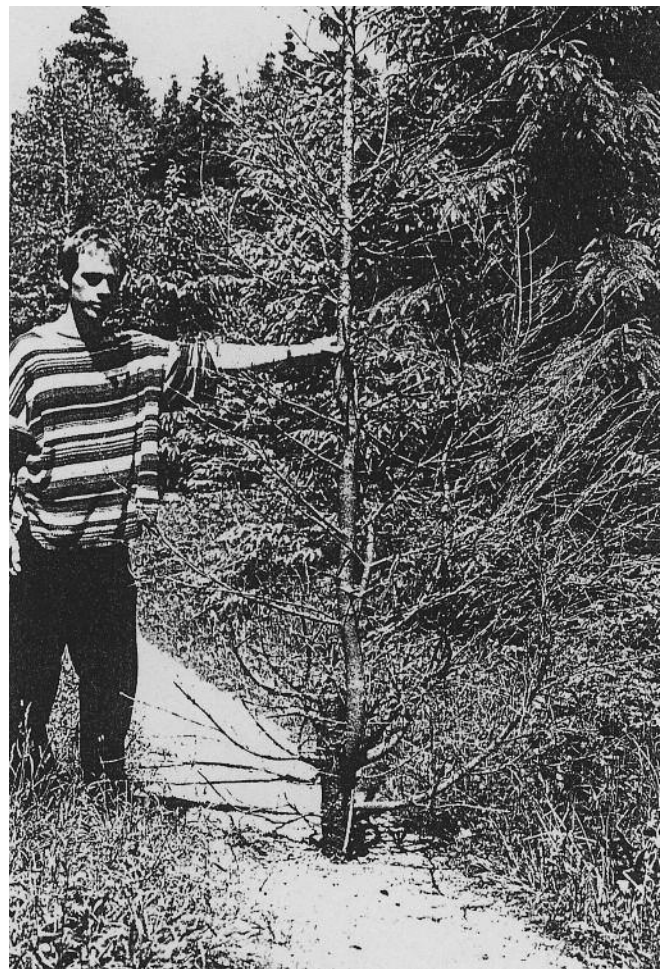


Abb. 4

Geköppte Fichte der Dichtung Neukeferloh mit unbedeutenden ehemaligen Konkurrenztrieben (Typ M (1/x)).

Topped spruce tree with multiple branching formed by minor thin former competition shoots.

50 mm Narbenhöhe wurden nach Harzanreicherung im Wundbereich infektionslos überwältigt (Tab. 8).

ZEYER (1985) beobachtete 5 Monate nach der Köpfung noch keine Unterschiede in der Wirksamkeit einer Wundbehandlung mit Wundverschlussmittel im Vergleich zu den nicht behandelten Bäumen. Fünf Jahre darauf konnte KALTENMORGEN (1990) lediglich bei 17% der untersuchten Stämme keine Sekundärschäden feststellen. STAEGEMANN (2000) ermittelte, dass die Behandlung mit Wundverschlussmittel die Besiedelung und Ausbreitung von Verfärbungen und Fäulen nicht aufhalten, jedoch merklich reduzieren konnte.

4. Schlussfolgerungen

Zu Einzelfragen möglicher Folgen von Hagelschäden liegen Veröffentlichungen vor (z.B. BADOUX, 1917; CRUG, 1928; TANNER, 1953; v. PECHMANN, 1949, 1958), ohne dass es bisher möglich erschien, die Auswirkungen von Hagelschlag auf die Entwicklung von jungen Fichtenbeständen gesichert vorherzusagen. Deshalb wurde versucht, in ergänzenden Untersuchungen zusätzliche Einblicke zu gewinnen. Schwere Hagelschäden zeigen in Fichtenbeständen, aber auch in Beständen anderer Holzarten, sehr verschiede-



Abb. 5

Durch Hagelschlag verursachte innere Holzschäden an längs der Markröhre mit einer Bandsäge aufgetrennten Fichtenstämmen im Vergleich. Von links nach rechts:

Baum-Nr. I-B 13: Starke Stammkrümmung mit relativ geringer Druckholzbildung;

Baum-Nr. I-A 13: Geringe Stammkrümmung, kaum Sekundärschäden; Baum-Nr. I-A 5: Geringe Stammkrümmung, Fäule aufgrund großer Köpfungswunde ohne Wundverschlussmittel;

Baum I-B 2: Gute Wundabschottung und langjährige Versorgung des Stummels durch saftstromziehende Zweige am Stummel. (Unterschiedliche Färbung der Stämme aufgrund verschiedener Fotomaterialien)

Hail induced inner wood defects in spruce stems, which were separated along the pith by band saw, in comparison. From left to the right: Tree-no I-B 13: Strong stem bending associated with relatively small portion of compression wood;

Tree-no. I-A 13: Little stem bending, scarcely secondary defects; Tree-no. I-A 5: Little stem bending, rot due to large topping wound without wound sealant;

Tree-no. I-B 2: Good wound compartmentalization and long lasting supply of remaining stump according to the sap stream of twigs which remained on the stump. (Different colors of the stems due to different photo materials).

denartige Schäden am Stamm und der Krone der Bäume, die in komplizierter Wechselwirkung miteinander stehen (Abb. 6):

1. Nadel- bzw. Blattverluste und Regenerierbarkeit der Nadel- bzw. Blattmasse.

2. Zerschlagung von Gipfel- und Seitentrieben und Knospen tiefergelegener Baumteile sowie ihre Folgen.

3. Kambiumverletzungen durch Schlag oder Rindenabriss
a) im Kronenbereich,
b) am Stamm.

4. Wundvergrößerung durch den Zusammenschluss benachbarter kleiner Wunden.

5. Kurz- und langfristige Entwicklung von Sekundärschäden in Abhängigkeit von Wundgröße, Wundentwicklung, Schwächungsgrad, Alter und soziologischer Stellung des Baumes und Witterungsverlauf nach einem Hagelschlag.

Außerdem spielt die Situation des Baumes zum Zeitpunkt vor dem Hagelschlag, unmittelbar nach dem Hagelschlag und zum Zeitpunkt der Untersuchung eine Rolle. Die bisherigen Untersuchungsergebnisse erlauben eine vorsichtige vorausschauende Beurteilung von Hagelschäden und deren Einflüsse auf die Holzqualität von Fichten im Dickungsalter.

Bei den unterschiedlichen Köpfungsvarianten konzentriert sich der Wertverlust durch die beschriebenen Sekundärschäden je nach Köpfungshöhe auf relativ kurze Abschnitte des Erdstammes, während keine weitere Behandlung bedeutet, dass der zukünftige Stamm auf der gesamten Länge der ursprünglichen Baumhöhe zum Zeitpunkt des Hagels qualitativ gemindert ist. Bei einem Abtrieb der geschädigten Fichtendickung und Neupflanzung des Bestandes kommt es zu keinem Wertverlust durch hagelbedingte Sekundärschäden, die neubegründeten Fichten weisen jedoch gegenüber den geköpften Bäumen 1 bis 2 Stärkeklassen geringere Durchmesser auf. Die Überlegungen, welche Behandlungsvariante für den forstlichen Praktiker letztendlich in Frage kommt, wird entscheidend von der Betrachtung der Kosten und Erlöse im Alter u geleitet werden:

– Keine Behandlung: Keine Kosten – sehr geringer Erlös aus niedrigem Gebrauchswert des Holzes.

– Köpfung: Mäßige Kosten – niedrigerer Erlös aus mäßigem Gebrauchswert des Holzes.

– Bestandesabtrieb und Neubegründung: Hohe Kosten – höherer Erlös aus normalem Gebrauchswert eines dünneren Holzsortiments und mehrere Jahre Zeitverlust.

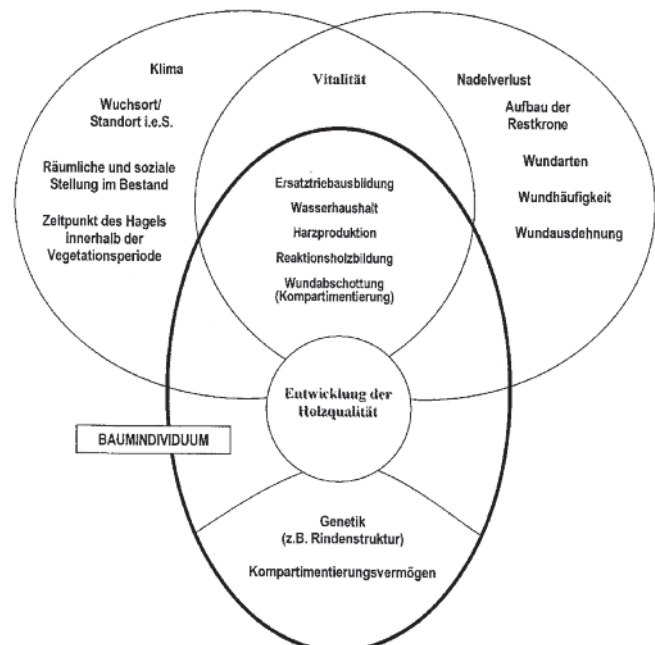


Abb. 6

Exogene und endogene Einflussfaktoren auf die Vitalität und das Reaktionsvermögen von Bäumen auf Hagelverletzungen.

Combined effects of various exogenous and endogenous factors on vitality and reaction ability of trees after hail damage.

5. ZUSAMMENFASSUNG UND HINWEISE ZUR BEURTEILUNG VON HAGELGESCHÄDIGTEN FICHTENDICKUNGEN SOWIE ZUR VORGEHENSWEISE BEI DER KÖPFUNG

Schwerer Hagelschlag führt zu zahlreichen Schäden an Jungfichten, die eine Reihe von Holzfehlern nach sich ziehen und schnelles Handeln bei der Bestandespflege notwendig machen. Die Auswirkungen von schwerem Hagelschlag stehen in einer komplizierten Wechselwirkung miteinander. Entstehen durch Schutzwirkungen anderer Bäume unterschiedlich stark ausgeprägte Kronen- und Stammschäden an Fichtenjungwüchsen, bestehen folgende Handlungsalternativen:

– Schwache Kronenschädigung (Leittriebsschädigung), keine nennenswerten Stammverletzungen: Entnahme der am stärksten geschädigten Individuen, bei Dickungen in Reichhöhe auch Rückschnitt des geschädigten Terminaltriebes und Entnahme von Fichten mit Zwieseln und Mehrfachverzweigungen bei späteren Durchforstungen.

– Starke punktuelle Kronen- und Stammschäden: Entnahme der geschädigten Individuen und Nachpflanzen mit Fichte oder geeigneteren Mischbaumarten (besonders in Hagelgebieten aufgrund höherer Widerstandskraft gegenüber Hagelverletzungen empfehlenswert).

– Bei starker flächiger Hagelschädigung der Fichtendickung mit ausgeprägter Kronenzerschlagung und einer Vielzahl von Stammwunden bestehen 2 Alternativen:

– Neubegründung, in Hagelgebieten Begründung mit weniger empfindlichen Baumarten,

– Köpfung, um bei relativ geringen Zuwachsverlusten die geschädigten und damit entwerteten Stammbereiche so kurz wie möglich zu halten.

Für eine Köpfung von Fichten im Dickungsalter gilt: *So niedrig wie möglich und so hoch wie nötig*. Die Köpfungshöhe sollte so niedrig wie möglich gesetzt werden, um das Ausmaß der Hagelwunden und die damit verbundenen Folgeschäden (Verfärbungen, Fäulen, Druckholz, Exzentrizität) im Holz zu minimieren. Andererseits ist eine Mindesthöhe notwendig, um die Wundgröße der Köpfung zu reduzieren (jüngere Bäume sind niedriger köpfbar als ältere, maximaler Stammdurchmesser sollte 10 cm nicht überschreiten) und um die Regenerationsfähigkeit des Baumes zu gewährleisten, ohne Verbuschung auszulösen und der Gefahr einer Vergrasung der Bestandesfläche entgegenzuwirken.

Zu beachten ist stets die Vitalität der Bäume. Hohe Vitalität fördert sowohl Abschottungsreaktionen und Wundüberwallung als auch die Regeneration der Krone. Bei geringerer Vitalität kann eine größere Restkrone die Heilungsprozesse unterstützen.

Für die Ausführung der Köpfung sind zwei verschiedene Vorgehensweisen möglich:

a) Belassen eines langen Stummels bis unterhalb des nächsten Quirls und Hochkleben des stärksten Seitenastes mit Klebeband o.ä. Der Aufrichtungsprozeß soll dadurch beschleunigt und dessen negative Begleiterscheinungen abgeschwächt werden. Bei guter Überwallung kann eine nachträgliche Kürzung des belassenen Stummels etwaige Fäule mildern oder aufhalten. Richten sich entgegen der Erwartungen Konkurrenztriebe auf, sollten diese im Zuge der Stummelkürzung entnommen werden.

b) Belassen eines kurzen Stummels von höchstens 3 cm Länge. Damit ist die Möglichkeit von Abschottungsreaktionen gegeben und ein schnelles Einwachsen in den Stammkörper möglich. Sich aufrichtende Zwiesel und Mehrfachverzweigungen sind nach etwa 3 Jahren abzuschneiden, um den stärksten Trieb zu unterstützen und Holzfehler zu begrenzen. Eine künstliche Wundabdeckung mit einem anerkannten Wundverschlussmittel ist besonders bei wuchshemmenden Witterungsbedingungen empfehlenswert.

6. Summary

Title of the paper: *Hail damage to Norway spruce (Picea abies [L.] Karst.) at thicket stage and proposals for a possible silvicultural treatment.*

The paper deals with the short-, medium- and long-term consequences of heavy hailstorms for timber quality of young Norway spruce (*Picea abies* [L.] KARST.) at thicket stage. Furthermore, the effects of topping of hail injured spruces at various stem heights for reducing secondary hail damage are investigated on diameter incre-

ment, and the properties of the newly formed wood are examined on selected trial trees, referring to a period of 14 years. Recommendations for actions are given for forestry practice.

7. Résumé

Titre de l'article: *Dommages provoqués par la grêle sur des épicéas (Picea abies [L.] Karst.) au stade gaulis et propositions pour un traitement sylvicole envisageable.*

Ce travail décrit les effets à court, moyen et long termes des chocs massifs de grêlons sur la qualité du bois de jeunes épicéas au stade gaulis. En outre on a étudié quelles étaient les conséquences de l'éclaircie à différentes hauteurs de la tige des épicéas grêlés sur la diminution des accroissements en tant que dommages secondaires et quelles étaient les qualités des bois néoformés après une échantillons choisis à cet effet. Des recommandations pour le traitement à appliquer dans la pratique ont enfin été donnés.

J.M.

8. Literatur

- Anonymus: Focus Fakten Naturkatastrophen. Das Lexikon zu ihren Ursachen und Folgen. Hrsg: Meyers Lexikonredaktion in Zusammenarbeit mit der Focus Magazin Verlagsgesellschaft, München, 1999
- BADOUX, H.: Durch Hagelschlag verursachte Zuwachsverluste in einem Fichtenstangenholz. Schweiz. Zeitschrift f. Forstwesen: 329–333, 1917
- BUES, C. T.: Untersuchung über die voraussichtliche Entwicklung stark hagelgeschädigter Fichten-Baumhölzer im Ebersberger Forst. Abschlussbericht zum Forschungsprojekt X8 an die Bayer. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt München, 1989
- BUES, C. T.: Untersuchung der Holzqualität weitständig gewachsener Fichten Süddeutschlands. Habilitationsschrift, Fakultät Forstwissenschaften, Ludwig-Maximilians-Universität München, 159 Seiten, 1991
- BUTIN, H. und ZYCHA, H.: Forstpathologie. Verlag G. Thieme, Stuttgart, 1973
- CRUG, K.: Der Hagelschlag vom 27. Juli 1829 in den oberbayerischen Staatsforsten. Forstwissenschaftliches Centralblatt 50: 542–556 und 561–575. 1928
- DIN 52183: Prüfung von Holz: Bestimmung des Feuchtegehaltes. Beuth Verlag, Berlin und Köln, 1977
- FREI, H.: Die Auswirkungen von Hagelschlägen auf den Wald. Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen 112: 503–506, 1961
- FRIEDERICH, J.: Die Sturm- und Hagelkatastrophe im erzherzoglich Albrecht'schen Forstreviere Ehnbi (Chybi) in Schlesien am 2. August 1888. Centralblatt für das gesamte Forstwesen 19: 289–295. 1893
- GILLIS, M. D., PICK, R. D. und LECKIE, D. G.: Satellite imagery assists in the assessment of hail damage for salvage harvest. Forestry Chronicle 66: 463–468. 1990
- KALTENMORGEN, K.: Untersuchungen über die Köpfungsmaßnahmen zur Schadensminderung in einer hagelgeschädigten Fichtendickung. Diplomarbeit, Institut für Holzforschung, Ludwig-Maximilians-Universität München, 1990
- MYERS, B. J.: Hail damage in Australian pine plantations. II Aerial photographic techniques for mapping the damage. Australian Forestry 47: 115–118. 1984
- OUELLETTE, G. B.: Microflora of hail wounds. For. Abstr. 1968
- PECHMANN V., H.: Die Auswirkungen eines Hagelschlages auf Zuwachsentwicklung und Holzwert. Forstwissenschaftliches Centralblatt 68: 445–456. 1949
- PECHMANN V., H.: über die Heilungsaussichten bei hagelgeschädigten Waldbeständen. Forstwissenschaftliches Centralblatt 77: 357–373. 1958
- RICHTER, G.: Hagelschäden an Waldbäumen. Deutsche Forstbeamtenzeitung: 171–173. 1935
- SARTZ, R. S.: Hail can seriously damage Eastern White Pine. Journal of Forestry 66: 353. 1968
- SCHÖBER, R.: Ertragstafeln wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung. Frankfurt am Main, Sauerländer's Verlag, 1995
- SCHULZ, H., SCHMECHEL, D. und BUES, C. T.: Frühe Wundentwicklung von Hagelverletzungen an Waldbäumen. Holz als Roh- und Werkstoff 45: 296. 1987
- STAEGEMANN, L.: Untersuchungen über Köpfungsmaßnahmen zur Schadensminderung einer 1984 hagelgeschädigten Fichtendickung. Diplomarbeit, Institut für Forstnutzung und Forsttechnik, TU Dresden, 2000
- TANNER, H.: Hagelschäden an Waldbäumen und ihre Folgen. Schweiz. Zeitschrift f. Forstwesen: 232–237. 1953
- ZEYER, H.: Hagelschäden an jungen Fichten. Diplomarbeit, Institut für Holzforschung, Ludwig-Maximilians-Universität München, 1985
- ZWOLINSKI, J. B., SWART, W. J. und WINGFIELD: Association of Sphaeropsis sapinea with insect infestation following hail damage of Pinus radiata. Forest Ecology and Management 72: 293–298. 1995

Reproduktion der Baumverteilung im Bestand unter Verwendung des Strukturparameters Winkelmaß¹⁾

Aus dem Institut für Waldinventur und Waldwachstum der Universität Göttingen

(Mit 4 Abbildungen und 4 Tabellen)

Von G. Y. HUI, M. ALBERT und B. W. CHEN

(Angenommen Januar 2003)

SCHLAGWORTER – KEY WORDS

Bestandesstruktur; Punktmuster; Reproduktion; Optimierung.

Forest stand structure; point pattern; reproduction; optimization.

1. EINLEITUNG

Die quantitative Erfassung und Darstellung der Waldstruktur und der Bestandesdiversität ist die Grundlage für Bewertungen und Vergleiche verschiedener Bestände, Bestandestypen und ganzer Ökosysteme. Die Bestandesstruktur beeinflusst das Wachstum des Einzelbaums und die Bestandesstabilität. Der Bedarf an Informationen zur räumlichen Verteilung von Bäumen und deren Attributen ist in den letzten Jahrzehnten immer mehr gestiegen (GADOW und PUUMALAINEN, 1998; PRETZSCH, 2001, S.13). Sowohl für ökologische Fragestellungen, z.B. im Rahmen der Waldbiotopbewertung, als auch zur Kontrolle betriebswirtschaftlicher Vorgaben seitens der Forstplanung sind Verfahren zur räumlichen Beschreibung von Baumverteilungen und deren Attributen eine wichtige Grundlage (POMMERENING et al., 2000; PRETZSCH, 2001, S.239 ff). Die Analyse und Reproduktion räumlicher Bestandesstrukturen bildet desweiteren einen wichtigen Baustein für einen praxisnahen Einsatz einzelbaumbasierter Waldwachstumssimulatoren (z.B. PRETZSCH, 1992; NAGEL et al., 2002). Darüber hinaus ist die Kenntnis der räumlichen Bestandesstruktur eine Voraussetzung zur Bestandesvisualisierung (MCGAUGHEY, 1997; PRETZSCH und SEIFERT, 1999). Für Wuchsmodelle und Visualisierung ist meist die simulative Erzeugung von räumlichen Bestandesstrukturen notwendig, da für Waldbestände Vollerhebungen mit Stammfußkoordinaten in der Regel nicht vorhanden sind.

Seit langem werden verschiedene Ansätze zur Reproduktion der Baumverteilung verwendet. Als Verfahren sind z.B. Punktprozesse (TOMPPU, 1986; PENTTINEN et al., 1992; DEGENHARDT, 1993 und 1996), die α -Regularität, die beispielsweise im Strukturgenerator STRUGEN (PRETZSCH, 1993) eingesetzt wird, und die Methode der Verschiebung (LEWANDOWSKI und GADOW, 1997) zu nennen. Die bisher verwendeten Ansätze zur Reproduktion der Baumverteilung lassen sich hinsichtlich der Punktbildungen in zwei Gruppen einteilen: Verwerfungsansätze und Optimierungsansätze. Die Verwerfungsansätze (z.B. Punktprozesse und α -Regularität) beruhen auf einem absoluten Vergleich der Wahrscheinlichkeit, mit der ein Punkt auf der Fläche angenommen wird, mit einer $[0,1]$ gleichverteilten Zufallszahl. Ist diese Zufallszahl kleiner oder gleich der Wahrscheinlichkeit, wird der fragliche Baum endgültig mit der ihm zuvor zugeteilten Position auf der Fläche etabliert. Ansonsten wird die Position des Baumes abgelehnt und es beginnt ein neuer Auswahl-Entscheidungszyklus für einen zufällig ausgewählten Baum. Die Optimierungsansätze (z.B. die Methode der Verschiebung) basieren auf einem relativen Vergleich der Baumabstandsverteilungen von Original- und Generierungsbestand mit dem Ziel, die Differenz der Baumabstandsverteilungen zu minimieren.

Alle diese Ansätze benötigen entweder Stichprobeninformationen über Baumabstände im zu reproduzierenden Bestand oder

Parametrisierungsdaten für artspezifische Abstandsfunktionen. Bestandesinventuren können eine wirklichkeitsnähere Reproduktion der speziellen räumlichen Struktur des interessierenden Bestandes gewährleisten. Abstandsfunktionen erzeugen repräsentative Bestandesstrukturen für einen Bestandestyp. In der forstlichen Inventurpraxis, z.B. konzentrische Probekreise auf der Betriebsebene, sind aber gerade Abstandsinformationen benachbarter Bäume selten (BÖCKMANN et al., 1998a und 1998b) und das forstliche Versuchswesen konnte bisher auch nur eingeschränkt Daten für die Parametrisierung artspezifischer Abstandsfunktionen zur Verfügung stellen (NAGEL, 1999, S.11 ff).

Ziel dieser Arbeit ist es, einen alternativen Ansatz zur Reproduktion der Baumverteilung zu entwickeln. Das neue Reproduktionsverfahren gliedert sich in eine initiale Koordinatengenerierung mit anschließender Optimierung dieser Startkonstellation. Als Grundlage für die Positionsgenerierung dient der Strukturparameter Winkelmaß, dessen Theorie GADOW et al. (1998) sowie HUI und GADOW (2002) beschreiben. Zu den bisherigen Anwendungen des Winkelmaßes zählen die Analyse von Bestandesstrukturen (ALBERT, 1999, S.68 ff; POMMERENING und GADOW, 2000; POMMERENING, 2002) und die Schätzung von Baumabstandsverteilungen (GADOW et al., 2002). In dieser Untersuchung wird ein weiteres praktisches Anwendungsgebiet des Winkelmaßes aufgezeigt, nämlich seine Verwendung zur Generierung von Baumpositionen für einzelbaumbasierte Waldwachstumssimulatoren und Visualisierungsroutinen. Das Winkelmaß beurteilt die Verteilung der Bäume im Bestand ohne auf Abstands- bzw. Positionsmessungen angewiesen zu sein und grenzt sich dadurch klar von anderen Strukturparametern zur Analyse der Baumverteilung ab. Der vorgestellte Ansatz zur Koordinatengenerierung reproduziert daher die Baumverteilung eines realen Bestandes, ohne dass Baumabstände gemessen werden müssen oder baumartenspezifische Abstandsfunktionen verwendet werden. Als Informationen benötigt der in dieser Untersuchung vorgestellte Ansatz nur einfach zu erhebende Winkelmaßmittelwerte aus Stichprobendaten (GADOW et al., 1998; HUI und GADOW, 2002) und die Populationsdichte in dem zu reproduzierenden Bestand. Es wird postuliert, dass die vorgestellte Reproduktionsmethode ein erster Ansatz eines für sämtliche Baumarten und Mischungsformen gültigen Verfahrens darstellt. Die Funktionalität des Ansatzes wird an vier baumartenreichen Validierungsbeständen aufgezeigt. Ein direkter Vergleich mit dem etablierten Strukturgenerator STRUGEN (PRETZSCH, 1993) verdeutlicht die Unterschiede der Verfahren mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen.

2. NEUER ANSATZ ZUR REPRODUKTION DER BAUMVERTEILUNGEN

Prinzipiell werden bei Punktmustern die drei Strukturen zufällige, regelmäßige und aggregierte (geklumpte) Verteilung unterschieden. Eine zufällige Verteilung bedeutet, dass die Bäume auf der Fläche im Sinne einer stetigen gleichmäßigen Wahrscheinlichkeitsverteilung angeordnet sind. Eine regelmäßige Verteilung bedeutet, dass die Bäume mit größtmöglichem Abstand zum nächsten Nachbarn auf der Fläche verteilt sind. Bei der aggregierten Verteilung gibt es häufiger überdurchschnittlich dicht besetzte

¹⁾ Diese Arbeit wurde gefördert durch die *Alexander v. Humboldt-Stiftung*.

Bestandesbereiche als bei der zufälligen Verteilung. Die Baumverteilung kann durch Strukturparameter wie z.B. den CLARK & EVANS Index (CLARK und EVANS, 1954), die L- und Paarkorrelationsfunktion (STOYAN und STOYAN, 1992) und das Winkelmaß W (GADOW et al., 1998; HUI und GADOW, 2002) beurteilt werden. Baumverteilungen können simulativ erzeugt werden, indem man diesen Definitionen folgt. Eine Vielzahl von unterschiedlichen Generierungsmethoden ist bekannt, z.B. WENSEL (1975), STOYAN und STOYAN (1992) und BIGING et al. (1994).

2.1 Theorie des Winkelmaßes

Das Winkelmaß W_i beruht auf einem Vergleich der relativen Standorte von n benachbarten Bäumen zu einem Punkt i oder Bezugsbaum i im Bestand. Das baumbezogene Winkelmaß W_i beschreibt die Regelmäßigkeit der räumlichen Verteilung der n nächsten Nachbarn eines Bezugsbaums i (GADOW et al., 1998). Die vier nächsten Nachbarn erwiesen sich als ausreichend für eine gute Interpretierbarkeit (ALBERT, 1999, S. 65; HUI und HU, 2001). Das Winkelmaß W_i basiert auf der Klassifizierung der vom Bezugsbaum i ausgehenden Winkel α_j zwischen diesen vier Nachbarbäumen. Als Bezugsgröße wird der Standardwinkel α_0 definiert, der bei sehr regelmäßiger Verteilung erwartet wird. HUI und GADOW (2002) ermittelten $\alpha_0 = 72^\circ$ als optimalen Standardwinkel. Über den Vergleich aller α_j mit dem Standardwinkel α_0 wird die binäre Zufallsvariable v_j bestimmt, wobei nur beurteilt wird, ob α_j größer oder kleiner als α_0 ist. Das Winkelmaß ist dann als der Anteil der Winkel α_j definiert, die kleiner sind als der Standardwinkel α_0 :

$$W_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_j \quad \text{mit} \quad v_j = \begin{cases} 1, & \alpha_j < \alpha_0 \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad \text{und} \quad 0 \leq W_i \leq 1 \quad (1)$$

Ist $W_i = 0$, deutet dies auf eine starke lokale Regelmäßigkeit um den Bezugsbaum hin, während bei $W_i = 1$ eine ausgeprägt unregelmäßige bzw. geklumpte kleinräumige Baumverteilung zu erwarten ist.

Der Mittelwert \bar{W} aller Winkelmaßwerte W_i aus einer Bestandesinventur hat eine hohe Aussagekraft. Nach der Untersuchung von GADOW und HUI (2002) liegen alle Werte \bar{W} im Bereich [0,475; 0,517] für zufällige Baumverteilungen. Bei regelmäßigen Verteilungen weist \bar{W} kleinere Werte als die Intervalluntergrenze auf und bei geklumpten Verteilungen liegen die Werte oberhalb des Intervalls. Basierend auf der von FÜLDNER (1996) entwickelten bestandesweisen Stichprobeninventur *strukturelle Vierergruppe* kann der Winkelmaßmittelwert \bar{W} zuverlässig geschätzt werden (POGODA et al., 1999). Durch Einordnung des Wertes in die spezifizierten Wertebereiche erhält man die notwendige Information über den Verteilungstyp des zu reproduzierenden Bestandes.

Die Effizienz des Winkelmaßes W_i in Kombination mit dem Inventurverfahren *strukturelle Vierergruppe* hat sich in zahlreichen Feldversuchen angedeutet. Nähere Analysen eventuell in Form von Zeitstudien müssen diesen scheinbaren Vorteil gegenüber alternativen Inventuren mit Abstands- und Positionsmessungen aber erst erhärten.

2.2 Theoretische Grundlagen der Reproduktionsmethode

Die hier vorgestellte neue Methode zur Reproduktion von Baumverteilungen *ReproW* (Reproduktion mit Winkelmaß) gliedert sich in die beiden Prozesse einer initialen Koordinatengenerierung für zufällige, geklumpte oder regelmäßige Verteilungen sowie einer Optimierung dieser Anfangskonstellation. Die für beide Prozesse benötigten Informationen können über Stichprobeninventuren im zu reproduzierenden Bestand gewonnen werden. Als Inventurverfahren wird die *strukturelle Vierergruppe* in Kombination mit geklumpten Winkelzählproben vorgeschlagen, um die Stammzahl pro Hektar N und die Winkelmaßverteilung im Bestand zu schätzen. Wie im Folgenden dargestellt wird, reicht die Kenntnis dieser

beiden Größen aus, um alle weiteren benötigten Informationen herleiten. Die zu berechnenden Variablen sind im einzelnen der Typ der Baumverteilung, die Anzahl der Cluster im Bestand bei einer geklumpten Verteilung, die Abstandsvariation der Gitternetzpunkte von einem quadratischen Raster im Falle einer regelmäßigen Baumanordnung und schließlich die Baumabstandsverteilung als Auswahl- und Optimierungskriterium.

Die initiale Koordinatengenerierung richtet sich danach, ob der zu reproduzierende Bestand eine zufällige, geklumpte oder regelmäßige Baumverteilung aufweist. Wie bereits unter Abschnitt 2.1 erwähnt, lässt sich anhand des Winkelmaßmittelwertes der Typ des zweidimensionalen Verteilungsmusters zuverlässig schätzen (GADOW und HUI, 2002). Generell erzeugt die Reproduktionsmethode die über die Stammzahlschätzung im Originalbestand definierte Anzahl n von Baumpositionen auf einer rechteckigen Fläche A mit benutzerdefinierten Seitenlängen.

Eine zufällige Baumverteilung wird generiert, indem die Koordinaten der n Punkte jeweils durch eine gleichverteilte Zufallszahl erzeugt werden. Für eine geklumpte Baumverteilung muss zuvor die Anzahl der Cluster n_c geschätzt werden. Die n_c Punkte (Elternpunkte) werden dann durch eine gleichverteilte Zufallszahl erzeugt. Um jeden Elternpunkt wird ein Cluster von n/n_c Tochterpunkten verteilt. Jeder Tochterpunkt repräsentiert eine Baumposition. Innerhalb jedes Clusters sind alle Punkte unabhängig voneinander nach der gleichen Dichtefunktion um das Clusterzentrum gestreut. Eine regelmäßige Baumverteilung wird generiert, indem die Bäume entsprechend einer Gleichverteilung zufällig um die Punkte eines quadratischen Gitternetzes angeordnet werden. Die Abweichung von der absoluten Regelmäßigkeit wird erreicht, indem um jeden Gitternetzpunkt ein Kreis mit Radius r definiert wird, innerhalb dessen zufällig ein Punkt als Baumposition bestimmt wird. Die Abstandsvariation v berechnet sich dann als Quotient aus Radius r und Entfernung der Gitternetzpunkte im quadratischen Raster, die wiederum von der Baumanzahl n und der Flächengröße A vorgegeben ist.

Im Reproduktionsprozess für geklumpte und regelmäßige Baumverteilungen muss zunächst die Clusteranzahl n_c und die Abstandsvariation v als Funktion des geschätzten Winkelmaßmittelwertes \bar{W} berechnet werden. Um diese Funktionen herzuleiten, werden analog zu den oben erläuterten Methoden zur Erzeugung von Punktmustern 6400 geklumpte und 700 regelmäßige Bestände generiert. Dabei wird für die geklumpten Bestände die Stammzahl/ha zwischen 213 und 2400 und die Clusteranzahl zwischen 5 und 90 variiert und für jede Stammzahl-Clusteranzahl-Kombination 100 Baumverteilungen erzeugt. Die Generierung der regelmäßigen Baumverteilungen mit Stammzahlen von 500/ha bis 2400/ha berücksichtigt Abstandsvariationen zwischen 30% und 70% bei ebenfalls je 100 Wiederholungen pro Variablenkombination. Die *Abbildungen 1* und *2* zeigen ausgewählte Häufigkeitsverteilungen der Winkelmaßmittelwerte \bar{W} in Abhängigkeit von der Anzahl der Cluster n_c bzw. der Abstandsvariation v bei einer spezifischen Stammzahl/ha.

Anhand der *Abbildungen 1* und *2* ist ersichtlich, dass jedem n_c - bzw. v -Wert eine annähernde Normalverteilung von Winkelmaßmittelwerten entspricht. Es erscheint daher plausibel, dass ein Bestand, dessen Winkelmaßmittelwert \bar{W} gleich dem Mittelwert \bar{W} der Verteilung ist, mit relativ großer Wahrscheinlichkeit erzeugt wird, wenn man den entsprechenden n_c -Wert bzw. v -Wert bei der Generierung benutzt. Die Schätzfunktion für die Anzahl von Clustern n_c bzw. für die Abstandsvariation v wird deshalb mit Hilfe der simulierten Verteilungsmittelwerte aufgestellt.

Eine Zunahme von \bar{W} mit ansteigender Abstandsvariation v ist in *Abbildung 2* erkennbar. Eine explorative Analyse der generierten regelmäßigen Bestände zeigt, dass $\bar{W} = f(v)$. Die Beziehung zwi-

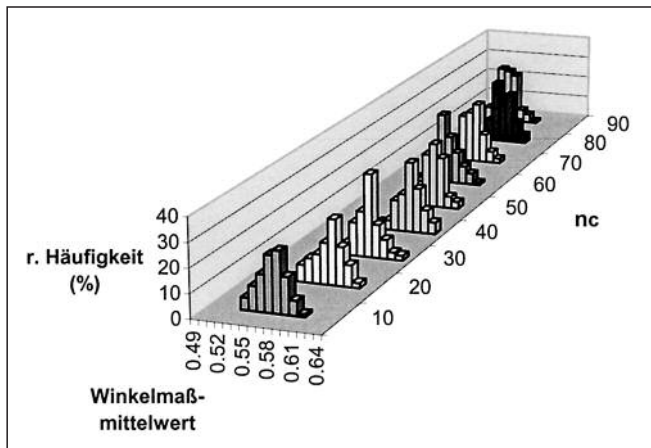


Abb. 1

Verteilung der Winkelmaßmittelwerte bei unterschiedlicher Anzahl von Elternpunkten n_c .
Distribution of mean *Winkelmaß* values for different numbers of parent points n_c .

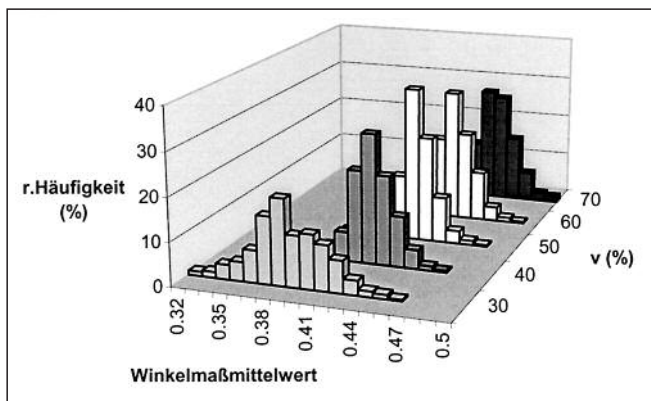


Abb. 2

Verteilung der Winkelmaßmittelwerte bei unterschiedlicher Abstandsvariation v .
Distribution of mean *Winkelmaß* values for different variation of distances values v .

schen den beiden Größen v und \bar{W} kann wie folgt beschrieben werden:

$$\bar{W} = av^b \quad (2a)$$

mit $a = 0,47982$ und $b = 0,17195$ ($n = 7$; $R^2 = 0,99$).

Als Schätzfunktion für v wird die inverse Funktion verwendet:

$$v = f^{-1}\left(\frac{\bar{W}}{a}\right) = \left(\frac{\bar{W}}{a}\right)^{1/b} \quad (2b)$$

Die Beziehung zwischen \bar{W} und der Clusteranzahl n_c hingegen zeigt, dass die Winkelmaßmittelwerte bis zu einer gewissen Clusteranzahl größer werden, dann aber bei weiter steigenden Clusteranzahlen wieder abnehmen (Abb. 1). Die explorative Analyse der generierten geklumpten Bestände ergibt, dass \bar{W} abhängig von n_c und N ist und ein funktioneller Zusammenhang der Form $N/n_c = f(\bar{W})$ besteht. Abbildung 3 zeigt die aus den Daten der 6400 Simulationsbeständen hergeleitete Beziehung zwischen der Baumanzahl pro Cluster und den Winkelmaßmittelwerten \bar{W} .

Abbildung 3 zeigt, dass \bar{W} mit zunehmender Baumanzahl pro Cluster größer wird, wenn weniger als 40 Bäume ein Cluster bil-

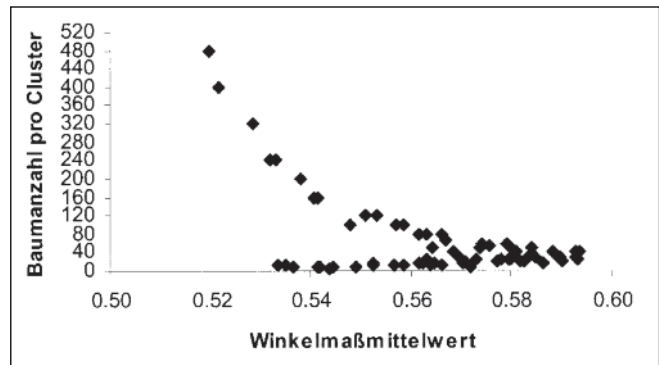


Abb. 3

Beziehung zwischen der Baumanzahl pro Cluster und \bar{W} .
Relationship between number of trees per cluster and \bar{W} .

den, jedoch abnimmt, wenn die Baumanzahl pro Cluster größer 40 ist. D.h., bei 40 Bäumen pro Cluster scheint ein Schwellenwert zu liegen. Das Phänomen eines Schwellenwertes ist logisch erklärbar. Das Winkelmaß basiert auf dem Vergleich der Winkel zwischen vier Nachbarbäumen mit dem Standardwinkel 72° . Normalerweise nimmt \bar{W} mit zunehmender Clusteranzahl bei gleicher Bestandesdichte zu, d.h. die Baumverteilung wird immer geklumpter. Je größer aber die Clusteranzahl bzw. die Anzahl von Bäumen pro Cluster ist, desto höher ist auch die Wahrscheinlichkeit für Überlappungen der Cluster. Überlappungen führen jedoch zu einer Abnahme der Klumpungsstruktur und damit zu einer Verringerung der Winkelmaßmittelwerte \bar{W} .

Die Beziehung zwischen der Baumanzahl pro Cluster und dem \bar{W} -Wert kann wie folgt modellhaft beschrieben werden:

$$\frac{N}{n_c} = a \bar{W}^b \quad (3)$$

mit $a = 28107,4$; $b = 13,0208$ wenn $N/n_c < 40$ ($n = 26$; $R^2 = 0,86$);
 $a = 0,0002225$, $b = -22,11315$ wenn $N/n_c \geq 40$ ($n = 38$; $R^2 = 0,97$).

Aus Gründen der Vereinfachung wird nur eine Modellform zur Schätzung der Baumanzahl pro Cluster verwendet, statt unterschiedliche Modellgleichungen für die beiden Fälle zu parametrisieren. Die abhängige Variable N/n_c in Formel (3) ist in der Praxis unbekannt. Zur Klassifizierung wird deshalb als Hilfsvariable die *Patchiness* von LLOYD (1967) zur Charakterisierung geklumpter Baumverteilungen verwendet. Sie ist wie folgt definiert (s. PIELOU, 1977, S.132):

$$P = 1 + \frac{V/m-1}{m} \quad (4)$$

wobei V : Varianz der Stammzahl zwischen Stichproben;
 m : Mittelwert der Stammzahl aller Stichproben.

Die *Patchiness* beschreibt unabhängig von der Flächengröße und der absoluten Bestandesdichte die mittlere Clusteranzahl über das Verhältnis von durchschnittlicher Clusterbesetzung und durchschnittlicher Bestandesdichte. Die zur Berechnung der *Patchiness* notwendigen Information sind über die vorgeschlagenen geklumpten Winkelzählproben im zu reproduzierenden Bestand leicht erfassbar.

Die Analyse der 6400 generierten geklumpten Bestände ergibt für eine Klassifizierung anhand der *Patchiness* P einen Schwellenwert von 1,08 (Tab. 1).

Ein Bestand wird der Gruppe $N/n_c \geq 40$ zugeordnet, wenn sein *Patchiness*-Wert größer als 1,08 ist (für $P \leq 1,08$ gilt entsprechend $N/n_c < 40$). Über die Klassifikation erfolgt die Zuordnung der Para-

Tab. 1

Wahrscheinlichkeit zur Klassifizierung der Bestände
Probability of classification of stands

P	Wahrscheinlichkeit (%)	
	>P	≤P
1,05	83,0	59,3
1,06	80,1	63,4
1,07	77,1	67,7
1,08	73,5	71,1
1,09	71,1	74,4
1,10	68,4	76,9
Anzahl der Bestände	2320 mit $N/n_c \geq 40$	4080 mit $N/n_c < 40$

meter der Funktion (3) zur Berechnung der Baumanzahl pro Cluster.

2.3 Ablauf der Reproduktion

Das Reproduktionsverfahren gliedert sich in zwei Abschnitte, die Auslese der Startkonfiguration der Population und die Optimierung der Baumverteilung. Im Prozess der Auslese werden nach dem in Abschnitt 2.2 geschilderten Generierungsverfahren verschiedene Punktmuster durch Wiederholung zufällig erzeugt. Alle Punktmuster gehören dem Verteilungstyp des Originalbestandes -zufällig, regelmäßig oder geklump- an. Die Vielzahl (z.B. 100) verschiedener generierter Punktmuster ermöglicht eine Auslese gemäß der Strukturähnlichkeit mit dem zu reproduzierenden Bestand. Das Punktmuster mit den ähnlichsten Struktureigenschaften bezüglich der Winkelmaß- und der Baumabstandsverteilung im Vergleich zum Originalbestand wird als die Anfangsbaumverteilung für den zweiten Prozess, die weiterführende Optimierung, ausgewählt. Die als Auswahlkriterium verwendete Abstandsverteilung beruht dabei nicht auf gemessenen Werten, sondern wird über Winkelmaß und Populationsdichte geschätzt (GADOW et al., 2002). Die Optimierung beginnt mit der Suche nach einem Punkt in der Anfangsbaumverteilung, der einer Klasse der Winkelmaß- bzw. Abstandsverteilung angehört, die im Verhältnis zur Verteilung des Originalbestandes eine zu große Häufigkeit aufweist. Der gefundene Punkt wird temporär gelöscht und mit neuen Koordinaten zufällig erzeugt. Der Optimierungsprozess strebt die Minimierung einer Zielfunktion an, die aus der Differenzsumme der beiden Winkelmaßverteilungen und Abstandsverteilungen besteht und wie folgt definiert ist:

$$\left\{ \sum_{i=1}^k |\omega_i - \omega_0| + \sum_{i=1}^l |\theta_i - \theta_0| \right\} \times 100 \rightarrow \min \quad (5)$$

wobei

- ω_i relative Häufigkeit der Winkelmaßverteilung des simulierten Bestandes;
- ω_0 relative Häufigkeit der Winkelmaßverteilung des zu reproduzierenden Bestandes;
- θ_i relative Häufigkeit der Abstandsverteilung des simulierten Bestandes;
- θ_0 relative Häufigkeit der Abstandsverteilung des zu reproduzierenden Bestandes;
- k Anzahl der Winkelmaß-Häufigkeitsklassen;
- l Anzahl der Baumabstands-Häufigkeitsklassen.

Führt die neue Position eines Punktes zu einer Verringerung des Wertes der Zielfunktion, so werden die neuen Koordinaten akzeptiert. Ansonsten verbleibt der Baum an seiner ursprünglichen Position und es beginnt ein neuer Auswahl-Entscheidungszyklus. Der Optimierungsprozess wird solange fortgeführt, bis der Wert der Zielfunktion 10% unterschreitet (s. Abb. 4).

3. VERHALTEN DES VERFAHRENS

Die Struktur des Reproduktionsbestandes soll mit dem stichprobenartig erfassten, realen Bestand übereinstimmen. Übereinstimmung heißt in diesem Fall nicht, dass ein bestimmter Baum im wirklichen und reproduzierten Bestand auf ein und derselben Stelle stehen muss, sondern dass die dynamikprägenden Merkmale von realem und generiertem Bestand einander entsprechen (PRETZSCH, 1993).

3.1 Validierungsdaten

Die zur Validierung verwendeten Bestände sind zwei Versuchsflächen der *Pinus koraiensis*-Mischbestände im Nordosten Chinas, eine Versuchsfläche im Naturwald nahe Durango, Mexiko, und ein Ausschnitt des Buchen-Edellaubholz-Mischbestandes der Abteilung 148a im NFA Bovenden.

In Tabelle 2 sind die für die Reproduktion der Baumverteilung relevanten Bestandescharakteristika aufgeführt. Besonders beachtenswert ist die große Anzahl an Baumarten in diesen vier Mischbeständen. Der Verteilungstyp auf zwei Flächen ist zufällig, ein Validierungsbestand weist eine geklump- und eine Versuchsfläche eine regelmäßige Baumverteilung auf.

Für jeden Validierungsbestand wird das Reproduktionsverfahren fünf mal wiederholt, so dass insgesamt 20 generierte Baumverteilungen entstehen. Der Ausleseprozess basiert auf jeweils 100 verschiedenen Punktmustern.

Tab. 2

Kenngrößen der vier Validierungsbestände
Characteristics of the four validation stands

Nr.	Name	Flächen- größe [m ²]	N/ha	Verteilungs- typ	Baumarten
1	Jiaohe 1	900	800	zufällig	<i>Pinus koraiensis</i> , <i>Fraxinus mandshurica</i> , <i>Abies holophylla</i> , <i>Acer mono</i> und 9 weitere Arten
2	Jiaohe 2	900	1044	zufällig	<i>Pinus koraiensis</i> , <i>Juglans mandshurica</i> , <i>Abies holophylla</i> , <i>Tilia amurensis</i> , <i>Acer mono</i> , <i>Acer manshurica</i> und 7 weitere Arten
3	Durango	2500	628	geklump-	<i>Picea chihuahuana</i> , <i>Abies duranguensis</i> , <i>Pseudotsuga menziesii</i> und 6 weitere Arten
4	Bovenden	6375	541	regelmäßig	Buche, Esche, Bergahorn, Hainbuche, Ulme, Elsbeere

Tab. 3

Reproduktionsergebnisse und ihre Validierung
Results of the reproduction process and their validation

Originalbestand				Reproduktion				K-S Test		Zeit*	
Nr.	\bar{W}	D01	R _{CE}	Nr.	\bar{W}	D01	R _{CE}	W _i	D01 _i	t1	t2
1	0,4906	1,77	1,049	1	0,4906	1,75	1,036	0	0,15	0'28''	1'00''
				2	0,4858	1,73	1,028	0,02	0,13	0'28''	4'16''
				3	0,4906	1,68	0,999	0	0,09	0'28''	0'45''
				4	0,4906	1,72	1,022	0	0,11	0'28''	6'27''
				5	0,4858	1,92	1,139	0,02	0,11	0'28''	3'58''
2	0,4911	1,65	0,967	1	0,4911	1,74	1,020	0	0,11	0'45''	3'38''
				2	0,4911	1,50	0,883	0	0,12	0'45''	5'05''
				3	0,4911	1,68	0,989	0	0,12	0'45''	5'25''
				4	0,4911	1,54	0,905	0	0,11	0'45''	2'07''
				5	0,4911	1,65	0,971	0	0,11	0'45''	3'37''
3	0,5177	1,82	0,887	1	0,5230	1,73	0,845	0,01	0,06	1'56''	5'40''
				2	0,5230	1,77	0,864	0,01	0,06	1'56''	6'11''
				3	0,5162	1,82	0,889	0,01	0,05	1'56''	4'25''
				4	0,5248	1,68	0,817	0,01	0,06	1'56''	5'34''
				5	0,5160	1,79	0,871	0,01	0,06	1'56''	4'22''
4	0,4637	2,54	1,157	1	0,4704	2,44	1,102	0,01	0,08	8'29''	17'41''
				2	0,4647	2,47	1,114	0,02	0,07	8'29''	15'01''
				3	0,4666	2,41	1,090	0,01	0,09	8'29''	15'20''
				4	0,4647	2,41	1,086	0	0,07	8'29''	14'25''
				5	0,4618	2,41	1,090	0,02	0,11	8'29''	13'37''

* t1: die Zeit für die Auslese; t2: die Zeit für die Optimierung

3.2 Ergebnisse der Validierung

Zur Validierung werden zwei Indizes verwendet, die das horizontale Punktmuster der Stammfußkoordinaten beschreiben, der Aggregationsindex R_{CE} (CLARK und EVANS, 1954) und der Winkelmaßmittelwert \bar{W} . Der mittlere Abstand zum nächsten Nachbarn $D01$ wird im Original- und Reproduktionsbestand als weitere Prüfgröße berechnet. Außerdem wird die Winkelmaß- und die Abstandsverteilung zum nächsten Nachbarn durch den K-S-Test (s. SACHS, 1973) überprüft. Die Prüfergebnisse sind in *Tabelle 3* zusammengefasst.

Ein Vergleich der Werte des CLARK & EVANS-Index sowie der Winkelmaßmittelwerte in *Tabelle 3* zeigt, dass jede Reproduktion der Baumpositionen den gleichen Verteilungstyp aufweist wie die Bäume auf den Versuchsflächen. Neben der richtigen Klassifizierung der Baumverteilung ist bei der Reproduktion zusätzlich die Stärke der Klumpung bzw. Regelmäßigkeit ein wichtiges Kriterium, welches das vorgestellte Verfahren ebenfalls abbildet. Dies wird durch die sehr geringen absoluten Abweichungen zwischen realen und generierten CLARK & EVANS-Indexwerten sowie Winkelmaßmittelwerten bestätigt. Das Ablehnungskriterium der K-S-Prüfungen wird in keinem Fall erfüllt, d.h. es bestehen keine signifikanten Abweichungen zwischen den realen und generierten Baumabstands- und Winkelmaßverteilungen. Die Rechenzeit für die Reproduktion der Positionen von 100 Bäumen liegt auf einem PC Pentium 4-600 durchschnittlich bei 5,5 Minuten.

Abbildung 4 zeigt beispielhaft die Optimierungsprozesse und die Baumverteilungen der vier Versuchsflächen und deren Reproduktionen.

Die Punktmuster in *Abbildung 4* (Grafiken links u. rechts) verdeutlichen, dass die reproduzierten Baumkoordinaten nicht identisch mit denen im Originalbestand sind, obwohl das räumliche

Verteilungsmuster des Originalbestandes sich nicht signifikant von der Struktur der Reproduktion unterscheidet (s. *Tab. 3*). Nach dem ersten Generierungsabschnitt, dem Prozess der Auslese, kommt es zur geringsten Abweichung des Reproduktionsergebnisses im Bestand Bovenden mit 35% und zur größten Abweichung mit über 80% im Beispiel Jiaohe 2 (*Abb. 4*, Mitte). Der zweite Prozess der Optimierung erreicht in allen vier Fällen die geforderte 10%-Grenze. Die Anzahl an notwendigen Iterationen liegt bei etwas über 100. Die Abstandsverteilung trägt jeweils stärker zur Gesamtabweichung bei als die Winkelmaßverteilung.

4. DISKUSSION UND AUSBLICK

Das vorgestellte Verfahren zur Erzeugung von Baumverteilungen ist ein erster Schritt hin zu einem Bestandesstrukturgenerator. Diese methodische Alternative kommt – im Gegensatz zu den bisher verwendeten Ansätzen zur Koordinatengenerierung – ohne Baumabstandsmessungen aus Stichprobeninventuren bzw. artspezifische Abstandsfunktionen aus. Die beschriebene Methode reproduziert auf der Grundlage von Winkelmaßmittelwert und Stammzahlschätzung die Baumpositionen eines realen Bestandes. Die insbesondere für Mischbestände notwendige Zuordnung der wichtigen Baumattribute Baumart und Dimension auf das erzeugte Punktmuster muss in einem nächsten Schritt in das Verfahren integriert werden. LEWANDOWSKI und GADOW (1997) entwickelten einen Algorithmus, der den einzelnen Baumpositionen eine Baumart und einen Durchmesser zuweist. Das Ziel ist eine Optimierung der Durchmischungs- und BHD-Differenzierungsverteilung durch gerichtetes Vertauschen der Attribute. Dieser Ansatz erbrachte durchaus befriedigende Ergebnisse, so dass eine Kombination der Reproduktionsmethode für Baumpositionen mit der Durchmischungs- und Differenzierungsoptimierung zu einem kompletten Bestandesstrukturgenerator durchaus vielversprechend erscheint.

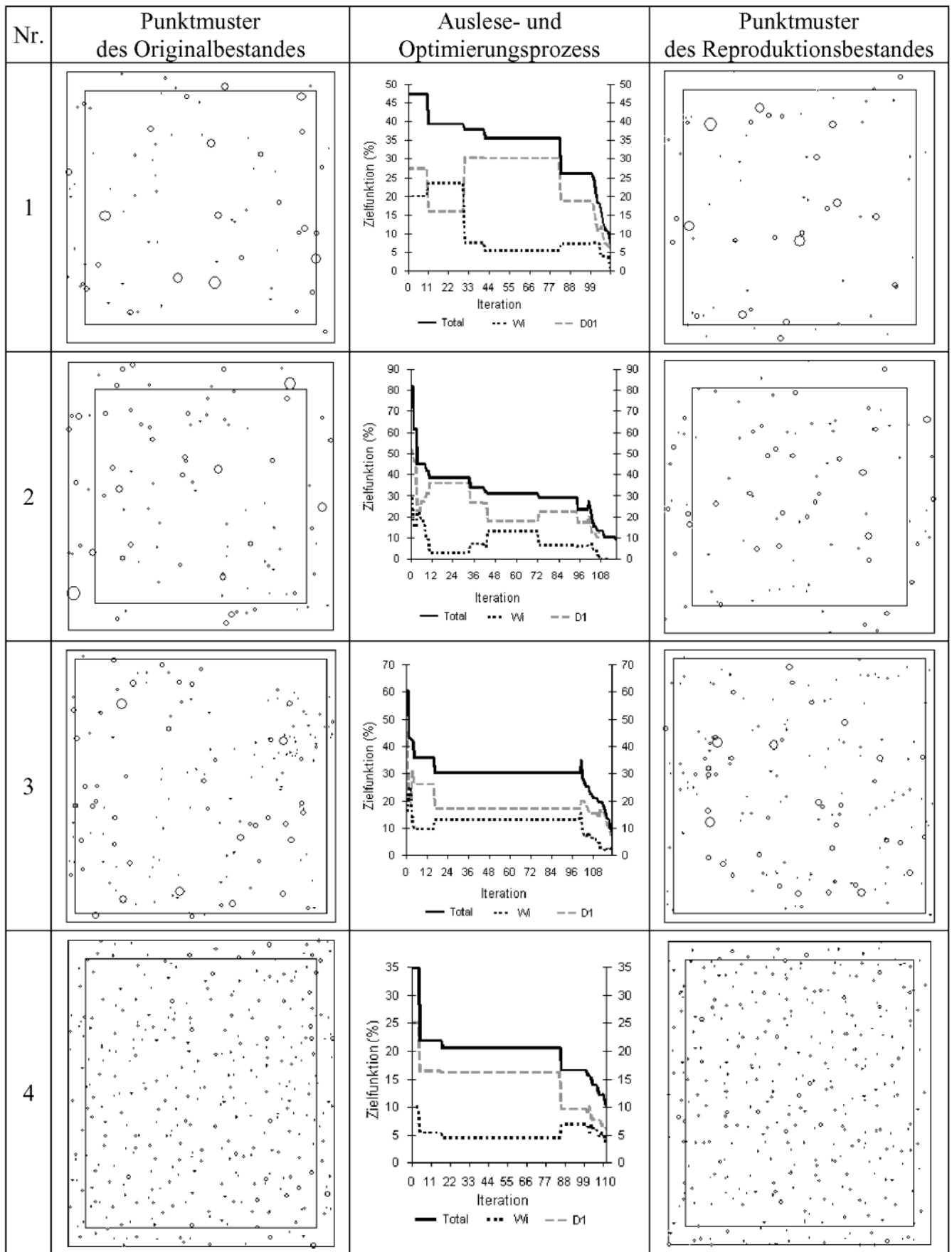


Abb. 4

Punktmuster der vier Bestände (links) und deren Reproduktionen (rechts) und der Verlauf der Zielfunktion im Optimierungsprozess (Mitte).
 Point pattern of the four stands (left) and their reproduction (right) and the results for the goal function of the optimization process (center).

Die Beurteilung der Effizienz der vorgestellten Reproduktionsmethode von Baumverteilungen bezüglich der Erfassung der benötigten Eingangsinformationen ist nicht Thema dieses Beitrages. Die Ergebnisse aus den vier Validierungsbeständen sind jedoch ermutigend. Die Eingangsgrößen für das Reproduktionsverfahren wurden aus Vollaufnahmen der vier Versuchsflächen hergeleitet. Im Praxiseinsatz stehen allerdings nur Daten aus Stichproben zur Verfügung. Es liegen aber keine gesicherten Erkenntnisse über den Stichprobenfehler der einzelnen in der Reproduktionsmethode verwendeten Schätzgrößen vor. Weitere Untersuchungen müssen klären, wie zuverlässig die benötigten Variablen in der Praxis erhoben werden können und welchen Einfluss dies auf die Genauigkeit der Strukturgenerierung hat. Eine Fragestellung muss sich in diesem Zusammenhang damit beschäftigen, welche Auswirkung es hat, wenn statt des vierten fälschlicherweise der fünfte Nachbar zur Ermittlung des Winkelmaßes herangezogen wird. Dies ist entscheidend, damit der Vorteil des Winkelmaßes, keine Baumabstände messen zu müssen, aufrecht erhalten werden kann.

Abschließend sollen die Unterschiede zwischen der präsentierten methodischen Alternative der Baumverteilungsreproduktion *ReproW* zum etablierten Strukturgenerator STRUGEN (PRETZSCH, 1993) dargestellt werden (Tab. 4).

Tab. 4

Charakteristika zweier Ansätze zur Koordinatengenerierung
Characteristics of two approaches to generate coordinates

	STRUGEN	<i>ReproW</i>
Positionsetablierung	Verwerfungsansatz	Optimierungsansatz
benötigte Informationen	artspez. Baumabstandsfunktion, Stammzahl pro Baumart, Mischungsform	N/ha, Winkelmaßverteilung, Varianz der Stammzahl zwischen Stichproben
initiales Punktmuster	Zufallsverteilung	abhängig von \bar{W}
Baumartenabhängigkeit	ja	nein
Prüfkriterium des Baumabstandes	Normalverteilung einer parametrisierten Abstandsfunktion	geschätzte Abstandsverteilung des Originalbestandes

Die in Tabelle 4 verglichenen Verfahren STRUGEN und *ReproW* verfolgen unterschiedliche Modellansätze bei der Koordinatengenerierung. STRUGEN verwendet artspezifische Abstandsfunktionen zur Prüfung der zufällig erzeugten Baumpositionen auf Plausibilität. STRUGEN ist somit abhängig von den Baumarten des Bestandestyps, d.h. es müssen spezifische Abstandsfunktionen vorhanden sein. Die Punktetablierung zielt demnach auf die Erzeugung repräsentativer bestandestypenabhängiger räumlicher Strukturen. Das alternative Verfahren *ReproW* greift auf Stichprobeninformationen über die Baumverteilung eines realen Bestandes zurück. Je nach vorkommenden Baumarten und Mischungsformen wird die Winkelmaßverteilung und entsprechend deren Mittelwert unterschiedlich sein, aber direkte baumartenspezifische Informationen sind für den Generierungsprozess der Baumkoordinaten nicht erforderlich. Die Plausibilität der Baumabstände wird in *ReproW* über die geschätzte Abstandsverteilung des Originalbestandes geprüft. Da *ReproW* Inventurdaten eines konkreten Bestandes verwendet, werden entsprechend die charakteristischen Merkmale der Baumverteilung dieses Bestandes erzeugt.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Reproduktion der Baumverteilungen. Zunächst wird ein Überblick über die bereits im forstlichen Bereich vorkommenden Verfahren zur Generierung von Baumverteilungen gegeben. Alle diese Ansätze benötigen entweder direkt Stichprobeninformationen über Baumabstände im zu reproduzierenden Bestand oder artspezifische Abstandsfunktionen. In

der forstlichen Inventurpraxis sind aber gerade umfassende Abstandsmessungen aus Kostengründen Mangelware und Parametrisierungsdaten für Abstandsfunktionen sind ebenfalls nicht immer ausreichend vorhanden. Deswegen wurde ein neuer Ansatz zur Reproduktion von Baumverteilungen unter Verwendung des Strukturparameters Winkelmaß entwickelt. Dieser für alle räumlichen Verteilungstypen gültige Ansatz ist nicht auf baumartenspezifische Informationen angewiesen, ermöglicht die Reproduktion der Baumverteilungen ohne aufwendige Abstandsmessungen und greift nicht auf artspezifische Baumabstandsfunktionen zurück. Zur Reproduktion geklumpfter Baumverteilungen werden Funktionen zur Schätzung der Anzahl der Klumpen ermittelt (Abb. 1 und 3, Formeln 3 und 4, Tab. 1). Für regelmäßige Baumverteilungen wird die Abweichung zur absoluten Regelmäßigkeit im Reproduktionsprozess herangezogen (Abb. 2, Formel 2a und 2b). Zur Validierung des Verfahrens werden vier Versuchsflächen verwendet (Tab. 2). Die Ergebnisse zeigen, dass die räumliche Verteilung des Originalbestandes sich nicht signifikant von der Struktur der Reproduktion unterscheidet (Tab. 3, Abb. 4). Weitere Untersuchungen speziell zum Stichprobenfehler der im realen Bestand geschätzten Größen müssen für eine praxistaugliche Anwendung des Verfahrens noch durchgeführt werden. Eine Erweiterung des vorgestellten Reproduktionsansatzes für Baumverteilungen durch Zuweisung der Attribute Baumart und Dimension auf das erzeugte Punktemuster ist erforderlich.

6. Summary

Title of the paper: *Reproduction of the spatial distribution of trees using the structural parameter uniform angle index (Winkelmass).*

This paper deals with reproducing spatial distributions of trees. An overview of existing procedures to reproduce spatial distributions is given. All investigated procedures either need sampling information about distances between trees or they use species-specific distance functions. In common forestry practice measured distances are expensive and rare. Species-specific distance functions are not always available, too. Therefore, a new method is introduced to reproduce spatial distributions of trees based solely on information about the uniform angle index and stand density, which are easy to assess. The approach is valid for all species and all mixtures. For reproducing clustered distributions functions are derived to estimate the number of clusters (fig. 1 and 3, formulae 3 and 4, and tab. 1). Uniform spatial distributions are reproduced based on a variable quantifying the degree of deviation from total regularity (fig. 2, formulae 2a and 2b). Four experimental plots are used for validation (tab. 2). The results show no significant difference between the original and the reproduced spatial distributions (tab. 3, fig. 4). For practical applications further research is necessary to evaluate the sampling error of the estimated variables in the original stand. The reproduction method has to be extended by assigning the tree attributes species and dimension to the generated tree positions.

7. Résumé

Titre de l'article: *Reproduction de la distribution spatiale des arbres d'un peuplement en utilisant comme paramètre de structure l'indice angulaire.*

Le travail présenté concerne la reproduction de la distribution spatiale des arbres. On a d'abord rappelé brièvement les méthodes déjà proposées par la recherche forestière pour générer des types de distribution. Toutes ces méthodes nécessitent de disposer soit des distances entre arbres directement obtenues sur des parcelles-échantillons installées dans le peuplement à reproduire, soit de fonctions relatives à ces distances, spécifiques aux diverses essen-

ces. Dans le pratique des inventaires forestiers les mesures de distances généralisées sont le plus souvent absentes en raison de leur coût et, de même, on ne dispose pas de données suffisantes pour établir les fonctions paramétriques concernant les distances entre arbres. C'est la raison pour laquelle une nouvelle approche a été envisagée pour la reproduction des distributions spatiales des arbres; le paramètre de structure est alors un indice angulaire. La méthode proposée est valable pour tous les types de distribution sans que des mesures de distances soient nécessaires et ne recourt pas aux fonctions relatives aux distances spécifiques aux essences. Pour reproduire les distributions en groupes d'arbres, on a établi des formules permettant d'évaluer le nombre de ces groupes (Fig. 1 et 3, Formules 3 et 4; Tab. 1). Pour les distributions régulières on a déduit avec le processus de reproduction l'écart avec la régularité absolue (Fig. 2, Formules 2a et 2b). Pour valider la méthode on a fait appel aux placettes expérimentales (Tab. 2). Les résultats ont montré que la distribution spatiale du peuplement d'origine n'était pas significativement différente de la structure de la reproduction (Tab. 3; Fig. 4). En raison des erreurs d'échantillonnage relatives aux grandeurs déterminées dans le peuplement réel, de nouvelles recherches sont encore nécessaires pour que la méthode puisse être utilisée dans la pratique courante. Une extension de la méthode présentée pour la reproduction des distributions spatiales des arbres est encore nécessaire pour introduire dans chaque élément du modèle l'essence et la dimension. J. M.

8. Literatur

- ALBERT, M.: Analyse der eingriffsbedingten Strukturveränderung und Durchforstungsmodellierung in Mischbeständen. Dissertation Universität Göttingen. Hainholz Verlag, 201 S. 1999
- BIGING, G. S., ROBARDS, T. A., TURNBLOM und VAN DEUSEN, P. C.: The Predictive Models and Procedures Used in the Forest Stand Generator (STAG). *Hilgardia*, Vol. 61. 1. 1994
- BÖCKMANN, T., SABOROWSKI, J., DAHM, St., NAGEL, J. und SPELLMANN H.: Die Weiterentwicklung der Betriebsinventur in Niedersachsen. *FoHo* 219–226. 1998a
- BÖCKMANN, T., SPELLMANN, H. und HÜSING, F.: Neukonzeption und Weiterentwicklung der Forsteinrichtung in Niedersachsen. *FoHo* 53: 298–302. 1998b
- CLARK, P. J. and EVANS, F. C.: Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology* **35**: 445–453. 1954
- DEGENHARDT, A.: Analyse der Entwicklung von Bestandesstrukturen mit Hilfe des Modells der zufälligen Punktprozesse in der Ebene. *Beiträge der Forstwirtschaft und Landschaftsökologie* **27/4**:182–186. 1993
- DEGENHARDT, A.: Modellierung und Simulation von Bestandesstrukturen mit Hilfe von markierten Gibbs-Feldern. DVFFA, Sektion Forstliche Biometrie und Informatik. 1996
- FÜLDNER, K.: Die Strukturelle Vierergruppe – ein Stichprobenverfahren zur Erfassung von Strukturparametern in Wäldern. In: *Beiträge zur Waldinventur*. Cuvillier Verlag, Göttingen: S. 13–30. 1996
- GADOW, K. v. und PUUMALAINEN, J.: Neue Herausforderungen für die Waldökosystemplanung. *AFZ/Der Wald* **20**: 1248–1250. 1998.
- GADOW, K. v., HUI, G. Y. und ALBERT, M.: Das Winkelmaß – ein Strukturparameter zur Beschreibung der Individualverteilung in Waldbeständen. *Cbl f.d.ges.Forstw.*, **115/1**: 1–10. 1998
- GADOW, K. v. und HUI, G. Y.: Characterizing forest spatial structure and diversity. "Sustainable Forestry in Temperate Regions" Proceedings of the SUFOR International Workshop, University of Lund, Sweden, 7.–9. April: 20–30. 2002
- GADOW, K. v., HUI, G. Y., CHEN, B. W. und ALBERT, M.: Schätzung von Baum-Abstandsverteilungen mit Hilfe von Winkelmaß und Bestandesdichte. *Eingereicht, Forstw. Cbl.* 2002
- HUI, G. Y. und HU, Y. B.: Measuring species spatial segregation in mixed forests. *Forest Research* **14/1** (in Chinesisch): S. 23–27. 2001
- HUI, G. Y. und GADOW, K. v.: Das Winkelmaß. Herleitung des optimalen Standardwinkel. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* **173/10**: 173–177. 2002
- LEWANDOWSKI, A. und GADOW, K. v.: Ein heuristischer Ansatz zur Reproduktion von Waldbeständen. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.*, **168/9**. 1997
- LLOYD, M.: Mean crowding. *J. Anim. Ecol.* **36**: 1–30. 1967
- MCGAUGHEY, R. J.: Visualizing forest stand dynamics using the stand visualization system. In: *Proceedings of the 1997 ACSM/ASPRS Annual Convention and Exposition*; Seattle, WA. Bethesda, MD: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. 4: S. 248–257. 1997
- NAGEL, J.: Konzeptionelle Überlegungen zum schrittweisen Aufbau eines waldwachstumkundlichen Simulationssystems für Nordwestdeutschland. *Schriften aus der Forstl. Fak. der Universität Göttingen und der Nds. Forstl. Versuchsanstalt*, Bd. 128. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt/Main: 122 S. 1999
- NAGEL, J., ALBERT, M. und SCHMIDT, M.: Das waldbauliche Prognose- und Entscheidungsmodell BWINPro 6.1 – Neuparametrisierung und Modellerweiterungen. *Forst und Holz* **57/15–16**: 486–492. 2002
- PENTTINEN, A., STOYAN, D. und HENTTONEN, H.: Marked Point Processes in Forest Statistics. *Forest Science*, Vol. **38/4** 806–824. 1992
- PIELOU, E. C.: *Mathematical Ecology*. John Wiley and Sons. 385 S. 1977
- POGODA, P., STAUPENDAHL, K., GADOW, K. v. und ALBERT, M.: Struktur und Diversität in der Waldzustandsbeschreibung. DVFFA, Sektion Forstl. Biometrie u. Informatik. S. 176–182. 1999
- POMMERENING, A.: Approaches to Quantifying Forest Structures. *Forestry*, **75**: 305–324. 2002
- POMMERENING, A.: Neue Methoden zur räumlichen Reproduktion von Waldbeständen und ihre Bedeutung für forstliche Inventuren und deren Forstbeschreibung. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* **171/9–10**. 2000
- POMMERENING, A. und GADOW, K. v.: Zu den Möglichkeiten und Grenzen der Strukturerefassung mit Waldinventuren. *Forst und Holz* **55(19)**: 622–630. 2000
- POMMERENING, A., BIBER, P., STOYAN, D. und PRETZSCH, H.: Neue Methoden zur Analyse und Charakterisierung von Bestandesstrukturen. *Forstw. Cbl.* **119**: 62–78. 2000
- PRETZSCH, H.: Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände. *Forstl. Forschungsberichte München*. Heft 115: 332 S. 1992
- PRETZSCH, H.: Analyse und Reproduktion räumlicher Bestandesstrukturen. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main. 1993
- PRETZSCH, H. und SEIFERT, S.: Wissenschaftliche Visualisierung des Waldwachstums. *AFZ/Der Wald* **18**: 960–962. 1999
- PRETZSCH, H.: Modellierung des Waldwachstums. Parey Buchverlag Berlin. 341 S. 2001
- SACHS, L.: *Angewandte Statistik*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York. 71–197. 1973
- STOYAN, D. und STOYAN, H.: *Fraktale, Formen, Punktfelder. Methoden der Geometrie-Statistik*. Akademie-Verlag, Berlin. 394S. 1992
- TOMPPA, E.: Models and Methods for Analysing Spatterns of Trees. *Communications Instituti Forestalis Fennica* **138**. Helsinki. 65S. 1986
- WENSEL, L. C.: Computer Generation of Points on a Plane, Treatment of Boundary Line Overlap in a Forest-Sampling Simulator. *Hilgardia* **43/5**. 1975

Ertragstabellen wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung. Von R. Schober. 166 Seiten, hiervon 138 Seiten Tab. und 23 Abb. PVC-Einband. Euro 18,70

Ergebnisse des I. Internationalen Japanlärchen-Provenienzversuches. Von R. Schober und H. M. Rau. 168 Seiten mit 59 Abb. und 30 Tab. Kart. Euro 19,40

Die Sitka-Fichte. Eine biologisch-ertragskundliche Untersuchung. Von R. Schober. 242 Seiten mit 80 Abb. und 47 Tab. Leinen Euro 15,90; Kart. Euro 14,00

Neue Ergebnisse des II. Internationalen Lärchen-Provenienzversuches von 1958/1959 nach Aufnahmen von Teilversuchen in 11 europäischen Ländern und den USA. Von R. Schober. 164 Seiten mit 45 Abb. und 24 Tab. Kart. Euro 13,80

Vom II. Internationalen Lärchen-Provenienzversuch 1958/1959. Von R. Schober. 358 Seiten mit 68 Abb. und 35 Tab. Kart. Euro 25,10

Der Gahrenberger Lärchen-Provenienzversuch. Von R. Schober und H.-J. Fröhlich. 206 Seiten mit 77 Abb. und 38 Tab. Kart. Euro 20,40

Die Rotbuche. Von R. Schober. 443 Seiten mit 110 Abb. und Fotos, 156 Tab. Leinen. Euro 47,00

FORSTGENETIK, FORSTPFLANZENZÜCHTUNG, FORSTLICHE BIOMETRIE UND INFORMATIK

Ein Beitrag zur Züchtung von Hybridlärchen (*Larix x euro-lepis* Henry). Das Langzeitprogramm der Firma F. von Lochow-Petkus. Von W. Langner und V. Schneek. 159 Seiten mit 84 Abb. und 77 Tab. Kart. Euro 13,30

Die Wildbirne, *Pyrus pyraeaster* (L.) Burgsd. Zusammengefasst von J. Kleinschmitt, B. Soppa und U. Fellenberg. 128 Seiten mit 30 Abb. und 33 Tab. Kart. Euro 9,20

Auswirkungen von Umweltbelastungen auf genetische Strukturen von Waldbeständen am Beispiel der Buche (*Fagus sylvatica* L.). Von G. Müller-Starck. 163 Seiten mit 19 Abb. und 39 Tab. Kart. Euro 18,40

Beiträge zur In-vitro-Vermehrung und Wurzelentwicklung von Stiel- und Traubeneiche sowie zur Erhaltung forstlicher Genressourcen. Von A. Meier-Dinkel, G. Schüte, K. Tae Su und J. Kleinschmitt. 212 Seiten mit 45 Abb. und 18 Eb. Kart. Euro 13,30

Einführung in die Genetik für Studierende der Forstwissenschaft. Von H. H. Hattemer, F. Bergmann und M. Ziehe. 492 Seiten mit 117 Abb. und 100 Tab. Kart. Euro 25,50

Genetic Variation in European Populations of Forest Trees. Von G. Müller-Starck und M. Ziehe. 286 Seiten mit 55 Abb. und 50 Tab. Kart. Euro 25,00

Erhalt forstlicher Genressourcen. Von H. H. Hattemer (Hrsg.). 180 Seiten mit 33 Abb. und 47 Tab. Kart. Euro 11,50

Mathematical Modelling of Forest Ecosystems. Von J. Franke und A. Roeder. 174 Seiten mit 46 Abb. und 6 Tab. Kart. Euro 14,30

Modelle zu automatisierten Zuwachsmeß- und Auswerttechniken, klimaorientierte Wachstumsmodelle, Inventurmethode und ihre Anwendungen. Von B. Sloboda. 372 Seiten mit 148 Abb. und 34 Tab. Kart. Euro 23,00

Forstpflanzenzüchtung. Von H. Weisgerber. 104 Seiten mit 52 Abb. und 10 Tab. Kart. Euro 17,30

Plusbäume und Samenplantagen. Von K. Stern. 116 Seiten mit 14 Abb. und 13 Tab. Kart. Euro 7,70

Schätzung von Varianzen und Konfidenzintervallen aus mehrstufigen Stichproben am Beispiel von Luftbildwaldschadensinventuren. Von J. Saborowski. 135 Seiten mit 9 Abb. und 16 Tab. Kart. Euro 13,80

FORSTSCHUTZ

Gefährdung der Wälder im Rhein-Main-Gebiet. Von L. Pries, N. Altstädt, K. Velbecker und Hess. Landesanstalt für Forsteinrichtung, Waldforschung und Waldökologie. 243 Seiten mit 79 Abb. und 35 Tab. Kart. Euro 24,50

Arthropoden an Jungbuchen (*Fagus sylvatica* L.) in Naturverjüngungen und Voranbauten des Erzgebirges und des Harzes. Von M. Biernath, M. Messing, V. Pohris und J. Lunderstädt. 135 Seiten mit 32 Abb. und 14 Tab. Kart. Euro 15,90

Pilzbedingte Blattkrankheiten an Ahorn unter besonderer Berücksichtigung des Bergahorns (*Acer pseudoplatanus* L.). Von A. Wulf. 115 Seiten mit 91 Abb. und 5 Tab. Kart. Euro 14,30

Zur Kausalanalyse der Disposition von Nadelbäumen für den Befall durch nadelfressende Insekten am Beispiel *Picea abies* (L.) Karst. und *Gilpinia hercyniae* Htg. (Hym., Diprionidae). Von R. Schopf. 185 Seiten mit 47 Abb. und 12 Tab. Kart. Euro 14,90

Mechanisch-biologischer Schälenschutz an Fichte. Auswirkungen auf Holz und Rinde. Von Ch. Koltzenburg. 120 Seiten mit 42 Abb. und 16 Tab. Kart. Euro 9,20

Eignung von Weiden und Pappeln zum Anbau als Verbißgehölz. Von H. Siebert. 100 Seiten mit 23 Abb. und 40 Tab. Kart. Euro 10,60

Untersuchungen über die Widerstandsfähigkeit der Fichte (*Picea abies* Karst.) gegenüber dem Wurzelschimmel *Fomes annosus* (Fr.) Cooke. Von L. Dimitri. 126 Seiten mit 31 Abb. und 14 Tab. Kart. Euro 7,50

Pathogenese der Borkenkäfer-Epidemie 1946-1950 in Nordwestdeutschland. Von E. Schwertfeger. 135 Seiten mit 49 Abb. und mehreren Tab. Kart. Euro 6,10

Grundzüge der Populationsdynamik des großen Fichtenborkenkäfers. Von W. Thalenhorst. 126 Seiten mit 13 Abb. und zahlreichen Tab. Kart. Euro 7,30

Untersuchungen über die Rotfäule der Fichte. Von H. Zycha und E. Kató. 120 Seiten mit 38 Abb. und 24 Tab. Kart. Euro 14,50

FORSTLICHE BETRIEBSWIRTSCHAFT UND FORSTEINRICHTUNG

Die Forstwirtschaft im Volkswirtschaftlichen Rechnungswesen. Von S. Gutow und H. Schröder. 379 Seiten mit 44 Abb. Kart. Euro 20,40

Bilanzierung des Waldvermögens im betrieblichen Rechnungswesen. Von D. M. Müller. 267 Seiten mit 14 Abb. Kart. Euro 16,80

Bürokratiekosten in privaten Forstbetrieben. Von Th. Scheeder. 112 Seiten mit 13 Abb. und 27 Tab. Kart. Euro 15,20

Waldumbau, Kalamitätsrisiken und finanzielle Erfolgskennzahlen. Von R. Bräunig und M. Dieter. 149 Seiten mit 33. Abb. und 31 Tab. Kart. Euro 15,20

Ein Controllingssystem 'Naturgemäße Waldwirtschaft'. Von K. Merker. 212 Seiten mit 51 Abb. und 5 Tab. Kart. Euro 16,80

Berücksichtigung von Risiko bei forstbetrieblichen Entscheidungen. Von M. Dieter. 211 Seiten mit 20 Abb. und 80 Tab. Kart. Euro 16,80

Nutzen-Kosten-Analyse des Wasserschutzes durch eine Aufforstung. Von R. Olschewski. 155 Seiten mit 29 Abb. und 18 Tab. Kart. Euro 15,20

Die Besteuerung privater Forstbetriebe. Von B. Graf Finkenstein. 155 Seiten mit 4 Abb. und 17 Tab. Kart. Euro 15,20

Monetäre Bewertung der Fernerholung im Naturschutzgebiet Lüneburger Heide. Von V. Luttmann und H. Schröder. 110 Seiten mit 11 Abb. Kart. Euro 12,70

Konzeption für ein forstliches Produktionsplanungs- und -steuerungssystem unter besonderer Berücksichtigung der Forsteinrichtung. Von Chr. Kätsch. 211 Seiten mit 48 Abb. und 7 Tab. Kart. Euro 23,00

Privatisierung staatlicher Forstbetriebe. Von J. Borchers. 268 Seiten mit 14 Abb. und 2 Tab. Kart. Euro 16,80

Der Erholungswert des Waldes. Von P. Elsasser. 246 Seiten mit 30 Abb. und 47 Tab. Kart. Euro 16,80

Bestimmungsgründe des Außenhandels mit Stammholz: Ein Modell und dessen empirische Überprüfung am Beispiel des Nadelstammholzmarktes der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1970-1989. Von A. Herberg. 120 Seiten mit 37 Abb. Kart. Euro 13,20

Über ökonomische Kalküle für forstliche Nutzungsentscheidungen. Von B. Möhring. 217 Seiten mit 33 Abb. und 16 Tab. Kart. Euro 15,20

Die Reisekostenmethode und die Bedingte Bewertungsmethode als Instrumente zur monetären Bewertung der Erholungsfunktion des Waldes – Ein ökonomischer und ökonomischer Vergleich. Von W. Löwenstein. 206 Seiten mit 10 Abb. und 10 Tab. Kart. Euro 15,20

Ein Modellansatz zur Erhaltung des Erfolgskapitals in Forstbetrieben. Von D.-G.-Wohlert. 147 Seiten mit 14 Abb. und 12 Tab. Kart. Euro 13,70

Entwicklung eines Expertensystems zur zielbezogenen Auswahl forstlicher Arbeitsverfahren. Von J. Erler. 142 Seiten mit 22 Abb. und 18 Tab. Kart. Euro 16,90

Der bundesdeutsche Industrieholzmarkt von 1965 bis 1987. Von U. P. M. Steinmeyer. 284 Seiten mit 66 Abb. und 48 Tab. Kart. Euro 16,80

Vertragsnaturschutz in der Forstwirtschaft. Von M. Moog und H. D. Brabänder. 212 Seiten mit 4 Abb. Kart. Euro 15,20

Studien zur monetären Bewertung von externen Effekten der Forst- und Holzwirtschaft. Von V. Bergen, W. Löwenstein und G. Pfister. 185 Seiten mit 32 Abb. und 20 Tab. Kart. Euro 15,20

Monetäre Bewertung landeskultureller Leistungen der Forstwirtschaft. Von V. Bergen, H. D. Brabänder, A. Bittner und W. Löwenstein. 304 Seiten mit 58 Abb. und 29 Tab. Kart. Euro 16,80

Die Bedeutung der Eigenarbeit im Privatwald Niedersachsens. Von H. D. Brabänder, J.-G. Küppers und R. Mascher. 127 Seiten mit 1 Abb. und 23 Tab. Kart. Euro 8,10

Ausgewählte Beiträge zur Forstlichen Betriebswirtschaftslehre. Von H. D. Brabänder. 466 Seiten mit 44 Abb. Kart. Euro 20,30

Der Eigenverbrauch an Brennholz im Kleinprivatwald Niedersachsens. Von R. Mascher und H. D. Brabänder. 111 Seiten mit 32 Übersichten und 7 Tab. Kart. Euro 6,60

Untersuchungen über Randschäden. Von G. Baader. 82 Seiten mit 33 Übersichten, 7 graph. Darst. und 10 Abb. Kart. Euro 4,50

Forsteinrichtung als betriebswirtschaftliche Planung und Kontrolle. Von A. Henne. 80 Seiten mit 7 Abb., 17 Tab. und einem 12teiligen Beilagen-Anhang. Kart. Euro 14,40

Forstliche Bewertung und Planung. Von F. Kató. 87 Seiten mit 10 Abb., 5 Tab. und 20 Übers. Kart. Euro 14,80

Zieldurchmesserabhängige Bewertung der Hiebsunreife. Von E. Kató. 93 Seiten mit 22 Abb. Kart. Euro 13,30

Statische und klassische dynamische Verfahren der forstlichen Investitionsrechnung - Inhalt, Probleme, Kritik und Folgerungen. Von F. Kató. 99 Seiten mit 8 Abb. und 9 Tab. Kart. Euro 7,70

Struktur und Einkommensbeitrag des Bauernwaldes in Westfalen-Lippe. Von F. Kató und H. D. Brabänder. 160 Seiten mit 12 Abb. und 39 Tab. Kart. Euro 6,50

FORSTLITERATUR FÜR WISSENSCHAFT UND PRAXIS III

Über die soziologische und qualitative Zusammensetzung gleichaltriger Buchenbestände. Von F. Kató und D. Mülder. 122 Seiten mit 8 Abb. und 29 Tab. Kart. Euro 5,00

Nur Individuenauswahl oder auch Gruppenauswahl? Von D. Mülder. 53 Seiten mit 11 Abb. und 5 Tab. Kart. Euro 8,20

Begründung der qualitativen Gruppendurchforstung. Von F. Kató. 146 Seiten mit 20 Abb. und 15 Tab. Kart. Euro 9,20

Forstliche Vermögens- und Erfolgsrechnung. Von H. Lemmel. 2. Auflage. 74 Seiten mit zahlreichen Tab. Kart. Euro 4,40

Die Aufstellung von Massentafeln nach der Methode der kleinsten Quadrate. Von R. Schmitt und B. Schneider. 56 Seiten mit 1 Faltafel, 7 Abb. sowie 21 Tab. und Massentafeln. Kart. Euro 4,10

Die rechnerischen Grundlagen der Leistungskontrolle und ihre praktische Durchführung in der Forsteinrichtung. Von G. Speidel. 118 Seiten mit 18 Abb. und 57 Tab. Kart. Euro 7,90

Leitfaden zur Waldmeßlehre. Von H. Kramer und A. Akça. 266 Seiten mit 74 Abb. und 34 Tab. Kart. Euro 18,90

FORSTBENUTZUNG

Untersuchungen an Buchenbeständen Nordwestdeutschlands über die Variation der Rohdichte. Von S. Lewark. 118 Seiten mit 18 Abb. und 31 Tab. Kart. Euro 14,60

Untersuchung über die Auswirkung von Durchforstungsmaßnahmen auf die Holzeigenschaften der Douglasie. Von F. Hapla und W. Knigge. 142 Seiten mit 18 Abb. und 52 Tab. Kart. Euro 12,30

Untersuchungen über Eigenschaften und Funktionsweise des Zugholzes der Laubbäume. Von H. Sachße. 112 Seiten mit 48 Abb. und 6 Tab. Kart. Euro 10,40

Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Holzeigenschaften und Wuchs der Gastbaumart Douglasie. Von W. Knigge. 107 Seiten mit 34 Abb. und 19 Tab. Kart. Euro 8,30

Untersuchungen über Bewertung und Gütemerkmale des Eichenholzes aus verschiedenen Wuchsgebieten. Von H. Schulz. 90 Seiten mit 40 Abb., 46 Tab. und Übers. Kart. Euro 7,90

Über die Zusammenhänge zwischen Baumgestalt und Güte des Schnittholzes bei der Buche. Von H. Schulz. 96 Seiten mit 2 Fototafeln, 20 Abb. und 16 Tab. Kart. Euro 7,10

Die Bringungstechnik als gemeinsames Problem von Forst- und Holzwirtschaft. Von E. Volkert. 101 Seiten mit 56 Abb. und 24 Tab. Kart. Euro 7,80

ALLGEMEINE FORSTWIRTSCHAFT

Untersuchungen über die Anwendung von Luftbildern bei der Waldkatastervermessung in Entwicklungsländern. Von A. Akça. 114 Seiten mit 16 Abb., 3 Tab. und 2 Karten. Kart. Euro 9,50

Zur Unfallversicherung in der Forstwirtschaft - geschichtliche Entwicklung in Deutschland und einige heutige Organisationsstrukturen der zuständigen Unfallversicherungsträger. Von J. Janakowsky. 123 Seiten mit 22 Bildern und 1 Tab. Kart. Euro 10,10

Die pflanzliche Zellwand als Vorbild für Holzwerkstoffe. Zusammengestellt von A. Hüttermann und A. Kharazipour. 100 Seiten mit 57 Abb. und 5 Tab. Kart. Euro 12,30

Analyse und Reproduktion räumlicher Bestandesstrukturen. Von H. Pretzsch. 87 Seiten mit 29 Abb., 4 Tab. und 1 Übersicht. Kart. Euro 10,20

Anbau von Pappel bei mittlerer Umtriebszeit, Aspekte der Produktionsbiologie, Nutzungstechnologien und Ökonomie. Zusammengestellt von A. Hüttermann. 199 Seiten mit 56 Abb. und 38 Tab. Kart. Euro 23,00

Leitfaden für die Anfertigung von Diplomarbeiten und Dissertationen in der Forstwissenschaft und verwandten Fachgebieten. Von J. Huss. 138 Seiten mit 28 Abb. und 3 Tab. Kart. Euro 6,50

Ökologische Grundlagen und Nutzungsmöglichkeiten der Wald- und Buschvegetation im Nordosten von Mexiko. Hrsg. B. Müller-Using. 274 Seiten mit 53 Abb. und 17 Tab. Kart. Euro 15,30

FORSTPOLITIK

Forstliche Holzmarktpolitik. Von H. Lemmel. 125 Seiten. Kart. Euro 7,10

Wald in Hessen – Gestern-Heute-Morgen. Hrsg. vom Hess. Ministerium für Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz. 217 Seiten mit 117 Abb. und 3 Tab. Kart. Euro 21,90

Forst- und Umweltprobleme im Iran. Von A. Yachkaschi. 107 Seiten mit 12 Abb. und 7 Tab. Kart. Euro 16,40

FORSTBOTANIK

Enzyme von Weißfäulepilzen als Grundlage für die Herstellung von Bindemitteln für Holzwerkstoffe. Von A. Kharazipour. 161 Seiten mit 59 Abb. und 27 Tab. Kart. Euro 24,50

Naturwaldreservate in Hessen – Holzzeretzende Pilze – Aphylophorales und Heterobasidiomycetes – des Naturwaldreservates Karlswörth. Von H. Grosse-Brauckmann. 119 Seiten mit 52 Abb. und 10 Tab. Kart. Euro 16,80

Biochemischer und mikrobiologischer Zustand verschiedener Waldböden. Von N. Rastin. 148 Seiten mit 4 Abb. und 38 Tab. Kart. Euro 18,40

Untersuchungen zur elektrischen Signalleitung in der Korbweide (*Salix viminalis* L.). Von J. Fromm. 91 Seiten mit 35 Abb. Kart. Euro 16,40

Die Wirkung von Aluminium und Schwermetallen auf *Picea abies* Sämlinge. Von L. Godbold. 156 Seiten mit 49 Abb. und 43 Tab. Kart. Euro 16,90

Stofftransport in Bäumen. Von W. Eschrich. 55 Seiten mit 20 Abb. und 1 Tab. Kart. Euro 5,40

Forstbotanischer Garten und Arboretum der Universität Göttingen. Von A. Bärtels, H. Bartels und W. Eschrich. 97 Seiten mit 7 Plänen. Kart. Euro 3,10

Neues zum Stofftransport in Bäumen. Hrsg. R. Langenfeld-Heysler, A. Polle und E. Fritz. 179 Seiten mit 79 Abb. und 11 Tab. Kart. Euro 20,50

FORSTGESCHICHTE

Waldentwicklung im Hohen Vogelsberg. Von R. Tegeler. 224 Seiten mit 47 Abb. und 20 Tab. Kart. Euro 24,50

Biographien bedeutender hessischer Forstleute. 809 Seiten mit 116 Abb. Geb. Euro 25,10

Wald in Hessen – Der hessische Spessart. Beiträge zur Forst- und Jagdgeschichte. Von H. Puchert. 272 Seiten mit 82 Abb. und mehreren Tab. Kart. Euro 24,00

Wald in Hessen – Georg Ludwig Hartig 1764-1837. Hrsg. vom Hess. Ministerium für Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz. 78 Seiten mit 30 Abb. Kart. Euro 16,80

Jagd in Deutschland und Österreich. Geschichtliche Entwicklung im Spiegel der amtlichen Zahlen des 19. und 20. Jahrhunderts. Von S. Schwenk. 144 Seiten mit 7 Abb. und mehreren Tab. Kart. Euro 11,80

Der Reichsforstgesetzentwurf von 1942 und seine Auswirkungen auf die neuere Forstgesetzgebung. Von Z. Rozsnyay und U. Schulte. 220 Seiten. Kart. Euro 9,20

Zur Geschichte der Forstgesetzgebung in Preußen. Von K. Hasel. 120 Seiten mit 1 Tab. Kart. Euro 17,70

Über die kurfürstlich hessischen Forstlehranstalten. Von A. Bonnemann. 77 Seiten mit 3 Übersichten. Kart. Euro 3,10

JAGD

Wildbiologische Forschungen und Beobachtungen. Von H. J. Fröhlich und W. Dietze. 271 Seiten mit 92 Abb. und 40 Tab. Kart. Euro 28,10

Das Rotwild in Hessen. Seine Bewirtschaftung im Staatswald. Von W. Roßmäßler. 80 Seiten mit 2 Karten, 17 Abb. und 3 Tab. Kart. Euro 8,30

LANDESPFLEGE

Zur Beurteilung der Erholungsfunktion siedlungsnaher Wälder. Von K. Ruppert. 142 Seiten mit 9 Abb. und 20 Tab. Kart. Euro 16,80

Leitfaden zur Forstlichen Rahmenplanung (FRP). 64 Seiten mit mehreren Ausschlagtafeln und 6 Farbtafeln. Leinen. Euro 5,60

Leitfaden zur Kartierung der Schutz- und Erholungsfunktionen des Waldes (WFK). 3. Auflage. 108 Seiten mit 11 Abb., 7 Tab. und einer DIN A3-Waldfunktionenkarte. Kart. Euro 19,15