

ALLGEMEINE FORST UND JAGDZEITUNG

ISSN 0002-5852

INHALTSVERZEICHNIS

AUFSATZE

- | | |
|--|--|
| M. Wulf
und J. Groß | Die Schmettau-Schulenburgsche Karte – eine Legende für
das Land Brandenburg (Ostdeutschland) mit kritischen
Anmerkungen 189

(The Schmettau-Schulenburgsche map – a legend for the State
of Brandenburg (eastern Germany) with critical comments) |
| G. Y. Hui
und M. Albert | Stichprobensimulationen zur Schätzung nachbarschafts-
bezogener Strukturparameter in Waldbeständen 199

(Estimating neighborhood-based stand structure parameters
using sampling simulation) |
| H. Renneberg,
W. Seiler,
R. Matyssek,
A. Gessler,
und J. Kreuzwieser | Die Buche (<i>Fagus sylvatica</i> L.) – ein Waldbaum ohne Zukunft
im südlichen Mitteleuropa? 210

(European beech (<i>Fagus sylvatica</i> L.) – a forest tree without
future in the south of Central Europa?) |

175. JAHRGANG 2004 HEFT 10/11 OKT./NOV.

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. K. von Gadow
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 (empf. 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 einem zweiseitigen Text mit 12-Punkt-Schrift in Times New Roman. 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 Fernseh- sendung sowie Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen – auch auszugsweise – bleiben vorbehalten. Werden von einzelnen Beiträgen 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); Postbankkonto: 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 Forst- und Umweltpolitik der Universität Freiburg, Tennenbacher Str. 4, D-79106 Freiburg

Prof. Dr. Dr. h. c. KLAUS VON GADOW, Institut für Waldinventur und Waldwachstum der Universität Göttingen, Büsgenweg 5, D-37077 Göttingen

Die Anschriften der Mitarbeiter von Heft 10/11 des 175. Jahrgangs:

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

Dr. A. GESSLER, Universität Freiburg, Institut für Forstbotanik und Baumphysiologie, Professur für Baumphysiologie, Georges-Köhler-Allee 53/54, D-79110 Freiburg

JOACHIM GROSS, Landesforstanstalt Eberswalde, Außenstelle Potsdam, Abteilung Waldentwicklung, Pappelallee 20, D-14469 Potsdam

Prof. Dr. GANGYING HUI, Chinese Academy of Forestry, Wan Shou Shan, P. O. Box 5, 100091 Beijing, P. R. China

Dr. J. KREUZWIESER, Universität Freiburg, Institut für Forstbotanik und Baumphysiologie, Professur für Baumphysiologie, Georges-Köhler-Allee 53/54, D-79110 Freiburg

Prof. Dr. R. MATYSSEK, Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökophysiologie der Pflanzen, Department für Ökologie, Wissenschaftszentrum Weihestephan, Am Hochanger 13, D-85354 Freising

Prof. Dr. HEINZ RENNENBERG, Universität Freiburg, Institut für Forstbotanik und Baumphysiologie, Professur für Baumphysiologie, Georges-Köhler-Allee 53/54, D-79110 Freiburg

Prof. Dr. W. SEILER, Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK-IFU), Forschungszentrum Karlsruhe, Garmisch-Partenkirchen, Kreuzteckbahn 19, D-82467 Garmisch-Partenkirchen

Dr. MONIKA WULF, ZALF e. V. Müncheberg, Institut für Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie, Eberswalder Straße 84, D-15374 Müncheberg

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, Ausdrucke und Datenport in Profiversion; ab 69,- DM. aid, Konstantinstraße 124, Stichwort 'ÖKOWALD', D-53179 Bonn
<http://www.fh-rottenburg.de/greenlink/oekowald/index.html>

Die Schmettau-Schulenburgsche Karte – eine Legende für das Land Brandenburg (Ostdeutschland) mit kritischen Anmerkungen

Aus dem Institut für Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie des ZALF e.V. Müncheberg¹⁾
und der Landesforstanstalt Eberswalde²⁾

(Mit 3 Abbildungen und 2 Tabellen)

Von M. WULF¹⁾ und J. GROSS²⁾

(Angenommen April 2004)

SCHLAGWORTER – KEY WORDS

Forstliche Rahmenplanung; historisch alte Wälder; historische Karten; Landschaftsentwicklung; Naturschutz.

Overall forestry planning; ancient woodland; historical maps; landscape development; nature conservation.

1. EINLEITUNG

Die Motivationen zur Nutzung bzw. Auswertung von historischen im Vergleich mit aktuellen Karten reichen von der einfachen Beschreibung der Landschaftsentwicklung bis zur detaillierten, kartographischen Darstellung von Flächennutzungsänderungen. In der historischen Geographie werden damit vor allem strukturelle und funktionale Räume der Vergangenheit, raumrelevante Prozesse und dahinterstehende Kräfte erforscht (FEHN, 1988).

Besonderes Interesse fanden historische Karten aber auch bei Forstwissenschaftlern, wenn es um die Darstellung der Veränderung der Wald-Offenland-Verteilung über lange Zeiträume ging (SCHMIDT, 1994; PIETSCHMANN, 2002). Für das Land Brandenburg z. B. verglich RICHTER (1957) die Schmettau-Schulenburgsche Karte des 18. Jh. mit der Deutschen Reichskarte von 1937, um daraus Übersichtskarten zur Wald-Offenland-Verteilung im Maßstab 1:100.000 und 1:300.000 anzufertigen. Die Karte im Maßstab 1:300.000 wurde aktualisiert, mit dem Geographischen Informationssystem (GIS) Girus digitalisiert und stark verkleinert publiziert (WULF und SCHMIDT, 1996).

Die Möglichkeiten der Digitalisierung mittels eines GIS und Verschneidung verschiedener Themenkarten, ließen den Vergleich von digitalisierten und georeferenzierten historischen Karten mit aktuellen Karten in den letzten 10 Jahren verstärkt in das Blickfeld verschiedener Fachdisziplinen rücken (FRIELINGHAUS und HARTUNG, 1998; WITSCHAS, 2002). Digitalisierte Karten unterschiedlicher Zeitabschnitte ermöglichen die Visualisierung der Landschaftsveränderung, und die Daten lassen sich für eine statistische Auswertung von Flächen- und Linienanteilen nutzen. Ferner lassen sich miteinander verschnittene, verschiedene Themenkarten im allgemeinen für Zwecke der Regionalplanung (GROSS und WULF, 2002; WALZ und SCHUMACHER, 2004) und z. B. speziell für die Biotopverbundplanung oder selektive Biotopkartierung einsetzen (WITSCHAS, 2002).

Die Themenkarten sollten einen nicht zu kleinen Maßstab haben, da beim Digitalisieren in einem Maßstab von 1:100.000 erhebliche Abweichungen auftreten können. Wird z. B. eine zu digitalisierende Linie um 1 mm verfehlt entspricht dies einer Verschiebung im Gelände von 100 m, was die exakte Auswertung von Karten hin-

sichtlich der Flächen- und Liniensignaturen einschränkt. Nach Möglichkeit sollten also Karten mit großem Maßstab verwendet werden. Historische Karten, die größere Landschaften abdecken, werden mittlerweile als Nachdrucke von fast allen Landesvermessungsämtern wenigstens in den Maßstäben 1:50.000 angeboten. Der Maßstab 1:50.000 kann also mindestens eingehalten werden und ist hinreichend, um die Abweichungen der stark verzerrten historischen Karten bei der Georeferenzierung relativ gering zu halten.

Für Brandenburg liegt die Schmettausche Karte etwa im Maßstab 1:50.000 vor. Leider existiert aber bis heute keine umfassende Legende zur Karte, was ihre Lesbarkeit erheblich einschränkt. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist deshalb die Vorlage einer kritisch kommentierten Legende für den brandenburgischen Teil dieser Karte, um die historischen Karten für die Belange der forstlichen Rahmenplanung, des Naturschutzes sowie weiterer interessierter Personenkreise lesbar und nachvollziehbar zu gestalten.

2. ENTSTEHUNG DER SCHMETTAU-SCHULENBURGSCHE KARTEN

Die Schmettausche Karte (oder auch Schulenburgsche Karte, SCHARFE, 1972) ist in der Zeit zwischen 1767 und 1787 unter Leitung des Generals und Ministers Friedrich Carl Graf von Schmettau (1743–1806) entstanden und liegt im Maßstab von etwa 1:50.000 vor (LIPS, 1930/31). SCHARFE und SCHEERSCHMIDT (2000) gehen davon aus, dass Graf von Schulenburg (1742–1815) die treibende Kraft zur Erstellung des Kartenwerkes war. SCHULZE hat aber bereits 1956 plausibel dargelegt (vgl. auch DEGNER, 1935), dass Graf von Schmettau seit 1763 an dem Kartenwerk gearbeitet hat und dass Schulenburg ab 1770 die Hälfte des Werkes auf königliche Rechnung übernommen hat. Da sich die Urheberschaft nicht gänzlich klären lässt, wird hier, wie bei SCHULZE (1956) von der Schmettau-Schulenburgschen Karte oder kurz von der Schmettauschen Karte gesprochen. Sie umfasst insgesamt 270 Blätter bzw. Sektionen, die etwa die heutige Fläche von Brandenburg, Sachsen-Anhalt komplett, Sachsen zum großen Teil und Thüringen zu einem geringen Teil (Umgebung von Jena und Weimar) abdeckt. Außerdem wurde die Karte für den südlichsten Teil von Niedersachsen (Harzvorland), den nördlichsten Teil von Hessen (Umgebung von Kassel) und für Vorpommern erstellt. Außerhalb Deutschlands deckt sie nahezu die gesamte Westhälfte von Polen ab (vgl. auch SCHARFE, 1972).

Das Kernstück der „Schmettauschen Karte von Preußen“ wurde als Kabinettskarte bezeichnet (umfasst etwa 60 Sektionen), da sie für die Benutzung im „Kabinet“, d.h. im Arbeitszimmer, vorgesehen war (SCHULZE, 1956). Eine Übersicht zu allen Kartenblättern findet sich u.a. in DEGNER (1935). Das Land Brandenburg umfasst 38 Kartenblätter, welche die aktuelle Fläche ganz oder teilweise abdecken (Abbildung 1).

Die Bedeutung des Kartenwerkes macht SCHARFE (1972, S. 48) deutlich, wenn er schreibt: „Die Blätter stellen in Inhalt wie in

¹⁾ Leibniz-Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF e.V.) Müncheberg, Institut für Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie, Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg.
Email: mwulf@zalf.de

²⁾ Landesforstanstalt Eberswalde, Außenstelle Potsdam, Abt. Waldentwicklungsplan, Pappelallee 20, 14469 Potsdam.
Email: joachim.gross@lfe-p.brandenburg.de

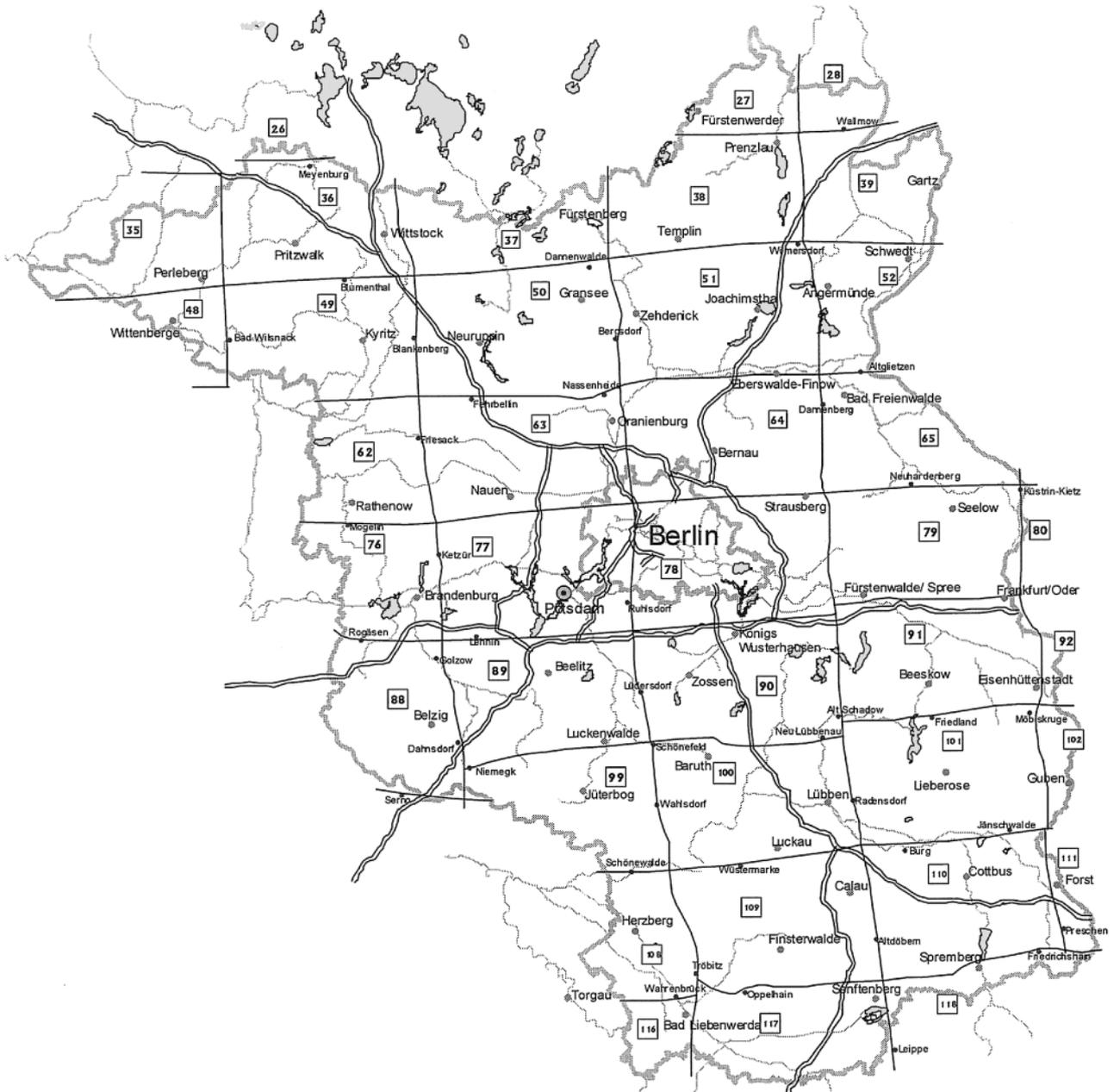


Abb. 1

Übersicht über die Blattschnitte der 38 Schmettauschen Kartenblätter im Land Brandenburg (original im Maßstab 1:100.000 erstellt).
 Section-overview of the 38 Schmettausche maps in the state Brandenburg (originally produced at scale 1:100000).

Umfang das Großartigste dar, was für Brandenburg-Preußen bis zu dieser Zeit an kartographischem Schaffen vorgelegt werden konnte.“

3. LEGENDE ZUR SCHMETTAUSCHEN KARTE

3.1. Methodisches Vorgehen zur Erstellung der Legende

Für die Schmettausche Karte liegt bislang lediglich eine von SCHARFE (1968; 1972) beispielhaft für die Sektion 62 (Umgebung von Rathenow; *Abbildung 2* gibt einen Ausschnitt aus der Sektion wieder) erstellte Legende mit acht Flächen- und drei Linien- sowie sieben punktuellen Darstellungen vor. Für die umfassende Legende (*Abbildung 3*) wurden alle 38 Blätter, welche das Land Brandenburg betreffen, durchgesehen und sämtliche Flächen-, Linien- und Punktsignaturen notiert. Die Flächensignaturen wur-

den weiter nach ähnlichen Landnutzungsformen zusammengestellt. Von den punktuellen Darstellungen wurden nur diejenigen in die Legende aufgenommen, die auf wenigstens drei Kartenblättern vorkommen. Seltene, lokal auftretende Punktsignaturen tragen in der Regel einen Schriftzug oder Zeichen, die eindeutig auf die Funktion oder Nutzung der Örtlichkeit hinweisen. Ein erster Entwurf wurde mit Herrn Prof. Scharfe besprochen und anschließend die vorliegende Legende unter Berücksichtigung seiner Änderungs- und Ergänzungsvorschläge erstellt.

3.2. Anmerkungen zu den Inhalten

Die Legende enthält alle gängigen Flächen-, Linien- sowie Punktsignaturen, erfasst aber nicht sämtliche Varianten mancher Darstellungen auf den einzelnen Kartenblättern, die auf individuel-

le Arbeitsweisen der jeweiligen Bearbeiter zurückzuführen sind. Sie ist nicht nur für Brandenburg, sondern auch für die anderen Kartenblätter nutzbar. Für die Interpretation der Karteninhalte sei noch auf folgende Besonderheiten hingewiesen:

- zu 1. Flächenhafte Darstellungen nach Nutzungsart

Die Waldflächen stellen verschiedene Entwicklungsstadien dar. Neben den relativ geschlossenen und gut abgrenzbaren Waldflächen (siehe 1a und 1b) gab es mehr oder weniger lichte Bestände (siehe 1c bis 1h), die am treffendsten als Laubwiesen bezeichnet werden können (z. B. im Falle von 1c bis 1e).

Innerhalb der Waldflächen geben Schriftzüge zuweilen Hinweise auf die Hauptbaumart. Hierbei ist zu bedenken, dass häufig die Namen „Fichte“ bzw. „Tanne“ auftreten, womit i. d. R. die Kiefer gemeint ist (DONATH, 1967). Am Rande oder im Wald sind außerdem Förstereien in mehreren Varianten auf den Karten eingezeichnet. Sie reichen von Gebäudebezeichnungen (Försterei, Försterey, Unter Förster) bis hin zu Geweih-Symbolen im Bereich der Südlausitz.

Die Abgrenzung wüster Ackerflächen (nicht mehr bewirtschaftete Äcker; siehe 1i) von sehr lichten Waldflächen ist sicher problematisch, aber auf den Karten ist außer der abweichenden Signatur i. d. R. mit Schriftzug gekennzeichnet, um was es sich handelt. Neben einem „Wüsten Acker“, „Bewachsen Acker“ oder „Jungen-Aufschlag“ treten im Unterschied dazu „abgeholzte Flecken“ auf. Ackerflächen (siehe 1k) sind davon durch hellgelbe Signatur klar abgegrenzt. Mit Sandschellen (siehe 1l) werden i. d. R. durch Übernutzung entstandene Sandflächen, die oft zur Sandentnahme dienten, bezeichnet. Gegenüber den Ackerflächen sind sie meist mit einem kräftigeren Gelbton oder durch gepunktete Flächen mit dem Schriftzug „Sand“ gekennzeichnet.

Wiesen (siehe 1m und 1n) traten v. a. in Begleitung von Fließgewässern oder in Niederungen auf und wurden zum Teil als Weideflächen genutzt. Das lässt sich aus entsprechenden Flurbezeichnungen ableiten, wie z. B. „Nachtweyde“, auch „Upstall“ oder „Nachtkoppel“ sowie „Kuhluch“.

Plantagen (siehe 1o) wurden nicht immer mit den regelmäßigen Baum-Signaturen bezeichnet, stellen aber stets abgegrenzte und mit „Plantage“ bezeichnete Flächen dar.

- zu 2. Flächen- und Liniendarstellungen kleinerer Objekte

Größere Seen (siehe 2a) sind i. d. R. mit einem Namenszug versehen und weichen in ihren Ausdehnungen sowie Umrissen von den heutigen Gewässerflächen oft sehr stark ab (DRIESCHER, 1986, siehe auch Abschnitt 4.2). Deiche (siehe 2b) sind auf Randbereiche von Flüssen beschränkt, Dämme kommen v. a. in Niederungen vor. Fließgewässer (siehe 2c) haben, anders als Gräben und Kanäle (siehe 2d), einen geschwungenen Verlauf.

Die Unterscheidung zwischen Stadt, Flecken/Dorf und Kolonie (siehe 2e bis 2g) beruht auf der Flächenausdehnung der Ortschaften. Städte sind durch viele große rote Gebäude dargestellt, während die Gebäude der Flecken/Dörfer durch dickere rote Striche wiedergegeben sind. Bei Flecken/Dörfern ist außerdem das Verhältnis Gebäude- zu umgebender Gartenfläche deutlich zugunsten letzterer verschoben. Ein Flecken unterscheidet sich in der Darstellung nicht zwangsläufig von einem Dorf, war aber mit einzelnen städtischen Rechten ausgestattet.

Verwaltungsgrenzen bzw. Grenzen in der Feldmark sind mit Hilfe durchgezogener bzw. gestrichelter roter Linien dargestellt (siehe 2h und 2i). Straßen und Wege sind durch dickere, (dunkel-)braune Striche gekennzeichnet und können ein- oder zweiseitig mit Bäumen bepflanzt sein (siehe 2k bis 2m). Im Unterschied dazu gibt es



Abb. 2

Ausschnitt aus der Schmettauschen Karte, Sektion 62.

Detail of the Schmettausche map, section 62.

Wirtschaftswege in Wäldern, sog. Gestelle (siehe 2n), deren alte Bezeichnungen (Groß- und Kleinbuchstaben) oft noch auf den Messtischblättern des 19. Jh. wiederzufinden sind.

Hänge, Berge oder sonstige Anhöhen (siehe 2o und 2p) sind mit Schraffuren gekennzeichnet und lassen sich häufig recht gut zur Einpassung in aktuelle Karten verwenden. Dünen (siehe 2q) sind als kleine Hügel auf hellgelbem Grund dargestellt.

• zu 3. Punktuelle Darstellungen (Beispiele)

Kirchen und Kapellen (siehe 3a) sind v.a. im südlichen Brandenburg zahlreich und weichen in den Signaturen oft etwas voneinander ab. Die Abbildungen in der Legende geben deshalb nur die häufigsten Darstellungsformen wieder. Burgwälle (siehe 3b) sind außer mit der Signatur auch mit einer entsprechenden Bezeichnung versehen. Wasser- und Windmühlen (siehe 3c und 3d) sind zuwei-

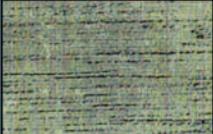
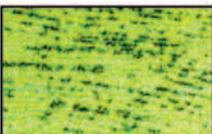
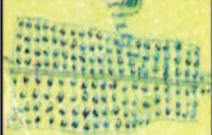
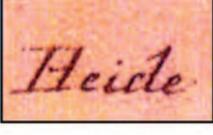
Legende zur Karte von Schmettau-Schulenburg (1767-1787)			
1. Flächenhafte Darstellungen nach Nutzungsart			
	a) Geschlossener Wald ¹⁾		i) Wüster Acker ³⁾
	b) Geschl. Wald auf ± nassen Standorten		k) Ackerland
	c) Lichter Wald auf ± feuchten/nassen Standorten		l) Sandschelle (Ödland)
	d) Lichter Wald auf ± frischen/feuchten Standorten ²⁾		m) Wiese auf ± frischen/ feuchten Standorten
	e) Lichter Wald auf ± trockenen Standorten ³⁾		n) Wiese auf ± feuchten/nassen Standorten (auch Luch)
	f) Lichter Wald auf sandigen Böden = Heyde bzw. Heide		o) Plantage bzw. Gärten (z.B. Maulbeerbaumplantagen, Weingärten)
	g) Heyde bzw. Heide = Wald auf sandigen Böden	¹⁾ Königl. Forsten oft mit sog. Gestellen (siehe 2n) ²⁾ z.T. mit sehr lückiger Baumsignatur, so dass Nutzungsart nicht immer eindeutig. Zuweilen 12jährige Brachen in Wald-Umwandlung begriffen ³⁾ Möglicherweise Langzeitbrachen im Sinne von BRATRING (1804) ⁴⁾ Busch bezeichnet meist kl. Wälder unterschiedlichster Baumartenzusammensetzung, aber stets auf grundwasserbeeinflussten Standorten	
	h) Busch: kl. Waldflächen (hfg. sog. „Bauernwald“ ⁴⁾)		

Abb. 3

Legende der Schmettauschen Karte von WULF und GROSS.

Legend of the Schmettausche map from WULF and GROSS.

len als sehr kleine Signaturen auf den Originalkarten schwer erkennbar und deshalb hier stark vergrößert wiedergegeben. Auch Teer- und Pechhöfen (siehe 3e und 3f) sind im Original meistens recht klein dargestellt, wobei Teeröfen durch den Zusatz T:O: leichter zu erkennen sind. Kleinstsiedlungen oder Gewerbe (siehe 3g) sind im Unterschied zu Kolonien als vereinzelte Gebäudegruppen dargestellt.

4. KRITISCHE ANMERKUNGEN ZUM KARTENWERK UND ZUR LEGENDE

Die herausragende Bedeutung der Schmettau-Schulenburgschen Karte für die Landschaftsforschung steht außer Frage, aber es muss auf einige Qualitätseinschränkungen hingewiesen werden. Die Kartenblätter sind von verschiedenen Personen angefertigt worden, was sich in regional abweichenden Darstellungen niederschlägt. SCHAR-

Legende zur Karte von Schmettau-Schulenburg (1767-1787)

2. Flächen- und Liniendarstellungen kleinerer Objekte

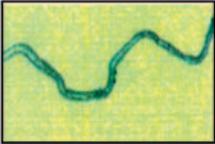
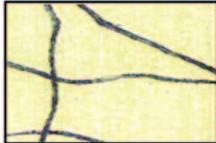
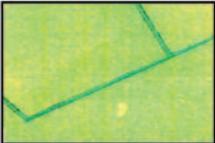
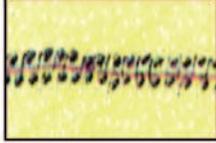
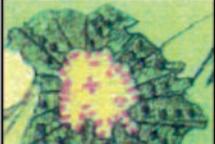
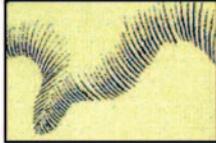
	a) See bzw. stehendes Gewässer		h) Verwaltungsgrenze (entlang von Straßen/Wegen)
	b) Damm, Deich		i) Grenze in der Feldmark
	c) Fließgewässer		k) Straßen/Wege ohne Bepflanzung
	d) Graben, Kanal		l) Straßen/Wege, zweiseitig bepflanzt (Allee)
	e) Stadt (z.B. Wittstock)		m) Straßen/Wege, einseitig bepflanzt
	f) Flecken/Dorf (z.B. Wutzetz)		n) Gestelle, oft in großen Wäldern
	g) Kolonie (z.B. Giesenhorst)		o) Hangschraffur
			p) Berg/Anhöhe
			q) (Flugsand-) Dünen

Abb. 3

Legende der Schmettauschen Karte von WULF und GROSS.

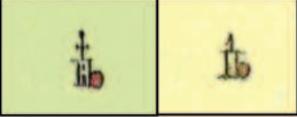
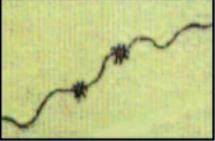
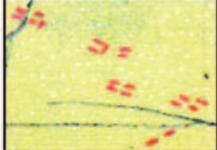
Legend of the Schmettausche map from WULF and GROSS.

FE (1972, S. 66f.) beschreibt das Vorgehen unter der Leitung von Schmettau wie folgt: „Der Arbeitsgang einer Feldaufnahme bestand in der Folge von Strecken- und Winkelmessungen zwischen markanten Punkten im Gelände, zum Teil Grenzhügeln, wobei als Ergebnis ein in Dreiecke und Polygone gegliedertes Grundrissbild entstand. Innerhalb der Messfiguren erfolgte die

Füllung mit topographischem Detail dann nach Augenmaß oder durch Abschreiten der noch zu ermittelnden Entfernungen. ... Die einzige Kontrolle ... bestand darin, zu überprüfen, ob ein Dreiecks- oder Polygonenzug geschlossen war oder nicht“. Damit kann nicht derselbe Genauigkeitsgrad erwartet werden wie für aktuelle topografische Karten. Es gab darüber hinaus auch noch keine einheitli-

Legende zur Karte von Schmettau-Schulenburg (1767-1787)

3. Punktuelle Darstellungen (Beispiele)

	a) Kirche/ Kapelle		e) Teerofen (T:O:)
	b) Burgwall		f) Pechofen
	c) Wassermühle		g) Kleinstdiedlungen oder Gewerbe; i.d.R. mit Bezeichnung, z.B. T.O. = Teerofen (s.o.), außerdem Fasanerie, Fischerhäuser, Pech- ofen, Meierei, Schäfe- rei oder Ziegelei (oft abgekürzt Ziegl.) –Darstellung regional verschieden
	d) Windmühle		
	Hinweis: Inventarisierungsstempel der Königlich Preußischen Plankammer von 1816 (nicht Erstellungsdatum der Karte!)		

Häufig vorkommende Abkürzungen; B. = Berg, Br. = Bruch, Col. = Colonie (s. 2g), Glash. = Glashütte, H. = Heide oder Horst, M. = Mühle, Nacht W. = Nachtweide, P. = Puhl (Pfuhl), S. = See, T. = Teich oder Tor, T. O. = Teerofen, VW/Vorw. = Vorwerk, W.B. = Weinberg, Wer. = Werder, W:F:M. = Wüste Feldmark und W.M. = Wassermühle.

4. Bezeichnungen örtlicher Landschaftsteile

Comturey Busch = Beispiel einer Forstortsbezeichnung (Comturey, allg. = Handelsunternehmen)
 Eichwerder = Fluss- oder Seeinsel, mit Eichen bewachsen (Werder, allg. = Insel im fließenden oder stehenden Gewässer)
 Fenn = Moor bzw. Sumpfgebiet
 Laacke, Laake, Lacke oder Lake = größere nasse Fläche
 Luch oder Post = ausgedehntes Moor bzw. Sumpfgebiet
 Posse = Bruch
 Puhl oder Pfuhl = kleine nasse bzw. sumpfige Fläche

Abb. 3

Legende der Schmettauschen Karte von WULF und GROSS.

Legend of the Schmettausche map from WULF and GROSS.

Explanations to the legend of the Schmettausche map (see *Figure 3*).

1. Large areas of different use

1a	+/- closed forest ¹⁾
1b	+/- closed forest on +/- moist/wet sites
1c	+/- sparse forest on +/- moist/wet sites
1d	+/- sparse forest on +/- fresh/moist sites ²⁾
1e	+/- sparse forest on +/- dry sites ³⁾
1f	+/- sparse forest on sandy sites = heathland
1g	heathland = forest on sandy soils
1h	cops: mostly small forested areas (often so-called "farmer-forest") ⁴⁾
1i	wasted arable land (not managed since several years. Thus often with very scattered shrubs and trees) ³⁾
1k	arable land
1l	small sandy areas (wasteland)
1m	meadow on +/- fresh/moist sites
1n	meadow on +/- moist/wet sites (also called "Luch" = bog)
1o	plantation or garden (e.g. mulberry tree plantation, vineyard)

¹⁾ Royal forest often with so-called frames (see 2n)

²⁾ partly with very scattered trees; thus land use form is not clear in every case. Sometimes fallow land since 12 years, and may be transformed to forest areas.

³⁾ Eventually long-time fallow land in the sense of BRATRING (1804, see Table 1).

⁴⁾ Cops: small forests with various tree species composition, but always influenced by groundwater.

2. Areas of small objects or linear areas

2a	lakes or inshore waters
2b	dam, dike
2c	running waters
2d	ditch, drain
2e	town (e.g. Wittstock)
2f	market-town (e.g. Wutzetz)
2g	colony (e.g. Giesenhorst)
2h	administrative boundary (along roads/ways)
2i	boundary in the field
2k	roads/ways without planted trees
2l	roads/ways with planted trees on both sides (avenue)
2m	roads/ways with planted trees on one side
2n	frames within large forests (boundaries of forestry sections)
2o	hachure
2p	mountain, hill
2q	(wind-borne sand) dunes

3. Object in points (examples)

3a	church/chapel
3b	mound of a castle
3c	water mill
3d	windmill
3e	tar furnace
3f	pitch furnace
3g	subminiature settlements or trades, often with indication, e.g. tar furnace (see 3e), also pheasantry, fishing villages, pitch furnaces (see 3f), estate, houses of sheep-farmers or brickworks (often abbreviated as Ziegl.) – presentations may vary between regions.

Please note, that the stamp in red colour on all maps is the stamp of the inventory of the Royal Prussian Superior Court of Domains from 1816. It is not the year of production!

Frequent abbreviations; B. = mountain or hill, Br. = fen, Col. = colony (see 2g), Glash. = glassworks, H. = heathland or cope, M. = mill, Nacht W: = night's pasture, P. = pool or puddle, S. = lake, T. = pond or gate, T.O. = tar furnace, WW/Vorw. = farmstead, W.B. = vineyard, Wer. = river-islet or holm, W:F:M: = wasted land, and W.M. = water mill

4. Designation of local landscape elements

Comturey Busch = designation of a forest district; Eichwerder = river-islet or holm stocked with oaks; Fenn = bog or fen; Laacke, Laake, Lacke or Lake = large wet area; Luch or Post = large bog or fen; Posse = fen; Puhl or Pfuhl = small wet or marshy area

chen Vorgaben für kartografische Darstellungen. Erst 1782 erschienen „Vorschriften zu militärischen Plan- und Carten Zeichnungen“ vom Berliner Hofkupferstecher Ludwig Schmidt (DEGNER, 1935, S. 147).

4.1. Regionale Qualitätsunterschiede

Besonders auffallend ist das Nord-Süd-Gefälle in der Genauigkeit der Darstellung innerhalb von Brandenburg. Vergleicht man z.B. die Sektionen 117 und 118 (Teilbereich der Niederlausitz) mit der Sektion 62 (Umgebung von Rathenow), zeigen sich größere Verzerrungen der Distanzen zwischen den Ortslagen, weit weniger dichte Wegenetze und nur einfach herausgearbeitete Landschaftsmerkmale oder Einzelobjekte wie z.B. Glashütten.

Die Autoren vermuten, dass sich die Vermessung langer Strecken innerhalb geschlossener Waldgebiete schwierig gestaltete. Dasselbe trifft für Vernässungsgebiete zu. In beiden Fällen fehlten im militärischen Sinne strategisch herausragende Merkmale bzw. vermessungstechnisch nutzbare Fixpunkte (z.B. Kirchtürme). Die einzelnen Waldtypen (z.B. Heide, Bruchwald, lichter Wald) sind von Blatt zu Blatt unterschiedlich differenziert wiedergegeben. Dies erscheint angesichts der damaligen Wirtschaftsweise logisch, denn nach BRATRING (1804) fielen im 18. Jh. nährstoffarme Ackerflächen bis zu 12 Jahre brach, um im 13. Jahr wieder mit Roggen bestellt zu werden. Auf den Brachen, deren Flächenanteile nicht unerheblich waren (Tabelle 2), konnten innerhalb von ca. fünf Jahren „Vorwälder“ entstehen. Damit war eine Fehlinterpretation für Kartografen vorprogrammiert, wenn sie sich nicht vor Ort über die Bewirtschaftung informierten.

4.2. Ungenauigkeit des Maßstabes

Die Abweichungen vom heutigen Koordinatensystem aufgrund der oben erwähnten Verzerrungen sind in SCHARFE (1972, S. 16ff) abgebildet. Verzerrungen treten auch bei einzelnen Landschaftselementen innerhalb eines Kartenblattes auf. Trotzdem überraschen die zahlreichen Übereinstimmungen der alten Ortslagen oder Waldränder mit den heutigen Strukturen. Je nach Region stehen verschiedene Landschaftselemente zur Georeferenzierung zur Verfügung, die besonders gut geeignet sind:

- In der Prignitz bieten sich die noch heute weitgehend unbegradigten Verläufe der zahlreichen Fließgewässer einschließlich der begleitenden Niederungsbereiche zur Georeferenzierung an. Auf diese Weise eingepasste Karten zeigen auch eine fast deckungsgleiche Lage der alten Dorfkerns (Kirchen!).

- Für die Uckermark ist es hilfreich, alte Alleen oder alte Waldränder, die mit alten Gemarkungsgrenzen zusammenfallen, als „Fixpunkte“ zu nutzen.

- Ganz allgemein bieten sich zuweilen auch charakteristische Höhenzüge zum Einpassen an, sofern diese einen auffälligen Umriss haben. Außerdem sind in bereits lange existieren Waldflächen die alten Wege bzw. Wegenetze noch heute erkennbar und als „Fixpunkte“ geeignet.

Im Gegensatz dazu stehen die methodisch bedingten „objektiven“ Fehlerquellen:

- Im Ruppiner Land, in der Uckermark und in der Lausitz sind die großen Waldflächen ein besonderes Problem, da sie sehr stark verzerrt sind. Das Abschreiten dieser Flächen war offenbar mit erheblichen Schwierigkeiten behaftet. In den genannten Regionen können deshalb auch die Ortskerne fast nie zur Deckung gebracht werden.

- Landschaftsteile mit (ehemals) hohen Grundwasserständen sind besonders ungenau dargestellt. Die Rekonstruktion der Wald-Öffendland-Verteilung für die ehemals ausgedehnten Flächen des Spreewaldes beispielsweise ist nahezu unmöglich.

- Die in manchen Regionen zahlreich vorkommenden Seen sind sowohl von der Größe als auch im Umriss mit den heutigen Seen kaum zur Deckung zu bringen, selbst in den Fällen, wo die Gewässer markante Uferlinien haben. Die Ursache liegt in erheblichen Änderungen der Wasserspiegel vom 17./18. Jh. bis in die heutige Zeit. Nach DRIESCHER (1986) lagen die Wasserstände im 17./18. Jh. etwa 1 m über dem aktuellem Stand. Die Wasserstände sind allerdings von der Morphologie der Seen abhängig, mit der Folge, dass sowohl wesentliche Vergrößerungen als auch Verkleinerungen von Wasserflächen möglich waren. DRIESCHER (1986) berichtet sogar von der Entstehung neuer und dem Verschwinden vorhandener Wasserflächen.

4.3. Darstellungen der Landnutzung

Während auf der Schmettauschen Karte Ackerflächen gar nicht und Wiesen lediglich nach feuchten/nassen und eher frischen/trockenen Standorten weiter unterschieden werden, sind die Wälder deutlich stärker differenziert. Neben den Darstellungen von mehr oder weniger geschlossenem Wald werden Bruchwälder, lichte Wälder in Niederungen und Heiden unterschieden. Der Begriff Wald hat sich in Brandenburg allerdings nicht durchgesetzt (KRAUSCH, 1956; DONATH, 1967). Sehr häufig finden sich auf der Schmettauschen Karte hingegen die Begriffe „Heide“ bzw. „Hey-

Tab. 2

Roggenanbauflächen in Brandenburg, differenziert nach der Intensität der Bewirtschaftung der Flächen (Daten aus BRATRING, 1804).
Ein Morgen entspricht 0,25532 ha. Angaben ohne die Kreise Havelland und Luckenwalde.
Area under rye cultivation in Brandenburg differentiated according to the intensity of management (data from BRATRING, 1804). One Morgen is equal to 0.25532 hectare.
Data do not include the districts Havelland and Luckenwalde.

Provinz		3-jährig	5-jährig	6-jährig	9-jährig	Summe (3-9-jährig)	12-jährig (zu Wald)	Gesamt
Kurmark	Morgen	210928	2510	59820	32345	305603	37313	342916
	%	62	1	17	9	89	11	100
	ha	53854	641	15273	8258	78026	9527	87553
Uckermark	Morgen	78554	936	10183	3279	92952	2753	95705
	%	82	1	11	3	97	3	100
	ha	20056	239	2600	837	23733	703	24435
Summe	Morgen	289482	3446	70003	35624	398555	40066	438621
	%	66	1	16	8	91	9	100
	ha	73911	880	17873	9096	101759	10230	111989

de“, „Horst“, „Busch“, „Holtz“ bzw. „Holz“. Die Bezeichnung „Heide“ (mittelhochdeutsch = unbebautes Land, d.h., nicht ackerbaulich genutzt) wird häufig auf Wälder der grundwasserfernen Standorte angewendet und bezieht sich auf Laub- und Nadelmischwälder, z.B. „Birk-“, „Buch-“ oder „Kienheide“. Diese Namen tauchen schon auf den ersten Gemarkungskarten nach dem 30jährigen Krieg auf (SCHARFE und SCHEERSCHMIDT, 2000). Zuweilen finden sich auch Namen, die eine Zwischenstellung einnehmen, wie z.B. die „Natte Heide“ in der Nähe von Wittstock (KRAUSCH, 1956). Die Heiden bestanden zumeist aus Kiefernwäldern und buchen- oder eichenreichen Wäldern auf grundwasserbeeinflussten, nährstoffarmen bis mäßig nährstoffreichen Standorten (KRAUSCH, 1969), die häufig infolge von Viehweide aufgelockert waren (DONATH, 1967). Während der Begriff „Heide“ meist ausgedehntere Waldbestände meint, versteht man unter einem Horst „ein Gebüsch oder Gehölz, das in freiem, meist niedrigem Felde oder Sumpfgelände auf erhöhter Stelle steht, die auch in nassen Jahren trocken blieben. Daneben kommt die Bezeichnung auch für ehemals mit Wald bewachsene Flächen vor, auf denen nur noch Baumstümpfe und Gestrüpp übriggeblieben sind“ (POLTHIER, 1933, S. 344). Der Name „Busch“ war für kleinere Waldstücke auf grundwasserbeeinflussten Böden üblich, und zwar meistens in Wortzusammensetzungen wie Bürgerbusch, Hinterbusch oder Mühlbusch (KRAUSCH, 1956). Nach DONATH (1967) bezeichnet das Wort „Busch“ einen Laubwald, gleich welcher Baumart, auf feuchtem Standort. In der Prignitz, der Uckermark und West-Brandenburg werden kleinere Waldflächen auch als „Holz“ bezeichnet, z.B. Hainholz bei Pritzwalk, Jederitzer Holz bei Havelberg und Eichholz bei Spandau (KRAUSCH, 1956).

4.4. Vergleich mit Legenden anderer historischer Kartenwerke

Für das im Süden an Brandenburg grenzende Land Sachsen erwähnt WITSCHAS (2002), dass für die Meilenblätter des 18. Jh. keine Legende existiert. Deshalb erstellte die Autorin selbst eine Legendenmatrix, deren Ausschnitte vergleichbare Darstellungen wie die Schmettausche Karte zeigt. Waldflächen sind auf den Meilenblättern allerdings stets mit Baumsignaturen versehen. Wie bei den Schmettauschen Karten wird nicht zwischen Laub- und Nadelwäldern unterschieden. Alle übrigen Flächen- und Liniensignaturen der Meilenblätter sind mit denen der Schmettauschen Karte vergleichbar (vgl. Abbildungen in WITSCHAS, 2002). Die Schmettausche Karte deckt westlich von Brandenburg das Land Sachsen-Anhalt vollständig ab. Im noch weiter westlich gelegenen Niedersachsen entstand zwischen 1764 und 1786 die Kurhannoversche Landesaufnahme. Zur Erstellung der Karten wurden im Prinzip die gleichen Farbtöne und Signaturen wie bei der Schmettauschen Karte verwendet. Wichtigste Unterschiede in Bezug auf Waldflächen bestehen in der geringeren Differenzierung der „Walddtypen“, wenn man der Zeichenerklärung von ENGEL (1959) folgt und in den Heideflächen. Der Begriff „Heide“ meinte in Ostdeutschland i.d.R. Forstgebiete, wurde aber auch für Hütungsreviere und baum- oder strauchbestandene Wiesen verwendet (SCHARFE, 1972). In Westdeutschland werden ausschließlich Heidekrautflächen mit lockerem Strauchbewuchs als Heide bezeichnet (KRAUSCH, 1969).

5. BEDEUTUNG HISTORISCHER KARTEN FÜR DIE FORSTLICHE RAHMENPLANUNG

Die historische Landschaftsanalyse wird zunehmend im Natur- und Landschaftsschutz berücksichtigt, da z.B. Flächen mit langer Biotoptradition besonders schutzwürdig sein können. Solche Landschaftselemente können als Vorranggebiete für einen Biotopverbund vorgesehen werden (WITSCHAS, 2002). Historische Landnutzungsdaten erlauben außerdem Rückschlüsse auf Änderungen von Landschaftsfunktionen, z.B. die Rekonstruktion ehemaliger Wassereinzugsgebiete (DRIESCHER, 1986). Für die forstliche Rahmenplanung liegt die Bedeutung des Vergleiches historischer mit

aktuellen Karten v.a. in der Darstellung der Veränderungen in der Wald-Offenland-Verteilung. Damit lassen sich Regionen herauskristallisieren, die besonders starken Veränderungen hinsichtlich Waldab- oder zugang unterworfen waren. Für die Regional- bzw. forstliche Rahmenplanung liefern Karten, welche großflächige Waldverluste dokumentieren gute Argumente, um einem weiteren Waldrückgang entgegen zu treten (HÖHERE FORSTBEHÖRDE RHEINLAND, 1995; GROSS und WULF, 2002; UEBERFUHR und MIETHKE, 2003).

Mit Hilfe alter Karten lassen sich recht eindeutig Waldflächen lokalisieren, die lange erhalten geblieben sind und die bei mindestens 200jähriger Habitatkontinuität als historisch alte Wälder bezeichnet werden. Insbesondere solche Waldflächen sollten aus folgenden Gründen vor weiterer Flächenreduzierung geschützt werden:

- Sie können potenziell eine hohe Artendiversität aufweisen. Insbesondere walddtypische Pflanzenarten haben in historisch alten Wäldern ihren Schwerpunkt oder kommen sogar ausschließlich hier vor (WULF, 2003b).
- Die Wahrscheinlichkeit ist recht hoch, dass sich hier autochthone Gehölze erhalten haben (vgl. KOCH et al., 1939), die als forstliche Genressourcen genutzt werden können (WULF, 2003a).
- Die langfristige Entwicklung des Bodens unter Wald ist als Schutzgut an sich zu sehen und diese Flächen stellen (potenzielle) Archive der Natur- und Kulturgeschichte dar (BALL und STEVENS, 1981; JESSEL et al., 2000).

Karten mit ausgewiesenen historisch alten Waldflächen sind außerdem wegen folgender Aspekte von Interesse:

- Bei der Auswahl bevorzugter Flächen für den Waldumbau sollten v.a. historisch alte Waldflächen aufgrund der oben genannten Gesichtspunkte Vorrang haben. Einschränkend ist allerdings festzuhalten, dass punktuelle Angaben wie Meiler, Schäfereien und Teeröfen auf eine ortsübliche, z.T. sehr intensive Flächennutzung des Waldes hinweisen können. Damit werden ortsspezifische Degradationen des Waldbodens innerhalb (historisch) alter Waldbestände erklärbar, die z.T. auf aktuellen forstlichen Standortskarten ausgewiesen sind. Die Erkenntnisse sind insofern nutzbar, als solche Flächen für einen Waldumbau eher nachrangige Bedeutung haben, so wie es auch für lokal stark streugenutzte (historisch) alte Waldflächen gilt (SCHÖLLMANN, 1999).
- Neu zu planende Aufforstungsflächen sollten nach Möglichkeit direkt an bestehende historisch alte Waldflächen angrenzen, um die Chancen der Einwanderung walddtypischer Krautpflanzen zu erhöhen (WULF, 2003b).
- Für einen geplanten Biotopverbund lassen sich historisch alte Waldflächen ausfindig machen, die geringer isoliert sind als andere und deshalb für einen Verbund eher in Frage kommen.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Die Schmettau-Schulenburgsche Karte aus dem 18. Jh. ist hinsichtlich der detaillierten Inhalte und ihrer Flächenausdehnung die herausragende historische Karte für den größten Teil Ostdeutschlands. Leider gibt es bis heute keine umfassende Legende, was zu Einschränkungen der Lesbarkeit bzw. Interpretation der Landnutzungsformen führt. Insgesamt liegen 270 Sektionen vor, von denen 38 teilweise oder ganz das Land Brandenburg abdecken. Unter Berücksichtigung historischer Landschaftsbeschreibungen wurde eine Legende mit kritischen Kommentaren für das Land Brandenburg erstellt. Trotz mancher Einschränkungen gibt es keinen Zweifel, dass die Schmettausche Karte zur Rekonstruktion der ehemaligen Landnutzung ausgesprochen wertvoll ist. Insbesondere die Ausweisung von historisch alten Wäldern kann für die forstliche Rahmenplanung hilfreich sein. Wälder mit langer Habitatkontinuität können potenziell eine erhöhte Diversität walddtypischer

Pflanzen- und Tierarten aufweisen. Sie sollten deshalb als Vorrangflächen für den Erhalt der Artendiversität, den Biotopverbund und für den Waldumbau berücksichtigt werden.

7. Summary

Title of the paper: *The Schmettau-Schulenburgsche map – a legend for the State of Brandenburg (eastern Germany) with critical comments.*

The Schmettau-Schulenburgsche map of the 18th century is the most outstanding historical map for the greatest part of eastern Germany concerning its detailed information and coverage of a very great area (Fig. 1 and 2). Unfortunately, up to this day there existed no comprehensive legend leading to restrictions in readability or interpretation of land use forms, respectively. In total, there exist 270 sections, which 38 of covered partly or wholly the State of Brandenburg. With regard to several historical descriptions of the landscape we produced a legend (Fig. 3 and Tab. 1) with critical comments (Tab. 2) for the State of Brandenburg. Despite some restrictions, there is no doubt that the Schmettausche map is absolutely valuable for reconstruction of former land use. Above all, the proof of identity of ancient woodlands by overlapping historical with actual maps can be helpful for the overall forestry planning. Woodland with a long habitat continuity are potentially higher in diversity of true forest plant and animal species. Therefore, they should be considered as previous areas to maintain species diversity, interconnection of habitats, and for conversion of coniferous to mixed or deciduous forest.

8. Résumé

Titre de l'article: *La carte de Schmettau-Schulenburg. Etablissement d'une légende pour le Land de Brandebourg (Allemagne de l'Est) avec notes critiques.*

La carte Schmettau-Schulenburg du 18^{ème} siècle constitue un document Historique tout à fait remarquable en raison de son contenu détaillé et de la surface couverte. Malheureusement il n'existe pas jusqu'à maintenant de légende complète, ce qui restreint sa lisibilité ou rend difficile l'interprétation des formes d'utilisation du territoire. Au total, l'ouvrage comprend 270 sections dont 38 couvrent, en tout ou partie, le Land de Brandebourg. En prenant en considération les descriptions historiques des paysages, on a pu établir pour ce Land une légende, assortie de commentaires critiques. Malgré de nombreux obstacles il ne fait aucun doute que la carte de Schmettau revêt une grande valeur pour rétablir comment était utilisé autrefois le territoire. En particulier, l'identification des forêts dont l'ancienneté est historiquement prouvée peut être d'un précieux secours pour la planification des zones forestières. Des forêts avec une longue continuité de l'habitat peuvent potentiellement offrir une diversité élevée de plantes et d'animaux caractéristiques du milieu sylvestre. Elles doivent de ce fait être regardées comme des surfaces auxquelles on doit donner la préférence pour le maintien de la diversité des espèces, l'assemblage de biotopes et la reforestation.

J. M.

9. Danksagung

Die Autoren bedanken sich recht herzlich bei Herrn Prof. Dr. W. SCHARFE (FU Berlin) für seine hilfreichen kritischen Anmerkungen zu einem ersten Entwurf der Legende. Für die umfangreiche technische Unterstützung danken wir Frau JAHN (ZALF) sehr herzlich. Wir möchten uns auch bei zwei anonymen Gutachtern für ihre wertvollen Hinweise zum ersten Manuskript bedanken. Die Grundlagen zur vorgelegten Arbeit wurden im Rahmen eines gemeinsamen Projektes der Landesforstanstalt Eberswalde (LFE) und des Zentrums für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF e.V. Müncheberg) erarbeitet, und wurden damit vom Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) und vom Ministerium für Landwirtschaft,

Umwelt und Raumordnung (MLUR) des Landes Brandenburg finanziell unterstützt.

10. Literatur

- BALL, D. F. und STEVENS, P. A.: The role of "ancient" woodlands in conserving "undisturbed" soils in Britain. *Biol. Conserv.* **19**: 163–176, 1981
- BRATRING, F. W. A.: Statistisch-topographische Beschreibung der gesamten Mark Brandenburg. Bd. 1–3. Als Faksimile von BÜSCH, O. und HEINRICH, G. (Hrsg.), verbessert, 1968. Walter de Gruyter, Berlin, 1804
- DEGNER, H. (Bearb.): Geschichte der amtlichen Kartographie Brandenburg-Preussens bis zum Ausgang der Friderizianischen Zeit. J. Engelhorn, Stuttgart, 1935
- DONATH, J.: Waldbezeichnungen und ihre Entwicklung in Brandenburg. *Naturschutzarbeit in Berlin und Brandenburg* **3** (3): 78–83, 1967
- DRIESCHER, E.: Historische Schwankungen des Wasserstandes von Seen im Tiefland der DDR. *Geographische Berichte* **120** (3): 159–171, 1986
- ENGEL, F.: Die Kurhannoversche Landesaufnahme des 18. Jahrhunderts. *Veröff. Histor. Komm. Nieders. und Bremen* **26**: 1–19, 1959
- FEHN, K.: Auswertungsmöglichkeiten von Altkarten unter besonderer Berücksichtigung der Historischen Geographie. Grundsätzliche Überlegungen anhand von Beispielen aus unterschiedlichen mitteleuropäischen Räumen. *Archivhefte der Archivberatungsstelle Rheinland* **18**: 147–173, 1988
- FRIELINGHAUS, M. und HARTUNG, J.: Historische Landnutzungsanalyse im Flusspolder Oderbruch für die letzten 250 Jahre und daraus abgeleitete Entwicklungsziele. *Beitr. Forstwirtschaft. u. Landsch. ökol.* **32** (2): 78–87, 1998
- GROSS, J. und WULF, M.: Kulturlandschaften in Brandenburg. Welchen Stellenwert nimmt der Wald ein? *Beitr. Forstwirtschaft. u. Landsch. ökol.* **36** (4): 145–151, 2002
- HÖHERE FORSTBEHÖRDE RHEINLAND (Hrsg.): Waldflächenentwicklung im Rheinland 1820–1990. Teilbereich Kreis Euskirchen, 1995
- JESSEL, B., KNOTHE, D., GELDMACHER, K., ZAPEL, M. und DOTTERWEICH, M.: Bodenbewertung für Planungs- und Zulassungsverfahren im Land Brandenburg. Bd. 1 und Bd. 2. Eigenverlag der AG Landschaftsplanung Univ. Potsdam, 2000
- KOCH, H., SCHAIRER, E. und GAISBERG, E.: Die Buche der Ostalb. *Mitt. Württemb. Forstl. Versuchsanst.* **1939**: 1–234, 1939
- KRAUSCH, H.-D.: Flurnamen als Quellen zur Forstgeschichte, dargestellt am Beispiel Brandenburgs. *Märkische Heimat* **1** (5): 21–28, 1956
- KRAUSCH, H.-D.: Über die Bezeichnung „Heide“ und ihre Verwendung in der Vegetationskunde. *Mitt. Flor.-soz. AG N.F.* **14**: 435–457, 1969
- LIPS, K.: Zur Entstehung der Schmettauschen Karte des Preußischen Staates. *Mitt. Reichsamts f. Landesaufn.* **6**: 208–210, 1930/31
- PIETSCHMANN, G.: Forstgeschichte und Waldentwicklung im Staatlichen Forstamt Nedlitz. *Wald in Sachsen-Anhalt* **12**, 2002
- POLTHIER, W.: Geschichte der Stadt Wittstock. Safari-Verlag in Komm., Berlin, 1933
- RICHTER, A.: Zur Entwicklung der Waldverbreitung im Gebiet der DDR während der letzten 150 Jahre. *Arch. f. Forstwes.* **6** (11/12): 802–810, 1957
- SCHARFE, W. (Bearb.): Friedrich Carl Graf v. Schmettau, Karte von Preußen. Aufgenommen und zusammengetragen 1767–1787. Ausschnitt aus dem Blatt Sandau-Rathenow-Rhinow. In: *Historischer Handatlas von Brandenburg und Berlin*, Lfg. 25. Walter de Gruyter, Berlin, 1968
- SCHARFE, W.: Abriss der Geschichte der Kartographie Brandenburgs von 1771 bis 1821. *Veröff. d. Histor. Kommission zu Berlin* **35**, 1972
- SCHARFE, W. und SCHEERSCHMIDT, H. (Hrsg.): Berlin-Brandenburg im Kartenbild. Staatsbibliothek Preußischer Kulturbesitz, Ausstellungskataloge Neue Folge 42. Dr. Ludwig Reichert, Wiesbaden, 2000
- SCHMIDT, G.: Untersuchungen zur Veränderung der Waldfläche im ehemaligen Regierungsbezirk Stralsund. *Beitr. Forstwirtschaft. u. Landsch. ökol.* **28** (3): 131–135, 1994
- SCHÖLLMANN, H.: Ausgewählte Waldnutzungsformen im Fichtelgebirge und ihr Beitrag zur stofflichen Ausstattung der Waldökosysteme. *Diss. Univ. Göttingen*, 1999
- SCHULZE, B.: Graf von Schmettau und sein Kartenwerk. *Jahrbuch für die Geschichte Mittel- und Ostdeutschlands* **5**: 227–249, 1956
- UEBERFUHR, F. und MIETHKE, A.: Die Waldflächenentwicklung im Freistaat Sachsen von 1800 bis 2000 – Vergleichende Betrachtungen sächsischer Wälder in sächsischen Naturräumen. *Beitr. Forstwirtschaft. u. Landsch. ökol.* **37** (2): 67–74, 2003
- WALZ, U. und SCHUMACHER, U.: Flächennutzungsinformationen aus historischen Kartenwerken für die Freiraumentwicklung in Sachsen. *Historische Landnutzung im thüringisch-sächsisch-anhaltischen Raum*. Peter Lang, Frankfurt/M., 2004
- WITSCHAS, S.: Erinnerung an die Zukunft – sächsische historische Kartenwerke zeigen den Landschaftswandel. *Kartographische Nachrichten* **52** (3): 111–117, 2002
- WULF, M.: Historisch alte Wälder als potenzielle Standorte autochthoner Gehölze – Beispiel Prignitz (Nordwest-Brandenburg). *Neobiota* **2**: 105–112, 2003a
- WULF, M.: Preference of plant species for woodlands with differing habitat continuities. *Flora* **198** (6): 444–460, 2003b
- WULF, M. und SCHMIDT, R.: Die Entwicklung der Waldverteilung in Brandenburg in Beziehung zu den naturräumlichen Bedingungen. *Beitr. Forstwirtschaft u. Landschaftsökol.* **30** (3): 125–131, 1996

Stichprobensimulationen zur Schätzung nachbarschaftsbezogener Strukturparameter in Waldbeständen

Aus der Chinese Academy of Forestry, Beijing, und dem Institut für Waldinventur und Waldwachstum der Universität Göttingen

(Mit 8 Abbildungen und 1 Tabelle)

Von G. Y. HUI und M. ALBERT

(Angenommen Juni 2004)

SCHLAGWORTER – KEY WORDS

Bestandesstruktur; Strukturindizes; Bestandesinventur; Stichprobensimulation; Zeitstudie.

Stand structure; stand structure indices; stand inventory; sampling simulation; time studies.

1. EINLEITUNG

Die Bestandesstruktur wird über die Zusammensetzung und die raum-zeitliche Entwicklung der einzelnen Systemkomponenten wie Bäumen, Sträuchern, Verjüngung, Totholz etc. beschrieben. Die Bestandesstruktur kann sowohl ohne Raumbezug, z.B. in Form einer Durchmesserverteilung, oder räumlich explizit analysiert werden. Die räumliche Bestandesstruktur wird neben der Verteilung der Baumpositionen im Gelände vor allem durch das räumliche Nebeneinander von Baumarten und Baumdimensionen bestimmt (v. GADOW, 1999). Die numerische Beschreibung der Waldstruktur ergänzt mit ökologischen Informationen die ertragskundliche Zustandsanalyse sowie ökonomische Bewertung und trägt zum Verständnis natürlicher Entwicklungsprozesse z.B. im Rahmen der Naturwaldforschung (MEYER, 1999; MEYER und POGODA, 2001) und zur Steuerung des Baumwachstums für eine effektive Waldbewirtschaftung bei (KRAMER, 1990, S. 79ff; PRETZSCH, 2001, S. 65ff). Geeignete Stichprobenverfahren sind daher für eine effiziente Schätzung von Bestandesstrukturmerkmalen für viele forstliche Fragestellungen notwendig und wichtig. Als Inventurmethode sind dabei auch Abstandsverfahren von Bedeutung (z. B. LESSARD et al., 1994; LYNCH und RUSYDI, 1998).

Diese Forschungsarbeit befasst sich mit der Weiterentwicklung des Inventurverfahrens „Strukturelle Vierergruppe“, das speziell für die Gewinnung räumlicher Strukturinformationen entwickelt wurde (FÜLDNER, 1995, 1996). POMMERENING (1997) und POMMERENING und v. GADOW (2000) weisen mit umfangreichen Stichprobensimulationen nach, dass das Verfahren „Strukturelle Vierergruppe“ für die Beschreibung und Analyse speziell komplexer Bestandesstrukturen wesentlich wirksamer ist als Inventurkonzepte mit festen Probeflächen. Die „Strukturelle Vierergruppe“ schätzt allerdings wesentliche Bestandesparameter nicht verzerrungsfrei (POMMERENING und SCHMIDT, 1998; LOHL et al., 1994). Daher wird ein modifiziertes Inventurverfahren anhand von Stichprobensimulationen in generierten Beständen und vier realen Versuchsfeldern erprobt und dessen Ergebnisse denen der herkömmlichen „Strukturellen Vierergruppe“ gegenüber gestellt. Ziel ist die möglichst biasfreie und präzise Schätzung der nachbarschaftsbezogenen Strukturparameter Winkelmaß, Durchmischung und Umgebungsmaß sowie des Durchmessers des Grundflächenmittelstammes. D.h., es soll eine hohe Genauigkeit des Inventurverfahrens durch unverzerrte Schätzwerte der Zielgrößen mit geringer Streuung erreicht werden.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1 Motivation

FÜLDNER (1995, 1996) schlägt zur Erfassung der nachbarschaftsbezogenen Strukturparameter Durchmesserendifferenzierung, Baum-

artendurchmischung und Abstandsverteilung als Stichprobenverfahren eine Stammabstandsmethode mit der „Strukturellen Vierergruppe“ als Probeflächensdesign (engl. *response design*) vor. Die „Strukturelle Vierergruppe“ ist ein Inventurkonzept mit systematischer Anordnung der Aufnahmepunkte. An jedem Stichprobenpunkt wird der nächstgelegene Baum, der Nullbaum i , und dessen vier nächste Nachbarn j erfasst. Bei der Einführung der nachbarschaftsbezogenen Parameter betrug die Anzahl der betrachteten Nachbarn ursprünglich drei (FÜLDNER, 1995). Erst die zusätzliche Erfassung des vierten Nachbarn im Rahmen der „Strukturellen Vierergruppe“ ermöglicht die Berechnung des die Individualverteilung beschreibenden Parameters Winkelmaß und auch die übrigen nachbarschaftsbezogenen Parameter sind bei vier Nachbarn aussagekräftiger (v. GADOW et al., 1998; v. GADOW und HUI, 2002; AGUIRRE et al., 2003). Für das weitere Verständnis der Ergebnisse ist es wichtig zu wissen, dass der Mittelwert des Winkelmaßes \bar{W} ein guter Indikator zur Klassifikation der räumlichen Verteilungsstruktur ist (v. GADOW und HUI, 2002). Eine Poissonverteilung wird entsprechend durch das Intervall $0,475 \leq \bar{W} \leq 0,517$, eine regelmäßige Verteilung durch $\bar{W} < 0,475$ und eine geklumpfte Verteilung durch $\bar{W} > 0,517$ charakterisiert.

Das Inventurkonzept wird in *Abbildung 1* schematisch dargestellt, und beispielhaft werden die drei Strukturparameter Durchmischung, Umgebungsmaß und Winkelmaß berechnet. Die Durchmischung M_i beruht dabei auf einem Baumartenvergleich zwischen Nullbaum i und seinen Nachbarn j , und beim Umgebungsmaß U_i werden analog die BHD-Werte verglichen. Das Winkelmaß W_i basiert auf der Klassifizierung der vom Nullbaum i ausgehenden Winkel α_j zwischen den vier Nachbarn (vgl. v. GADOW et al., 1998). Als Bezugsgröße wird der Standardwinkel $\alpha_0 = 72^\circ$ definiert, der bei sehr regelmäßiger Verteilung erwartet wird (HUI und v. GADOW, 2002).

Aus *Abbildung 1* wird ersichtlich, dass das Inventurkonzept ein Stammabstandsverfahren ist, wobei die Erhebung des Nullbaumes ein Punkt-Baum-Abstandsverfahren darstellt, während die Auswahl der Nachbarbäume auf Baum-Baum-Abständen beruht. Über die mittlere Entfernung zwischen den Nullbäumen und ihren jeweils n Nachbarn kann der mittlere Standardraum der Bäume hergeleitet und darüber die Stammzahl pro ha geschätzt werden (KÖHLER, 1951; KRAMER und AKÇA, 1987, S.103 ff). Die Bestandesgrundfläche kann über die geschätzte Stammzahl pro ha und mit Hilfe der gemessenen Durchmesser der Nullbäume berechnet werden. Die auf Stammabstandsverfahren basierenden Schätzer für die Stammzahl und Grundfläche sind jedoch nicht biasfrei, was bei der Verwendung von Baum-Baum-Abständen sogar noch verstärkt wird (ZÖHRER, 1980, S. 45). POMMERENING und SCHMIDT (1998) schlagen daher eine Erweiterung des Stammabstandsverfahrens in Kombination mit der „Strukturellen Vierergruppe“ vor, indem die Bestandesgrundfläche über Winkelzählproben verzerrungsfrei geschätzt wird und für den Schätzer des Durchmessers des Grundflächenmittelstammes der BHD des Nullbaumes sowie aller drei bzw. vier Nachbarn herangezogen werden. Die Simulationsergebnisse von POMMERENING und SCHMIDT zeigen einen deutlich gerin-

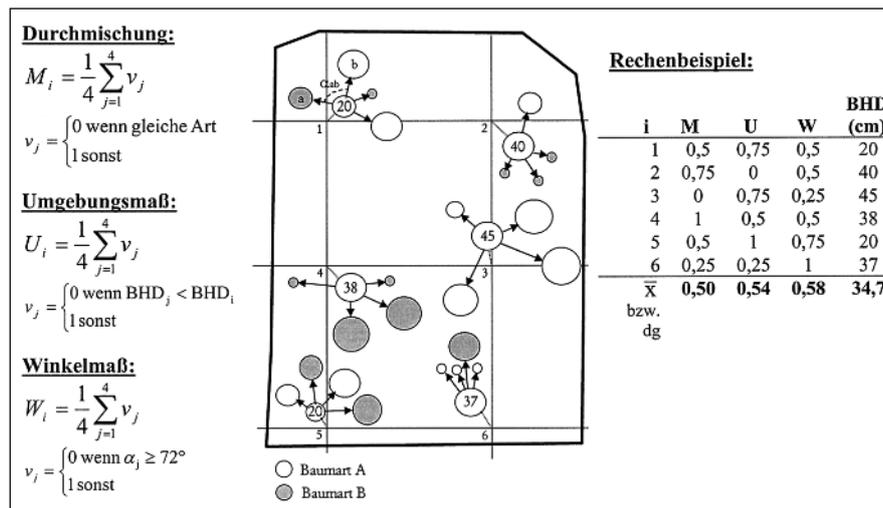


Abb. 1

Schematische Darstellung des Inventurkonzeptes „Strukturelle Vierergruppe“, Definition von Durchmischung M, Umgebungsmaß U und Winkelmaß W (exemplarisch ist der Winkel α_{ab} zwischen den Nachbarn a und b der ersten Gruppe eingezeichnet).

Illustration of the inventory concept “Structural Group of Four”, definition of the mingling index M, the measure of dominance U, and the uniform angle index W (the angle α_{ab} between neighbors a and b in the first group is given as an example).

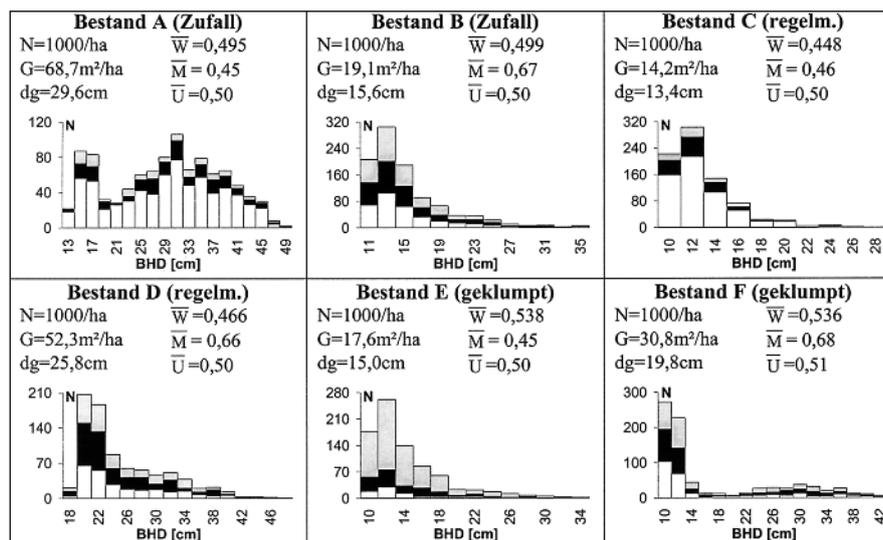


Abb. 2

Sechs generierte Bestände A bis F und ihre Bestandeskennwerte (die drei Schattierungen in den Durchmesserverteilungen entsprechen jeweils drei Baumarten).

Six generated stands A to F and their stand characteristics (the three shadings of the diameter distribution indicate different tree species).

geren Bias für den Stammzahlsschätzer. Die Ursache der weiterhin bestehenden Verzerrung liegt in der nicht biasfreien Ermittlung des dg.

Die Schätzgüte der „Strukturellen Vierergruppe“ für Strukturparameter untersuchen LOHL et al. (1994). Ihre Stichprobensimulationen zeigen, dass die Durchmischung und die Durchmesser-differenzierung weitgehend verzerrungsfrei und mit akzeptabler Genauigkeit geschätzt werden können. Hingegen weisen Parameter, die stark vom Standraum eines Baumes abhängen, also insbesondere der dg und die Abstände zum nächsten Nachbarn, einen starken

Bias auf. Der Index von CLARK und EVANS (1954), der zur Beurteilung der Individualverteilung Baumabstände verwendet, konnte daher nur sehr unbefriedigend mit einem großen positiven Bias und großer Ungenauigkeit geschätzt werden. Als Schätzer für den Abstand wurde dabei das Verfahren nach KÖHLER (1951) gewählt, während die Stammzahl nicht geschätzt sondern als bekannt vorgegeben wurde. Auch LOHL et al. (1994) konnten nachweisen, dass sich die Verzerrung bei der Stammzahl- und Grundflächenschätzung deutlich senken läßt, wenn der dg nicht nur über die Nullbäume sondern unter zusätzlicher Verwendung der Durchmesser der Nachbarn geschätzt wird.

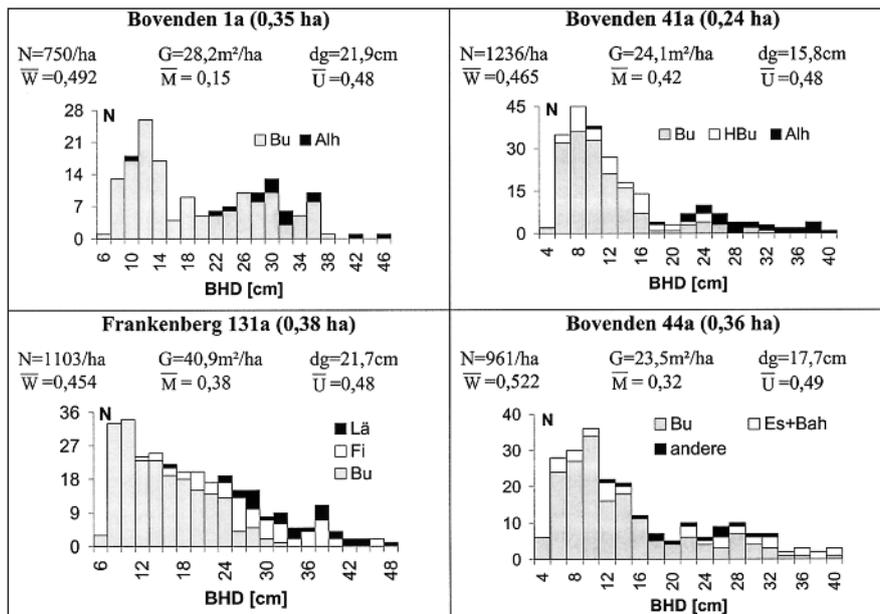


Abb. 3

Vier Versuchsflächen und ihre Bestandeskennwerte.

Four trial stands and their stand characteristics.

2.2 Bestandesdaten

Die Stichprobensimulationen der beiden zu vergleichenden Inventurverfahren werden an sechs generierten Beständen unterschiedlicher Struktur und vier voll aufgenommenen Versuchsflächen durchgeführt.

Die in *Abbildung 2* dargestellten sechs mit Hilfe eines speziellen Softwareprogramms (vgl. HUI et al., 2003) generierten Bestände sind jeweils ein Hektar groß und mit 1000 Bäumen bestockt. Die Bestände unterscheiden sich in der Grundflächenhaltung, der Struktur der Durchmesserverteilung, den Baumartenanteilen, der Individualverteilung und der räumlichen Baumartenmischung.

Alle in *Abbildung 3* vorgestellten Versuchsflächen sind voll aufgenommen, d.h. für jeden Baum über 7 cm BHD wurden die Baumart, der Durchmesser und die Stammfußkoordinaten erhoben. Die Versuchsflächen Bovenden 1a (Alter der Hauptbaumart Buche 59 Jahre zum Zeitpunkt der Aufnahme), Bovenden 41a (82 Jahre) und Bovenden 44a (52 Jahre) sind Ausschnitte aus Buchen-Edellaubholz-Mischbeständen im Göttinger Kalkbuchenwald (vgl. DAUME, 1995; ALBERT, 1999). Die Versuchsfläche Frankenberg 131a liegt in einem Buchen-Fichten-Lärchen-Mischbestand (80-jährige Buche und 82-jährige Fichte und Lärche) in Nordhessen (vgl. ALBERT, 1999).

2.3 Modifiziertes Inventurkonzept

Vorstudien zur Erfassung des Strukturparameters Winkelmaß haben ergeben, dass es bei der herkömmlichen Aufnahmemethode der „Strukturellen Vierergruppe“ (*Abb. 1*) zu Verzerrungen kommt, obwohl die Schätzung des Winkelmaßes nicht wie die Ermittlung des CLARK und EVANS Index auf der Messung absoluter Baum-Baum-Abstände beruht (HUI und v. GADOW, 2003). Des Weiteren ist es entgegen der Ergebnisse von LOHL et al. (1994) durchaus denkbar, dass auch die Parameter Durchmischung und Durchmesserdifferenzierung bzw. Umgebungsmaß nicht zwangsläufig verzerrungsfrei geschätzt werden, wenn man der Annahme folgt, dass größere Bäume einen größeren Standraum und somit eine höhere Auswahlwahrscheinlichkeit besitzen. Für die vier untersuchten Versuchsflächen kann diese Annahme durch eine Auswer-

tung von Stichprobensimulationen gestützt werden. Bei der Stichprobenziehung wurde keine Korrektur der unterschiedlichen Auswahlwahrscheinlichkeiten vorgenommen, da diese unbekannt sind. In den Ergebnissen zeigen sich signifikante Abweichungen in den Durchmesserverteilungen der Stichprobe und des Gesamtkollektivs für den zufallsverteilten Bestand Bovenden 1a und den geklumpten Bestand Bovenden 44a. Größere Bäume sind dabei in der Stichprobe jeweils überrepräsentiert. Für die beiden regelmäßig verteilten Bestände können keine signifikanten Abweichungen der Durchmesserverteilungen von Stichprobe und Grundgesamtheit nachgewiesen werden. Es kann weiterhin anhand der vier Versuchsflächen gezeigt werden, dass auch das Winkelmaß, die Durchmischung und das Umgebungsmaß nicht generell unabhängig von der Dimension des Nullbaumes sind (*Tab. 1*).

Die mittleren Winkelmaßwerte aus *Tabelle 1* verdeutlichen, dass sich die räumliche Anordnung der vier nächsten Nachbarn von

Tab. 1

Winkelmaß-, Durchmischungs- und Umgebungsmaßmittelwerte auf den vier Versuchsflächen für den Gesamtbestand (gesamt), für die Bäume mit den relativ 100 stärksten (D_{groß}), den relativ 100 schwächsten (D_{klein}) sowie allen übrigen Durchmessern (D_{mittel}).
Mean values for uniform angle index, mingling, measure of dominance for all trees (gesamt), for the relatively 100 largest (D_{groß}), the relatively 100 smallest (D_{klein}) and all remaining diameters (D_{mittel}) in the four trial stands.

		gesamt	D _{groß}	D _{klein}	D _{mittel}
Bov1a	\bar{W}	0,492 (Zufall)	0,563 (gekl.)	0,500 (Zufall)	0,476 (Zufall)
	\bar{M}	0,15	0,27	0,15	0,13
	\bar{U}	0,48	0,03	0,90	0,49
Bov41a	\bar{W}	0,465 (regelm.)	0,447 (regelm.)	0,474 (regelm.)	0,466 (regelm.)
	\bar{M}	0,42	0,83	0,38	0,39
	\bar{U}	0,48	0,01	0,93	0,48
Fkb131a	\bar{W}	0,454 (regelm.)	0,490 (Zufall)	0,433 (regelm.)	0,453 (regelm.)
	\bar{M}	0,38	0,79	0,21	0,36
	\bar{U}	0,48	0,04	0,96	0,48
Bov44a	\bar{W}	0,522 (gekl.)	0,542 (gekl.)	0,469 (regelm.)	0,527 (gekl.)
	\bar{M}	0,32	0,52	0,28	0,30
	\bar{U}	0,49	0,02	0,92	0,49

großen Bäumen in drei der vier Versuchsbestände deutlich von der Raumstruktur der übrigen Bestandesmitglieder unterscheidet. Eine Ausnahme bildet die Fläche Bovenden 41a, bei der das Winkelmaß eine regelmäßige Baumverteilung in allen Kategorien anzeigt. Auch bei den beiden anderen Strukturparametern ergeben sich für die vier Versuchsflächen deutliche Unterschiede zwischen dem Kollektiv der 100 stärksten Bäume je ha und den restlichen Bestandesmitgliedern. Diese Beobachtungen können ohne umfassendere Untersuchungen so jedoch nicht verallgemeinert werden. Für die Interpretation der Ergebnisse aus den Stichprobensimulationen ist es aber wichtig, dass die räumliche Struktur in der Umgebung des Nullbaumes nicht generell als unabhängig von seiner Dimension angenommen werden kann. Dies erscheint auch als plausibler Erklärungsansatz für den in der Vorstudie festgestellten Bias bei der Winkelmaßschätzung.

ZÖHRER (1980, S. 45) schlägt zur Reduktion der Verzerrung bei Abstandsverfahren die Verwendung von Punkt-Baum-Abständen statt Baum-Baum-Abständen vor. Für das modifizierte Stichprobenkonzept auf Basis der „Strukturellen Vierergruppe“ wird daher folgendes Design gewählt: als Stichprobeneinheit werden die jeweils vier nächsten Bäume zu den Punkten des systematischen Gitternetzes als Nullbäume betrachtet und jeweils ihre vier nächsten Nachbarn zur Herleitung der Inventurgrößen Winkelmaß, Umgebungsmaß und Durchmischung herangezogen. Die Grundflächenschätzung verwendet hingegen die Dimensionen der vier Nullbäume (Abb. 4).

Abbildung 4 verdeutlicht, dass pro Stichprobenpunkt i jeweils vier Werte für die Schätzung des d_g , des Winkelmaßes, der Durchmischung und des Umgebungsmaßes aufgenommen werden (in Abb. 4 im Rechenbeispiel Nullbäume 4A bis 4D). Das Stichprobenverfahren ähnelt damit einer Klumpenstichprobe (vgl. SCHREUDER et al., 1993, S. 50 ff). Bei der herkömmlichen „Strukturellen Vierergruppe“ bildet nur ein Nullbaum mit seinen vier Nachbarn eine Stichprobeneinheit, und man erhält pro Stichprobenpunkt nur jeweils einen Wert für die Strukturparameter und vier Durchmesserwerte.

2.4 Design der Stichprobensimulationen

Die Stichprobensimulationen stellen die beiden Inventurkonzepte der herkömmlichen „Strukturellen Vierergruppe“ (Abb. 1), im Weiteren als *VG* bezeichnet, und der oben dargestellten modifizierten Version von jeweils vier geklumpten Vierergruppen pro Stichprobenpunkt (Abb. 4), abgekürzt als *KG*, gegenüber. Die Schätzung der mittleren Einzelbaumgrundfläche erfolgt bei *VG*, anders als in Abbildung 1 dargestellt, unter Berücksichtigung der Durchmesser

der Nullbäume und jeweils ihrer ersten drei Nachbarn, d.h. pro Gitternetzpunkt werden wie auch bei *KG* vier Durchmesser erhoben. Die einzelnen Simulationen erfolgen mit unterschiedlichen Stichprobenumfängen. In den generierten Beständen A bis F sind dies 4×4 , 5×5 , 6×6 , 7×7 und 8×8 Gitternetzpunkte. Auf den Versuchsflächen Bovenden 1a und Bovenden 41a werden Stichprobenumfänge von 12, 20 und 48 Gitternetzpunkten simuliert. Für Frankenberg 131a sind dies 9, 12, 25 sowie 36 Gitternetzpunkte, und auf der Fläche Bovenden 44a beträgt deren Anzahl 8, 12, 21 und 27. Je Stichprobenumfang werden 1000 Replikationen mit einer jeweils zufälligen Orientierung des Gitternetzes durchgeführt.

2.5 Statistische Prüfgrößen

Zur einfachen Interpretation der Ergebnisse aus den Stichprobensimulationen wird berechnet, wie häufig der Parameterschätzwert \bar{x} in einem definierten Vertrauensbereich um den wahren Parametermittelwert μ bei 1000 wiederholten Simulationen liegt. Für forstliche Bereiche soll der Standardfehler bei der Schätzung der Bestandesgrundfläche $\pm 5\%$ (bzw. $\pm 10\%$) nicht überschreiten (KRAMER und AKÇA, 1987, S. 89). Das bedeutet, dass für ein zufriedenstellendes Ergebnis die Abweichung des geschätzten Mittelwertes \bar{x} vom wahren Mittelwert μ bei einer vorgegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit innerhalb eines Vertrauensintervalls von $\bar{x} \cdot (1 \pm 0,1)$ liegen sollte. Als Prüfgröße ergibt sich somit die Trefrhäufigkeit ρ , für die gilt: \bar{x} liegt im Bereich $\mu \cdot (1 \pm 0,1)$.

Dieser definierte Vertrauensbereich von $\pm 10\%$ wird für alle zu untersuchenden Parameter gewählt, deren geschätzte Mittelwerte nicht klassifiziert werden. Eine Ausnahme bildet das Winkelmaß, dessen Mittelwert für eine Einteilung in regelmäßige, zufällige oder geklumpete Individualverteilungen verwendet wird. Hier soll das Inventurverfahren Schätzergebnisse innerhalb der Klassenbereiche liefern und gleichzeitig den Mittelwert möglichst genau erfassen. Im Anhalt an die Untersuchung von v. GADOW und HUI (2002) wird für den normalverteilten Winkelmaßmittelwert \bar{W} ein Vertrauensbereich von $\mu \pm 3 \cdot \sigma$ gewählt. Dabei beträgt $\sigma = 0,007$ für poissonverteilte sowie regelmäßige Bestände und $\sigma = 0,008$ für geklumpete Verteilungen. Die Vertrauensbereiche sind jedoch auf die Klassenbereiche beschränkt, d.h. bei Überschreitung einer Klassengrenze entspricht die Ober- bzw. Untergrenze des Vertrauensbereichs dieser Klassengrenze.

Zusätzlich gibt der Bias Auskunft über den systematischen Fehler des Stichprobenverfahrens. Die Streuung der Schätzwerte wird anhand des mittleren quadratischen Fehlers beurteilt. Der Bias B ist definiert als Differenz zwischen dem wahren Mittelwert μ und dem Simulationsmittel \bar{x} aus einer Wiederholung. Der relative Bias für n

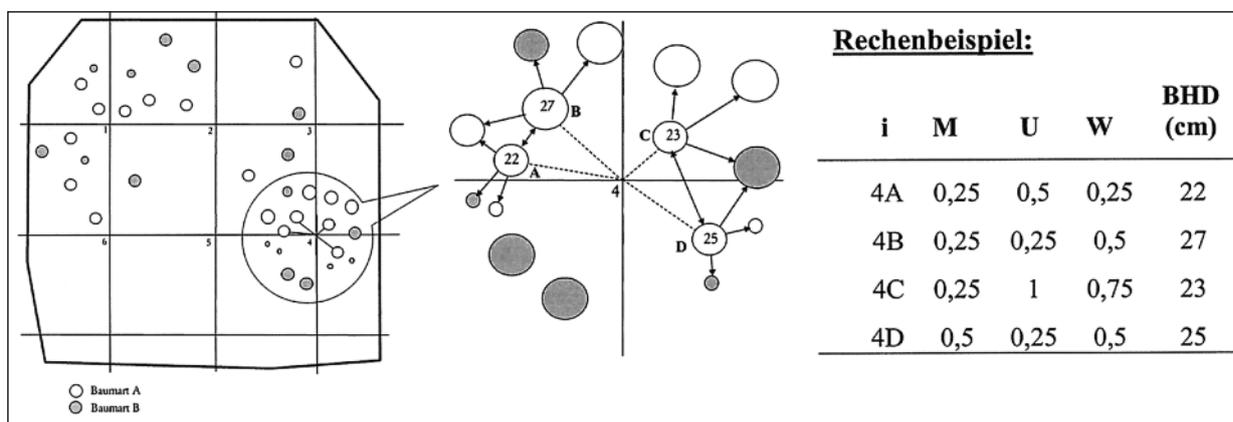


Abb. 4

Design des modifizierten Inventurverfahrens zur Strukturerefassung.
Design of the modified inventory method for assessing stand structure.

Wiederholungen (hier $n=1000$) der Stichprobensimulationen berechnet sich wie folgt:

$$rBias = \frac{B}{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x}_i - \mu) / n}{\mu} \quad [1]$$

Der mittlere quadratische Fehler (MSE) beinhaltet die beiden Fehlerkomponenten Standardabweichung und Bias. In dieser Untersuchung wird als Fehlermaß für Mittelwerte die Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers gewählt:

$$rRMSE = \frac{\sqrt{s_x^2 + B^2}}{\mu} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1) + (\sum_{i=1}^n (x_i - \mu) / n)^2}}{\mu} \quad [2]$$

3. ERGEBNISSE

Für eine bessere Einordnung der Ergebnisse der Stichprobensimulationen wurde im Bestand Bovenden 1a eine Zeitstudie der beiden Inventurverfahren durchgeführt. Die Stichprobenpunkte wurden per Schrittmaß und Bussole ermittelt. Der durchschnittliche Zeitbedarf pro Gitternetzpunkt inklusive Wegezeiten beträgt für *VG* 4,2 Minuten (ein Nullbaum) und für *KG* 11,1 Minuten (vier Nullbäume). Für die Stichprobensimulationen wird der Zeitbedarf der beiden Inventurkonzepte bei unterschiedlichen Stichprobenumfänge entsprechend hergeleitet. In den folgenden *Abbildungen 5 bis 8* sind für den geschätzten Winkelmaßmittelwert \bar{W} , die geschätzte mittlere Durchmischung \bar{M} , das geschätzte mittlere Umgebungsmaß \bar{U} und die geschätzte mittlere Einzelbaumgrundfläche \bar{g} die drei Prüfgrößen Trefferhäufigkeit ρ , relativer Bias und relativer RMSE für beide Inventurverfahren über dem Zeitbedarf aufgetragen. In den *Abbildungen* können die mit den Zeitangaben korrelierten Stichprobenumfänge entsprechend des oben aufgeführten Zeitbedarfs pro Stichprobenpunkt hergeleitet werden. Die Grafiken der sechs generierten Bestände zeigen für jeweils beide Inventurkonzepte zu jedem simulierten Stichprobenumfang die Einzelwerte der Bestände (schwarze und weiße Punkte) sowie die entsprechenden Mittelwerte (durchgezogene und gestrichelte Linie). Aufgrund der relativ geringen Datengrundlage von sechs Beständen bezogen auf die Vielfalt der in der Natur vorkommenden Strukturen kann der Mittelwert nur Tendenzen aufzeigen. In den Grafiken der vier Versuchsbestände sind die Einzelwerte jeder Fläche für *VG* und *KG* über dem Zeitbedarf von unterschiedlichen Stichprobenumfängen aufgetragen.

Generell zeigt sich für alle untersuchten Parameter, dass sich die für die generierten Bestände ergebenden Unterschiede der beiden Inventurkonzepte *VG* und *KG* und die Entwicklungstendenzen über der aufgewendeten Messzeit auch in den Ergebnissen der vier Versuchsbestände zeigen (*Abb. 5 bis 8*). Zwischen den Ergebnissen der realen Bestände sind jedoch größere Schwankungen zu beobachten als in den generierten Wäldern.

Die in *Abbildung 5* dargestellten Ergebnisse zur Schätzung des Winkelmaßmittelwertes zeigen eine klare Überlegenheit des modifizierten Inventurverfahrens mit vier geklumpten Vierergruppen (*KG*). Die herkömmliche „Strukturelle Vierergruppe“ (*VG*) weist in den generierten Beständen keine klare Tendenz der Trefferhäufigkeiten ρ bei steigendem Stichprobenumfang auf. Es ergibt sich ein mittlerer relativer Bias über 5%. Anhand der Originärdaten der Stichprobensimulationen¹ kann belegt werden, dass der Bias dabei von der räumlichen Verteilung des Bestandes abhängt (Zufall: mittlerer Bias über alle Stichprobenumfänge 5,3% bzw. 5,6%; regelm.: 3% und 3,2%; geklumpt: 6,9% bzw. 8%). Gleiches gilt auch für den rRMSE in *VG*, nämlich dass der geringste rRMSE in den bei-

den regelmäßigen Beständen mit 5,4% und 5,8% auftritt, gefolgt von den zufallsverteilten Beständen und schließlich den geklumpten Beständen mit 7,9% und 8,9%.

Im Gegensatz zu *VG* verbessert sich die relative Trefferhäufigkeit ρ bei *KG*, je mehr Stichprobenpunkte aufgenommen werden. Bei gleichem Zeitaufwand ist *KG* hinsichtlich Trefferhäufigkeit ρ und rRMSE deutlich überlegen und es ist kein nennenswerter Bias zu beobachten. Beim rRMSE der Stichprobensimulationen in den Versuchsflächen nähern sich die beiden Verfahren an. Aber nur der Bestand Bovenden 1a zeigt für *VG* eine steigende Tendenz in der Trefferhäufigkeit ρ und ein Bias scheint in ähnlicher Größenordnung wie in den generierten Beständen zu bestehen.

Für den Strukturparameter Durchmischung können keine wesentlichen Unterschiede zwischen *VG* und *KG* für die sechs generierten Bestände anhand der Grafiken in *Abbildung 6* abgeleitet werden. Die räumliche Baumartenmischung wird von beiden Inventurkonzepten ab einem bestimmten Stichprobenumfang hinreichend genau geschätzt. Im Mittel ergibt sich ein vernachlässigbarer Bias. Die Ergebnisse der Stichprobensimulationen in den vier Versuchsbeständen bestätigen diese Erkenntnisse. Sie weisen aber darauf hin, dass es zu teilweise erheblichen Schwankungen im Bias kommen kann und dass die Präzision vor allem bei geringen Stichprobenumfängen für beide Verfahren unzufriedenstellend ist. Prinzipiell hängt die Schätzgenauigkeit zum einen von der Streuung des zu erhebenden Parameters in der Grundgesamtheit ab. Außerdem wird sie auch von der Verteilung der Einzelwerte auf die Bäume, z.B. in Abhängigkeit vom Durchmesser und damit einhergehend einer eventuell unterschiedlichen Auswahlwahrscheinlichkeit, beeinflusst (LOHL et al., 1994). Die Einflussfaktoren bei der Schätzung der Durchmischung sind demnach a) die mittlere Durchmischung im Bestand, d.h. die Baumartenanteile und ihre räumliche Verteilung, und b) die artspezifischen BHD-Verteilungen. In den generierten Beständen spielt die artspezifische Belegung unterschiedlicher Baumdimensionen keine Rolle, da die Baumartenanteile bei der Bestandserzeugung auf alle Durchmesserklassen gleich verteilt wurden. Dies belegen die Originärdaten der Stichprobensimulationen. So hat z.B. Bestand A eine ganz andere Durchmesserverteilung als Bestand C, aber in beiden Fällen wird die mittlere Durchmischung schlecht geschätzt. Hingegen sind die BHD-Verteilungen von B und E sehr ähnlich, aber in B wird die Durchmischung sehr gut und in E sehr schlecht geschätzt. Anhand der Ergebnisse der generierten Bestände kann man daher schlussfolgern, dass nur die Baumartenanteile und ihre räumliche Verteilung im Bestand auf die Schätzgüte einen Einfluss haben. Dies belegen die Schätzergebnisse der von einer Baumart zahlenmäßig dominierten Bestände A, C und E, in denen erst bei relativ großem Stichprobenumfang die Trefferhäufigkeit ρ in beiden Verfahren gut ist. Und auch für die Versuchsflächen zeigt sich, dass für die beiden Bestände mit den geringsten Durchmischungswerten, nämlich Bovenden 1a und Bovenden 44a, die mittlere Durchmischung am wenigsten befriedigend geschätzt wird.

Die in *Abbildung 7* präsentierten Ergebnisse für das Umgebungsmaß sind ähnlich eindeutig wie für das Winkelmaß. Die nachbarschaftsbezogenen Dimensionsunterschiede werden bei gleichem Zeitbedarf von den jeweils vier geklumpten Vierergruppen (*KG*) deutlich exakter geschätzt als von der „Strukturellen Vierergruppe“ (*VG*). In den generierten Beständen weisen beide Verfahren keinen bedeutenden Bias auf. Die Ergebnisse der Stichprobensimulationen in den Versuchsflächen bestätigen die Vorteilhaftigkeit von *KG*. *VG* weist zusätzlich in drei der vier Bestände einen nicht zu vernachlässigenden negativen Bias auf.

Die Ergebnisse zur Schätzung der mittleren Einzelbaumgrundfläche, grafisch dargestellt in *Abbildung 8*, zeigen, dass zur Erreichung derselben Schätzgüte mit dem Verfahren *KG* deutlich mehr

¹ Die originären Simulationsdaten sind am Institut für Waldinventur und Waldwachstum gespeichert und können bei Bedarf eingesehen werden.

Winkelmaß \bar{W}

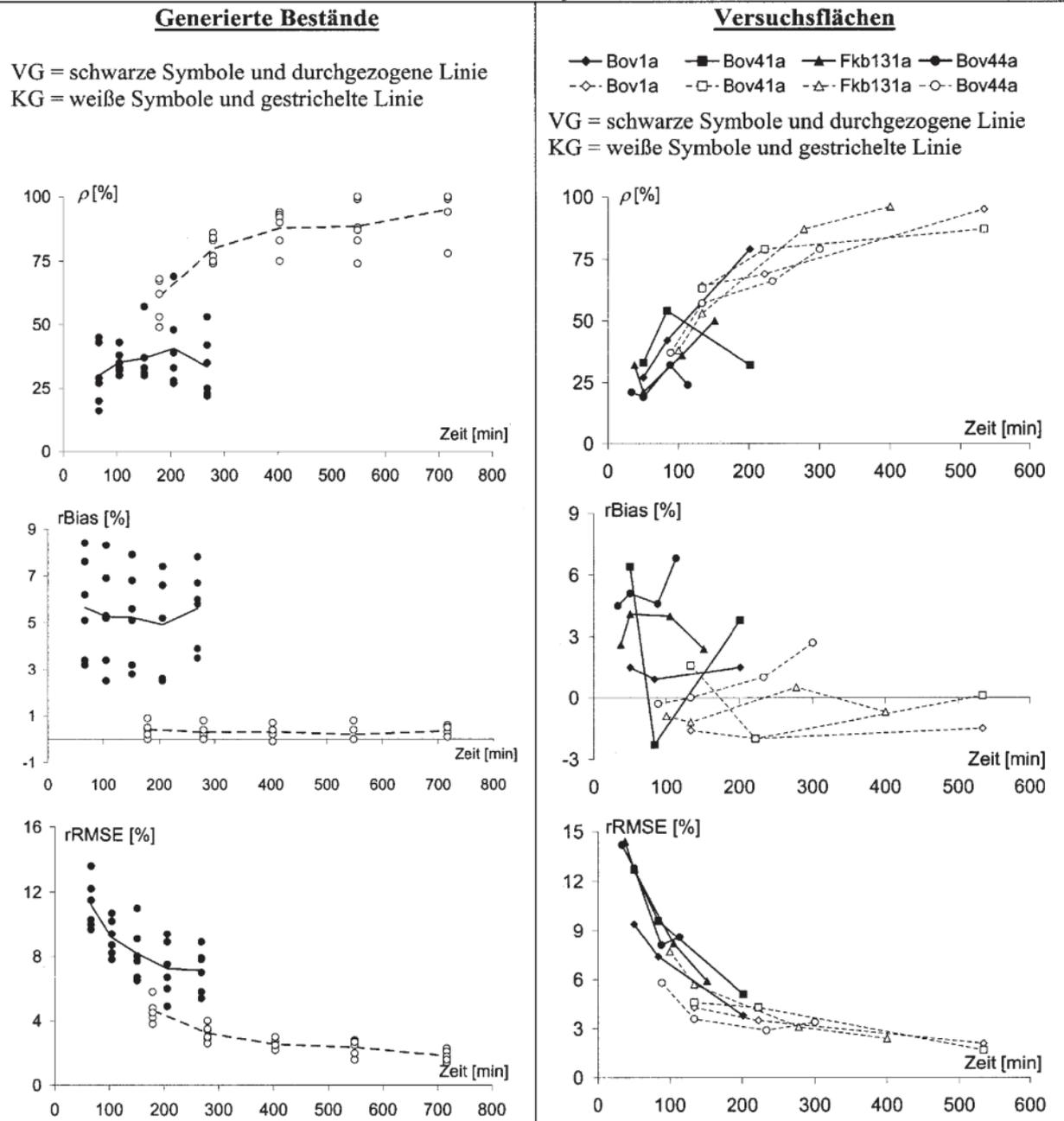


Abb. 5

Statistische Prüfgrößen der Stichprobensimulationen für den Strukturparameter Winkelmaß \bar{W} in generierten Beständen und Versuchsflächen.

Statistical measures of the sampling simulations for the uniform angle index \bar{W} in generated and trial stands.

Zeit benötigt wird. Dies gilt für die generierten und realen Bestände in gleicher Weise. Während jedoch für die sechs erzeugten Bestände kein Bias beobachtet werden kann, weist die Grundflächenschätzung auf den Versuchsflächen insbesondere für KG einen deutlichen positiven Bias auf. Dieser schwankt allerdings stark und ist bei hohen Stichprobenumfängen kleiner als 5%.

4. DISKUSSION

Eine vergleichende Analyse verschiedener forstlicher Inventurverfahren erfordert zeitintensive Feldaufnahmen. Wenn auch noch unterschiedliche Stichprobenumfänge berücksichtigt werden sol-

len, steigert sich der Aufwand bei der Datenerhebung umso mehr. Computerbasierte Stichprobensimulationen in künstlichen und realen Waldbeständen bieten eine schnelle und effiziente Alternative, Erkenntnisse zu gewinnen. Zusätzlich bietet sich die Möglichkeit, nur einzelne Einflussgrößen eines Untersuchungsbestandes, z.B. die räumliche Individualverteilung oder die Durchmesserstruktur, zu variieren. Dadurch kann die Sensitivität eines Inventurverfahrens getestet werden. Bei der Erfassung der räumlichen Bestandesstruktur ist dies von besonderer Bedeutung, da es zu zahlreichen Wechselwirkungen zwischen dem interessierenden Bestandesmerkmal und dem Inventurverfahren kommen kann.

Durchmischung \bar{M}

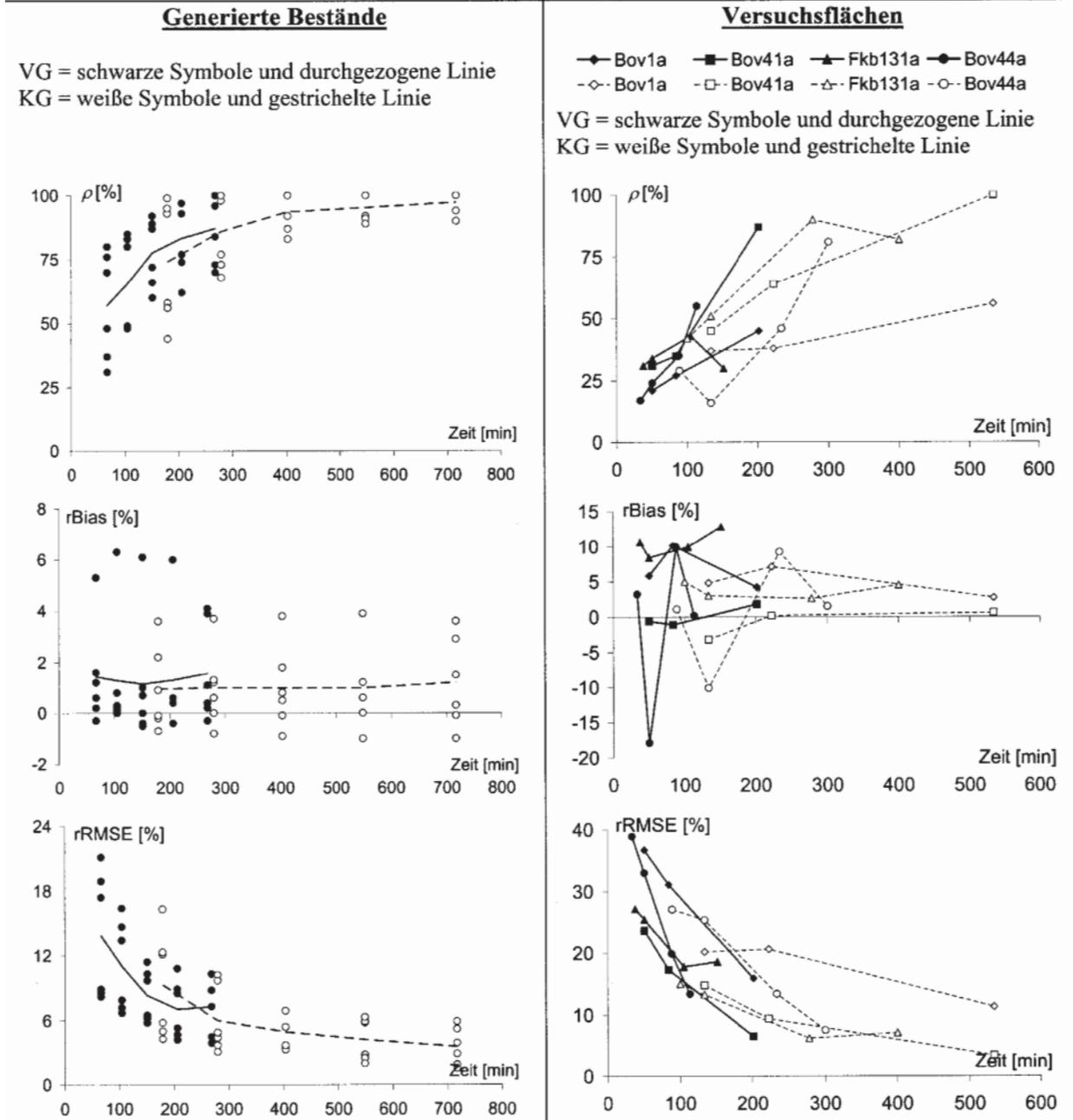


Abb. 6

Statistische Prüfgrößen der Stichprobensimulationen für den Strukturparameter Durchmischung \bar{M} in generierten Beständen und Versuchsflächen.

Statistical measures of the sampling simulations for the mingling index \bar{M} in generated and trial stands.

Der in dieser Arbeit durchgeführte Vergleich von zwei Inventurverfahren ergibt für die Struktur erfassung für die meisten der untersuchten Parameter einen deutlichen Vorteil der Klumpenstichprobe (KG) gegenüber der „Strukturellen Vierergruppe“ (VG). Beide Verfahren wählen die Nullbäume nach dem Prinzip der Abstandsverfahren aus. Während aber VG pro Stichprobeneinheit nur einen Punkt-Baum-Abstand verwendet, beruht KG auf einer 4-Baum-Stichprobe. Die bereits oben erläuterte höhere Auswahlwahrscheinlichkeit größerer Bäume in bestimmten Bestandesstrukturen kann somit bei ausschließlicher Verwendung des nächstgelegenen Baumes zu den Gitternetzpunkten zu Verzerrungen der Schätzgrößen

führen. Es ist plausibel, dass der Einfluss dieser höheren Auswahlwahrscheinlichkeit und damit die Verzerrung abnimmt, je mehr Bäume zu einem Gitternetzpunkt als Nullbäume ausgewählt werden.

Die räumliche Verteilung der Bäume im Bestand, beschrieben durch den Winkelmaßmittelwert \bar{W} , wird durch KG ohne Verzerrung und umso präziser geschätzt, je größer der Stichprobenumfang ist. Der schwerwiegende Nachteil bei VG ist das Fehlen eben dieser wichtigen Eigenschaft eines Inventurverfahrens, nämlich die Zunahme der relativen Trefferhäufigkeit ρ mit steigendem Stichprobenumfang. Dies bewirkt im konkreten Fall, dass \bar{W} mit VG

immer überschätzt wird. Außerdem kann der rRMSE im Durchschnitt auch bei hohen Stichprobenumfängen nicht unter 7% gesenkt werden. Die Ursache für den beobachteten Bias bei VG ist die erhöhte Auswahlwahrscheinlichkeit größerer Nullbäume, deren Nachbarn wie in *Tabelle 1* dargestellt ein durchschnittlich höheres Winkelmaß als der Gesamtbestand aufweisen. Da bei KG das Winkelmaß von den vier nächsten Bäumen zu einem Stichprobenpunkt erhoben wird, werden eher Individuen als Nullbäume ausgewählt, deren Durchmesser und somit auch Winkelmaßwerte eine für den Bestand repräsentative Häufigkeitsverteilung ergeben.

Zur Schätzung der Individualverteilung ist das Winkelmaß gut geeignet. In der Untersuchung von LOHL et al. (1994) lagen die Fehlerwerte bei Verwendung des CLARK und EVANS Index immer über 15% rRMSE bei einem Bias von etwa 15% bzw. 20%. Diese Größenordnungen werden sowohl von KG als auch von VG deutlich unterschritten.

Die beiden anderen untersuchten nachbarschaftsbezogenen Bestandesstrukturmerkmale, die Baumartenmischung und die Dimensionsunterschiede, können mit beiden Verfahren umso präzi-

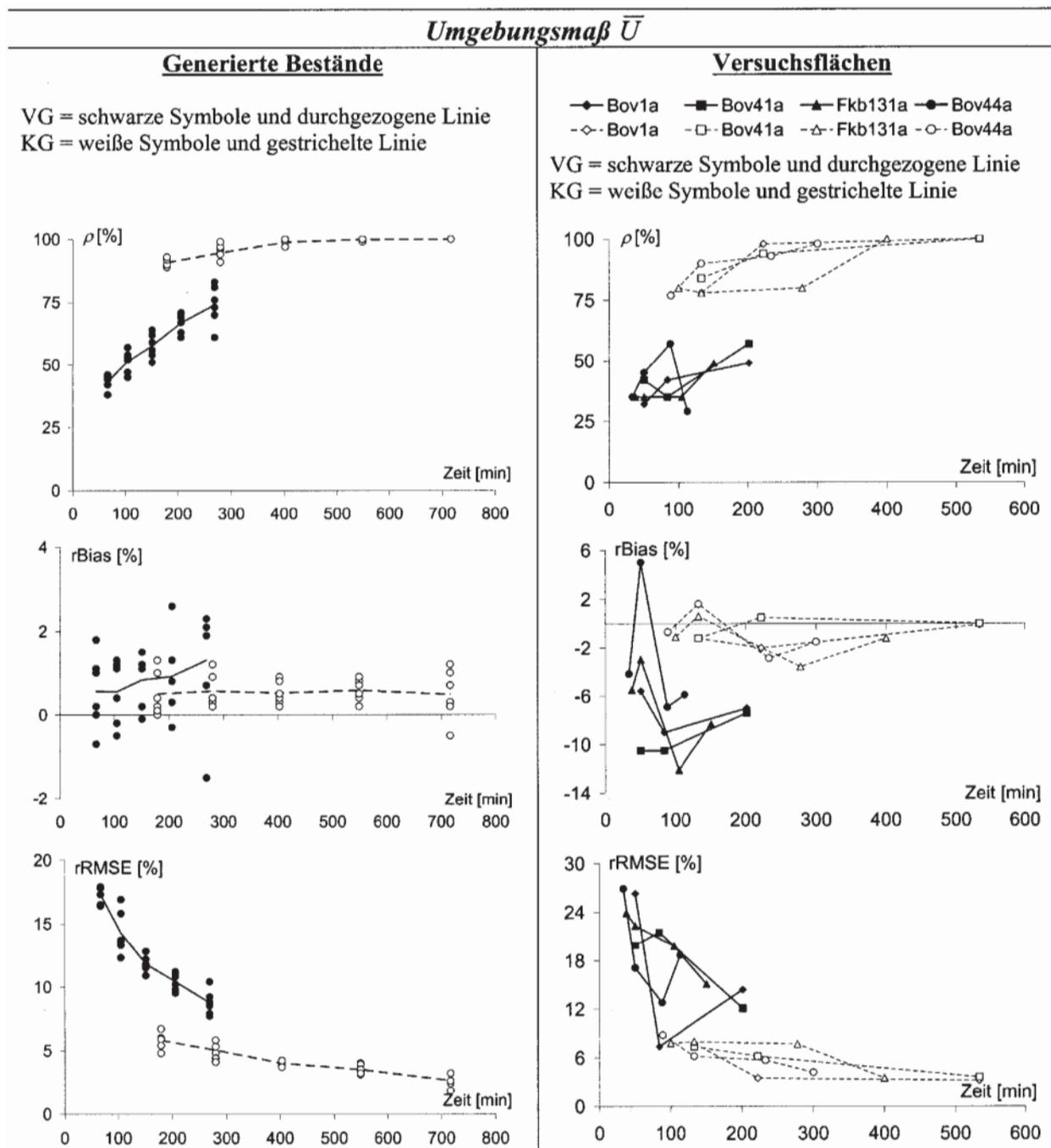


Abb. 7

Statistische Prüfgrößen der Stichprobensimulationen für den Strukturparameter Umgebungsmaß \bar{U} in generierten Beständen und Versuchsflächen.

Statistical measures of the sampling simulations for the measure of dominance \bar{U} in generated and trial stands.

ser geschätzt werden, je größer der Stichprobenumfang ist. Während für \bar{M} keine Unterschiede in der Effizienz von VG und KG festgestellt werden können, wird \bar{U} bei gleichem Zeitaufwand von KG mit geringerem $rRMSE$ geschätzt.

Die Stichprobensimulationen zur Schätzung der mittleren Einzelbaumgrundfläche \bar{g} ergaben bei gleichem Zeitbedarf eine größere Genauigkeit für VG als für KG . Beide Verfahren nähern sich aber mit steigendem Stichprobenumfang einer hohen Trefferhäufigkeit ρ bzw. einem vertretbaren $rRMSE$ unter 5% an. In den Gra-

fiken Trefferhäufigkeit bzw. $rRMSE$ über dem Zeitbedarf kommt besonders für die sechs generierten Bestände deutlich zum Ausdruck, dass sich die Kurven von KG denen von VG durch zusätzliche BHD-Messungen pro Stichprobenpunkt annähern würden (Abb. 8). Dieses schlechtere Abschneiden von KG wird dadurch verursacht, dass in der pro Stichprobenpunkt aufgewendeten Messzeit von 11,1 Minuten ein relativ großer Anteil auf die Erfassung von jeweils vier Strukturmerkmalen entfällt. Dagegen werden bei VG in 4,2 Minuten nur jeweils ein Strukturmerkmal aber ebenfalls vier Durchmesser gemessen. Das Inventurverfahren KG könnte

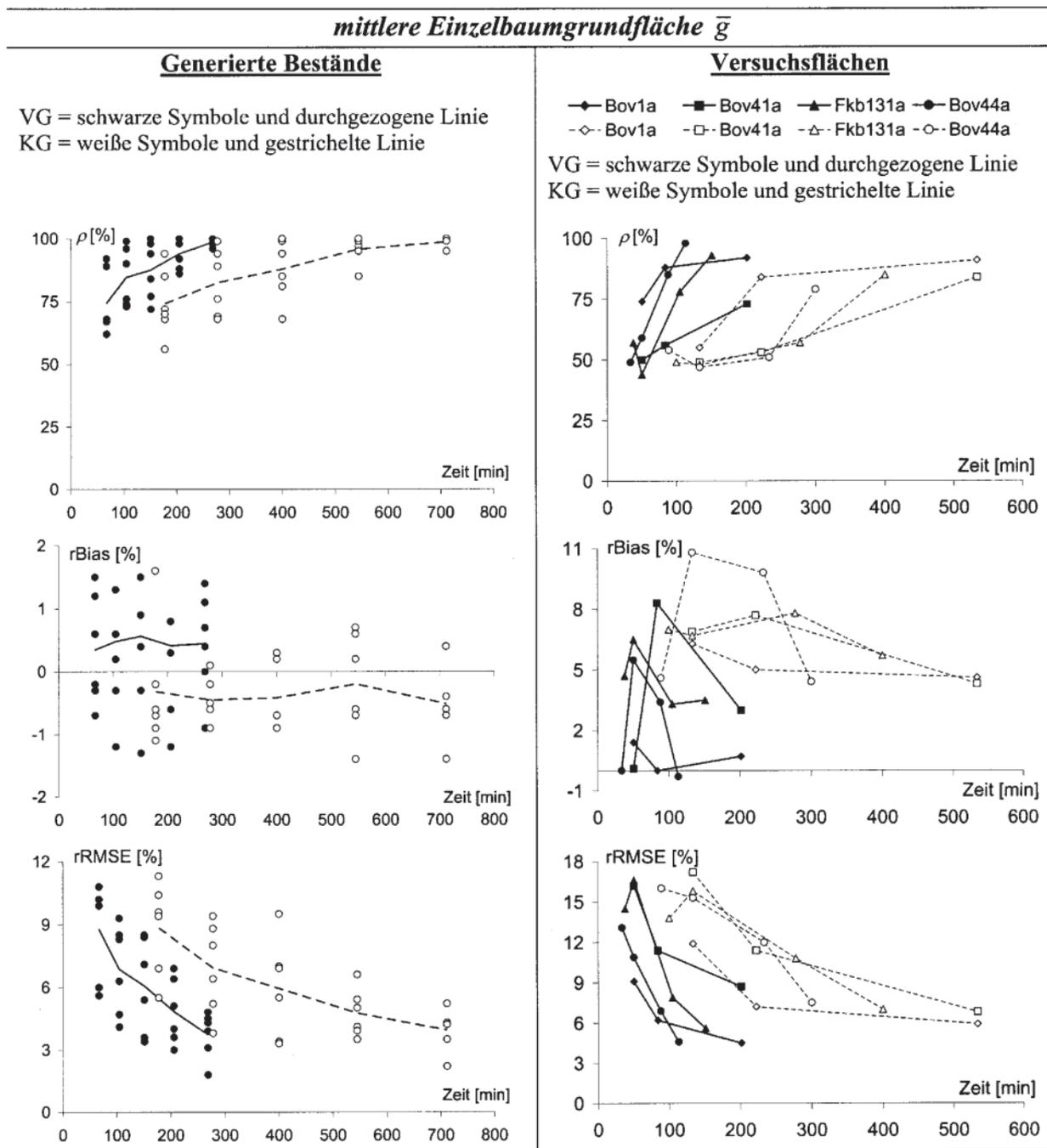


Abb. 8

Statistische Prüfgrößen der Stichprobensimulationen für die mittlere Einzelbaumgrundfläche \bar{g} in generierten Beständen und Versuchsflächen.

Statistical measures of the sampling simulations for the mean single tree basal area \bar{g} in generated and trial stands.

somit durch eine einfache Modifikation verbessert werden, indem pro Stichprobenpunkt mehr Durchmesser erhoben und die Messzeit dadurch insgesamt nur leicht erhöht wird.

Für den bei der Schätzung von \bar{g} festgestellten Bias auf den vier Versuchsflächen erscheinen zwei Erklärungsansätze plausibel. Zum einen sind alle Versuchsflächen relativ klein, und somit ist die Anzahl der Stichprobenpunkte beschränkt. KRAMER und AKÇA (1987, S. 104) empfehlen für die Grundflächenschätzung eine Stichprobengröße von 5% der Grundgesamtheit, mindestens aber 50 Stämme. Diese Empfehlung kann in den Versuchsflächen zum Teil nicht erreicht werden. Eine hohe Varianz zwischen den Stichprobenpunkten beeinflusst dabei das Ergebnis umso mehr, je geringer die Stichprobengröße ist. Die starken Schwankungen des Bias insbesondere bei geringen Stichprobenumfängen scheinen dies zu bestätigen. Ein weiterer Erklärungsansatz bezieht sich darauf, dass besonders *KG* bei geringen Stichprobenumfängen einen hohen positiven Bias in den Versuchsbeständen aufweist. Speziell in lückigen Beständen erscheint es möglich, dass *KG* überproportional viele Bäume am Lückenrand erfasst. Denn die vier nächsten Bäume zu einem in einer Lücke liegenden Stichprobenpunkt, also die zur Durchmessererfassung herangezogenen Nullbäume, stehen wahrscheinlich am Lückenrand. Geht man davon aus, dass Bäume am Lückenrand auch eher eine größere Dimension haben, so würde dies zumindest teilweise die Überschätzung erklären. Im Verfahren *VG* würde ebenso häufig wie bei *KG* der Nullbaum an einem Lückenrand zu liegen kommen, dessen Nachbarn, deren BHD ebenfalls in die Schätzung eingehen, befinden sich jedoch zumindest teilweise vom Lückenrand entfernt im Bestand. Eine Überschätzung würde hier nicht so stark auftreten. Einen Hinweis für diese intuitive Vermutung liefert Bestand Bovenden 44a mit einer geklumpten Individualverteilung, der entsprechend den höchsten Bias aufweist (Abb. 8). Dieser Erklärungsansatz muss jedoch noch näher untersucht werden.

Ein weiterer Vorteil, der für beide Inventurverfahren bei Aufnahmen im Bestand gleichermaßen zutrifft, ist der Verzicht auf zeitintensive Abstandsmessungen. Die Zeitersparnis ist dabei beträchtlich (POMMERENING und SCHMIDT, 1998). Punkt-Baum- bzw. Baum-Baum-Abstände müssen nur dann erhoben werden, wenn Nullbäume bzw. Nachbarbäume nicht zweifelsfrei identifiziert werden können. Die beiden flächenbezogenen Größen können ebenfalls ohne Abstandsmessungen über Winkelzählproben und den geschätzten d_g ermittelt werden. Das Winkelmaß zur Beschreibung der räumlichen Individualverteilung beruht wie oben ausgeführt auf der Beurteilung der vom Nullbaum zwischen seinen Nachbarn aufgespannten Winkel. Dabei kann mit Hilfe eines speziellen Messinstrumentes in Zweifelsfällen schnell überprüft werden, ob der Standardwinkel $\alpha_0 = 72^\circ$ über- oder unterschritten wird.

In einer zusammenfassenden Beurteilung ist das modifizierte Verfahren von jeweils vier geklumpten Vierergruppen (*KG*) der herkömmlichen „Strukturellen Vierergruppe“ (*VG*) in den hier untersuchten Beständen bei der Schätzung von nachbarschaftsbezogenen Strukturmerkmalen überlegen und in allen Bestandesstrukturen einsetzbar. Eine einfache Anpassung der pro Stichprobenpunkt erhobenen Durchmesser scheint aussichtsreich, um bei *KG* bestehende Defizite in der Effizienz der d_g -Schätzung beseitigen zu können.

5. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Untersuchung werden zwei Inventurverfahren, die „Strukturelle Vierergruppe“ (*VG*) (Abb. 1) und ein modifiziertes Verfahren mit jeweils vier geklumpten Vierergruppen (*KG*) (Abb. 4), zur Erfassung von Bestandesstrukturmerkmalen verglichen. Die Bestandesstruktur wird dabei über die räumliche Verteilung der Baumpositionen, die kleinräumige Baumartenmischung und die nachbarschaftsbezogenen Dimensionsunterschiede charak-

terisiert. Die Zielgrößen der Inventur sind somit der Winkelmaßmittelwert \bar{W} , die mittlere Durchmischung \bar{M} , das mittlere Umgebungsmaß \bar{U} und die mittlere Einzelbaumgrundfläche \bar{g} .

Die „Strukturelle Vierergruppe“ weist bekanntermaßen Defizite bei der Schätzung der Stammzahl und Grundfläche pro ha auf. Es wird gezeigt, dass auch Strukturmaße nicht in jedem Fall unabhängig von der vom Standraum des Einzelbaumes abhängigen Auswahlwahrscheinlichkeit bei Stichprobenziehung sind (Tab. 1). Von dem modifizierten Inventurverfahren *KG* werden verzerrungsfreie und präzise Schätzungen der untersuchten Zielgrößen erhofft.

Mit Hilfe von Stichprobensimulationen wird das modifizierte Inventurverfahren *KG* in generierten Beständen (Abb. 2) und vier Versuchsflächen (Abb. 3) *VG* gegenüber gestellt. Die Trefferhäufigkeit ρ , der relative Bias (Gl. 1) und relative RMSE (Gl. 2) dienen als statistische Prüfgrößen zur Beurteilung der Verfahrensgüte.

Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 5 bis 8 wiedergegeben. Das modifizierte Verfahren *KG* ist *VG* vor allem bei der Schätzung des Winkelmaßes (Abb. 5) und des Umgebungsmaßes (Abb. 7) in den untersuchten Beständen deutlich überlegen. Beide Verfahren erreichen ähnliche Schätzgenauigkeiten für die mittlere Durchmischung (Abb. 6). Zur Erreichung derselben Schätzgüte für die Einzelbaumgrundfläche \bar{g} wird mit *KG* deutlich mehr Zeit benötigt (Abb. 8). Eine Steigerung der Effizienz von *KG* erscheint durch Einbeziehung der Durchmesser der Nachbarbäume bei der Schätzung der Einzelbaumgrundfläche möglich.

6. Summary

Title of the paper: *Estimating neighborhood-based stand structure parameters using sampling simulation.*

This paper compares two sampling methods to assess forest stand structure, the „structural group of four“ (*VG*) (fig. 1) and a modified cluster sampling (*KG*) (fig. 4). The spatial distribution of trees, small scale differences in species mingling, and size differentiation are used to describe stand structure. The target parameters of the inventory are, therefore, the mean uniform angle index \bar{W} , the mean mingling index \bar{M} , the mean measure of dominance \bar{U} , and the mean single tree basal area \bar{g} (for definitions see fig. 1).

As experience shows the estimates of basal area and number of trees per ha are biased when applying *VG*. We also show that stand structure parameters are not in every case independent of a tree's selection probability which is linked to the tree's growing space (tab. 1). Estimates of the target parameters without bias and a higher precision are expected from the new inventory method *KG*.

Applying sampling simulation *KG* is compared to *VG* in six generated stands (fig. 2) and four trial stands (fig. 3). Statistical measures to judge the methods' performances are the frequency of estimates within a defined confidence region ρ , the relative bias (eq. 1), and rRMSE (eq. 2).

The sampling simulation results are presented in figures 5 to 8. *KG* has a clear advantage over *VG* in estimating the uniform angle index (fig. 5) and the measure of dominance (fig. 7) in the stands investigated. Both inventory methods show similar precision in estimating the mingling index (fig. 6). For estimating the mean single tree basal area \bar{g} with equal precision as *VG* the modified method *KG* is more time consuming (fig. 8). To enhance the efficiency of *KG* adjustments of the method by including diameter measurements of neighboring trees seem promising.

7. Résumé

Titre de l'article: *Simulation de placettes-échantillons en vue de l'évaluation des paramètres structuraux liés aux relations de voisinages entre arbres dans les peuplements forestiers.*

Dans l'étude présentée ici, on a comparé deux méthodes visant à déterminer les caractéristiques structurales d'un peuplement:

- le «groupe structurel de quatre» (*VG*) (*Fig. 1*)
- un procédé, modification du précédent, où l'on prend chaque fois en compte un ensemble de quatre «groupes structurels de quatre» (*KG*) (*Fig. 4*)

La structure du peuplement se trouve en fait caractérisée par la distribution spatiale des positions occupées par les arbres, le mélange des essences sur de petites surfaces et les différences de dimensions des arbres liées à leurs relations de voisinage. Par suite, les critères à retenir lors de l'inventaire sont:

- la valeur moyenne de l'indice angulaire \bar{W} ;
- la valeur moyenne de l'indice du mélange des essences \bar{M} ;
- l'indice moyen de voisinage \bar{v} ;
- la surface terrière moyenne des arbres \bar{g} ;

Le «groupe structurel de quatre» (*VG*) conduit à une sous-évaluation importante lors de l'estimation du nombre de tiges et de la surface terrière à l'hectare. On a montré que les critères structuraux – qui ne sont pas dans tous les cas indépendants de l'espace vital de l'arbre en tant qu'individu – sont aussi influencés par le choix plus ou moins judicieux fait lors du tirage des placettes-échantillons (*Tab. 1*). En revanche, avec la méthode modifiée *KG*, les estimations ne sont pas biaisées et atteignent la précision souhaitée.

En mettant en œuvre des simulations de placettes on a confronté la méthode d'inventaire modifiée *KG* dans des peuplements «générés» (*Fig. 2*) avec la méthode *VG* appliquée dans quatre placettes (*Fig. 3*). Les tests statistiques utilisés pour déterminer la validité des procédés sont la fréquence de la réussite «p», le biais relatif (Gl. 1) et le RMSE relatif (Gl. 2).

Les résultats sont donnés dans les figures 5 à 8. La méthode modifiée *KG* est nettement supérieure, dans les peuplements étudiés, à la méthode *VG*, surtout lorsqu'il s'agit de l'évaluation du critère angulaire (*Fig. 5*) et de l'indice de voisinage (*Fig. 7*). L'exactitude des évaluations est identique en ce qui concerne l'indice du mélange des essences (*Fig. 6*). Pour atteindre le même degré d'exactitude pour la surface moyenne des arbres, \bar{g} , il faut beaucoup plus de temps avec le procédé *KG* (*Fig. 8*). Il paraît possible d'améliorer l'efficacité de la méthode *KG* en introduisant le diamètre de ses voisins lorsqu'il s'agit d'estimer la surface terrière d'un arbre.

J. M.

8. Danksagung

Die Alexander von Humboldt Stiftung finanzierte den dreimonatigen Forschungsaufenthalt von Prof. Dr. HUI in Göttingen. Die Autoren danken Herrn Prof. Dr. KLAUS VON GADOW, Direktor des Instituts für Waldinventur und Waldwachstum der Universität Göttingen, für seine Unterstützung der Forschungskoooperation. Dank

gebührt auch Dr. B.W. CHEN, der das Softwareprogramm zur Stichprobensimulation immer wieder unseren Wünschen anpasste.

9. Literatur

- AGUIRRE, O., HUI, G. Y., GADOW, K. V. und JIMÉNEZ PERÉZ, J.: An analysis of spatial forest structure using neighborhood-based variables. *For.Ecol. and Mgmt* **183**: S. 137–145, 2003
- ALBERT, M.: Analyse der eingriffsbedingten Strukturveränderung und Durchforstungsmodellierung in Mischbeständen. Dissertation, Universität Göttingen. Hainholz-Verlag, Band 6: 201 S., 1999
- CLARK, P. J. und EVANS, F. C.: Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology*, Vol. 35: S. 445–453, 1954
- DAUME, S.: Durchforstungssimulation in einem Buchen-Edellaubholz Mischbestand. Dipl. Arbeit, Forstl. Fakultät der Georg-August Universität Göttingen: 103 S., 1995
- FÜLDNER, K.: Zur Strukturbeschreibung in Mischbeständen. *Forstarchiv* **66**: S. 235–240, 1995
- 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., HUI, G. Y. und ALBERT, M.: Das Winkelmaß – ein Strukturparameter zur Beschreibung der Individualverteilung in Waldbeständen. *Cbl f. d. ges. Forstw.* **115**, Heft 1: S. 1–10, 1998
- GADOW, K. V.: Waldstruktur und Diversität. *AFJZ* **170**: S. 117–122, 1999
- GADOW, K. V. und HUI, G. Y.: Characterizing forest spatial structure and diversity. *Proceedings of the SUFOR conference "Sustainable Forestry in Temperate Regions"*, 7–9 April, 2002, 2002
- HUI, G. Y. und GADOW, K. V.: Quantitative Analysis of Forest Spatial Structure. China Science and Technology Press Beijing. 182 S., 2003 (in Chinesisch)
- HUI, G. Y., ALBERT, M. und CHEN, B. W.: Reproduktion der Baumverteilung im Bestand unter Verwendung des Strukturparameters Winkelmaß. *AFJZ* **174**: S. 109–116, 2003
- HUI, G. Y. und GADOW, K. V.: Das Winkelmaß. Herleitung des optimalen Standardwinkels. *AFJZ* **173**: S. 173–178, 2002
- KÖHLER, A.: Vorratsermittlung in Buchenbeständen nach Stammdurchmesser und Stammabstand. *AFJZ* **123**: S. 69–74, 1951
- KRAMER, H. und AKÇA, A.: Leitfaden für Dendrometrie und Bestandesinventur. 2. Auflage. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main: 287 S., 1987
- KRAMER, H.: Waldwachstumslehre. Paul Parey: 374 S., 1988
- LESSARD, V., REED, D. D. und MONKEVICH, N.: Comparing n-tree distance sampling with point and plot sampling in northern Michigan forest types. *North. J. Appl. For.* **11**: S. 12–16, 1994
- LOHL, D. J., SABOROWSKI, J. und GADOW, K. V.: Simulationen zum Inventurkonzept „Strukturelle Vierergruppe“. Unveröffentl. Arbeitspapier, Fak. Forstw. und Waldökologie. 21 S., 1994
- LYNCH, T. B. und RUSYDI, R.: Distance sampling for forest inventory in Indonesian teak plantations. *For. Ecol. And Mgmt.* **113**: S. 215–221, 1999
- MEYER, P.: Bestimmung der Waldentwicklungsphasen und der Texturdiversität in Naturwäldern. *AFJZ* **170**: S. 203–211, 1999
- MEYER, P. und POGODA, P.: Entwicklung der räumlichen Strukturdiversität in nordwestdeutschen Naturwäldern. *AFJZ* **172**: S. 213–220, 2001
- POMMERENING, A. und GADOW, K. V.: Zu den Möglichkeiten und Grenzen der Strukturerefassung mit Waldinventuren. *FoHo* **55**: S. 622–631, 2000
- POMMERENING, A. und SCHMIDT, M.: Modifizierung des Stammabstandsverfahrens zur Verbesserung der Stammzahl- und Grundflächenschätzung. *Forstarchiv* **69**: S. 47–53, 1998
- POMMERENING, A.: Eine Analyse neuer Ansätze zur Bestandesinventur in strukturreichen Wäldern. Dissertation der Forstl. Fakultät der Universität Göttingen. Cuvillier Verlag, Göttingen: 150 S., 1997
- PRETZSCH, H.: Modellierung des Waldwachstums. Parey Buchverlag Berlin. 341 S., 2001
- SCHREUDER, H. T., GREGOIRE, T. G. und WOOD, G. B.: Sampling Methods for Multiresource Forest Inventory. John Wiley & Sons, Inc. New York. 446 S.,

Die Buche (*Fagus sylvatica* L.) – ein Waldbaum ohne Zukunft im südlichen Mitteleuropa?

(Mit 8 Abbildungen und 1 Tabelle)

Von H. RENNENBERG¹, W. SEILER², R. MATYSSEK³, A. GESSLER¹, J. KREUZWIESER¹

(Angenommen Juni 2004)

SCHLAGWORTER – KEY WORDS

Fagus sylvatica; Klimaänderung; globale Temperatur; regionale Temperatur; Niederschlag; atmosphärische Spurengase; Trockenheit; Staunässe; Überflutung; Forstmanagement; Forstpolitik.

Fagus sylvatica; climate change; global temperature; regional temperature; precipitation; atmospheric trace gases; drought; soil water saturation; flooding; forest management; forest policy.

1. EINLEITUNG

Forstwirtschaft findet in Mitteleuropa heute vor dem Hintergrund erheblicher wirtschaftlicher Risiken statt. Diese Risiken ergeben sich u.a. aus anhaltend niedrigen Holzmarktpreisen für Fichte und Buche. So haben die Preise für Fichtenholz bislang kaum das Niveau von 1980, die für Buchenholz kaum das Niveau von 1990 erreicht (Abb. 1). Die langen Umtriebszeiten von Fichte und Buche erhöhen zudem grundsätzlich das Risiko durch Produktionsausfall. Die Ergebnisse der Klimaforschung der vergangenen Jahrzehnte sprechen dafür, dass sich dieses Risiko in Zukunft erheblich erhöhen wird. Einbrüche der Holzmarktpreise durch hohen Holzanfall, wie sie z.B. durch die Schäden des Sturms Wiebke zu verzeichnen waren, erholen sich zudem extrem langsam, im angesprochenen Fall erst nach einer Dekade (Abb. 1). Die Erträge, die mit einer heute eingerichteten Waldfläche erzielt werden können, sind deshalb z. Zt. nur mit großen Unsicherheiten kalkulierbar. In entsprechende Modelle müssen Szenarien der zukünftigen Änderungen des Klimas und deren Konsequenzen für Wachstum und Entwicklung von Bäumen einbezogen werden (BARTELHEIMER, 2002). Vor diesem Hintergrund sind die Prognosen der Klimaforschung für die Risikobewertung in der Forstwirtschaft von zentraler Bedeutung.

2. DER KLIMAWANDEL: VERGANGENHEIT UND ZUKUNFT

Alle Klimaindikatoren, ob der Gletscherschwund in den Alpen (HAEBERLI und BENESTON, 1998; BODENBENDER, 2002), der immer frühere Austrieb der Bäume im Frühjahr (MENZEL und FABIAN, 1999), das veränderte Verhalten der Zugvögel (ZÖCKLER und LYSENKO, 2001) und die Änderung der Artenzusammensetzung in Ökosystemen (ZHOU et al., 2001; PARMESAN und YOHE, 2003) oder die Ausbreitung und Vermehrung von Schädlingen (DALE et al., 2001), zeigen eindeutig, dass sich das globale Klima auf der Erde seit dem Beginn der Industrialisierung vor ca. 140 Jahren umfassend verändert hat. Die globale Temperatur (HANSEN et al., 2001) hat in diesem Zeitraum in der bodennahen Luftschicht im Jahresmittel um 0.6 bis 0.8 °C zugenommen. Der Vergleich mit der Temperaturdifferenz von 4 bis 5 °C zwischen der heutigen Warm-

zeit und der letzten Eiszeit (PETIT et al., 1999; CLAUSEN, 2003) dokumentiert den Umfang des bereits eingetretenen globalen Klimawandels. Besorgniserregend ist die Tatsache, dass sich der Temperaturanstieg in den letzten 30 Jahren beschleunigt und dadurch die Hälfte des bereits eingetretenen Temperaturanstiegs in den letzten 30 bis 40 Jahren erfolgt ist (SV-GUA, 2003). Die in den Jahren 2002 und 2003 gemessenen globalen Temperaturen wurde in den letzten 140 Jahren nur einmal und zwar in 1998 übertroffen, als die globale Temperatur durch ein außergewöhnlich starkes El Niño-Ereignis beeinflusst worden ist. Die höchsten Temperaturzuwächse wurden in den hohen Breiten der Nordhemisphäre und hier insbesondere in den vom Menschen bewohnten kontinentalen Gebieten beobachtet (HANSEN et al., 2002). Es überrascht deshalb nicht, dass der im gleichen Zeitraum in Süddeutschland beobachtete Temperaturanstieg den globalen Trend um mehr als den Faktor zwei übersteigt (WERNER et al., 2000).

Die öffentliche Klimadiskussion konzentriert sich derzeit fast ausschließlich auf die Veränderung der Temperatur, lässt aber die durch den Klimawandel verursachte Änderung der Niederschlagsmengen und ihrer weltweiten Verteilung weitgehend unberücksichtigt, obwohl gerade diese Veränderungen die natürlichen ebenso wie die land- bzw. forstwirtschaftlich genutzten Ökosysteme maßgeblich beeinflussen. Diese Situation ist mit größter Wahrscheinlichkeit darauf zurückzuführen, dass sich die Veränderungen der Niederschlagsverteilung nur schwer prognostizieren lassen und auch die gemessenen Werte mit nicht unerheblichen Fehlern behaftet sind. Die Veränderungen der Niederschläge haben wesentlich zu der zunehmenden Anzahl von Naturkatastrophen (EM-DAT, 2002) und den damit zusammenhängenden Schäden beigetragen, die im Jahr 2002 für einen gesamtwirtschaftlichen Verlust in Höhe von 55 Mrd. US Dollar verantwortlich waren (MÜNCHNER RÜCK, 2001).

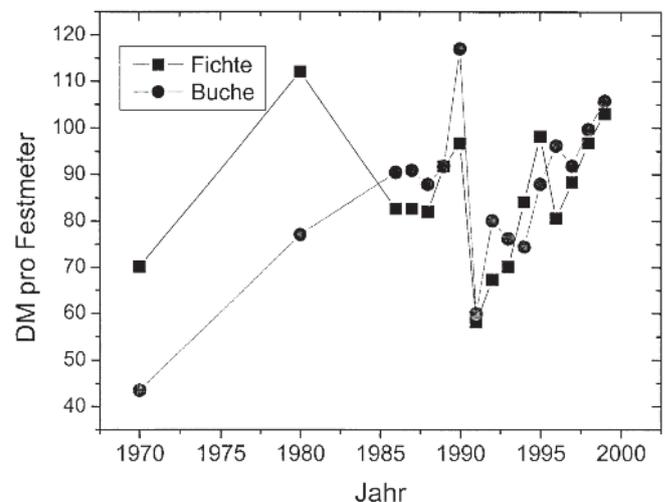


Abb. 1

Entwicklung der Holzmarktpreise in den vergangenen drei Jahrzehnten.

Development of wood market prices during the last three decades.

(STATISTISCHES BUNDESAMT, 1998).

¹ Institut für Forstbotanik und Baumphysiologie, Professur für Baumphysiologie, Albert-Ludwigs Universität Freiburg, Georges-Köhler-Allee 53/54, 79110 Freiburg

² Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK-IFU), Forschungszentrum Karlsruhe, Garmisch-Partenkirchen, Kreuzteckbahnstr. 19, 82467 Garmisch-Partenkirchen

³ Lehrstuhl für Ökophysiologie der Pflanzen, Department für Ökologie, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Technische Universität München, Am Hochanger 13, 85354 Freising

Die globale Niederschlagsmenge hat aufgrund der höheren Temperaturen und der damit verbundenen Intensivierung des hydrologischen Kreislaufs in der Atmosphäre weltweit zugenommen, weist aber eine hohe räumliche Heterogenität auf (IPCC, 2001). Die daraus resultierenden ökologischen und ökonomischen Auswirkungen werden durch die allgemein beobachtete Veränderung der saisonalen Niederschlagsverteilung sowie der Frequenz und Intensität der Niederschlagsereignisse weiter verstärkt. In Süddeutschland hat die mittlere Jahresniederschlagsmenge in den letzten 30 Jahren zwar um ca. 10% zugenommen, weist aber eine saisonale Umverteilung mit einem Zuwachs von ca. 30% im Frühjahr und einer Abnahme von ca. 20% im Sommer auf (WERNER et al., 2000).

2.1. Ursachen und weitere Entwicklung des globalen Klimawandels

Ein monokausaler Zusammenhang zwischen der Klimaänderung und den sie auslösenden Ursachen lässt sich aufgrund der Vielfalt der das Klima beeinflussenden Faktoren mit Sicherheit nicht herstellen. Nach heutigem Kenntnisstand ist der z. Zt. stattfindende Klimawandel zu etwa einem Drittel auf natürliche Prozesse, hier im Wesentlichen auf die zeitliche Variation der Intensität der Solarstrahlung, und zu zwei Dritteln auf anthropogene Aktivitäten (THEIJL und LASSEN, 2000), hier insbesondere auf Änderungen der Landoberflächennutzung, u. a. durch land- und forstwirtschaftliche Aktivitäten, sowie auf den Anstieg der Konzentrationen der Treibhausgase CO₂, CH₄, N₂O, O₃ und FCKW in der Atmosphäre (NOAA, 2001) zurückzuführen. Die Emissionen dieser Gase sind in den letzten 140 Jahren aufgrund verschiedener menschlicher Aktivitäten (Industrie, Landwirtschaft, Energieverbrauch) mit durchschnittlich 1 bis 2% pro Jahr angestiegen und haben mittlerweile zu Konzentrationswerten der Treibhausgase in der Atmosphäre geführt, die nachweislich in den letzten 450.000 Jahren zu keinem Zeitpunkt aufgetreten sind (PETIT et al., 1999). Diese Gase absorbieren die von der Erdoberfläche abgegebene Wärmestrahlung und erwärmen dadurch die bodennahen Luftschichten. Wären diese Treibhausgase nicht in der Atmosphäre vorhanden, würde sich in Bodennähe eine Temperatur von -18°C einstellen, die um mehr als 33°C von dem heutigen Wert abweicht. Eine Veränderung der Konzentrationen der Treibhausgase ist deshalb zwangsweise mit einer Veränderung des Klimas verbunden.

Aufgrund der zunehmenden Weltbevölkerung und des steigenden Energiebedarfs wird die Emission von CO₂ als dem wichtigsten Treibhausgas nach Abschätzungen der Internationalen Energieagentur (IEA) in den nächsten 30 Jahren von derzeit 25 Mrd. Tonnen auf ca. 38 Mrd. Tonnen erhöhen und damit zu einem weiteren Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre führen (IEA, 2001). Die über das Jahr 2030 hinausgehende Entwicklung der CO₂-Emissionen ist maßgeblich von den technologischen, industriellen und gesellschaftspolitischen Entwicklungen abhängig, die noch weitgehend unbekannt sind. Die möglichen zukünftigen Entwicklungspfade und die daraus abgeleiteten Emissionsszenarien sind dementsprechend mit erheblichen Unsicherheiten versehen. Die Unsicherheiten werden noch durch die bestehenden erheblichen Kenntnisdefizite über die Auswirkungen der Klimaänderung auf den natürlichen Gasaustausch zwischen der Biosphäre und der Atmosphäre (Rückkopplungsprozesse) und die damit verbundenen Änderungen der Emissions- und/oder Depositionsraten wichtiger Treibhausgase verstärkt. Werden alle im IPCC-BERICHT (2001) zusammengefassten Emissions-Szenarien berücksichtigt, ist bis zum Ende dieses Jahrhunderts mit einer weiteren Temperaturzunahme von 1.4 bis 5.8°C gegenüber dem heutigen Wert zu rechnen. Eine derartige Klimaentwicklung ist zweifelsohne mit erheblichen ökologischen, ökonomischen und sozialen Auswirkungen verbunden und macht umfangreiche Maßnahmen zum Klima-

schutz, aber auch zum Schutz vor den Folgen einer Klimaänderung (Anpassung) erforderlich.

2.2. Regionale Klimaänderungen

Um die Auswirkungen der globalen Klimaänderung abschätzen und effiziente Maßnahmen zum aktiven und vorbeugenden Klimaschutz ableiten zu können, müssen die mit Hilfe von globalen Klimamodellen erzielten Ergebnisse regionalisiert werden. Es kommen dazu regionale Klimamodelle zum Einsatz, die über eine hohe zeitliche und räumliche Auflösung verfügen und damit auch lokale/regionale Gegebenheiten berücksichtigen. Eine besondere Herausforderung ist dabei die Berechnung der regionalen Niederschlagsmenge und ihrer saisonalen und räumlichen Verteilung, die von mehreren Parametern (u. a. der Topographie, der Art und Verteilung der Vegetation, der Landnutzung) abhängig ist und deshalb starke räumliche und zeitliche Strukturen aufweist.

Die in den kommenden 30 Jahren für den süddeutschen Raum zu erwartenden und nachfolgend dargestellten Klimaänderungen wurden mit Hilfe des regionalen Klimamodells MCCM (Multiscale Climate and Chemistry Model) mit einer Gitterauflösung von ca. 10 mal 10 km und in Zeitschritten von weniger als einer Stunde berechnet (GRELL et al., 2000). Dieses regionale Klimamodell ist mit einem Boden-Vegetationsmodell gekoppelt und ermöglicht damit auch Langzeitsimulationen des für ökologische Betrachtungen wichtigen Bodenwassergehalts. Die für diese regionale Klimaprognose erforderlichen Antriebsdaten stammen aus den Simulationen des globalen Klimamodells ECHAM4 des Max-Planck-Institutes für Meteorologie in Hamburg, das bei Verwendung eines „Business as Usual“-CO₂-Emissions-Szenarios eine weitere globale Temperaturzunahme von ca. 1.0°C bis 2030 vorhersagt.

Um die mögliche Klimaänderung über Süddeutschland zu bestimmen, wurde das Klima über die Zeiträume 1991 bis 1995 (Gegenwartsklima) und 2031 bis 2035 (Zukunftsklima) berechnet und die Ergebnisse verglichen. Die dabei erzielten und nachfolgend aufgeführten Ergebnisse für Temperatur und Niederschläge sind demnach Mittelwerte über einen Zeitraum von 5 Jahren. Die Werte für einzelne Jahre können deshalb diese Mittelwerte signifikant unter- bzw. überschreiten.

Die für das Gegenwartsklima berechnete jahreszeitliche Verteilung der Temperatur schwankt zwischen ca. -2°C im Januar und

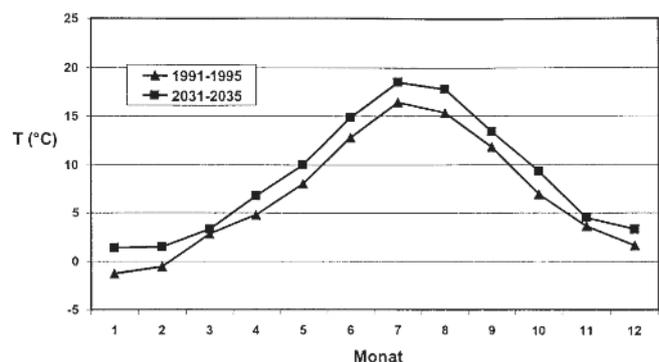


Abb. 2

Jahreszeitliche Variation der Monatsmitteltemperatur für den süddeutschen Raum; Dreiecke: Temperaturen in 1991/1995; Quadrate: die in 30 Jahren aufgrund von Modellrechnungen erwarteten Temperaturen (eigene Berechnungen; GRELL et al., 2000).

Seasonal variation in annual mean temperatures in Southern Germany; triangles: temperatures in 1991/1995; squares: expected temperatures in 30 years based on model calculations (own calculations; GRELL et al., 2000).

ca. +16°C im Juli/August (Abb. 2). Die für das Zukunftsklima berechneten Temperaturen zeigen eine nahezu gleiche jahreszeitliche Verteilung, liegen aber um durchschnittlich 2°C über den für das Gegenwartsklima berechneten Werten. Geringfügig niedrigere Temperaturzuwächse werden für den Herbst und den Spätwinter berechnet. Der für Süddeutschland bis 2030 erwartete Temperaturzuwachs ist damit nahezu doppelt so stark wie im globalen Mittel. Durch diese Temperaturzunahme verlängert sich die Vegetationsperiode um weitere 2–3 Wochen und erhöht dadurch die Gefahr von Frosteinbrüchen im Frühjahr. Gleichzeitig verschiebt sich die Vegetationsverteilung im Mittelgebirge und alpinen Raum in größere Höhen.

Im Gegensatz zur Temperaturentwicklung nimmt die über das Jahr gemittelte Jahresniederschlagsmenge in Süddeutschland nicht zu, sondern konträr zum globalen Trend um bis zu 15% ab. Der zukünftige Klimawandel erfolgt in Süddeutschland damit nicht nur erheblich schneller, sondern weist darüber hinaus noch spezifische Entwicklungsmuster auf, die bei der Bewertung der Auswirkung der Klimaänderungen und/oder Ableitung von Maßnahmen zum Klimaschutz unbedingt berücksichtigt werden müssen.

Die regionale Klimaänderung wird selbst in dem relativ kleinen Gebiet von Süddeutschland recht unterschiedlich erfolgen. Die über das Jahr gemittelte Temperatur wird nach den vorliegenden Ergebnissen im alpinen Raum stärker als im nördlichen Teil des Berechnungsgebietes (Abb. 3A) zunehmen. Im Vergleich dazu nimmt die Niederschlagsmenge im nordalpinen Raum mit ca. –10 bis –30% stärker ab (Abb. 3B). Die Anzahl der Tage mit Niederschlag wird im ganzen süddeutschen Raum zurückgehen. Dafür wird die Anzahl der Tage mit ausgeprägten Starkniederschlägen (mehr als 20 mm pro Tag) generell zunehmen. Die größten Zuwächse sind dabei im Sommer und hier insbesondere in Südbaden und am nördlichen Alpenrand zu erwarten. Daraus ergibt sich eine nahezu paradoxe Situation insofern, als die Dürreperioden im Sommer zwar generell zunehmen, aber durch die Intensivierung der Niederschläge gleichzeitig lokal/regional begrenzte Hochwassersituationen auftreten werden.

Die Temperaturänderung weist nicht nur räumliche, sondern auch starke zeitliche Strukturen auf. Während im Winter die Erwärmungsrate von Nord nach Süd von weniger als 1°C nördlich des Mains bis fast 3°C im Alpenraum (Abb. 4B) zunimmt, kehrt sich dieser Temperaturtrend in den Sommermonaten mit Werten von ca. 1.8°C im Alpengebiet und bis zu 2.4°C im Oberrheingra-

ben und im Maingebiet um (Abb. 4A). Gleichzeitig nehmen die Temperaturen in der Nacht stärker zu als am Tag. Eine noch größere räumliche und zeitliche Variabilität ergibt sich für die berechneten Veränderungen der Niederschläge. Während im Sommer der sich bereits heute abzeichnende Trend zu niedrigeren Niederschlägen weiter verstärkt (Abb. 4C), ist im Gegensatz dazu im Frühjahr mit einer deutlichen Zunahme der Niederschläge, hier insbesondere im Nordalpengebiet, zu rechnen (Abb. 4D).

Zusammenfassend ist für den süddeutschen Raum generell davon auszugehen, dass die Sommer immer wärmer und trockener werden, während im Frühjahr mit einem erheblichen Wasserüberschuss zu rechnen ist. Besonders wichtig für die Abschätzung der Folgen ist die Intensivierung des atmosphärischen Wasserkreislaufs, die mit einer Zunahme der Anzahl und Intensität der meteorologischen Extremereignisse verbunden ist. Dazu gehören Starkniederschläge, Gewitter mit Hagel, Trockenperioden, aber auch Stürme mit hohen Windgeschwindigkeiten. Die so genannten „Jahrhundertereignisse“ wie Hochwasser, Windwurf und Muren- bzw. Lawinenabgänge werden immer häufiger und intensiver auftreten. Dabei werden immer stärker solche Gebiete in Mitleidenschaft gezogen, die bisher von derartigen Extremereignissen nicht berührt worden sind und deshalb besonders empfindlich auf derartige Veränderungen reagieren.

Die Modelle sagen aufgrund der höheren Temperaturen sowie der im Sommer abnehmenden Niederschlagsmengen und der Frequenz der Niederschlagsereignisse einen Rückgang des über Süddeutschland gemittelten Bodenwassergehalts von mehr als 50% voraus. Wegen der starken Abhängigkeit des Bodenwassergehalts von den lokalen Verhältnissen, u. a. von bodenphysikalischen Parametern, können sich die aktuellen Werte vor Ort erheblich von diesem Mittelwert unterscheiden. Besonders betroffen sind dabei Gebiete mit sandigen Böden und/oder mit niedrigen Jahresniederschlagsmengen. Der Rückgang des Bodenwassergehalts verbunden mit ansteigenden Temperaturen und CO₂-Konzentrationen haben mit Sicherheit einen großen Einfluss auf die Biodiversität und damit auch auf die Stabilität der heute bestehenden naturnahen Ökosysteme.

Diese Situation wird noch dadurch verschärft, dass die Niederschläge im Sommer zunehmend nicht mehr aufgrund von Frontendurchgängen mit lang anhaltendem und großflächigem Regen erfolgt, sondern durch konvektive Prozesse, d.h. Gewitter, verursacht werden, bei denen punktuell hohe Niederschläge auftreten

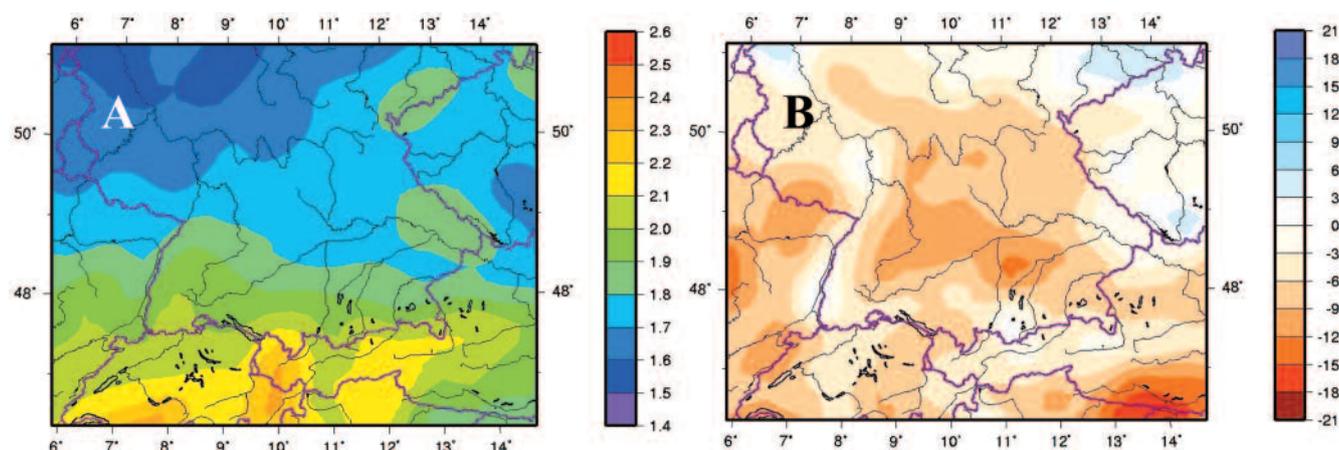


Abb. 3

Räumliche Verteilung der Jahresmittwerte für A) die Temperatur und B) die Niederschlagsmenge, die in den kommenden 30 Jahren aufgrund von Modellrechnungen erwartet werden (eigene Berechnungen; GRELL et al., 2000).

Spatial variation of annual mean temperature (A) and precipitation (B) as expected in the next 30 years based on model calculations (own calculations; GRELL et al., 2000).

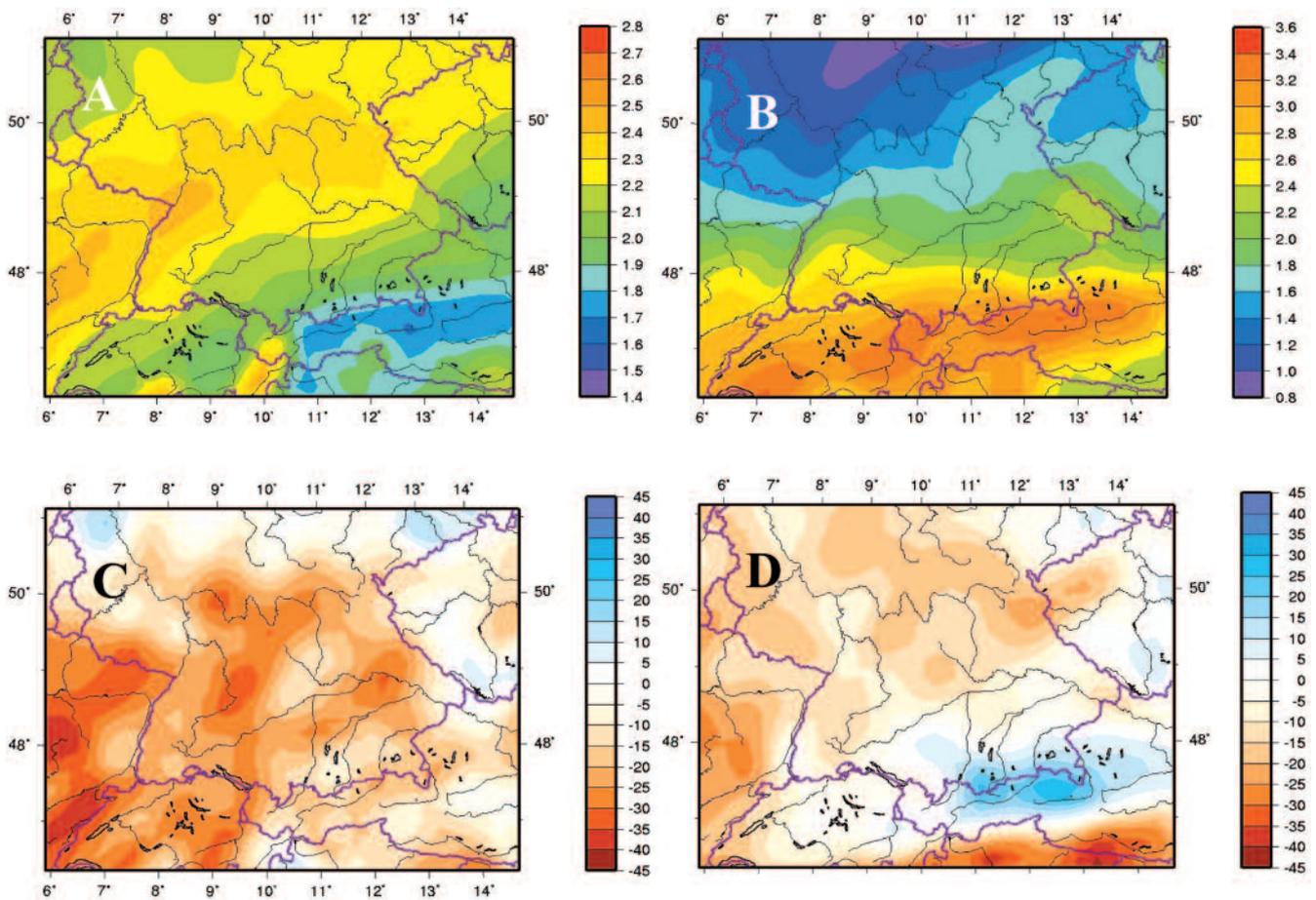


Abb. 4

Jahreszeitliche Veränderung der Temperatur (A: Sommer, B: Winter) und der Niederschlagsmenge (C: Sommer, D: Frühling), die in den kommenden 30 Jahren aufgrund von Modellrechnungen erwartet werden (eigene Berechnungen; GRELL et al., 2000).

Changes in seasonal temperature (A: summer, B: winter) and precipitation (C: summer, D: spring) as expected in the next 30 years based on model calculations (own calculations; GRELL et al., 2000).

können, während in unmittelbar angrenzenden Gebieten überhaupt kein Niederschlag fällt. Diese Entwicklung wird die Zunahme von Waldbränden begünstigen sowie eine verstärkte Vermehrung und/oder Ausbreitung von Schädlingen (u. a. Borkenkäfer, Fichtenblattwespe) verursachen, die ihrerseits wieder auf die natürlichen und land- bzw. forstwirtschaftlich genutzten Ökosysteme einwirken.

2.3. Unsicherheiten und Maßnahmen

Mit welchen Unsicherheiten die regionalen Berechnungen behaftet sind, lässt sich derzeit nicht mit Bestimmtheit sagen. Einen Hinweis auf die Qualität der Klimasimulationen geben die Vergleiche der für das Gegenwartsklima berechneten Klimagrößen mit den beobachteten Werten. Danach stimmen die berechneten Temperaturwerte sowohl hinsichtlich ihrer Absolutwerte als auch ihrer saisonalen Verteilung recht gut mit den im gleichen Zeitraum gemessenen klimatologischen Werten überein und sind damit ein gutes Indiz für die Qualität der Modellergebnisse. Demgegenüber werden die Niederschlagsmengen in den Wintermonaten gebietsweise deutlich überschätzt. Zum großen Teil sind diese Differenzen schon in den aus den globalen Klimamodellen übernommenen Antriebsdaten angelegt und können dann vom regionalen Modell kaum noch korrigiert werden. Es ist deshalb zwingend notwendig, die hier dargestellten regionalen Klimaberechnungen unter Nutzung

weiterer globaler Klimamodelle zu wiederholen und die Ergebnisse zu vergleichen.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die hier dargelegten Ergebnisse für die regionale Klimaänderung lediglich auf einem von vielen möglichen anthropogenen Emissionsszenarien basieren und weiterhin andere denkbare Eingriffe des Menschen in das regionale Klima über die nächsten 30 Jahren, u. a. durch Landnutzungsänderungen, in den vorliegenden Berechnungen ignoriert wurden. Unberücksichtigt geblieben sind auch mögliche Rückkopplungsmechanismen wie z.B. mögliche Veränderungen der Art und Verteilung der Vegetation aufgrund der erwarteten Klimaänderungen, die z. Zt. noch weitgehend unverstanden sind und dementsprechend nicht in die regionalen Modelle einfließen können.

Trotz dieser Unsicherheiten zeichnen sich eindeutige Trends für die weitere regionale Klimaänderung ab, die mit erheblichen ökologischen und sozio-ökonomischen Folgen verbunden sind und Maßnahmen zum Klimaschutz dringend erforderlich machen. Diese Maßnahmen dürfen sich nicht mehr ausschließlich auf die umfassende und weltweite Verringerung der Emissionen von klimarelevanten Spurengasen (im Rahmen des Kyoto-Protokolls) beschränken, sondern müssen in zunehmendem Umfang auch die Definition und Umsetzung von Strategien zur Adaptation an die aus der regionalen Klimaänderung resultierenden Folgen beinhalten. Dieses gilt insbesondere für die mit der Veränderung der Niederschläge

zusammenhängenden Auswirkungen, die sich insbesondere im Bereich der Forst- und Landwirtschaft bemerkbar machen werden. Die Definition derartiger Anpassungsstrategien ist dringend geboten, wenn rechtzeitig Maßnahmen zum Schutz der Gesellschaft abgeleitet bzw. bereitgestellt werden sollen.

Die Landwirtschaft wird sich aufgrund der schnellen Fruchtfolge und des Einsatzes von einjährigen Pflanzen noch verhältnismäßig schnell, wenn auch verbunden mit hohen Kosten für notwendige Umstrukturierungsmaßnahmen, an die sich ändernden Klimabedingungen anpassen können. Demgegenüber steht die langfristig planende Forstwirtschaft in Anbetracht der sich ändernden Umweltbedingungen, hier insbesondere des Klimas, der CO₂-Konzentration und des sich laufend ändernden Schadstoffeintrags aus der Atmosphäre, vor einer schwierigen Aufgabe.

3. DIREKTE WIRKUNG VON CO₂ AUF BUCHE

Ähnlich zur Risikoeinschätzung von Luftschadstoffwirkungen ist für adulte Waldbäume und Bestände der Kenntnisstand über direkte Effekte der bis zum Ende des 21. Jahrhunderts prognostizierten Erhöhung der CO₂-Konzentration in der Umgebungsluft auf ca. 600–700 ppm begrenzt (SCHLESINGER, 1997; SAXE et al., 1998; CEULEMANS et al., 1999; MATYSSEK und SANDERMANN, 2003). Dies gilt insbesondere für die CO₂-Empfindlichkeit der Buche, so dass auch hier vorwiegend auf Befunde an Jungpflanzen zurückgegriffen werden muss. Dieses Defizit ist gravierend, da sich junge von adulten Bäumen physiologisch unterscheiden, und die experimentellen Wuchsbedingungen oft erheblich von den multi-faktoriellen Freilandszenarien abweichen (KOLB und MATYSSEK, 2001). Die Möglichkeiten der Extrapolation der CO₂-Empfindlichkeit von Jung- zu Altbäumen in Waldbeständen sind daher sehr begrenzt (MEDLYN et al., 2001a). Unter diesem Vorbehalt sind auch die folgenden Ausführungen zur CO₂-Empfindlichkeit der Buche zu sehen. Werden mit dieser Prämisse Untersuchungen gesichtet, bei

denen junge Holzpflanzen unter Feldbedingungen und während mehr als einer Vegetationsperiode erhöhter CO₂-Versorgung mit künftiger Relevanz (s.o.) ausgesetzt waren, so ergibt sich für verschiedene Arten eine unterschiedliche Stimulierung von Photosynthese (MEDLYN et al., 1999) und Wachstum (oberirdisch im Mittel 30%: MEDLYN et al., 2001a). In dieser Betrachtung ist auch die Buche enthalten, allerdings wird deren Reaktion auf erwartete, erhöhte CO₂-Regime von den übrigen abiotischen und biotischen Standorteinflüssen auf komplexe Weise modifiziert.

3.1. CO₂-Wirkung in Interaktion mit weiteren Standortfaktoren

Von wesentlicher Bedeutung erscheinen hierbei die Bodeneigenschaften: In Konkurrenz mit Fichte erfuhr die Buche eine Wachstumsförderung durch erhöhte CO₂-Versorgung auf basisch-kalkhaltigem, lehmigen Sand, jedoch eine Wachstumshemmung auf saurem, sandigen Lehm, während Fichte auf beiden Bodentypen durch erhöhtes CO₂ gefördert war (SPINLER et al., 2002). Die Biomasseentwicklung wurde hierbei in beiden Baumarten nur auf dem sauren Substrat durch hohe N-Deposition unterstützt. Die N-Versorgung beeinflusste jedoch das Aufnahmevermögen für weitere Nährstoffe, welches im basischen Substrat unter erhöhter CO₂-Konzentration für beide Baumarten gefördert, jedoch in Buche bei saurer Bodenreaktion gehemmt wurde (HAGEDORN et al., 2002). Auf saurem Substrat erwies sich auch bei KOZOVITS (2003) Buche als konkurrenzschwach gegenüber Fichte, so dass erhöhte CO₂-Versorgung nur für Buche in Monokultur zur Wachstumssteigerung führte. Im ontogenetischen Verlauf zeigte Buche unter erhöhtem CO₂-Regime Wachstumseinbußen, die in Konkurrenz mit Fichte verstärkt waren. Trotz in Mischung geförderter Wurzellänge pro Wurzelmasse war das Aufnahmevermögen der Buche an Nährstoffen gegenüber Wachstum in Monokultur eingeschränkt. Auch die Ozon-Empfindlichkeit war in Mischung mit Fichte erhöht. Erhöhte

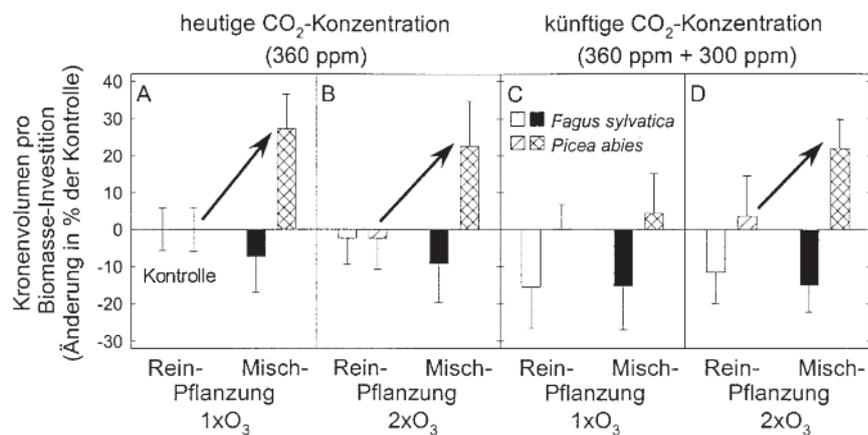


Abb. 5

Effizienz in der oberirdischen Raumbesetzung (Kronenvolumen pro Trockengewichtseinheit) in Buche und Fichte unter den Wuchsbedingungen von Rein- und Mischpflanzung (ca. 3–4 Jahre alte Jungbäume) bei Exposition unter (A) gegenwärtiger CO₂-Konzentration in Kombination mit heutiger Ozon-Belastung (Kontroll-Behandlung = 100%), (B) gegenwärtiger CO₂-Konzentration in Kombination mit verdoppelter Ozon-Belastung bis max. 150 ppb, (C) künftiger CO₂-Konzentration in Kombination mit heutiger Ozon-Belastung, (D) künftiger CO₂-Konzentration in Kombination mit verdoppelter Ozon-Belastung bis max. 150 ppb. Angegeben sind Mittelwerte ± Standardfehler. (verändert nach GRAMS et al. 2002; s. dort weitere Details des Experiments).

Efficiency of above-ground space occupation (crown volume per unit dry weight) of beech and spruce in monoculture and mixed cultivation (c. 3–4 years old trees) under (A) ambient pCO₂ and ambient ozone (control = 100%), (B) ambient pCO₂ and double ambient ozone up to a maximum of 150 ppb, (C) future pCO₂ and ambient ozone, (D) future pCO₂ and double ambient ozone up to a maximum of 150 ppb. Values shown are means ± SE. (modified from GRAMS et al. 2002; see this reference for further details of the experiment).

CO₂-Versorgung konnte Limitierung durch Ozon nur für Buche in Monokultur kompensieren (KARNOSKY et al., 2001). Als Mechanismus der sich verschlechternden Konkurrenzfähigkeit manifestierte sich die nachlassende Effizienz gegenüber Fichte, durch Biomasseinvestition im oberirdischen Konkurrenzgeschehen Sprossraum zu besetzen (Abb. 5; GRAMS et al., 2002). Der Typus der Konkurrenz (intra- versus interspezifisch) bestimmte für Buche deren Empfindlichkeit gegenüber CO₂ (und Ozon), und somit erscheinen direkte Wirkungen von CO₂ eher nachrangig (KOZOVITS, 2003; GRAMS et al., 2002).

3.2. Ontogenie der CO₂-Empfindlichkeit

Auch in weiteren Untersuchungen mit Buche zeichnete sich eine ontogenetische Abhängigkeit der CO₂-Empfindlichkeit ab: Das Wachstum war unter erhöhter CO₂-Versorgung während mehrjähriger Beobachtungszeiträume in Jungbuchen zunächst gefördert, im weiteren Verlauf klang diese Förderung allmählich ab (SPINLER et al., 2002; FORSTREUTER, 2002), was als ein allgemeiner Trend der CO₂-Wirkung gewertet wird (KÖRNER, 2003). Insgesamt war die ontogenetische Entwicklung der Buche beschleunigt (FORSTREUTER, 2002), wobei die Phänologie weniger durch CO₂ als durch das Temperaturregime beeinflusst war. Dem Entwicklungsverlauf folgend blieb der Blattflächenindex (LAI) von der erhöhten CO₂-Versorgung annähernd unbeeinflusst (SPINLER et al., 2002) oder wurde gefördert, wenn auch die N-Versorgung erhöht war (FORSTREUTER, 2002). Die Dynamik des LAI unter erhöhter CO₂-Versorgung ist bedeutsam in Hinblick auf den Zeitpunkt des Kronenschlusses während der Bestandsentwicklung, da sich ab diesem Stadium die Rahmenbedingungen für das Wachstum (verschärfte Konkurrenz um Licht) erheblich verändern und ein Abklingen der Wachstumsstimulation durch CO₂ bedingen können (KÖRNER, 2003; MEDLYN et al., 2001a). Über solche CO₂-Effekte ist für Altbestände wenig bekannt. In jungen Buchenpflanzungen war unter erhöhtem CO₂-Regime ab dem Zeitpunkt des Kronenschlusses die Kohlenstoffallokation in den Stamm gegenüber dem Laub gefördert (MEDLYN et al., 2001a). Eine nachlassende Allokation ins Laub wird als ein Trend der CO₂-Wirkung gewertet (KÖRNER, 2003). Bei der gegebenen Bedeutung der Kohlenstoffallokation zwischen grüner und nicht-grüner sowie ober- und unterirdischer Biomasse für die Wuchsleistung (STITT und SCHULZE, 1994; BAZZAZ, 1997) ist der Kenntnisstand über die involvierten Regulationsmechanismen noch immer zu begrenzt, um allgemeingültige Aussagen zur Wirkung erhöhter CO₂-Regime im Verlauf der Ontogenie erzielen zu können (MEDLYN et al., 2001a).

3.3. CO₂-Wirkung auf Bestandsebene

Im Kontext der Allokation deutet sich bei Buche eine Förderung des Feinwurzelwachstums unter erhöhter CO₂-Versorgung an, möglicherweise verstärkt durch N-Limitierung, was meist mit Steigerungen der Bodenatmung einhergeht (SPINLER et al., 2002; DYCKMANN und FLESSA, 2002; FORSTREUTER, 2002; MEDLYN et al., 2001a). Zu prüfen bleibt, ob die geförderte Wurzelentwicklung nicht eine Folge der beschleunigten Ontogenie darstellt (KÖRNER, 2003; MÜLLER et al., 2000; POORTER und NAGEL, 2000). Die Bodenatmung beeinflusst den CO₂-Austausch auf Bestandsebene. So erwies sich in jungen Pflanzungen die Photosyntheseleistung auf Bestandsebene unter erhöhter CO₂-Versorgung zwar in der Tendenz gesteigert, jedoch wurde dieser Effekt hauptsächlich durch die ebenfalls erhöhte Bodenatmung kompensiert: Dies galt für Monokulturen aus Buche ebenso (FORSTREUTER, 2002) wie für Buchen/Fichten-Mischpflanzungen (EGLI et al., 2001). Die Steigerung der Bestandsphotosynthese kann jedoch von vorübergehender Natur sein, wenn der LAI reduziert wird oder die Affinität der Photosynthese gegenüber CO₂ abnimmt („Down-Regulation“ auf Bestands- und Blattebene; auf letzterer im Mittel 10–20%: MEDLYN

et al., 1999). Eine solche „Down-Regulation“ erwies sich als unabhängig von der Provenienz der verwendeten Buchenpflanzen (EGLI et al., 2001).

Die Evapotranspiration blieb in Buchen-Monokulturen nahezu unverändert (FORSTREUTER, 2002), da sich die Stomata unter erhöhter CO₂-Versorgung zwar wie in anderen Baumarten (MEDLYN et al., 2001b) verengten, dieser Effekt jedoch durch einen erhöhten LAI ausgeglichen wurde. Die auf Blattebene gesteigerte „Water-Use Efficiency“ der Photosynthese trat auf Bestandsebene daher nicht zutage. Generell zeigten die Stomata von jungen eher als von alten Laubbäumen und unter Trockenstress eher als bei Nährstoffmangel diese Schließreaktion, wobei erhöhte CO₂-Regime das Reaktionsvermögen der Stomata gegenüber der Luft- und Bodenfeuchte sowie der CO₂-Konzentration der Luft nicht veränderten (MEDLYN et al., 2001b). Dies gilt auch für Buche, wenngleich deren Stomata in ihrer CO₂-Empfindlichkeit im Jahresgang variieren können (GRAMS et al., 1999), vielleicht abhängig von den herrschenden Licht-, Feuchte- und Nährstoffbedingungen (HEATH und KERSTIENS, 1997). Letztere Studie zeigte unter Buche bei erhöhtem CO₂-Regime, hoher Nährstoffversorgung und Trockenstress rasche Bodenaustrocknung infolge vermehrter Laubbildung und fehlender Verengung der Spaltöffnungen. Die Bodenaustrocknung verlief aber auch bei niedriger Nährstoffversorgung beschleunigt, da hier die Spaltöffnungsweiten erhöht waren. Die Kronentranspiration von Altbuchen, die experimentell erhöhter CO₂-Versorgung ausgesetzt waren, blieb dagegen – im Gegensatz zum Verhalten anderer Baumarten am gleichen Standort – weitgehend unbeeinflusst (CECH et al., 2003).

3.4. CO₂-Wirkung auf die strukturelle Qualität der Baumorgane

Qualität und Quantität des Biomassezuwachses sind von Bedeutung für Mineralisierungsprozesse auf Bestandsebene und die Stammholzproduktion. Unter erhöhter CO₂-Versorgung erwies sich die Lignifizierung in Ästen, Laub und Wurzeln der Buche reduziert oder verzögert (COTRUFO und INESON, 2000; BLASCHKE et al., 2002), was jedoch eher bei hoher als niedriger N-Versorgung der Fall war. FORSTREUTER (2002) stellte eine Abnahme der Stammlignifizierung in Buche unter erhöhtem CO₂-Regime fest. Buche zeigte im Gegensatz zur Fichte in der Holzqualität unter erhöhter CO₂-Konzentration keine Zunahme der mechanischen Belastbarkeit (BEISMANN et al., 2002). COTRUFO und INESON (2000) fanden bei verringerter Lignifizierung keinen Effekt der erhöhten CO₂-Versorgung auf den Streuabbau und folgern, dass eher eine erhöhte Streuproduktion zu einer Kohlenstoffakkumulation im Boden unter Buchenbeständen führen könnte.

3.5. Folgerungen zur Konkurrenzfähigkeit der Buche

Unter dem Vorbehalt der begrenzten Übertragbarkeit der Befunde von jungen auf adulte Bestandsbäume kommen MEDLYN et al. (2001a) auf der Grundlage einer Multi-Komponentenanalyse wachstumsrelevanter Prozesse zu der Prognose, dass erhöhte CO₂-Versorgung tendenziell auch in Buche zu erhöhter Photosyntheseleistung führen sollte, und dass hieraus eine gesteigerte Wuchsleistung zumindest der oberirdischen Organe resultieren dürfte. Voraussetzung hierfür ist aber eine nicht veränderte Allokation des assimilierten Kohlenstoffs zwischen den Baumorganen, was bisher für Altbäume kaum einschätzbar ist. KÖRNER (2003) ist in seiner Prognose zurückhaltender. Nach seiner Analyse erscheint bereits unter gegenwärtiger CO₂-Versorgung das Baumwachstum kohlenstoffgesättigt; der bauminterne Bedarf an Kohlenstoff ist offenbar physiologisch begrenzt. Somit wären potentielle Wachstumssteigerungen durch erhöhte CO₂-Versorgung eher marginal. Auch die weiterhin chronisch erhöhte Ozonbelastung (FOWLER et al., 1999) könnte eine Steigerung des Assimilationsvermögens unter erhöhter

CO₂-Versorgung zunichte machen (MATYSSEK und SANDERMANN, 2003).

Das Konkurrenzverhalten der Buche scheint unter erhöhter CO₂-Versorgung auf saurem Boden gegenüber Fichte zu leiden (SPINNLER et al., 2002), möglicherweise durch nachlassende Effizienz der oberirdischen Raumbesetzung (GRAMS et al., 2002). MEDLYN et al. (2001a) und KÖRNER (2003) vermuten eine Abnahme des LAI, insbesondere bei limitierter Nährstoffverfügbarkeit, unter erhöhter CO₂-Versorgung. Jedoch sind Auftreten und Ausmaß solcher Änderungen einschließlich der Auswirkung auf die Lichtpenetration im Kronendach (BEYSLAG, 2001) für adulte Waldbestände derzeit nicht einschätzbar. Sollte tatsächlich eine erhöhte Lichtdurchdringung resultieren, wäre allerdings ein wesentlicher Konkurrenzvorteil der Buche gefährdet – Ausschalten von Konkurrenten durch intensive Beschattung – und insbesondere auf saurem Substrat die Dominanz der Buche gebrochen (LEUSCHNER, 1998). Erhöhte CO₂-Versorgung könnte tendenziell das Fein-Wurzelwachstum der Buche steigern und damit insbesondere bei akkumulierenden Humusaufgaben und über nährstoffreichem Substrat die Konkurrenzstärke gegenüber Eiche (LEUSCHNER et al., 2001a), aber auch Fichte fördern (SCHMID und KAZDA, 2001). Voraussetzung ist jedoch, dass die erhöhte CO₂-Versorgung nicht von verschärfter Trockenheit begleitet wird (LEUSCHNER et al., 2001b).

Insgesamt wird deutlich, dass nicht die CO₂-Versorgung an sich über das Ausmaß von Wüchsigkeit und Konkurrenzverhalten der Buche entscheidet, sondern deren Interaktion mit weiteren abiotischen und biotischen Standortfaktoren. Die langfristige Wuchsreaktion der Buche auf erhöhte CO₂-Versorgung dürfte daher sehr variabel ausfallen: Förderung bis Schwächung des Konkurrenzverhaltens ist absehbar, je nach den multi-faktoriellen Einflüssen der Standorte – vor allem, wenn der Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre von Änderungen der Temperatur- und Niederschlagsregime sowie der Konkurrenz durch beigemischte Baumarten begleitet sein sollte. Es zeichnet sich ab, dass dauerhaft erhöhte und weiterhin steigende CO₂-Versorgung die Diskrepanz zwischen CO₂-Angebot und Photosynthesekapazität einerseits und dem bauminternen Bedarf an Kohlenstoff andererseits vergrößern wird (KÖRNER, 2003). Damit verschärft sich das bereits heute in den Kohlenstoff- und Stickstoffflüssen europäischer Buchenwälder (z.B. in Abbauprozessen: SCHULZE et al., 2000) erkennbare Ungleichgewicht einer gegenüber der Nutzung von Kohlenstoff- und Stickstoffressourcen erhöhten Ressourcenversorgung.

4. BEDEUTUNG DER WASSERVERSORGUNG FÜR WACHSTUM UND ENTWICKLUNG DER BUCHE

Die Buche ist in ihrer Verbreitung in Mitteleuropa vor allem durch die Bodenwasserverfügbarkeit limitiert (ELLENBERG, 1996). Das Ökogramm der waldbildenden Baumarten Mitteleuropas zeigt, dass die Buche im feuchten bis mäßig trockenen Bereich die dominierende Baumart der potentiell natürlichen Vegetation ist. Bei geringer Bodenwasserverfügbarkeit wird sie durch verschiedene Eichenarten ersetzt, im feuchten Bereich wird sie durch Arten der Hartholzau vertreten (ELLENBERG, 1996). Bei den zu erwartenden Klimaveränderungen bis Ende dieses Jahrhunderts wird die Buche auf zahlreichen Standorten, auf denen sie heute dominiert, nicht mehr in ihrem Optimum sein. Als trockenheitssensitive Baumart (BACKES und LEUSCHNER, 2000) ist zu erwarten, dass sie in ihrer physiologischen Leistungsfähigkeit, in ihrem Wachstum und in ihrer Konkurrenzfähigkeit besonders negativ durch die sich abzeichnenden Veränderungen der Umweltbedingungen beeinflusst wird (PEUKE et al., 2002).

Zum einen ist zu erwarten, dass vermehrte und verlängerte sommerliche Trockenperioden adulte Bäume und die Buchennaturverjüngung durch eine Verschlechterung der Wasserversorgung direkt

schädigen (HACKE und SAUTER, 1995); zum anderen besteht die Möglichkeit, dass mit verminderter Bodenwasserverfügbarkeit auch die Aufnahme mineralischer Nährstoffe eingeschränkt wird. Da Stickstoff (N) meist der wachstumslimitierende Nährstoff in natürlichen Wäldern ist (RENNENBERG et al., 1998), kann davon ausgegangen werden, dass sich eine Verringerung der Aufnahme dieses Nährelements auch im Wachstum niederschlägt (MARSCHNER, 1995; FOTELLI et al., 2002). Während physiologische Einzelaspekte der Sensitivität von Buchen gegenüber reduzierter Bodenwasserversorgung gut charakterisiert sind (TOPOLJANTZ und PONGE, 2000; ARANDA et al., 2001; RAFTOYANNIS und RADOGLU, 2002), fehlen Untersuchungen, die die Zusammenhänge zwischen Wasserhaushalt, Nährstoffversorgung und Zuwachs herstellen.

4.1. Fallstudien in einem Modellökosystem

Um die Konsequenzen vermehrter Trockenheit und erhöhter Luft- und Bodentemperaturen, wie sie die Klimaszenarien beschreiben, auf die Physiologie und das Wachstum von Buchen charakterisieren zu können, wurden Versuche in einem Modellökosystem auf der Schwäbischen Alb (Möhringen bei Tuttingen; Baden-Württemberg) durchgeführt. Dieses Buchenökosystem besteht aus zwei mit 70–80 jährigen Buchen bestockten Beständen, die auf zwei gegenüberliegenden Hangseiten eines schmalen Tales (Krähenbachtal) gelegen sind. Die NO-exponierte Hangseite zeichnet sich durch ein kühl-feuchtes, die SW-ausgerichtete durch ein warm-trockenes Topoklima mit um ca. 1°C erhöhten Bodentemperaturen während der Vegetationsperiode aus (Tab. 1). Während sich die mittleren täglichen Lufttemperaturen während der Vegetationsperiode zwischen den beiden Hangseiten nur wenig unterscheiden, sind die durchschnittlichen nachmittäglichen Lufttemperaturen zwischen 12:00 und 17:30 auf dem SW-Hang um mehr als 1°C höher (Tab. 1). Beide Bestände stocken auf einer Terra fusca – Rendzina. Die Wasserverfügbarkeit auf dem SW-Hang ist durch einen sehr flachgründigen Boden im Vergleich zur gegenüberliegenden Hangseite deutlich verringert (KEITEL et al., 2003). Um die Auswirkungen waldbaulicher Maßnahmen unter diesen Rahmenbedingungen untersuchen zu können, wurden 1999 zwei unterschiedlich starke Schirmhiebe auf beiden Expositionen durchgeführt. Auf dem SW-ausgerichteten Hang wurde die Bestandesgrundfläche von 20 m² ha⁻¹ auf 15 (schwacher Schirmhieb) bzw. 10 m² ha⁻¹ (starker Schirmhieb) reduziert. Auf dem NO-Hang wurden durch die Schirmhiebmaßnahmen gleiche Bestandesgrundflächen erzielt, der Ausgangsbestand wies dort jedoch 27 m² Grundfläche ha⁻¹ auf. Neben der Zunahme des Bestandesniederschlags erhöhten die waldbaulichen Maßnahmen deutlich die Bodentemperaturen und die mittleren Nachmittagstemperaturen der Luft (Tab. 1) sowie bereits ein Jahr nach der Durchführung den Bedeckungsgrad der Unterwuchsvegetation (FOTELLI et al., 2003).

Der NO-exponierte Hang besitzt alle Eigenschaften eines typischen mitteleuropäischen Kalkbuchenwaldes, dessen Bodenwassergehalt sich normalerweise nahe der Feldkapazität befindet. Die höheren Luft- und Bodentemperaturen und die geringere Bodenwasserverfügbarkeit (KEITEL et al., 2003) machen den SW-exponierten Hang zu einem Modellökosystem, mit topoklimatischen Bedingungen, die den generellen Klimabedingungen entsprechen, die für die nächsten 50 bis 100 Jahre erwartet werden (FOTELLI et al., 2003; 2004).

4.2. Auswirkungen sommerlicher Trockenheit auf den Wasserhaushalt adulter Buchen

Das Xylem-Wasserpotenzial des Sprosses ist ein Basisparameter, der als Maß für Trockenstress bei Bäumen gilt (VON WILLERT et al., 1995). Es gibt die Saugspannung an, die resultierend aus den hydraulischen Eigenschaften des Transportsystems und dem Wasserpotenzialgradienten zwischen Boden und Atmosphäre auf das

Tab. 1

Meteorologische und bodenkundliche Standortsfaktoren des Modellökosystems Möhringen während der Vegetationsperiode (Mai–September) 2000. Die meteorologischen Parameter wurden mit Hilfe von Klimastationen 1,5 m über dem Waldboden ermittelt (Quelle: Meteorologisches Institut der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg). SW: südwest exponierte Hangseite, NO: nordost exponierte Hangseite.

Meteorological and soil parameters at the model ecosystem Möhringen during the vegetation period (Mai–September) 2000. The meteorological parameters were collected at a climate station 1.5 m above ground (Source: Meteorological Institute of the Albert-Ludwigs-University Freiburg). SW: southwest aspect, NO: northeast aspect.

Exposition	NO		SW	
	Kontrolle	starker Hieb	Kontrolle	starker Hieb
Waldbauliche Variante				
Bestandesgrundfläche (m ² ha ⁻¹)	27	10	20	10
Summe* des Bestandesniederschlags (mm)	382	448	410	442
Mittlere tägliche Bodentemperatur in 0.05 m				
Tiefe (°C)	13.0	14.3	13.9	15.1
Mittlere tägliche Bodentemperatur in 0.1 m				
Tiefe (°C)	12.9	14.1	13.7	14.8
Mittleres tägliches				
Wasserdampfsättigungsdefizit der Luft (kPa)	0.43	0.41	0.43	0.39
Mittlere Nachmittagstemperatur der Luft				
(°C)**	17.1	17.6	18.3	19.2
Mittlere tägliche Lufttemperatur (°C)	13.3	13.2	13.3	13.5

* Summe des Bestandesniederschlags (mm) bezieht sich auf die Menge des Niederschlags (Kronentraufe + Stammabfluss), der den Waldboden erreicht.

** Die mittlere Nachmittagstemperatur schließt die Messwerte zwischen 12:00 und 17:30 ein.

Wasser in den Leitbahnen wirkt. Die unter Trockenstress (Boden- und Lufttrockenheit) zunehmende Saugspannung vermindert die pflanzeninterne Wasserverfügbarkeit, was sich in einer Abnahme des Sprosswasserpotenzials widerspiegelt. Bei Buche werden bei Saugspannungen < -1.8 MPa Xylemembolien und damit für die restliche Vegetationsperiode teilweise irreversible Unterbrechungen im Wassertransport festgestellt (HACKE und SAUTER, 1995). Während das Sprosswasserpotenzial auf der NO-Seite des untersuchten Modellökosystems auch in niederschlagsarmen Perioden weit oberhalb des Schwellenwerts für Embolien lag, wurden auf dem SW-exponierten Hang – dem Modell für zukünftige Standortbedingungen – in diesen Zeiträumen Wasserpotenziale bestimmt, die als Indikatoren für akuten Trockenstress und Xylemembolien gewertet werden müssen (GESSLER et al., 2001). Während regenreicher Perioden hingegen gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Hangseiten.

Die Bestimmung der natürlichen Isotopenzusammensetzung des durch Bäume assimilierten Kohlenstoffs ($\delta^{13}\text{C}$) hat für die Charakterisierung des Wasserhaushalts von Pflanzen eine große Bedeutung. Abhängig von der Öffnungsweite der Spaltöffnungen der Blätter ändert sich bei lichtgesättigter Photosynthese die CO_2 -Konzentration in den Gasräumen des Blattinnern. Der Öffnungsgrad der Stomata seinerseits hängt hauptsächlich von der Wasserverfügbarkeit des Bodens und dem Wasserdampfsättigungsdefizit der Atmosphäre ab. Mit abnehmender CO_2 -Konzentration im Blattinneren diskriminiert das Schlüsselenzym der Photosynthese, die Ribulosebisphosphat Carboxylase/Oxygenase, das schwere Kohlenstoff Isotop ^{13}C weniger stark (FARQUHAR et al., 1989). Dieses wird somit bei verringerter Wasserverfügbarkeit und dadurch stärker geschlossenen Stomata vermehrt in die organische Substanz eingebaut, was sich in einem Anstieg von $\delta^{13}\text{C}$ auswirkt. Die Analyse der C-Isotopenzusammensetzung der Zucker, die im Phloem

der Bäume transportiert werden, erlaubt die Analyse der Reaktion der Stomata auf Umweltbedingungen integrierend über einen Zeitraum von ca. 2 Tagen, da in diesem Transportsystem hauptsächlich neu assimilierte Verbindungen transportiert werden (PATE et al., 1998; GESSLER et al., 2001).

Die Analysen der C-Isotopensignaturen im Phloem der Buchen im Modellökosystem bestätigten die Befunde der Wasserpotenzialmessungen. Während niederschlagsarmer Zeiträume stiegen die $\delta^{13}\text{C}$ Werte auf der SW exponierten Hangseite auf Werte an (GESSLER et al., 2001), die sonst nur von trockengestressten Wüstenpflanzen erreicht werden (EHLERINGER und COOPER, 1986). Wie auch beim Wasserpotenzial des Sprosses beobachtet, wurden bei den $\delta^{13}\text{C}$ Signaturen im Phloem auf der feucht-kühlen NO-Seite keine deutlichen Unterschiede zwischen niederschlagsreichen und niederschlagsarmen Perioden festgestellt (GESSLER et al., 2001). Während zumindest auf dem SW-exponierten Hang die Freistellung der adulten Bäume durch die waldbauliche Behandlung während niederschlagsreicher Perioden zu einer verstärkten Öffnung der Stomata führte, konnte ein entgegengesetzter Effekt während Trockenperioden festgestellt werden (KEITEL et al., 2003). Normalerweise ist davon auszugehen, dass Schirmhiebmaßnahmen die Wasserverfügbarkeit für die verbleibenden Bäume erhöhen, weil die Bestandstranspiration durch die verringerte Bestandesdichte reduziert ist (BREDA et al., 1995). Die Befunde dieser Studie bestätigen aber Untersuchungen von CERMAK et al. (1993), bei denen festgestellt wurde, dass eine Reduktion der Bestandesgrundfläche die Wasserverfügbarkeit vor allem während Trockenperioden auch verringern kann. Hierbei spielen die vermehrte Transpiration der freigestellten Bäume und des exponierten Unterwuchses eine entscheidende Rolle.

Retrospektive Untersuchungen über einen Zeitraum von 1978 bis 1998, bei denen der Radialzuwachs mit den $\delta^{13}\text{C}$ Signaturen im

Holz der Jahrringe verglichen wurden, zeigten (1) dass die generell reduzierte Wasserversorgung der Buchen auf dem SW-Hang mit einem geringeren Radialzuwachs koinzidiert und (2) dass unabhängig von der Hangseite Jahre mit geringem Niederschlag zu verstärktem Schluss der Stomata – angezeigt durch weniger negative $\delta^{13}\text{C}$ Signaturen – führen, der sich mit einer zeitlich variablen Verzögerung in reduziertem Radialzuwachs auswirkt. Ähnliche Ergebnisse konnten auch für Altbuchen an einem anderen Kalkstandort erzielt werden (GRUBER, 2001). Der Wasserhaushalt adulter Buchen wird somit unter topoklimatischen Bedingungen, die repräsentativ für das zukünftige Klima im südlichen Mitteleuropa sein dürften, negativ beeinflusst. Mit irreversiblen Schädigungen wie Xylemembolien und mit Wachstumseinbußen muss gerechnet werden.

4.3. Auswirkungen von Trockenheit auf die Konkurrenzfähigkeit der Naturverjüngung der Buche

Untersuchungen im Modellökosystem zeigten, dass die Schirmhiebmaßnahmen auf den beiden Hangseiten unterschiedliche Auswirkungen auf den Wasser- und Nährstoffhaushalt wie auch auf den Biomassezuwachs der Naturverjüngung hatten (FOTELLI et al., 2003; 2004). Auf dem kühl-feuchten NO-Hang führte die Auflichtung zu vermehrter Wasserverfügbarkeit für die jungen Buchen sowie zu vermehrter N-Aufnahme aus dem Boden und folglich zu erhöhtem Zuwachs. Auf der warm-trockenen SW-Exposition konnten exakt entgegengesetzte Effekte beobachtet werden. Ob hierfür neben einer direkten physiologischen Schädigung der Naturverjüngung durch Trockenstress eine Verminderung der Konkurrenzfähigkeit der Buche bei nicht ausreichendem Bodenwasserangebot verantwortlich war, wurde in Versuchen unter kontrollierten Bedingungen untersucht. Als Modellkonkurrent wurde die als trockenheitsresistente bekannte schnellwüchsige Art *Rubus fruticosus* (Brombeere) der Schlagvegetation eingesetzt. In Varianten mit und ohne Konkurrenz durch *R. fruticosus* wurden einjährige Buchenkeimlinge drei unterschiedlichen Bewässerungsregimes ausgesetzt. Neben der regelmäßigen Bewässerung bis zur Feldkapazität (Variante HI) wurde das Bodenwasserpotential bei ca. -0.4 (II) bzw. -1.0 MPa (NI) konstant gehalten. Beide Varianten mit reduzierter Bewässerung führten zu einer deutlichen Reduktion der Biomasse der Buchen unabhängig davon, ob die Brombeere als Konkurrent anwesend war oder nicht. Die verringerte Wasserverfügbarkeit hatte dagegen keinen Einfluss auf die Biomasseakkumulation der Brombeere (Abb. 6). Sowohl beim Wasser- als auch beim Nährstoffhaushalt zeigte sich ein Einfluss der Anwesenheit des Konkurrenten: Das Sprosswasserpotential sank bei den Behandlungen mit reduzierter Wasserzufuhr deutlich in den Bereich, in dem Xylemembolien zu erwarten sind (FOTELLI et al., 2001). Die Stickstoffaufnahme wurde bei ausreichender Bewässerung durch den Konkurrenten nicht beeinflusst, nahm aber unter dem Einfluss der Brombeere bei reduzierter Wasserversorgung ab (Abb. 6). Während die Buche bei zunehmender Trockenheit immer weniger N aus dem Boden aufnahm, konnte die Brombeere den Anteil, der von der Buche nicht genutzt wurde, zusätzlich akquirieren und so ihre absolute N-Aufnahme erhöhen. Da N der wachstumslimitierende Nährstoff in den meisten Waldökosystemen ist, kann aus dem beobachteten Muster ein langfristiger Nachteil für das Wachstum der Buchennaturverjüngung bei Anwesenheit starker Konkurrenten und vermehrter Trockenheit abgeleitet werden.

4.4. Schlussfolgerungen aus der Fallstudie

Die Ergebnisse dieser Fallstudie bestätigen die Befunde vorheriger Untersuchungen (TSCHAPLINSKI et al., 1998; BACKES und LEUSCHNER, 2000; FRANK, 2000) und das Erfahrungswissen der Forstpraktiker, dass die Buche eine trockenheitssensitive Baumart ist. Die hier beschriebene Untersuchung kombiniert allerdings erstmals physiologische Untersuchungen mit Zuwachsmessungen an

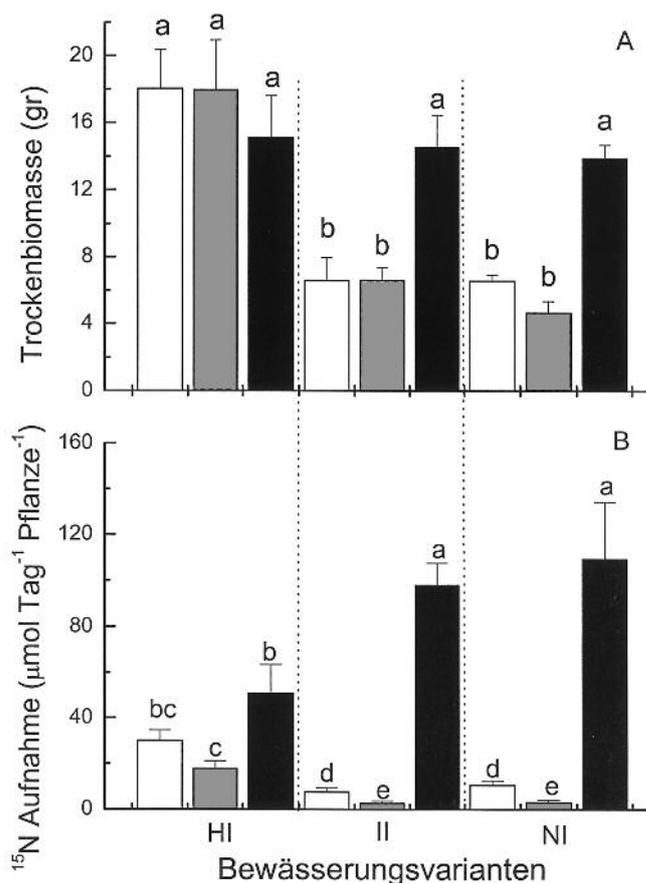


Abb. 6

Gesamtbiomasse (A) und ¹⁵N-Aufnahme (B) von Buche und Brombeere bei unterschiedlicher Bewässerungsintensität. Während eines Zeitraums von 53 Tagen wurde unter kontrollierten Bedingungen entweder bis zur Feldkapazität des Bodens gewässert (HI), oder das Bodenwasserpotential bei -0.4 (II) bzw. -1.0 MPa (NI) konstant gehalten. Die Buchen wurden entweder ohne Konkurrenten (weiße Balken) oder unter Konkurrenz von Brombeere (graue Balken) untersucht. Die schwarzen Balken zeigen die Ergebnisse für Brombeere bei Anwesenheit der Buche. Zu Beginn des Versuchs wurde der Erde ¹⁵N markiertes Nitrat zugeführt, um den aufgenommenen ¹⁵N nach 53 Tagen im Pflanzmaterial nachzuweisen. Unterschiedliche Buchstaben zeigen statistische signifikante Unterschiede auf einem 95 % Signifikanzniveau an. (für weitere Details des Versuchs s. FOTELLI et al., 2001 und FOTELLI et al., 2002).

Total biomass (A) and ¹⁵N-uptake (B) of beech and blackberry at different water supply. During 53 days the soil was watered under controlled conditions either to field capacity (HI), or to a soil water potential of -0.4 (II) and -1.0 Mpa (NI), respectively. Beech was grown either without competition (white bars) or with competition of blackberry (grey bars). Black bars show the results for blackberry in the presence of beech. At the beginning of the experiment ¹⁵N labelled nitrate was added, to trace ¹⁵N taken up into the plants after 53 days. Different letters indicate statistically significant differences at the 95 % significance level. (for further details of the experiment see FOTELLI et al., 2001 und FOTELLI et al., 2002).

einem Standort im Freiland, der als repräsentativ für zukünftige klimatische Wuchsbedingungen anzusehen ist, mit Untersuchungen unter kontrollierten Bedingungen. Auf diese Weise konnten Mechanismen der Trockenheitssensitivität der Buche aufgezeigt werden. Sowohl direkte Effekte von Trockenheit auf den Wasserhaushalt als auch indirekte Effekte reduzierter Wasserverfügbarkeit, wie eine reduzierte N-Aufnahme, sind ursächlich für die verminderte Wuchsleistung und für eine verringerte Konkurrenzfähigkeit der

Buche verantwortlich. Besonders die Beobachtung, dass waldbauliche Maßnahmen, die unter den aktuellen klimatischen Bedingungen die Naturverjüngung der Buche zu fördern vermögen, in Zukunft gegenteilige Effekte haben können, bedarf besonderer Beachtung. Aufgrund der Trockenheitssensitivität der Buche und der verminderten Konkurrenzfähigkeit insbesondere der Buchennaturverjüngung erscheint es geboten, waldbauliche Maßnahmen in Zukunft an die sich verändernden klimatischen Rahmenbedingungen anzupassen.

5. WACHSTUM UND ENTWICKLUNG DER BUCHE BEI STAUNÄSSE UND ÜBERFLUTUNG

Aufgrund der prognostizierten höheren Niederschlägen in Winter und Frühling wird besonders auf Waldstandorten mit hohem Tonanteil künftig vermehrt Staunässe auftreten. Staunässe und überflutete Böden sind sauerstoffarm, da die sauerstoffreiche Luft von Wasser aus den Porenräumen verdrängt und der Sauerstoffeintrag gegenüber gut durchlüfteten Böden dramatisch reduziert ist. In Abhängigkeit von Anpassungsvermögen, Entwicklungszustand und Umweltbedingungen unterscheiden sich verschiedene Baumarten sehr stark in ihrer Empfindlichkeit gegenüber Sauerstoffmangel. Während Eschen und Stieleichen eine hohe Toleranz aufweisen und über 100 Tage (adulte Eichen) bzw. über drei Monate (junge und adulte Eschen) starke Überflutung ohne sichtbare Schäden überleben können (SPÄTH, 1988; FRYE und GROSSE, 1992; SIEBEL et al., 1998), reagieren Buchen und insbesondere die Naturverjüngung der Buche sehr viel empfindlicher (SPÄTH, 1988). Die typische Klimaxbaumart Buche gilt deshalb gegenüber Staunässe und Überflutung als eher intolerant (ELLENBERG, 1996; GORZELAK, 2000).

5.1. Sichtbare Schäden bei Überflutung und Staunässe

Die Entstehung von Schäden durch Staunässe kann sehr gut an Standorten beobachtet werden, an denen durch Änderung der

Landnutzung Buchen artifiziell Überflutungsereignissen ausgesetzt werden. Dies trifft z.B. für bewaldete Hochwasserrückhalteräume zu. An diesen Standorten stellt Buche die Baumart mit den auffälligsten Schadenssymptomen dar. Schon nach wenigen kurz andauernden Einstauereignissen werden sehr häufig nekrotische Verfärbungen der Belaubung beobachtet (Abb. 7; SITTLER und ZÄHRINGER, 1999). Daneben treten aufgrund der Überflutung zu späteren Zeiten Rindenrisse auf (Abb. 7), die zum Absterben einzelner Bäume führen können. Solche Rindenschäden treten nicht nur unterhalb, sondern auch oberhalb der maximalen Stauhöhe auf, was auf eine Beeinträchtigung des gesamten Baums und nicht nur der direkt betroffenen Bereiche schließen lässt. Anders als bei Eschen scheinen junge Buchen deutlich anfälliger gegenüber Staunässe und Überflutung zu sein als ältere Bäume. Vor diesem Hintergrund ist auf Staunässe gefährdeten Standorten die Etablierung von Buchensämlingen gegenüber anderen Baumarten erschwert. Die beschriebenen Schäden werden teilweise auch bei anderen Baumarten wie Stieleiche und Esche, allerdings in weitaus schwächerem Ausmaß beobachtet (GILL, 1970; DISTER, 1983; SPÄTH, 1988; BIEGELMAIER, 1993; 2002).

5.2. Wachstum und Biomasseproduktion unter dem Einfluss von Staunässe

Der Einfluss von Staunässe auf das Wachstum adulter Bäume wurde bislang kaum untersucht. Bei adulten Pappeln konnte ein verlangsamtes Dickenwachstum mit ansteigender Wasserhöhe beobachtet werden (KERN, 1970; 1979). Ergebnisse mit Sämlingen verschiedener Baumarten belegen eine Beeinträchtigung von Wachstum und Biomasseproduktion, allerdings in stark unterschiedlichem Ausmaß. Gerade Buchensämlinge reagieren auf Überflutung mit einem starken Rückgang des Zuwachses, der Gesamtbiomasse und mit einer Reduktion der Gesamtblattfläche (LEVY et al., 1986; SCHMULL und THOMAS, 2000). Stieleichen zeigen infolge einer ersten Überflutung zwar auch eingeschränkte



Abb. 7

Typische Rinden- (links) und Blattschäden (rechts) bei Buchen nach mehrtägiger Überflutung. Die abgebildeten Buchen befinden sich im Hochwasserrückhaltebecken Dietenbach in der Nähe der Stadt Freiburg.

Typical bark (left) and leaf damages (right) of beech after several days of flooding. The beech trees shown are located at the water retention area Dietenbach close to Freiburg.

Wachstumsraten, können sich aber offensichtlich im Gegensatz zu Buche an mehrmalige Überflutungsereignisse anpassen (SCHMULL und THOMAS, 2000). Als Folge von Überflutung tritt bei Buche eine verringerte Ausbildung von Knospen auf, die zudem später austreiben als bei nicht überfluteten Kontrollen. Auch diese Effekte sind bei Stieleiche weit weniger stark ausgeprägt (SCHMULL und THOMAS, 2000).

Neben der oberirdischen Biomasse sind von Staunässe vor allem Wurzelwachstum (KÖSTLER et al., 1968; KOZLOWSKI, 1984; DREYER, 1994) und Vitalität der Wurzeln (LYR, 1993) betroffen. Als Konsequenz wird bei Buche eine Reduktion des Wurzel/Blatt-Verhältnisses beobachtet (SCHMULL und THOMAS, 2000). Neben der Aufrechterhaltung des Wurzelwachstums und der Wurzelfunktionen ist die Neubildung von aerenchymreichen Adventivwurzeln ein wichtiges Merkmal von Überflutungstoleranz (VARTAPETIAN und JACKSON, 1997; BLOM und VOESENEK, 1996). Während Stieleichen eine moderate Fähigkeit zur Adventivwurzelbildung besitzen (COLIN-BELGRAND et al., 1991; FRYE und GROSSE, 1992; SIEBEL et al., 1998), trifft dies auf Buchen überhaupt nicht zu (SCHMULL und THOMAS, 2000).

5.3. Nährstoffversorgung bei Überflutung

Die Nährstoffversorgung von Buchensämlingen ist bei Staunässe und Überflutung stark eingeschränkt. So wurde eine Reduktion der Kaliumkonzentrationen in den Blättern beobachtet (SCHMULL und THOMAS, 2000). In besonderem Maße ist die Ernährung mit Stickstoff betroffen (KREUZWIESER et al., 2002), der als limitierendes Makro-Nährelement von entscheidender Bedeutung für Wachstum und Entwicklung von Bäumen ist. Im Gegensatz zu überflutungstoleranten Pappeln und Stieleichen, bei denen die Stickstoffaufnahme durch Staunässe weitgehend unbeeinflusst bleibt, sind Nitrat- und Ammoniumaufnahme bei Buchenwurzeln drastisch reduziert (KREUZWIESER et al., 2002). Bei überflutungstoleranten Baumarten kann es zudem nach Beendigung des Stauereignisses zu einer kurzfristigen Regeneration der Aufnahmeraten kommen, die

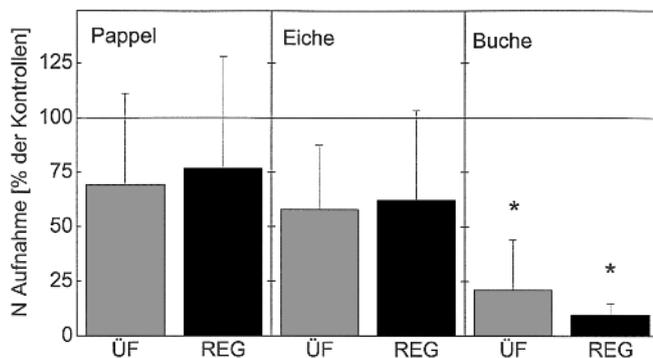


Abb. 8

Effekt von Überflutung auf die Stickstoffaufnahme von *Populus tremula* x *P. alba*, *Quercus robur* und *Fagus sylvatica*. Dargestellt sind die Aufnahmeraten (\pm Standardabweichungen) von 14 Tage überfluteten (ÜF) Bäumen und Bäumen, die nach Beendigung 14-tägiger Überflutung für 7 Tage normal bewässert wurden (REG) im Vergleich zu nicht überfluteten Kontrollen (100% Linie). *, statistisch signifikanter Unterschied im Vergleich zur Kontrolle auf einem 95% Signifikanzniveau. (Daten berechnet nach: KREUZWIESER et al., 2002).

Effect of flooding on nitrogen uptake of *Populus tremula* x *P. alba*, *Quercus robur* and *Fagus sylvatica*. Data shown are uptake rates (\pm SD) after 14 days of flooding (ÜF), after 14 days of flooding and 7 days recovery (REG) in relation to non-flooded controls (100%-line).

*, statistically significant differences to the control at the 95% significance level. (Date calculated from: KREUZWIESER et al., 2002).

bei Buche zunächst vollständig ausbleibt und auch später nur partiell erfolgt (Abb. 8). In Einklang mit der verschlechterten Stickstoffaufnahme ist bei Staunässe auch der Aminosäurepool bei Buche stark reduziert. Damit besitzen Buchen bei Auftreten zusätzlicher Stressoren nur einen geringen Spielraum für Abwehrreaktionen, die eine Synthese neuer Proteine erforderlich machen. Dies dürfte nur auf Kosten des Abbaus anderer Proteine erfolgen können.

5.4. Kohlenstoffhaushalt und Überflutung

Aufgrund des Sauerstoffmangels im Boden ist der Kohlenstoff- und Energiehaushalt überfluteter Bäume stark beeinträchtigt (KOZLOWSKI, 1984). Der Energiestoffwechsel wird in der Regel von Respiration auf alkoholische Gärung umgeschaltet. Da die Energieausbeute der Gärung weitaus ineffizienter ist als die der Atmung, benötigen die Zellen überfluteter Bäume deutlich mehr Kohlenhydrate pro Zeiteinheit, um bei gleicher physiologischer Aktivität den Energiestatus aufrechterhalten zu können. Überflutung führt daher bei sensiblen Pflanzen häufig zu einer Verarmung an Kohlenhydraten und zu einem Einbruch der Energieversorgung (VARTAPETIAN und JACKSON, 1997) was zu einer Unterdrückung endergonischer Prozesse, wie z.B. der Nährstoffaufnahme führen kann (BERTANI und REGGIANI, 1991). Bei Buchen führt Überflutung zu einer starken Reduzierung der Zuckergehalte in den Wurzeln, während sie in den Blättern akkumulieren. Ähnliche Effekte werden auch in den Blättern anderer Baumarten gefunden (GRAVATT und KIRKBY, 1998) und mit einem reduzierten Phloemtransport von Photoassimilaten in die Wurzeln erklärt. Bei überflutungstoleranten Pappeln führt dagegen selbst lang andauernde Überflutung zu keinerlei Verarmung oder Veränderung der Gehalte an löslichen Zuckern oder an Speicher-Kohlenhydraten; zudem ist auch das Wachstum dieser Bäume kaum verändert.

Auch im Gaswechsel bestehen große Unterschiede zwischen Buchen, Stieleichen und Pappeln bei Überflutung. Während Pappeln überflutungsbedingt nur geringfügig reduzierte Photosyntheseraten aufweisen, bricht die CO_2 -Assimilation bei Buche nach 14-tägiger Überflutung gegenüber Kontrollen stark (90%) ein (DREYER, 1994). Bei Eichen werden bei Überflutung ebenfalls deutlich reduzierte Photosyntheseraten beobachtet (WAGNER und DREYER, 1997; DREYER, 1994), die sich nach Wiederbelüftung des Bodens allerdings rasch regenerieren. So liegen die Photosyntheseraten eine Woche nach Beendigung der Überflutung sogar um ca. 250% höher als bei Kontrollen, während die Buche eine mit den Kontrollen vergleichbare Photosyntheseleistung nicht einmal annähernd erreicht (20% der Kontrollen) und erst im Folgejahr nach dem Neuaustrieb eine vollständige Regeneration beobachtet wird. Die negativen Effekte von Überflutung auf Wachstum und Nährstoffaufnahme von Buchen gehen somit mit einer Reduktion der Photosyntheseleistung einher, die möglicherweise auf einen Assimilat-Stau in den Blättern zurückzuführen ist.

6. FORSTPOLITISCHE RAHMENBEDINGEN UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Obwohl die Buche somit weniger als andere Baumarten von der Zunahme des atmosphärischen CO_2 Gehalts profitiert und durch die mit dieser Zunahme verbundenen Veränderung der Niederschlagsverteilung, i.e. Zunahme von Sommertrockenheit und Starkregenereignissen in Frühjahr und Herbst, in Wachstum und Entwicklung beeinträchtigt ist, wird die Buche bei der Umwandlung von gleichaltrigen Fichten-Monokulturen in altersstrukturierte Mischbestände aufgrund forstpolitischer Entscheidungen auch in Süddeutschland einseitig gegenüber anderen Baumarten bevorzugt (SCHRAML und VOLZ, 2003). Diesen Entscheidungen liegen einerseits die gegenwärtige Ertragslage, andererseits die zunehmende Beachtung von Gesichtspunkten des Naturschutzes zugrunde, die

der Buche als potentiell natürlicher Vegetation Vorrang einräumen. Die prognostizierte Klimaentwicklung scheint bei diesen Entscheidungen dagegen nur eine untergeordnete Rolle zu spielen. Als Konsequenz ist bereits heute eine Zunahme der Buche gegenüber anderen Baumarten nachweisbar (MOOSMAYER, 2002). Dabei erscheint die Zunahme des Anteils der Buche an der Waldfläche Baden-Württembergs von 20% auf 25% in den Jahren 1987 bis 1999 zunächst gering. Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass in diese Abschätzung nur Bäume ab 10 cm Durchmesser einbezogen und die Buche durch Aufforstungen gerade in den letzten Jahren besonders gefördert wurde. Der Wert von 5% Zunahme stellt deshalb eine deutliche Unterschätzung der wirklichen Situation dar. In der langfristigen Planung für das Land Baden-Württemberg ist ein Buchenanteil von 32% vorgesehen (MOOSMAYER, 2002). Damit wird die Buche in diesem Bundesland langfristig einen größeren Anteil an der Waldfläche haben als die Fichte.

Die einseitige Förderung der Buche beim Umbau von gleichaltrigen Fichten-Monokulturen in altersstrukturierte Mischbestände und bei anderen waldbaulichen Maßnahmen ist aufgrund der beobachteten und der prognostizierten Klimaänderung in Süddeutschland mit einem hohen Risikopotential verbunden, da die Konkurrenzfähigkeit der Buche unter diesen Bedingungen bereits jetzt an Extremstandorten reduziert ist und in den kommenden Jahrzehnten an diesen und anderen Standorten weiter reduziert werden dürfte. Die derzeitige forstpolitische Praxis der einseitigen Förderung der Buche dürfte sich deshalb mit großer Wahrscheinlichkeit negativ für eine nachhaltige Waldentwicklung in Süddeutschland auswirken.

Für die forstliche Praxis ergibt sich insofern Handlungsbedarf, als es dringend geboten erscheint, bei besonders klimasensitiven Lagen auf den Einsatz der Buche zu verzichten bzw. bestehende Buchenbestände in solchen Lagen umzubauen. Damit stellt sich aber auch die Frage, auf welche alternativen Baumarten dabei zurückgegriffen werden sollte.

Die Buche weist ein weites Verbreitungsgebiet auf, in dem sich eine Vielzahl von Ökotypen unterschiedlicher Sensitivität gegenüber Umweltparametern entwickelt haben. Dabei konnte eine große Variabilität innerhalb und zwischen Ökotypen nachgewiesen werden (NIELSEN und JORGENSEN, 2003). Es besteht deshalb die Möglichkeit, dass Ökotypen aus dem Bereich der südlichen Verbreitungsgrenze der Buche durchaus der prognostizierten Klimaentwicklung in Süddeutschland gewachsen sind und deshalb bevorzugt bei waldbaulichen Maßnahmen in Süddeutschland eingesetzt werden sollten. Eine Beimischung von Trockenstress- und Überflutungstoleranten Baumarten, z.B. verschiedenen Eichenarten, könnte die mit der prognostizierten Klimaentwicklung verbundenen Risiken in der Forstwirtschaft weiter vermindern. Die Wirksamkeit solcher Maßnahmen kann allerdings derzeit noch nicht abgeschätzt werden, da entspr. Untersuchungen quasi vollständig fehlen. Hierzu besteht deshalb akuter Forschungsbedarf.

7. DANKSAGUNG

Die Untersuchungen an Buche in einem Modellökosystem auf der Schwäbischen Alp bei Tuttlingen wurden im Rahmen des SFB 433 mit finanzieller Unterstützung durch die Deutschen Forschungsgemeinschaft und das Ministerium für Wissenschaft und Kunst des Landes Baden-Württemberg durchgeführt. Den Drs. A. R. KOZOVITS und T. E. E. GRAMS sei gedankt für die Zusammenarbeit und konstruktiven Diskussionen bei der Erarbeitung der in Abb. 5 gezeigten Befunde. Dank gilt auch Dr. H. BLASCHKE für die Assistenz bei der Literaturrecherche.

8. ZUSAMMENFASSUNG

Seit Beginn der Industrialisierung ist es global zu einer Zunahme der mittleren Temperatur in Bodennähe sowie zu einer Verände-

rung von Niederschlagssummen und Niederschlagsverteilung gekommen. Diese globale Klimaänderung hat sich in den letzten Jahrzehnten in besonderem Maße in den kontinentalen Gebieten der Nordhemisphäre ausgewirkt. Regionale Klimamodelle prognostizieren, dass sich diese Entwicklung in Süddeutschland besonders bemerkbar machen wird (Abb. 2 bis 4). Die Buche (*Fagus sylvatica* L.) als eine der wichtigsten Waldbaumarten in Süddeutschland ist vor allem von der veränderten Niederschlagsverteilung mit zunehmender Sommertrockenheit und zunehmender Staunässe aufgrund von Starkregenereignissen in Herbst und Frühjahr betroffen (Abb. 6 bis 8). Als Trockenstress- und Überflutungssensitive Baumart ist die Buche an Extremstandorten schon heute von reduziertem Wachstum und reduzierter Konkurrenzfähigkeit vor allem auch der Naturverjüngung betroffen. Diese Entwicklung wird sich in den kommenden Jahrzehnten fortsetzen und wahrscheinlich verstärken. Die Konkurrenzfähigkeit der Buche wird auch dadurch weiter reduziert, dass sie weniger als andere Baumarten von der zunehmenden atmosphärischen CO₂-Konzentration profitiert (Abb. 5). Im Widerspruch zu diesen naturwissenschaftlichen Befunden haben forstpolitische Entscheidungen zu einer einseitigen Förderung der Buche geführt. Die daraus resultierende derzeitige forstliche Praxis dürfte sich angesichts der Klimaprognosen für Süddeutschland auf eine nachhaltige Waldentwicklung negativ auswirken. Der aktuelle Handlungs- und Forschungsbedarf wird diskutiert.

9. Summary

Title of the paper: *European beech (Fagus sylvatica L.) – a forest tree without future in the south of Central Europe?*

Since the beginning of industrialisation the global mean surface temperature has increased and, as a consequence, the amount and distribution of precipitation have changed. The impact of this global climate change is largest in the continental regions of the Northern Hemisphere. As a consequence climate change in southern Germany is more pronounced compared to the global trend (Abb. 2 to 4). According to results from regional climate models this development will continue during the next decades and will lead to hot and dry summers whereas the spring will become wetter causing severe flooding events. European beech (*Fagus sylvatica* L.), one of the most important forest tree species in southern Germany, is particularly affected by the increase of periods of drought in summer and periods of heavy rain in fall and spring with oxygen depletion in the soil (Abb. 6 to 8). The drought- and flooding-sensitive beech already now shows reduced growth and reduced competitive capacity especially of the seedlings at extreme sites. These negative effects are supposed to be continued and further extended by the changing climate during the next decades. The competitive capacity of beech will further be reduced by the limited capability of this species compared to other forest trees to take advantage from the increasing atmospheric CO₂ content (Abb. 5). In contrast to these results from investigations by different disciplines of natural sciences, forest political decisions in southern Germany one-sidedly supported and still support the use of beech. The silvicultural practices resulting from these political decisions will negatively affect the sustainability of forest development in southern Germany. The current action requirements and research needs are discussed.

10. Résumé

Titre de l'article: *Le hêtre (Fagus sylvatica L.): une essence sans avenir dans l'Europe Centrale méridionale?*

Depuis le début de l'ère industrielle sont apparues – globalement – une augmentation de la température moyenne à proximité du sol ainsi qu'une modification des précipitations cumulées. La modification du climat dans son ensemble s'est tout particulièrement manifestée au cours des dernières décennies dans les régions conti-

mentales de l'hémisphère nord. Des modèles régionaux de climat prévoient que cette évolution sera particulièrement remarquable au sud de l'Allemagne (Fig. 2 à 4). Le hêtre (*Fagus sylvatica* L.) – en tant qu'une des essences les plus importantes du sud de l'Allemagne – est avant tout concerné par les modifications de la répartition des précipitations entraînant une sécheresse accrue en été d'une part, et des zones mouilleuses au printemps et à l'automne en raison de fortes pluies d'autre part (Fig. 6 à 8). Comme essence sensible au stress de sécheresse et à l'inondation des sols le hêtre présente dès aujourd'hui – dans des conditions de station extrêmes – une croissance moindre et une capacité de résistance à la concurrence réduite; la régénération naturelle est également en cause. Cette évolution va se poursuivre au cours des prochaines décennies et, vraisemblablement, se renforcer. La force de concurrence du hêtre va d'autant plus diminuer qu'il profite moins que d'autres essences de l'augmentation de la concentration dans l'atmosphère du CO₂ (Fig. 5). En contradiction avec ces constatations scientifiques, des décisions de politique forestière ont été favorables au hêtre de manière inconsidérée. En égard au pronostics relatifs au climat la pratique forestière actuelle qui découle de telles programmations ne peut avoir des effets négatifs sur un développement durable de la forêt. Les besoins actuels du commerce et de la recherche ont été discutés. J. M.

11. Literatur

- ARANDA, I., GIL, L. und PARDOS, J. A.: Effects of thinning in a *Pinus sylvestris* stand on foliar water relations of *Fagus sylvatica* L. seedlings planted within pinewood. *Trees* **15**: 358–364, 2001
- BACKES, K. und LEUSCHNER, C.: Leaf water relations of competitive *Fagus sylvatica* and *Quercus petraea* trees during 4 years differing in soil drought. *Can. J. Forest Res.* **30**: 335–346, 2000
- BARTELHEIMER, P.: A simulation model for the German forest products markets. *Forstw. Cbl.* **121**: 172–190, 2002
- BAZZAZ, F. A.: Allocation of resources in plants: State of the science and critical questions. In: Plant resource allocation. BAZZAZ, F. A. und GRACE, J. (eds.). Acad. Press, San Diego: 1–38, 1997
- BEISMAN, H., SCHWEINGRUBER, F., SPECK, T. und KÖRNER, C.: Mechanical properties of spruce and beech wood grown in elevated CO₂. *Trees* **16**: 511–518, 2002
- BERTANI, A. und REGGIANI, R.: Anaerobic metabolism in rice roots. In: Plant life under oxygen deprivation. JACKSON, M. B., DAVIES, D. D. und LAMBERS, H. (eds.). 187–200. SPB Acad. Publ., The Hague: 187–200, 1991
- BEYSCHLAG, W.: Biotic interactions. In: HUTTUNEN, S., HEIKKILÄ, H., BUCHER, J., SUNDBERG, B., JARVIS, P. und MATYSSEK, R. (eds.). Trends in European Forest Tree Physiology Research. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/NL, pp. 197–205, 2001
- BIEGELMAIER, K.-H.: Integriertes Rheinprogramm: Untersuchungen zur Hochwassertoleranz von Waldbäumen, LFU, Ref. 25-IRP, 1993
- BIEGELMAIER, K.-H.: Auswirkungen des Hochwassers im Rheinauewald. *AFZ* **15**: 801–803, 2002
- BLASCHKE, L., FORSTREUTER, M., SHEPPARD, L. J., LEITH, I. K., MURRAY, M. B. und POLLE, A.: Lignification in beech (*Fagus sylvatica*) grown at elevated CO₂ concentration: interaction with nutrient availability and leaf maturation. *Tree Physiol.* **22**: 469–477, 2002
- BLOM, C. W. P. M. und VOESENEK, L. A. C. J.: Flooding: the survival strategies of plants. *Trends Ecol. Evol.* **11**: 290–295, 1996
- BODENBENDER, J.: Zittern im Treibhaus: Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Alpen. *Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt* **67**, 49–60, 2002
- BREDA, N., GRANIER, A. und AUSSENAC, G.: Effects of thinning on soil and tree water relations, transpiration and growth in an oak forest (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). *Tree Physiol.* **15**: 295–306, 1995
- CECH, P. G., PEPIN, S. und KÖRNER, C.: Elevated CO₂ reduces sap flux in mature deciduous forest trees. *Oecologia*: in press, 2003
- CERMAK, J., MATYSSEK, R. und KUCERA, J.: Rapid response of large, drought-stressed beech trees to irrigation. *Tree Physiol.* **12**: 281–290, 1993
- CEULEMANS, R., JANSSENS, I. A. und JACH, M. E.: Effects of CO₂ enrichment on trees and forests: Lessons to be learned in view of future ecosystem studies. *Ann. Bot.* **84**: 577–590, 1999
- CLAUSSEN, M.: Klimaänderungen: Mögliche Ursachen in Vergangenheit und Zukunft. *Umweltchem Ökotox.* **15**: 21–30, 2003
- COLIN-BELGRAND, M., DREYER, E. und BIRON, P.: Sensitivity of seedlings from different oak species to waterlogging: effects on root growth and mineral nutrition. *Ann. Sci. For.* **48**: 193–204, 1991
- COTRUFO, M. F. und INESON, P.: Does elevated atmospheric CO₂ concentration affect wood decomposition? *Plant Soil* **224**: 51–57, 2000
- DALE, V. H., JOYCE, L. A., McNULTY, S., NEILSON, R. P., AYRES, M. P., FLANNIGAN, M. D., HANSON, P. J., IRLAND, L. C., LUGO, A. E., PETERSON, C. J., SIMBERLOFF, D., SWANSON, F. J., STOCKS, B. J. und WOTTON, B. M.: Climate change and forest disturbances. *Bioscience* **51**: 723–734, 2001
- DISTER, E.: Zur Hochwassertoleranz von Auenwaldbäumen an lehmigen Standorten. *Verh. Ges. Ökol.* **10**: 325–336, 1983
- DREYER, E.: Compared sensitivity of seedlings from 3 woody species (*Quercus robur* L., *Quercus rubra* L. and *Fagus sylvatica* L.) to water-logging and associated root hypoxia: effects on water relations and photosynthesis. *Ann. Sci. For.* **51**: 417–429, 1994
- DYCKMANS, J. und FLESSA, H.: Influence of tree internal nitrogen reserves on the response of beech (*Fagus sylvatica*) trees to elevated atmospheric carbon dioxide concentration. *Tree Physiol.* **22**: 41–49, 2002
- EGLI, P., MAURER, S., SPINNLES, D., LANDOLT, W., GÜNTHARDT-GOERG, M. S. und KÖRNER, C.: Downward adjustment of carbon fluxes at the biochemical, leaf, and ecosystem scale in beech-spruce model communities exposed to long-term atmospheric CO₂ enrichment. *Oikos* **92**: 279–290, 2001
- EHLERINGER, J. R. und COOPER, T. A.: Correlations between carbon isotope ratio and microhabitat in desert plants. *Oecologia* **76**: 562–566, 1986
- ELLENBERG, H.: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. 5. Edition, Ulmer, Stuttgart, 1095 S., 1996
- EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database – www.cred.be/emdat – Université Catholique de Louvain, Brussels, 2002
- FARQUHAR, G. D., EHLERINGER, J. R. und HUBICK, K. T.: Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* **44**: 503–537, 1989
- FORSTREUTER, M.: Auswirkungen globaler Klimaänderungen auf das Wachstum und den Gaswechsel (CO₂/H₂O) von Rotbuchenbeständen (*Fagus sylvatica* L.). Landesentwicklung und Umweltforschung – Schriftenreihe der Fakultät Architektur, Umwelt, Gesellschaft, Nr. 119; Technische Universität Berlin, 317 S., 2002
- FOWLER, D., CAPE, J. N., COYLE, M., FLECHARD, C., KUYLENSTIENRA, J., HICKS, K., DERWENT, D., JOHNSON, C. und STEVENSON, D.: The global exposure of forests to air pollutants. *Water, Air and Soil Pollution* **116**: 5–32, 1999
- FOTELLI, M. N., RENNEBERG, H., HOLST, T., MAYER, H. und GESSLER, A.: Effects of climate and silviculture on the carbon isotope composition of understorey species in a beech (*Fagus sylvatica* L.) forest. *New Phytol.* **159**: 229–244, 2003
- FOTELLI, N. M., GESSLER, A., PEUKE, A. D. und RENNEBERG, H.: Drought affects the competitive interaction between *Fagus sylvatica* seedlings and an early successional species, *Rubus fruticosus*: Responses of growth, water status and δ¹³C composition. *New Phytol.* **151**: 427–435, 2001
- FOTELLI, N. M., RENNEBERG, H. und GESSLER, A.: Effects of drought on the competitive interference of an early successional species (*Rubus fruticosus*) on *Fagus sylvatica* L. seedlings: ¹⁵N uptake and partitioning, responses of amino acids and other N compounds. *Plant Biol.* **4**: 311–320, 2002
- FOTELLI, N. M., RIENKS, M., RENNEBERG, H. und GESSLER, A.: Climate and forest management affect ¹⁵N-uptake, N balance and biomass of European beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings. *Trees* **18**: 157–166, 2004
- FRANK, T.: Growth and water relations of four deciduous tree species (*Fagus sylvatica* L., *Quercus petraea* (MATT.) LIEBL., *Q. pubescens* WILLD., *Sorbus aria* (L.) CR.) occurring at Central-European tree-line sites on shallow calcareous soil: Physiological reactions to severe drought. *Flora* **195**: 1004–115, 2000
- FRYE, J. und GROSSE, W.: Growth responses to flooding and recovery of deciduous trees. *J. Biosci.* **47**: 683–689, 1992
- GESSLER, A., SCHREMPF, S., MATZARAKIS, A., MAYER, H., RENNEBERG, H. und ADAMS, M. A.: Radiation modifies the effect of water availability on the carbon isotope composition of beech (*Fagus sylvatica* L.). *New Phytol.* **50**: 653–664, 2001
- GILL, C.: The flooding tolerance of woody species – a review. *Forestry Abstr.* **31**: 671–688, 1970
- GORZELAK, A.: Effect of flooding on the flora – the example of the flooding of the Oder in 1997. *Beitr. Forstwirtschaft Landschaftsökol.* **34**: 8–11, 2000
- GRAMS, T. E. E., ANEGG, S., HÄBERLE, K.-H., LANGEBAELEN, C. und MATYSSEK, R.: Interactions of chronic exposure to elevated CO₂ and O₃ levels in the photosynthetic light and dark reactions of European beech (*Fagus sylvatica*). *New Phytol.* **144**: 95–107, 1999
- GRAMS, T. E. E., KOZOVITS, A. R., REITER, I. M., WINKLER, J. B., SOMMERKORN, M., BLASCHKE, H., HÄBERLE, K.-H. und MATYSSEK, R.: Quantifying competitiveness in woody plants. *Plant Biol.* **4**: 153–158, 2002
- GRAVATT, D. A. und KIRBY, C. J.: Patterns of photosynthesis and starch allocation in seedlings of four bottomland hardwood tree species subjected to flooding. *Tree Physiol.* **18**: 411–417, 1998
- GRELL, G. A., EMEIS, S., STOCKWELL, W. R., SCHOENEMEYER, T., FORKEL, R., MICHALKES, J., KNOCH, R. und SEIDL, W.: Application of a Multiscale, Coupled MM5/Chemistry Model to the complex terrain of the VOTALP Valley Campaign. *Atm. Environ.* **34**: 1435–1453, 2000
- GRUBER, F.: Wachstum von Altbuchen (*Fagus sylvatica* L.) auf einem Kalkstandort (Göttingen/Södderich) in Abhängigkeit von der Witterung. *AFJZ* **173**: 117–122, 2001

- HACKE, U. und SAUTER, J. J.: Vulnerability of xylem to embolism in relation to leaf water potential and stomatal conductance in *Fagus sylvatica* f. *purpurea* and *Populus balsamifera*. *J. Exp. Bot.* **46**: 1177–1183, 1995
- HAEBERLI, W. und BENISTON, M.: Climate change and its impacts on glaciers and permafrost in the Alps. *Ambio* **27**: 258–265, 1998
- HAGEDORN, F., LANDOLT, W., TARIAN, D., EGLI, P. und BUCHER, J. B.: Elevated CO₂ influences nutrient availability in young beech-spruce communities on two soil types. *Oecologia* **132**: 109–117, 2002
- HANSEN, J., RUEDY, R., SATO, M., IMHOFF, M., LAWRENCE, W., EASTERLING, D., PETERSON, T. und KARL, T.: A closer look at United States and global surface temperature change. *J. Geophys. Res.* **106**: 23947, 2001
- HANSEN, J., RUEDY, R., SATO, M. und LO, K.: Global warming continues. *Science* **295**: 275, 2002
- HEATH, J. und KERSTIENS, J. H.: Effects of elevated CO₂ on leaf gas exchange in beech and oak at two levels of nutrient supply: consequences for sensitivity to drought in beech. *Plant Cell Environ.* **20**: 57–67, 1997
- IEA: World Energy Outlook 2001. International Energy Agency, OECD/IEA Publication, 2001, ISBN 92-64-19658-7.
- IPCC – Third Assessment Report on Climate Change: Impact, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge University Press, 1-10.032, 2001
- KARNOSKY, D. E., OKSANEN, E., DICKSON, R. E. und ISEBRANDS, J. G.: Impacts of interacting greenhouse gases on forest ecosystems. *In: The impacts of carbon dioxide and other greenhouse gases on forest ecosystems.* KARNOSKY, D. F., SCARASCIA-MUGNOZZA, G., CEULEMANS, R. und INNES, J. L. (eds.). CABI Press: 253–267, 2001a
- KEITEL, C., RENNENBERG, H., ADAMS, M. A. und GESSLER, A.: Carbon and oxygen isotope composition of in the phloem as an indicator of short-time water status of beech. *Plant Cell Environ.* **26**: 1157–1168, 2003
- KERN, K. G.: Ertragskundlich-ökologische Untersuchungen an Pappeln im Überschwemmungsgebiet des Rheins. *AJFZ* **141**: 83–86, 1970
- KERN, K. G.: Untersuchungen über den Zuwachsablauf von Pappeln in den pfälzischen Rheinauen. *AJFZ* **150**: 53–64, 1979
- KOLB, T. E. und MATYSSEK, R.: Limitations and perspectives about scaling ozone impact in trees. *Environ. Pollut.* **115**: 373–393, 2001
- KÖRNER, C.: Carbon limitation in trees. *J. Ecol.* **91**: 4–17, 2003
- KÖSTLER, J. N., BRÜCKNER, E. und BIBELRIETHER, H.: Die Wurzeln der Waldbäume. Parey, Hamburg. 284 S., 1968
- KOZŁOWSKI, T. T.: Responses of woody plants to flooding. *In: Flooding and Plant growth.* KOZŁOWSKI, T. T. (ed.). Academic Press, Orlando: 129–163, 1984
- KOZOVITS, A. R.: Competitiveness of young beech (*Fagus sylvatica*) and spruce (*Picea abies*) trees under ambient and elevated CO₂ and O₃ regimes. Ph. D. Thesis, Technische Universität München, 2003
- KREUZWIESER, J., FÜRNISS, S. und RENNENBERG, H.: The effects of flooding on the N metabolism of flood tolerant and sensitive species. *Plant Cell Environ.* **25**, 1039–1050, 2002
- LEUSCHNER, C.: Mechanismen der Konkurrenzüberlegenheit der Rotbuche. *Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges.* **10**: 5–18, 1998
- LEUSCHNER, C., HERTEL, D., CONERS, H. und BÜTTNER, V.: Root competition between beech and oak: a hypothesis. *Oecologia* **126**: 276–284, 2001a
- LEUSCHNER, C., BACKES, K., HERTEL, D., SCHIPKA, F., SCHMITT, U., TERBORG, O. und RUNGE, M.: Drought responses at leaf, stem and fine root levels of competitive *Fagus sylvatica* L. and *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. trees in dry and wet years. *For. Ecol. Manage.* **149**: 33–46, 2001b
- LEVY, G., BECKER, M. und GARREAU, B.: Comportement experimental de semis de chene pedoncule, chene sessile et hetre en presence dune nappe d'eau dans le sol. *Ann. Sci. For.* **43**: 131–146, 1986
- LYR, H.: Vergleichende Untersuchungen zu physiologischen Reaktionen auf Wurzel-anaerobiose bei *Fagus sylvatica*, *Quercus robur* und *Tilia cordata*. *Beitr. Forstwirtschaft. Landschaftsökol.* **27**: 18–23, 1993
- MARSCHNER, H.: Mineral nutrition of higher plants. 2nd edition. Academic Press, London, 1995
- MATYSSEK, R. und SANDERMANN, H.: Impact of ozone on trees: an ecophysiological perspective. *Progr. Bot.* **64**: 349–404, 2003
- MEDLYN, B. E., BADECK, F.-W., DE PURY, D. G. G., BARTON, C. V. M., BROADMEADOW, M., CEULEMANS, R., DE ANGELIS, P., FORSTREUTER, M., JACH, M. E., KELLOMÄKI, S., LAITAT, E., MAREK, M., PHILIPPOT, S., REY, A., STRASSEMAYER, J., LAITINEN, K., LIOZON, R., PORTIER, B., ROBERTZ, P., WANG, K. und JARVIS, P. G.: Effects of elevated [CO₂] on photosynthesis in European forest species: a meta-analysis of model parameters. *Plant Cell Environ.* **22**: 1475–1495, 1999
- MEDLYN, B. E., REY, A., BARTON, C. V. M. und FORSTREUTER, M.: Above-ground growth responses of forest trees to elevated atmospheric CO₂ concentrations. *In: The impact of carbon dioxide and other greenhouse gases on forest ecosystems.* KARNOSKY, D. F., CEULEMANS, R., SCARASCIA-MUGNOZZA, G. E. und INNES, J. L. (eds.). CAB International: 127–146, 2001a
- MEDLYN, B. E., BARTON, C. V. M., BROADMEADOW, M. S. J., CEULEMANS, R., DE ANGELIS, P., FORSTREUTER, M., FREEMAN, M., JACKSON, S. B., KELLOMÄKI, S., LAITAT, E., REY, A., ROBERTZ, P., SIGURDSSON, B. D., STRASSEMAYER, J., WANG, K., CURTIS, P. S. und JARVIS, P. G.: Stomatal conductance of forest species after a long-term exposure to elevated CO₂ concentration: a synthesis. *New Phytol.* **149**: 247–264, 2001b
- MENZEL, A. und FABIAN, P.: Growing season extended in Europe. *Nature* **397**: 659, 1999.
- MOOSMAYER, H.-U.: Langfristige regionale Waldbauplanung in Baden-Württemberg – Grundlagen und Ergebnisse. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, Bd. 81, 2002
- MÜLLER, I., SCHMIDT, B. und WEINER, J.: The effect of nutrient availability on biomass allocation patterns in 27 species of herbaceous plants. *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* **3/2**: 115–127, 2000
- MÜNCHNER RÜCK: Jahresrückblick Naturkatastrophen 2000. Topics, 8. Jahrgang, Münchner Rückversicherungsgesellschaft, München, 56 S., 2001
- NIELSEN, C. N. und JORGENSEN, F. V.: Phenology and diameter increment in seedlings of European beech (*Fagus sylvatica* L.) as affected by different soil water contents: variation between and within provenances. *For. Ecol. Manage.* **174**: 233–249, 2003
- NOAA (National Oceans and Atmosphere Administration) – Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory (NOAA-CMDL): Update the global trends in long-lived greenhouse gases. Boulder, Colorado, 2001
- PARMESAN, C. und YOHE, G.: A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* **421**: 37–42, 2003
- PATE, J., SHEDLEY, E., ARTHUR, D. und ADAMS, M. A.: Spatial and temporal variations in phloem sap composition of plantation-grown *Eucalyptus globulus*. *Oecologia* **117**: 312–322, 1998
- PETIT, J. R., JOUZEL, J., RAYNAUD, D., BARKOV, N. I., BARNOLA, J.-M., BASILE, I., BENDERS, M., CHAPPELLAZ, J., DAVIS, M., DELAYQUE, G., DELMOTTE, M., KOTLYAKOV, V. M., LEGRAND, M., LIPENKOV, V. Y., LORIUS, C., PÉPIN, L., RITZ, C., SALTZMAN, E. und STIEVENARD, M.: Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* **399**: 429–436, 1999
- PEUKE, A. D., SCHRAML, C., HARTUNG, W. und RENNENBERG, H.: Identification of drought-sensitive beech ecotypes by physiological parameters. *New Phytol.* **154**: 373–387, 2002
- POORTER, H. und NAGEL, O.: The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review. *Aust. J. Plant Physiol.* **27**: 595–607, 2000
- RAFTOYANNIS, Y. und RADOGLU, K.: Physiological responses of beech and sessile oak in a natural mixed stand during a dry summer. *Ann. Bot.* **89**: 723–730, 2002
- RENNENBERG, H., KREUTZER, K., PAPAN, H. und WEBER, P.: Consequences of high loads of nitrogen for spruce (*Picea abies* L.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) forests. *New Phytol.* **139**: 71–86, 1998
- SAXE, H., ELLSWORTH, D. S. und HEATH, J.: Tree and forest functioning in an enriched CO₂ atmosphere. *New Phytol.* **139**: 395–436, 1998
- SCHLESINGER, W. H.: Biogeochemistry – an analysis of global change. Academic Press, San Diego/USA, 588 S., 1997
- SCHMID, I. und KAZDA, M.: Vertical distribution and radial growth of coarse roots in pure and mixed stands of *Fagus sylvatica* and *Picea abies*. *Can. J. For. Res.* **31**: 539–548, 2001
- SCHMULL, M. und THOMAS, F. M.: Morphological and physiological reactions of young deciduous trees (*Quercus robur* L., *Q. petraea* [Matt.] Liebl., *Fagus sylvatica* L.) to waterlogging. *Plant Soil* **225**: 227–242, 2000
- SCHRAML, U. und VOLZ, K.-R.: Conversion of coniferous forests in social and political perspectives. Findings from selected countries with special respect to Germany. *In: The Question of Conversion of Pure Secondary Norway Spruce Forests on Sites Naturally Dominated by Broadleaves for Sustainable Fulfilment of Society's Needs.* SPIECKER, H., HANSEN, J., KLIMO, E., SKOVSGAARD, J. P., STERBA, H. und V. TEUFFEL, K. (eds.). EFI Research Report, S. Brill Publ., Leiden: in press, 2003
- SCHULZE, E.-D., HÖGGER, G., VAN OENE, H., PERSSON, T., HARRISON, A. E., READ, D., KJÖLLER, A. und MATTEUCCI, G.: Interaction between the carbon and nitrogen cycles and the role of biodiversity: a synopsis of a study along a North-South transect through Europe. *In: Carbon and Nitrogen Cycling in European Forest Ecosystems.* SCHULZE, E.-D. (ed.). *Ecol. Stud.* **142**: 468–491, 2000
- SIEBEL, H. N., VAN WIJK, M. und BLOM, C. W. P. M.: Can tree seedlings survive increased flood levels of rivers? *Acta Bot. Neerl.* **47**: 219–230, 1998
- SITTLER, B. und ZÄHRINGER, E.: Erfassung der Schadsymptome an ausgewählten Bäumen im Bereich von zwei Regenrückhaltebecken bei Freiburg. Vorläufiger Bericht erstellt im Auftrag der Gewässerdirektion Südllicher Oberrhein. 24 S., 1999
- SPÄTH, V.: Zur Hochwassertoleranz von Auenwaldbäumen. *Natur und Landschaft* **63**: 312–315, 1998
- SPINLER, D., EGLI, P. und KÖRNER, C.: Four-year growth dynamics of beech-spruce model ecosystems under CO₂ enrichment on two different forest soils. *Trees* **16**: 423–436, 2002
- STATISTISCHES BUNDESAMT: Preise und Preisindizes gewerblicher Produkte. Fachserie 17, Reihe 1, 1998
- STITT, M. und SCHULZE, E. D.: Plant growth, storage and resource allocation: From flux control in metabolic chain to the whole-plant level. *In: Flux control in biological systems: form enzymes to populations and ecosystems.* SCHULTZE, E. D. (ed.). Academic Press, San Diego: 57–118, 1994

- Sv-GUA (Sachverständigenkreis „Globale Umweltaspekte“): Herausforderung Klimawandel – Bestandsaufnahme und Perspektiven der Klimaforschung. BMBF, Bonn, 60 S., <http://www.bmbf.de/pub/klimawandel.pdf>, 2003
- THEJLL, P. und LASSEN, K.: Solar forcing of the Northern hemisphere land air temperature: New data. *J. Atm. Solar-Terrestrial Phys.* **62**: 1207–1213, 2000
- TOPOLIANZ, S. und PONGE, J.-F.: Influence of site conditions on the survival of *Fagus sylvatica* seedlings in an old-grown beech forest. *J. Veg. Sci.* **11**: 269–374, 2000
- TSCHAPLINSKI, T., GEBRE, G. G. und SHIRSHAC, T. L.: Osmotic potential of several hardwood species as affected by manipulation of throughfall precipitation in an upland oak forest during a dry year. *Tree Physiol.* **18**: 291–298, 1998
- VARTAPETIAN, B. B. und JACKSON, M. B.: Plant adaptations to anaerobic stress. *Ann. Bot.* **79**: 3–20, 1997
- VON WILLERT, D. J., MATYSSEK, R. und HERPPICH, W.: Experimentelle Pflanzenökologie Thieme, Stuttgart, 1995
- WAGNER, P. A. und DREYER, E.: Interactive effects of waterlogging and irradiance on the photosynthetic performance of seedlings from three oak species displaying different sensitivities (*Quercus robur*, *Q. petraea* and *Q. rubra*). *Ann. Sci. For.* **54**: 409–429, 1997
- WERNER, P. C., GERSTENGARBE, F.-W., FRAEDRICH, K. und OESTERLE, H.: Recent climate change in the North Atlantic/European sector. *Internat. J. Climatol.* **20**: 463–471, 2000
- ZHOU, L., TUCKER, C. J., KAUFMANN, R. K., SLAYBACK, D., SHABANOW, N. V. und MYNENI, R. B.: Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999. *J. Geophys. Res.* **106**: 20.069–20.083, 2001
- ZÖCKLER, C. und LYSSENKO, I.: Waterbirds on the edge: climate change impact on Arctic breeding waterbirds. *In: Impacts of climate change on wildlife.* GREEN, R. E., HARLEY, M., SPALDING, M. und ZÖCKLER, C. (eds.). RSBP on behalf of English Nature, London: 20–25, 2001

WALDBAU

Von Anbauversuchen mit Tannen und anderen Koniferen aus Japan, Nordamerika und Europa. Von R. Schober und H. Spellmann. 176 Seiten mit 90 Abb. und 29 Tab. Kart. Euro 14,30

Ökologische Untersuchungen zur Initialphase der Naturverjüngung in Eschen-Buchen-Mischbeständen. Von S. Wagner. 265 Seiten mit 122 Abb. und 47 Tab. Kart. Euro 40,90

Konzeptionelle Überlegungen zum schrittweisen Aufbau eines waldwachstumkundlichen Simulationssystems für Nordwestdeutschland. Von J. Nagel. 124 Seiten mit 117 Abb. und 23 Tab. Kart. Euro 14,30

Waldbauliche Fragen der Kiefernwirtschaft. Zusammengestellt von B. von Lüpke. 184 Seiten mit 38 Abb. und 18 Tab. Kart. Euro 17,40

Eichenwälder im nordöstlichen Mexiko. Von B. Müller-Using. 263 Seiten mit 64 Abb. und 46 Tab. Kart. Euro 25,10

Die natürliche Verjüngung der Kiefer (*Pinus silvestris* L.) im nordwestdeutschen Pleistozän. Von A. Dohrenbusch. 269 Seiten mit 70 Abb. und 21 Tab. Kart. Euro 23,00

Die Verjüngungsentwicklung der Buche (*Fagus sylvatica* L.). Von A. Dohrenbusch. 70 Seiten mit 14 Abb. und 11 Tab. Kart. Euro 9,70

Zum Anbau der Schwarznuß (*Juglans nigra* L.) in den Rheinauen. Von N. Bartsch. 90 Seiten mit 35 Abb. und 19 Tab. Kart. Euro 8,20

Kronenentwicklung und Vitalitätsbeurteilung ausgewählter Baumarten der gemäßigten Breiten. Von A. Roloff. 258 Seiten mit 120 Abb. und 14 Tab. Kart. Euro 12,80

Ausländeranbau in Niedersachsen und den angrenzenden Gebieten. Inventur und waldbaulich-ertragskundliche Untersuchungen. Von J. Stratmann. 131 Seiten mit 20 Abb. und 1 Tab. Kart. Euro 9,70

Die Waldstandorte in Hessen und ihre Bestockung. Von H. Zimmermann. 235 Seiten mit 20 Abb., 14 Fotos und 10 Tab. Kart. Euro 13,70

Sturmgefährdung von Beständen im Altersklassenwald. Von A. König. 194 Seiten mit 54 Abb. und 45 Tab. Kart. Euro 10,60

Wind- und Sturmschäden im Wald. Von M. Rottmann. 128 Seiten mit 62 Abb. und 49 Tab. Kart. Euro 8,60

Schneebruchschäden in Nadelholzbeständen. Von M. Rottmann. 159 Seiten mit 69 Abb. und 54 Tab. Kart. Euro 8,60

Ergebnisse des 4. Tannen-Symposiums. Von W. Kramer. 289 Seiten mit 69 Abb. und 54 Tab. Kart. Euro 14,30

Stecklingsvermehrung von Stiel- und Traubeneiche (*Quercus robur* L. und *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). Von W. Spethmann. 99 Seiten mit 9 Abb. und 39 Tab. Kart. Euro 7,70

Versuche zur Einbringung von Lärche und Eiche in Buchenbeständen. Von B. von Lüpke. 123 Seiten mit 14 Abb. und 41 Tab. Kart. Euro 14,10

Untersuchungen über die Wirkung von Brand, Mahd und Beweidung auf die Entwicklung von Heide-Gesellschaften. Von O. Muhle und E. Röhrig. 72 Seiten mit 14 Abb. und 20 Tab. Kart. Euro 3,80

Die natürliche Verjüngung der Buche. Von P. Burschel, J. Huss und R. Kalbhenn. 188 Seiten mit 37 Abb. und 63 Tab. Kart. Euro 12,70

Züchterische Möglichkeiten zur Verbesserung quantitativer und qualitativer Eigenschaften bei europäischer Lärche. Von W. Dietze. 109 Seiten mit 37 Abb. und 14 Tab. Kart. Euro 13,50

Jungwuchspflege und Läuterung mit synthetischen Wuchsstoffen. Von H.-J. Fröhlich. 56 Seiten mit 11 Abb., 9 graph. Darst. und 11 Tab. Kart. Euro 3,50

Züchtung, Anbau und Leistung der Pappel. Von H.-J. Fröhlich und W. Grosscurth. 268 Seiten mit 96 Abb., 36 Tab. und 1 Ausschlagtafel. Kart. Euro 25,40

Fortschritte des forstlichen Saatgutwesens. Hrsg. H. Messer. **Band 1:** 117 Seiten mit 35 Abb. und 46 Tab. Kart. Euro 6,20. **Band 2:** 166 Seiten mit 73 Abb. und 18 Tab. Leinen. Euro 16,40 **Band 3:** 108 Seiten mit 51 Abb. und 28 Tab. Kart. Euro 13,70

Wald, Wachstum und Umwelt. Eine Einführung in die ökologischen Grundlagen des Waldwachstums. Von G. Mitscherlich. **Band 1** vergriffen. **Band 2:** Waldklima und Wasserhaushalt. 2. Auflage. 402 Seiten mit 118 Abb. und 147 Tab. Geb. Euro 47,00. **Band 3** vergriffen.

Waldbauliche Untersuchungen über die Weißtanne im nördlichen und mittleren Westdeutschland. Von A. Olberg und E. Röhrig. 102 Seiten mit 22 Abb. und mehreren Tab. Kart. Euro 5,30

Beiträge zum Problem der Kiefernaturverjüngung. Von A. Olberg. 96 Seiten mit 7 Abb. und 13 Tab. Kart. Euro 6,70

Die Anzucht von Forstpflanzen in Nadelstreubeeten. Von E. Röhrig. 49 Seiten mit 2 Abb. und 36 Tab. Kart. Euro 3,70

Neuere Grundlagen für den Anbau von *Abies grandis*. Von E. Röhrig. 155 Seiten mit 26 Abb. und 30 Tab. Kart. Euro 9,00

Untersuchungen zur Bestandesbegründung der Douglasie. Von J. B. Larsen, O. Muhle und H. Lohbeck. 332 Seiten mit 28 Abb. und 137 Tab. Kart. Euro 9,60

Der Adlerfarn und seine Bekämpfung mit Aminotriazol. Von Chr. Volger. 104 Seiten mit 26 Abb. Kart. Euro 13,40

BODENKUNDE, STANDORTLEHRE

Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) in Niedersachsen 1990-1991. Von G. Büttner. 205 Seiten mit 78 Abb. und 92 Tab. Kart. Euro 14,30

Naturwaldreservate in Hessen - Schönbuche. Waldkundliche Untersuchungen. Von W. Keitel und R. Hocke. 190 Seiten mit 71 Abb., 18 Karten und 23 Übers. Kart. Euro 21,50

Naturwaldreservate in Hessen 2 - Waldkundliche Untersuchungen. Von B. Althoff, R. Hocke und J. Willig. 168 Seiten mit 78 Abb. und 15 Übers., Kart. Euro 19,40

Der Wasserumsatz eines Buchen- u. eines Fichtenwaldökosystems im Hochsolling. Von P. Benecke. 158 Seiten mit 46 Abb. und 35 Tab. Kart. Euro 13,20

Forstlich-hydrologische Untersuchungen im Kaufunger Wald. Von P. Benecke, H. J. Liebscher und E. Meyer. 333 Seiten mit 144 Abb. und 80 Tab. Kart. Euro 26,60

Die Bewertung des Windwurfrisikos der Fichte auf verschiedenen Standortstypen. Von D. Germann. 104 Seiten mit 16 Abb., 64 Tab. im Text und 8seitigem Tab.-Anhang. Kart. Euro 10,90

Über forstliche Düngungsversuche mit spezieller Zielsetzung für den Waldbau des nordwestdeutschen Flachlandes. Von H. A. Gussone. 127 Seiten mit 23 Abb. und 31 Tab. Kart. Euro 18,30

Ergebnisse langfristiger Düngungsversuche im Gebiet des nordwestdeutschen Diluviums und ihre Folgerungen für die Praxis. Von G. Seibt und W. Wittich. 156 Seiten mit 16 Abb. und 45 Tab. Kart. Euro 12,30

Ertragskundliche und bodenkundliche Ergebnisse langfristiger Kalkdüngungsversuche. Von G. Seibt, W. Wittich und J. B. Reemtsma. 300 Seiten mit 43 Abb. und 105 Tab. Kart. Euro 21,90

Das Fruchten der Waldbäume als Grundlage der Forstsamengewinnung. I. Koniferen. Von H. Messer. 108 Seiten mit 24 Abb. und 37 Tab. Kart. Euro 6,60

Der heutige Stand unseres Wissens vom Humus und neue Wege zur Lösung des Rohhumusproblems im Walde. Von W. Wittich. 106 Seiten mit 4 Abb. und 23 Tab. Kart. Euro 5,00

Bedeutung einer leistungsfähigen Regenwurmfaua unter Nadelwald für Streuzersetzung, Humusbildung und allgemeine Bodendynamik. Grundlagen der forstlichen Standortskartierung und Grundzüge ihrer Durchführung. Von W. Wittich. 96 Seiten mit 2 Abb. und 10 Tab. Kart. Euro 7,90

Die mineralische Eigenart der Böden des nordwestdeutschen Tieflandes mit ihren langzeitlichen Veränderungen und ihre Bedeutung für den Wald. Von W. Wittich. 94 Seiten mit 13 Tab. Kart. Euro 16,40

Die Buchen- und Fichtenbestände der Probestände des Sollingprojektes der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Von G. Seibt. 109 Seiten mit 24 Abb. Kart. Euro 9,70

ERTRAGSKUNDE

Verkernung und weitere verwendungsrelevante Eigenschaften von Douglasien-Schwachholz aus unterschiedlich behandelten Jungbeständen: Folgerungen für die Sortierung und die industrielle Verwendung von Douglasien-Schwachholz. Von F. Hapla. 205 Seiten mit 53 Abb. und 105 Tab. Kart. Euro 23,00

Untersuchungen über die Jugendentwicklung von Douglasienprovenienzen in Hessen. Von M. Jestaedt. 105 Seiten mit 31 Abb. und 35 Tab. Kart. Euro 16,00

Über Höhenwuchsleistung und Wachstumsoptimum der Schwarzerle auf vergleichbaren Standorten in Nord-, Mittel- und Südeuropa. Von V. Glavac. 64 Seiten mit 27 Abb. und 17 Tab. Kart. Euro 7,70

Beiträge zur Beurteilung der Jugendentwicklung von Fichtenprovenienzen. Von E. J. Gärtner. 114 Seiten mit 28 Abb. und 46 Tab. Kart. Euro 18,70

Beiträge zur Ästung und Naturverjüngung der Douglasie. Von E. Eckstein. 45 Seiten mit 6 Fotos, 12 graph. Darst. und 8 Tab. Kart. Euro 7,30

Nadelanalytische Untersuchungen an Fichte (*Picea abies*) nach Grünästung und Düngung. Von J. B. Reemtsma. 100 Seiten mit 29 Abb. und 6 Tab. Kart. Euro 4,60

Inventur und Wachstum in erkrankten Fichtenbeständen. Von H. Kramer, S. Athari, A. Akça und P. H. Dong. 114 Seiten mit 52 Abb. und 14 Tab. Kart. Euro 10,10

Individuelles Wachstum von Waldbäumen in Abhängigkeit von natürlichen und anthropogenen Einflüssen. Von H. Kramer und Chr. Kätsch. 152 Seiten mit 55 Abb. und 30 Tab. Kart. Euro 16,40

Wachstum und Behandlung der Douglasie im pazifischen Nordwesten von Amerika. Von H. Kramer. 114 Seiten mit 18 Abb., 22 Tab. und 4 Tafeln. Kart. Euro 8,40

Beiträge zur Bestandesbegündung der Fichte. Von H. Kramer und H. Spellmann. 103 Seiten mit 18 Abb. und 19 Tab. Kart. Euro 5,50

Biologische Aspekte zur Jungbestandspflege der Fichte. Von H. Kramer und N. Bjerg. 121 Seiten mit 16 Abb. und 27 Tab. Kart. Euro 4,50

Der Einfluß von Großklima und Standort auf die Entwicklung von Waldbeständen. Von H. Kramer. 140 Seiten mit 64 Abb. und 10 Tab. Kart. Euro 10,30

Neuerscheinung:

Parketthölzer aus Bolivien

Liefermöglichkeiten der bolivianischen Forstindustrie und Marktchancen in Deutschland

Von J. ZAPATA

228 Seiten mit 115 teilweise farbigen Abbildungen und Tabellen.

Kartoniert € 20,00.

ISBN 3-7939-0890-9

Der Schutz und die Erhaltung des Tropenwaldes sind eines der wichtigsten internationalen Anliegen der Umweltpolitik.

Aus ökonomischer Perspektive ist die Erhaltung des Tropenwaldes umso eher möglich, je vorteilhafter seine nachhaltige Nutzung für die örtliche Bevölkerung ist. Forschung, die zu einer Verbesserung der nachhaltigen Nutzungsmöglichkeiten der Tropenwälder beiträgt, dient daher auch der Erhaltung der vielfältigen Waldökosysteme in den tropischen Ländern.

Dies ist eine starke Motivation für eine auf die technische und wirtschaftliche Verwendung der Holzarten tropischer Wälder gerichtete Forschung.

Bolivien ist das ärmste Land Südamerikas, ungefähr die Hälfte seiner Fläche ist mit Tropenwald bedeckt. Bis zu diesem Zeitpunkt konzentriert sich die Holznutzung im Naturwald auf wenige bekannte Baumarten, deren Holzvorräte jedoch begrenzt sind.

Viele andere dort vorkommende Holzarten sind technisch und ästhetisch durchaus gleichwertig, werden aber bisher kaum genutzt. Ein Anstieg der Nachfrage nach diesen Holzarten würde nun die

Nutzungsmöglichkeit des Naturwaldes verbessern und der einheimischen Bevölkerung zusätzliche Einkommensmöglichkeiten bieten.

Mit der vorliegenden empirischen Marktstudie wurde deshalb für eine Reihe der weniger bekannten Holzarten beispielhaft untersucht, ob die bolivianische Forstindustrie in der Lage wäre, die für eine industrielle Verwendung ausreichende Menge von Parkett-Vorprodukten aus diesen Hölzern zu exportieren.

An diese Studie anschließend zeigt eine Analyse des Parkettmarktes in Deutschland, wie die Chancen der Vermarktung dieser hierzulande eher unbekanntem Holzarten als Parketthölzer auf dem deutschen Markt als einem wichtigen Exportmarkt einzuschätzen sind.

Dieses Buch enthält umfangreiche farbige Darstellungen und Beschreibungen der unbekanntem Holzarten und wendet sich an ein breites Publikum wie Wissenschaftler, die in den Bereichen Holzmarkt und Tropenholz arbeiten, an die Unternehmen der Parkettindustrie, an Importeure von Tropenholz sowie an Entwicklungshelfer und Interessierte, welche die Entwicklung des Forstsektors in Bolivien unterstützen wollen.

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