

# ALLGEMEINE FORST UND JAGDZEITUNG

ISSN 0002-5852

## INHALTSVERZEICHNIS

### AUFSATZE

- |  |   |    |
|--|---|----|
| B. Möhring,<br>U. Rüping,<br>G. Leefken<br>und M. Ziegeler | Die Annuität – Ein „missing link“ der Forstökonomie . . . . .<br>(The Annuity – a “missing link” of the Forest Economy) | 21 |
|--|---|----|

- |                               |  |    |
|-------------------------------|--|----|
| T. Czajkowski<br>und A. Bolte | Unterschiedliche Reaktion deutscher und polnischer Her-<br>künfte der Buche ( <i>Fagus sylvatica</i> L.) auf Trockenheit . . . .<br>(Different reaction of beech ( <i>Fagus sylvatica</i> L.) provenances<br>from Germany and Poland to drought) | 30 |
|-------------------------------|--|----|

- |                 |       |    |
|-----------------|-------|----|
| BUCHBESPRECHUNG | ..... | 40 |
|-----------------|-------|----|

**177. JAHRGANG 2006 HEFT 2 FEBRUAR**

**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 € 148,- zuzüglich Zustellgebühr; Studenten  
und in Ausbildung befindliche Forstreferendare € 118,40 (empf.  
Richtpreis). Preis der Einzelhefte je nach Umfang verschieden.

*Bezug:* Durch den Buchhandel oder direkt vom Verlag. Das Abon-  
nement 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 unver-  
langt eingegangene Manuskripte wird keine Gewähr übernommen.  
Rücksendung erfolgt nur, wenn Rückporto beiliegt.

Entsprechend dem international weit verbreiteten Review-Verfah-  
ren wird jeder Beitrag von zwei Fachgutachtern (vor allem Mitglie-  
der 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 Druck-  
seiten) 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 angenom-  
men, wenn die Tabellen-Überschriften und die Abbildungs-  
unterschriften 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 urheber-  
rechtlich geschützt. Übersetzung, Nachdruck – auch von Abbildun-  
gen –, 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 Bei-  
trägen oder Teilen von ihnen einzelne Vervielfältigungsstücke im  
Rahmen des § 54 UrhG hergestellt und dienen diese gewerblichen  
Zwecken, ist dafür eine Vergütung gem. den gleichlautenden

Gesamtverträgen zwischen der Verwertungsgesellschaft Wort, Abt.  
Wissenschaft, Goethestr. 49, 80336 München und dem Bundesver-  
band der Deutschen Industrie e. V., dem Gesamtverband der Versi-  
cherungswirtschaft 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 ent-  
richten. 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 ver-  
wenden.

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

*Anzeigenpreis:* Die 43 mm breite mm-Zeile € 0,44. Für Geschäfts-  
anzeigen 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)  
596 43 44. eMail: aulbach@sauerlaender-verlag.com. Internet:  
www.sauerlaender-verlag.com. *Bankkonten:* Commerzbank, Frank-  
furt a. M. 5408 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, Büsingenweg 5,  
D-37077 Göttingen

## Die Anschriften der Mitarbeiter von Heft 2 des 177. Jahrgangs:

Prof. Dr. ANDREAS BOLTE, Bundesforschungsanstalt für Forst- und  
Holzwirtschaft, Institut für Waldökologie und Waldinventuren,  
A.-Möller-Str. 1, D-16225 Eberswalde

Dipl.-Forsting. TOMASZ CZAJKOWSKI, Universität Göttingen, Institut  
für Waldbau I: Waldbau der gemäßigten Zonen und Waldökolo-  
gie, Büsingenweg 1, D-37077 Göttingen

FOR GEORG LEEFKEN, Universität Göttingen, Institut für Forstöko-  
nomie, Abt. für Betriebswirtschaftslehre, Büsingenweg 5, D-37077  
Göttingen

Prof. Dr. BERNHARD MÖHRING, Universität Göttingen, Institut für  
Forstökonomie, Abt. für Betriebswirtschaftslehre, Büsingenweg 5,  
D-37077 Göttingen

Ass. in d. Fd. URSULA RÜPING, Universität Göttingen, Institut für  
Forstökonomie, Abt. für Betriebswirtschaftslehre, Büsingenweg 5,  
D-37077 Göttingen

Ass. d. Fd. MARKUS ZIEGLER, Universität Göttingen, Institut für  
Forstökonomie, Abt. für Betriebswirtschaftslehre, Büsingenweg 5,  
D-37077 Göttingen

## Verfasser der Buchbesprechung:

Prof. Dr. Dr. h.c. H. ESSMANN, Universität Freiburg, Institut für  
Forst- und Umweltpolitik, AB Landnutzungspolitik, Tennen-  
bacher Str. 4, D-79106 Freiburg

## 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

## Beilagenhinweis

Diesem Heft liegen Titelbogen und Inhaltsverzeichnis zum 176.  
Jahrgang der Allgemeinen Forst- und Jagdzeitung bei.



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 € 49,- aid, Konstantinstraße 124, Stichwort 'ÖKOWALD', D-53179 Bonn  
<http://www.fh-rottenburg.de/greenlink/oekowald/index.html>

# Die Annuität – ein „missing link“ der Forstökonomie?

(Mit 5 Abbildungen und 1 Tabelle)

Von B. MÖHRING, U. RÜPING, G. LEEFKEN und M. ZIEGLER<sup>1)</sup>

(Angenommen November 2005)

## SCHLAGWORTER – KEY WORDS

*Bodenertragswert; Annuität; Jährlicher Holzproduktionswert.*

*Soil Expectation Value; Annuity; Annual Timber Production Value.*

## 1. EINFÜHRUNG

In der Dezemberausgabe der Allgemeinen Forst- und Jagdzeitung des Jahres 1849 veröffentlichte der hessische Forstmann MARTIN FAUSTMANN seinen mittlerweile weltbekannten Artikel über die „Berechnung des Werthes, welchen Waldboden, sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen“ (FAUSTMANN, 1849). Die wissenschaftliche Leistung FAUSTMANNs und die große Bedeutung des von ihm entwickelten Modells sind im Kreis der Forstökonomien und auch der allgemeinen Ökonomen anerkannt. Häufig wird in diesem Zusammenhang auf den Artikel des Nobelpreisträgers SAMUELSON (1976) verwiesen. Er schrieb, dass FAUSTMANN zu den wenigen Forstleuten gehöre, die die Frage der ökonomisch optimalen Umtriebszeit richtig beantwortet hätten, wobei nicht nur viele Forstleute, sondern auch namhafte Ökonomen an dieser Frage gescheitert seien.

Die Veröffentlichung von FAUSTMANN aus dem Jahr 1849 ist die international wohl am häufigsten zitierte forstökonomische Arbeit. Bezeichnenderweise erhielt sie auch in dem im Jahr 1995 neu gegründeten internationalen „Journal of Forest Economics“ einen Ehrenplatz, indem sie als erster Artikel in dem Eröffnungsheft in englischer Übersetzung abgedruckt wurde. Diese hohe Wertschätzung von FAUSTMANN und dem von ihm entwickelten Modell durch die internationalen Forstökonomien<sup>2</sup> steht jedenfalls in Deutschland in einem krassen Missverhältnis zu der Beurteilung durch die forstliche Praxis. Schon vor 45 Jahren erklärte KRIEGER (1960, S. 258), was aber heute immer noch uneingeschränkt gelten dürfte: „Die FAUSTMANN'sche Formel hat das forstliche Denken zur Kompromissbereitschaft und zum Misstrauen gegen jede theoretische Arbeit erzogen: die mathematische Zuverlässigkeit wurde nicht bezweifelt, aber man kümmerte sich nicht weiter darum, praktisch was man ‚duldsam‘“.

Dieser Beitrag will versuchen, einen Weg aufzuzeigen, wie durch Verwendung der sog. Annuität als Zielgröße der Divergenz zwischen Theorie und Praxis reduziert werden kann, ohne den „ökonomischen Geist“, der dem FAUSTMANN'schen Ansatz inneohnt und der zur Anerkennung im Kreis der Ökonomen geführt hat, aufzugeben.

### 1.1. Die FAUSTMANN'sche Formel

Die von FAUSTMANN veröffentlichte Formel, im deutschen Sprachgebrauch meist als Bodenertragswertformel, Bodenerwartungswertformel oder unter unmittelbarem Bezug auf den Autor als

FAUSTMANN'sche Formel bezeichnet, zeigt folgende aktuelle Notation in Anhalt an MANTEL (1968, S. 14)<sup>3)</sup>:

$$B_0 = \frac{A_u + \sum_{a=1}^u D_a \cdot (1+i)^{u-a} - c \cdot (1+i)^u}{(1+i)^u - 1} - V \quad (1)$$

$B_0$ : Bodenertragswert

$u$ : Umtriebszeit

$a$ : Bestandesalter

$A_u$ : erntekostenfreier Abtriebswert im Alter  $u$

$D_a$ : erntekostenfreier Holzerlös im Alter  $a$

$c$ : Kulturkosten

$i$ : Kalkulationszins (Zinssatz  $p/100$ )

$V$ : Verwaltungskostenkapital ( $v/i$ )

Formel (1) berechnet im Sinne der dynamischen Investitionsrechnung den Barwert (Jetztwert) des Zahlungsstroms einer ewig andauernden, sich alle Umtriebszeiten wiederholenden forstlichen Produktion. Ausgangspunkt der Bewertung ist der walddleere Boden. Bei der Bewertung wird im Zähler der Formel (1) eine auf das Ende der Umtriebszeit bezogene, periodische Rente berechnet, indem von dem erntekostenfreien Abtriebswert der Endnutzung ( $A_u$ ) und den auf das Ende der Umtriebszeitpunkt prolongierten, periodisch anfallenden erntekostenfreien Holzerlösen aus den Durchforstungen ( $D_a$ ) die prolongierten Kulturkosten ( $c$ ) abgezogen werden. Da unterstellt wird, dass die durch diesen Zahlungsstrom charakterisierte Bewirtschaftung nach jedem Umtrieb erneut identisch abläuft, erfolgt die Bewertung dieses ewigen Zahlungsstromes durch Kapitalisierung der periodischen Rente unter Verwendung des Kapitalisierungsfaktors  $((1+i)^u - 1)$ . Von diesem Kapitalwert wird abschließend das sog. Verwaltungskostenkapital ( $V$ ) abgezogen, das zuvor durch Kapitalisierung der jährlich als konstant angenommenen Verwaltungskosten ( $v$ ) ermittelt wurde.

### 1.2. Der Kalkulationszins

Der Kalkulationszins ( $i$ ) spielt, wie stets bei Investitionsrechnungen, auch bei der Berechnung des Bodenertragswertes eine zentrale Rolle. Die Berücksichtigung von Zinsen findet ihre Begründung vorrangig darin, dass der Einsatz von knappem Kapital in der Regel mit Kosten verbunden ist. Je nachdem, ob sich dieser Kostenmaßstab an der Finanzierung der Investition oder an verdrängten Anlagealternativen orientiert, lassen sich finanzierungsorientierte (an Fremd- oder Eigenkapitalkosten orientierte) oder opportunitätsorientierte (am Nutzenentgang alternativer Finanzanlagen oder verdrängter Investitionen orientierte) Kalkulationszinsen unterscheiden (s. ROLFES, 1992, S. 23 f.). Ist für einen Forstbetrieb die Grundsatzentscheidung gefallen, im Sinne der Nachhaltigkeit den produktiven Holzvorrat zu erhalten, so ist man nicht mehr frei in der Wahl des Kalkulationszinssfußes. Vielmehr ergibt sich durch die Grundsatzentscheidung für die Einhaltung der Vorratsnachhaltigkeit implizit die Höhe des Zinssatzes aus der in den Waldbeständen gerade noch realisierten Grenzverzinsung (s. MÖHRING, 2001b, S. 61 ff.). Unter mitteleuropäischen Verhältnissen ist die Grenzverzinsung des eingesetzten Kapitals jedoch eher gering. MÖHRING (2001b, S. 63) ermittelte für die Bewirt-

<sup>1)</sup> Institut für Forstökonomie der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August-Universität Göttingen, Büsgenweg 5, 37077 Göttingen, Tel.: 0551/39-3422, Fax: 0551/39-3420, Email: forecon@uni-forst.gwdg.de

<sup>2)</sup> Im Jahr 1999 kamen unter großer internationaler Beteiligung über 70 Forstökonomien aus 16 verschiedenen Ländern in Darmstadt zu einem wissenschaftlichen Symposium „150 Years of the Faustmann Formula: The Consequences for Forestry and Economics in the Past, Present, and Future“ zusammen, um ihre Interessen an dem Faustmann'schen Modell aufzuzeigen (s. BRAZEE, 2001, S. 441; NEWMAN, 2002, S. 5).

<sup>3)</sup> Die klassische forstliche Schreibweise ist hier durch die mathematisch korrekte ersetzt.

schaftung der Buche und Fichte im Staatswald des Solling reale Grenzrenditen zwischen 1% und 2%.

### 1.3. Zur ökonomischen Bedeutung der FAUSTMANN'schen Formel

Da der Bodenertragswert den Barwert einer unendlichen Serie von identischen forstlichen Investitionsprojekten ermittelt, kann er als systemgerechte Erweiterung des allgemeinen Kapitalwertansatzes für sehr langfristige forstwirtschaftliche Investitionen mit unterschiedlichen Laufzeiten (ZINKHAN und CUBBAGE, 2003, S. 79) angesehen werden, denn durch die auf ewige Dauer angelegte Berechnung ist der Kapitalwert nicht mehr unmittelbar von der Dauer der Umtriebszeit abhängig. Im englischen Sprachraum wird der so berechnete Barwert meistens als „soil expectation value“, „land expectation value“ oder „willingness to pay for bare land“ (s. KLEMPERER, 1996, S. 206) bezeichnet. Die letztere Bezeichnung verweist darauf, dass dieser Wert auch als Gleichgewichtspreis, also als maximale Zahlungsbereitschaft eines ökonomisch rationalen Erwerbers für nicht aufgeforsteten Waldboden, interpretiert werden kann (s. DEEGEN, 2001, S. 24).

Der Bodenertragswert erfüllt auch eine wichtige Funktion bei der Identifikation der ökonomisch optimalen forstlichen Bewirtschaftung (BUONGIORNO und GILLESS, 2003, S. 109 ff.). Dies wird meist an dem „klassischen“ forstökonomischen Gestaltungsproblem, dem Umtriebszeitproblem erläutert. Dabei geht es im Prinzip um die Frage, bis zu welchem Bestandesalter es ökonomisch vorteilhafter ist, einen Waldbestand unter Ausnutzung des noch realisierbaren Wertzuwachses zu erhalten bzw. ab wann die optimale Nutzungsdauer bereits überschritten und es deshalb vorteilhafter ist, den Bestand zu ernten und durch einen Nachfolgebestand zu ersetzen.<sup>4</sup> Die ökonomisch optimale Umtriebszeit ist dort gegeben, wo der Bodenertragswert sein Maximum aufweist. In diesem Zusammenhang ist immer wieder beschrieben worden, dass die Höhe des gewählten Kalkulationszinssfußes maßgeblichen Einfluss auf die ökonomische optimale Umtriebszeit hat. Je höher der Zinsfuß, also je größer die Kapitalknappheit, desto geringer wird die ökonomisch optimale Umtriebszeit (s. KLEMPERER, 1996, S. 224 f.; NAVARRO, 2003, S. 113 ff.). Aber auch zur Lösung anderer forstlicher Gestaltungsprobleme, wie der Bestimmung der optimalen Durchforstungsstrategie, der optimalen Bestandesbegründungs- und Pflegestrategie, z.T. auch zur simultanen Lösung der verschiedenen Gestaltungsprobleme ist die Maximierung des Bodenertragswertes als Optimierungskriterium erfolgreich angewandt worden (s. KLEMPERER, 1996, S. 239 ff.).

Bei der Berechnung des Bodenertragswertes gelten üblicherweise die folgenden Prämissen:

- Bewirtschaftung gleichaltriger Bestände im Kahlschlag;
- vollkommene Voraussicht (Sicherheit) über die naturalen Produktionsverhältnisse;
- Konstanz sämtlicher Erlös- und Kostendaten in der Zeit;
- Beschränkung des betrachteten Zahlungsstroms auf die forstliche Holzproduktion, d.h. mögliche weitere Leistungen des Waldes werden nicht betrachtet;
- unbeschränkte Kapitalanlage- und -verfügbarkeit bei einheitlichem Kalkulationszins (also keine Differenzierung zwischen Soll- und Haben-Zins).

Es hat nicht an Versuchen gefehlt, die Bodenertragswertformel derart weiterzuentwickeln, dass die einschränkenden Prämissen

zugunsten realistischerer Annahmen aufgegeben werden können. ABT und PRESTEMON (2003, S. 43) nennen allein über 50 Veröffentlichungen, überwiegend aus den letzten 20 Jahren, die das FAUSTMANN-Modell durch Berücksichtigung von variablen Inputs, von Leistungen außerhalb der Holzproduktion, von Unsicherheit, Berücksichtigung von Risikoaversion und Berücksichtigung von naturnahen, ungleichaltrigen Waldaufbauformen derart weiterzwickeln versuchen, dass so für die Waldbesitzer eine Entscheidungshilfe entsteht, die die realen Verhältnisse besser einbezieht. NEWMAN (2002, S. 7) erwähnt, dass allein seit dem Jahr 1985 über 200 neue Arbeiten zu dem FAUSTMANN'schen Modell entstanden sind.

### 1.4. Wo liegen praktische Probleme bei der Anwendung des FAUSTMANN'schen Modells?

Aus Sicht der Autoren stehen einer Anwendung des FAUSTMANN'schen Modells in der forstlichen Praxis weniger die einschränkenden Prämissen entgegen, zumal, wie eben erwähnt, mittlerweile auch diverse forstökonomische Arbeiten vorliegen, die die einfachen Prämissen durch differenziertere, realitätsnähere ersetzen. Es spricht vielmehr einiges dafür, dass es die Zielgröße selbst ist, die eine Anwendung in der Praxis problematisch macht, denn der Bodenertragswert stellt, wie oben erwähnt, einen „Kapitalwert einer ewigen forstlichen Produktion“ dar. Es fällt offensichtlich schwer, zwischen diesem recht abstrakten Kapitalwert einer ewig andauernden, stets gleichen forstlichen Nutzung und den laufenden forstlichen Entscheidungen innerhalb eines Forstbetriebes einen Zusammenhang zu sehen. Die „Praxisbedenken“ lassen sich an folgenden Argumenten festmachen:

1. Für nachhaltige Forstbetriebe, die in Deutschland die Regel sind, hat der Wert des „waldleeren Waldbodens“ keinen Bezug zum betrieblichen Handeln. Entscheidungen, die im Zusammenhang mit dem Kauf von Boden zum Zweck der Aufforstung stehen, spielen betrieblich praktisch keine Rolle. Hinzu kommt, dass es eine große Diskrepanz zwischen den forstlichen Bodenverkehrswerten und den mit Hilfe der FAUSTMANN'schen Formel ermittelten Bodenertragswerten gibt.

2. Die Betriebe suchen nach ökonomischen Entscheidungshilfen für die Bewirtschaftung von konkret vorhandenen, jeweils sehr unterschiedlich alten und verschieden aufgebauten, oft nicht den Optimalvorstellungen entsprechenden Waldbeständen. Das auf einen ewig identischen Produktionszyklus ausgerichtete FAUSTMANN'sche Modell hat offensichtlich wenig Bezug zu diesen laufenden Entscheidungsproblemen der Forstbetriebe.

3. Die extreme Abhängigkeit des Bodenertragswertes von der Höhe des Zinssatzes ist ebenfalls ein Problem. Zum einen berechnet sich unter den ökonomischen Konstellationen in Deutschland bei kapitalmarktorientierten Zinsforderungen häufig ein negativer Bodenertragswert. Zum anderen ist der Bodenertragswert sehr zinsreagibel, bei einem Zinsfuß von 0% wird er gar unendlich groß.

## 2. DIE ANNUITÄT ALS KRITERIUM DER INVESTITIONSRECHNUNG

Im Folgenden wird, statt des Bodenertragswertes, der den Kapitalwert der Zahlungsüberschüsse aus einer ewig gleichen forstlichen Produktion beschreibt, die Annuität als jährliche Erfolgsgröße verwendet (s. Formel 2 und 3). Einige der Verständnis- und Anwendungsprobleme, die mit dem FAUSTMANN'schen Modell in Verbindung stehen, sollen dadurch umgangen werden.

### 2.1. Grundsätzliches zur Annuität

Finanzmathematisch stellt die Ermittlung einer jährlichen Erfolgsgröße aus einem unregelmäßigen, sich über mehrere Jahre ausdehnenden Zahlungsstrom einer Investition kein Problem dar.

<sup>4</sup>) Dabei handelt es sich im Prinzip um das Problem zur Bestimmung der wirtschaftlich optimalen Nutzungsdauer, wie es im Zusammenhang mit der Nutzung von Investitionsgütern, z.B. von Maschinen, in der Literatur zur Investitionsrechnung auch regelmäßig dargestellt wird (s. GÖTZE und BLOECH, 1992, S. 201 ff.). Die Formel des Bodenertragswertes unterstellt dabei den Fall einer Kette unendlich vieler identischer Nachfolgeobjekte.



Mit Hilfe der sog. „Annuität“ kann der „originäre“, laufend wechselnde Zahlungsstrom in einen „derivaten“, jährlich konstanten, aber ökonomisch äquivalenten Zahlungsstrom überführt werden. Formal wird dazu der Kapitalwert des originären Zahlungsstromes mit Hilfe des sog. Wiedergewinnungsfaktors in eine jährlich konstante Zahlungsgröße überführt.

Formel (2) zur Berechnung des Kapitalwertes

$$K = \sum_{t=0}^n \frac{(E_t - A_t)}{(1+i)^t} \quad (2)$$

K: Kapitalwert  
t: Zeitpunkt (Dauer Jahre seit Periodenbeginn)  
n: Dauer der Betrachtungsperiode in Jahren  
 $E_t$ : Einzahlung zum Zeitpunkt t  
 $A_t$ : Auszahlung zum Zeitpunkt t  
i: Kalkulationszinssatz

Formel (3) zur Berechnung einer Annuität aus einem Kapitalwert

$$a = K \cdot \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (3)$$

a: Annuität (jährlich gleicher Zahlungsüberschuss)

Selbstverständlich kann auch ohne explizite Ausweisung des Kapitalwertes (K) ein uneteter Zahlungsstrom einer Investition unmittelbar in einen äquivalenten, stetigen Zahlungsstrom überführt werden (s. Formel 4).

Formel (4) zur unmittelbaren Berechnung einer Annuität aus dem Zahlungsstrom einer Investition

$$a = \sum_{t=0}^n \frac{(E_t - A_t)}{(1+i)^t} \cdot \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (4)$$

Dabei ist grundsätzlich zu berücksichtigen, dass die Annuität von denselben Modellprämissen ausgeht, wie sie der Kapitalwertmethode zugrunde liegen<sup>5</sup>. Es wird nur eine andere Zielgröße ermittelt. Im Gegensatz zum Kapitalwert als stichtagsbezogenem Vermögenswert wird bei der Annuität eine jährliche Erfolgsgröße ermittelt, weshalb die Annuitätenmethode auch als die „kleine Schwester“ der Kapitalwertmethode gilt. Die Annuität als jährliche Zahlungsgröße entspricht demjenigen jährlich konstanten Betrag, der während der Laufzeit eines Investitionsprojektes unter „Kapitalerhaltung“ jährlich als Gewinnbeitrag entnommen werden kann (s. SCHMIDT, 1986, S. 71). Insofern beziffert die Annuität jenen Erfolgsbeitrag, den ein Investitionsprojekt über die anteilige Kapitaltilgung und Verzinsung hinaus laufend in jährlich gleicher Höhe realisiert. Sie kann deshalb auch als finanzmathematisch korrekt hergeleiteter „durchschnittlicher Nettoüberschuss“ interpretiert werden (s. BITZ, 1998, S. 119 f.), der ohne Schmälerung der Ertragskraft dem Betrieb entnommen werden kann. Im Gegensatz zum Kapitalwert, der im Prinzip den Gesamtüberschuss aus einer Investition zum Entscheidungszeitpunkt ausdrückt, gibt die Annuität einen durchschnittlichen Überschuss während der Investitionsdauer an, wobei hier stets per anno gerechnet wird. An die Stelle eines Totalüberschusses aus der Investition tritt hier demnach der Periodenüberschuss (s. ZANTOW, 2004, S. 332 f.). Es handelt sich bei dem Kapitalwert und der Annuität mithin um Größen, die unterschiedliche Informationen bereitstellen. Beide Größen sind aber ineinander überführbar und insofern formal äquivalent. So wie der Kapitalwert selbst, ist die Annuität positiv, solange die interne

Verzinsung höher als der Kalkulationszinssatz ist, andernfalls ist sie negativ. Entspricht der Kalkulationszinssatz genau der internen Verzinsung, so sind Kapitalwert und damit auch Annuität gleich Null. Je höher eine Annuität ist, umso vorteilhafter ist die entsprechende Investition.

Mit Blick auf den Praxisbezug der beiden Zielgrößen weisen z.B. GÖTZE und BLOECH (2004, S. 96) aber ausdrücklich darauf hin, dass die Annuitätenmethode in Bezug auf die Interpretierbarkeit Vorzüge gegenüber der Kapitalwertmethode aufweise. Sie stelle eine spezifische Form eines „Durchschnittsgewinns“ dar und sei damit leichter zu interpretieren als der Kapitalwert.

## 2.2. Anwendung der Annuitätenrechnung zur Bewertung der forstlichen Produktion

Wenn in forstökonomischen Lehrbüchern die klassischen Verfahren der Investitionsrechnung abgehandelt werden, wird regelmäßig auch die Annuitätenmethode erwähnt (s. KATÓ, 1986; KLEMPERER, 1996; DAVIS und JOHNSON, 1987; SPEIDEL, 1984; OESTEN und ROEDER, 2002). Konkrete, auf die forstliche Produktion bezogene Anwendungsbereiche sucht man dort allerdings vergebens<sup>6</sup>.

Im Folgenden wird der Versuch unternommen, die Annuitätenmethode auf die forstliche Produktion, also den mit dem Pflanzen, Pflegen und der Ernte von Bäumen verbundenen langfristigen Produktionsprozess anzuwenden. Dabei wird das Ziel verfolgt, auf den Hektar bezogene jährliche Erfolgskennziffern zu ermitteln. Mit Hilfe der Annuitätenmethode soll der durch die Periodizität der forstlichen Nutzungen stark geprägte „originäre“ Zahlungsstrom in einen „derivaten“ jährlich konstanten Zahlungsstrom überführt werden, der zu dem „originären“ Zahlungsstrom jedoch ökonomisch äquivalent ist.

Diese – im Sinne der Annuität – ermittelte jährliche Erfolgsgröße, die im Prinzip der laufenden Holzproduktion jährlich entnommen werden kann, soll im Folgenden „jährlicher Holzproduktionswert“ genannt werden. Diese Begriffswahl soll zum Ausdruck bringen, dass hier unter Anwendung der Finanzmathematik eine jährliche Erfolgsgröße ermittelt wird und dass diese Größe unmittelbar mit der forstlichen Holzproduktion (also der Pflanzung, Pflege und Ernte von Bäumen) in Verbindung steht. Der „jährliche Holzproduktionswert“ entspricht einem jährlichen Deckungsbeitrag aus der waldbaulichen Produktion inkl. der entscheidungsabhängigen Kapitalkosten, vor Abzug der jährlichen Fixkosten<sup>7</sup>.

## 2.3. Jährlicher Holzproduktionswert für eine Umtriebszeit

Wird die Formel der Annuität auf den gesamten forstlichen Produktionszeitraum der Länge (u), von der Bestandesbegründung bis zur Endnutzung, angewandt, so hat die Formel folgende Notation:

Formel (5) für die Berechnung einer Annuität aus der forstlichen Produktion einer Umtriebszeit

$$a_u = \left( \frac{A_u}{(1+i)^u} + \sum_{a=1}^u \frac{D_a}{(1+i)^a} - c \right) \cdot \frac{i \cdot (1+i)^u}{(1+i)^u - 1} \quad (5)$$

Auf diese Weise wird eine jährlich konstante forstliche Erfolgsgröße, die für die gesamte Umtriebszeit gilt, ermittelt. Sie soll hier

<sup>5</sup>) Das betrifft neben der vollständigen Information vorrangig die Prämisse eines vollkommenen Kapitalmarktes, auf dem zu einem einheitlichen Zinssatz die benötigten finanziellen Mittel beschafft oder angelegt werden können.

<sup>6</sup>) NAVARRO (2003, S. 24 f.) hat die international gebräuchlichen Effizienzkriterien zur Analyse forstlicher Investitionen zusammengestellt; er beschreibt „Net Present Value“, „Land Expectation Value“, „Benefit/Cost Ratio“, „Payback Period“ und „Internal Rate of Return“, die Annuität wird nicht erwähnt.

<sup>7</sup>) Auf die Berücksichtigung von jährlichen Fixkosten (Verwaltungskosten) wird hier verzichtet, da unterstellt wird, dass sie unabhängig von der Produktions- bzw. Ernteentscheidung anfallen und insofern nicht entscheidungsrelevant sind.

als auf die Umtriebszeit bezogener, durchschnittlicher jährlicher Holzproduktionswert bezeichnet werden. Formal entspricht die mit Hilfe der *Formel (5)* berechnete Annuität der aus der Waldbewertung bekannten Größe der Bodenbruttorente. Hier wird jedoch auf den „Umweg“ verzichtet, zuerst den Bodenertragswert ( $B_0$ ) (im Sinne von *Formel (1)*) zu berechnen, daraus durch Multiplikation mit dem Zinssatz ( $i$ ) die Bodennetto-Rente abzuleiten und zu diesem Wert die jährlichen fixen Verwaltungskosten ( $v$ ) hinzuzuaddieren.<sup>8</sup>

#### 2.4. Abhängigkeit vom Kalkulationszins

Für das Verständnis der *Formel (5)* ist es von Wichtigkeit, die Bedeutung des Kalkulationszinssatzes zu erkennen. Interessant ist deshalb die Analyse des Grenzfall, bei dem der Zinssatz auf Null gesetzt wird. Wird in *Formel (5)* für den Kalkulationszins ( $i$ ) der Wert Null eingesetzt, so entsteht die *Formel*<sup>9</sup> (6).

$$a_u = \left( A_u + \sum_{a=1}^u D_a - c \right) \cdot \frac{1}{u} \quad (6)$$

Der durchschnittliche jährliche Holzproduktionswert vereinfacht sich ohne Berücksichtigung von Zinskosten zu dem durchschnittlichen jährlichen Deckungsbeitrag der forstlichen Produktion je Hektar, indem die Summe der erntekostenfreien Holzerlöse aus der Endnutzung und den Durchforstungen nach Abzug der Kulturkosten durch die Umtriebszeit dividiert wird. Bei zinsloser Betrachtung kann das zeitliche Nacheinander der Produktion eines Bestandes unmittelbar im Sinne des Normalwaldmodells in ein räumliches Nebeneinander verschieden alter Bestände transferiert werden. Man könnte den mit Hilfe der *Formel (6)* ermittelten Wert deshalb auch als jährlichen Brutto-Waldreinertrag je ha einer nachhaltig aufgebauten Betriebsklasse auffassen, von dem, um zu dem Waldreinertrag zu gelangen, noch die jährlich gleichen Verwaltungskosten ( $v$ ) abzuziehen sind.

#### 2.5. Jährlicher Holzproduktionswert für kürzere Zeiträume

Der „jährliche Holzproduktionswert“ kann nicht nur als Durchschnittswert für die gesamte Umtriebszeit berechnet werden, sondern es sind auch entsprechende Werte für kürzere Zeiträume ermittelbar. Dieses Vorgehen korrespondiert mit dem sequentiellen forstlichen Entscheidungsproblem, bei dem während der laufenden forstlichen Produktion immer wieder überprüft werden muss, ob die Nutzung oder das weitere Wachstum eines Bestandes vorteilhafter ist. Dabei gilt es im Prinzip darüber zu entscheiden, ob im Rahmen der Holzernte eine Desinvestition durchgeführt oder ob das Kapital in dem vorhandenen Bestand, unter Ausnutzung des Wertzuwachses, weiterhin gebunden (also investiert) werden soll.

Wird die Berechnung des jährlichen Holzproduktionswertes auf einen ( $n$ ) Jahre umfassenden Zeitraum angewandt, bei dem im Zeitpunkt  $x$  der Bestand bereits einen erntekostenfreien Abtriebswert von  $A_x$  hat, im Alter  $a$  noch weitere Durchforstungen mit erntekostenfreien Durchforstungserträgen  $D_a$  erfolgen und im Alter  $x+n$  der Bestand den erntekostenfreien Abtriebswert  $A_{x+n}$  aufweist, so errechnet sich für diesen  $n$ -jährigen Zeitraum der jährliche Holzproduktionswert mit Hilfe folgender *Formel (7)*:

$$a_n = \left( \frac{A_{x+n}}{(1+i)^n} + \sum_{a=1}^{x+n} \frac{D_a}{(1+i)^{a-x}} - A_x \right) \cdot \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (7)$$

<sup>8</sup>) Es könnte leicht formal gezeigt werden, dass die *Formel* gilt:  $a_u = B_0 \cdot i + v$

<sup>9</sup>) Mit Hilfe der sog. l'Hospital'schen Regel (s. GRAUERT und LIEB, 1970, S. 99ff.) lässt sich nachweisen:

$$\lim_{i \rightarrow 0} \frac{i}{(1+i)^u - 1} = \lim_{i \rightarrow 0} \frac{1}{u \cdot (1+i)^{u-1}} = \frac{1}{u}$$

Reduziert man abschließend seine Betrachtung auf einen nur einjährigen Zeitraum, so vereinfacht sich die *Formel (7)* wie folgt:

$$a = \left( \frac{A_{x+1}}{(1+i)} - A_x \right) \cdot \frac{i \cdot (1+i)}{(1+i) - 1} \quad (8)$$

Durch Kürzen ergeben sich daraus die *Formeln (9)* und *(10)*:

$$a = \left( \frac{A_{x+1}}{(1+i)} - A_x \right) \cdot (1+i) \quad (9)$$

$$a = A_{x+1} - A_x - A_x \cdot i \quad (10)$$

Mit *Formel (10)* lässt sich der laufende jährliche Holzproduktionswert für einen einjährigen Zeitraum ebenso einfach ermitteln, wie betriebswirtschaftlich deuten. Der laufende jährliche Holzproduktionswert entspricht dem laufenden Wertzuwachs ( $A_{x+1} - A_x$ ) eines Bestandes, abzüglich der Opportunitätskosten des in dem Bestand gebundenen Kapitals ( $A_x \cdot i$ ).<sup>10</sup> Bei der Ermittlung des laufenden Holzproduktionswertes wird also berücksichtigt, dass durch die Erhaltung eines Bestandes zusätzliche Werte durch den Zuwachs geschaffen werden, dass aber auch Kapital gebunden wird, dessen alternativer Nutzen im Sinne von Opportunitätskosten verhindert wird.

#### 3. BEISPIELBERECHNUNGEN

Zur exemplarischen Erläuterung des rechnerischen Vorgehens sollen jetzt einige Beispielberechnungen für die Baumart Fichte vorgestellt werden. Dafür wurden folgende Daten zugrunde gelegt:

1. Als Abbild des naturalen Produktionsprozesses wurde auf die Ertragstafel I. Ekl., starke Df. nach WIEDEMANN (1936/42) zurückgegriffen.<sup>11</sup>

2. Die Holzpreise und Holzerntekosten wurden mit Hilfe des Programms Holzernte auf der Basis aktueller Inputdaten ermittelt; so ergab sich der in *Abbildung 1* dargestellte Zusammenhang zwischen BHD und erntekostenfreiem Holzerlös.

3. Bestandesbegründungskosten wurden in Höhe von 1500 EUR/ha und Lässerungskosten im Alter von 10 und 20 Jahren jeweils in Höhe von 250 EUR/ha unterstellt.

4. Sonstige Kosten (insbesondere für Verwaltung etc.) wurden hier nicht berücksichtigt, da davon ausgegangen wurde, dass sie im Sinne von Fixkosten jährlich unverändert anfallen und sie insofern nicht entscheidungsrelevant sind.

5. Da der Kalkulationszins die alternativ innerhalb von Forstbetrieben realisierbare Rendite im Sinne einer forstüblichen Grenzverzinsung abbilden sollte, wurde hier, unter Bezug auf die schon oben erwähnte Quelle von MÖHRING (2001b, S. 63), der für die Kalkulationen maßgebliche Zinsfuß auf 1,5% fixiert.<sup>12</sup>

Bei den weiteren Berechnungen wurde die Konstanz all dieser Daten in der Zeit unterstellt. Auf der Basis dieser Datengrundlagen wurden die Aus- und Einzahlungen für 5-jährige Perioden sowie jeweils der Wert des verbleibenden Bestandes ermittelt, wobei nur positive erntekostenfreie Abtriebserlöse berücksichtigt wurden (s. *Abbildung 2*).

<sup>10</sup>) Ergänzend ist auf den Zusammenhang mit dem Wertzuwachsprozent hinzuweisen; ist der Kalkulationszinssfuß  $i$  gleich dem Wertzuwachsprozent ( $A_{x+1} - A_x$ )/ $A_x$ , so ist die Annuität gleich Null.

<sup>11</sup>) Da die Ertragstafeln der Sammlung von SCHÖBER (1975) verbreitet etablierte Standards darstellen, wurde auf das dort abgedruckte Produktionsmodell für Fichte zurückgegriffen. Die hier vorgestellten Berechnungen können selbstverständlich auch auf mit Hilfe von modernen Wachstumssimulatoren generierte Produktionsmodelle angewandt werden.

<sup>12</sup>) Da hier Konstanz aller Erlöse und Kosten unterstellt wurde, handelt es sich bei dem unterstellten Kalkulationszins von 1,5% de facto um einen Realzins.

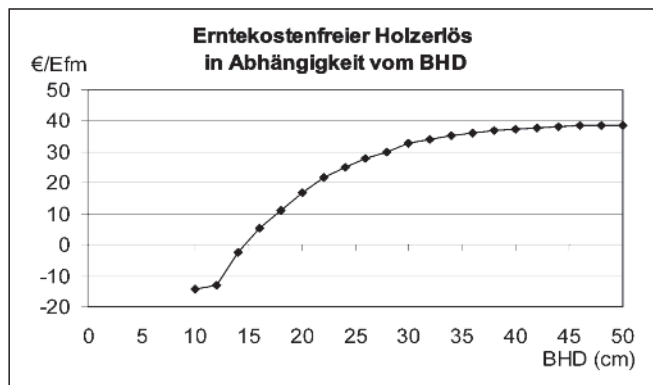


Abb. 1

Zusammenhang zwischen BHD und erntekostenfreiem Holzerlös in Euro je Efm für die Baumart Fichte.

Correlation between diameter at breast height (DBH) and stumpage value in EUR per m<sup>2</sup> commercial volume of spruce.

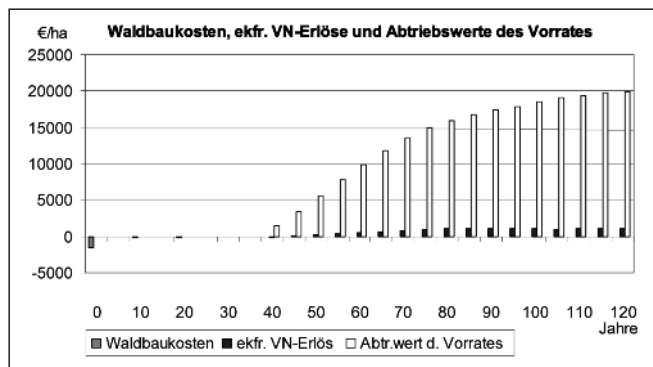


Abb. 2

Entwicklung der Waldbaukosten, der erntekostenfreien Vornutzungserlöse und des Abtriebswertes des Vorrates in Euro je Hektar während einer 120-jährigen Fichten-Umtriebszeit.

Development of silvicultural costs, net revenues of thinnings and stumpage values of standing volume in EUR per hectare during a 120 year rotation time of spruce.

### 3.1. Tabellen zur Darstellung der ökonomischen Produktionsverhältnisse

Unter Anwendung der oben beschriebenen Formeln ist es möglich, den jährlichen Holzproduktionswert sowohl für die gesamte Umtriebszeit als auch für kürzere Perioden zu berechnen. In die Berechnung des durchschnittlichen jährlichen Holzproduktionswerts gehen alle Aus- und Einzahlungen von der Kulturbegründung bis zur Endnutzung ein. Für einen 90-jährigen Produktionszeitraum ergibt sich auf der Basis der oben beschriebenen Zahlen ein Betrag in Höhe von 97 EUR/ha/a (s. *Tabelle 1*).

Anders ist dies, wenn man nur einen kürzeren Zeitraum, hier bspw. von 80 auf 90 Jahre, betrachtet. Zu Beginn dieses Jahrzehnts (siehe Abbildung 2) beträgt bei Unterstellung der Daten des Beispielfalles der erntekostenfreie Abtriebswert des Bestandes bereits rund 15900 €/ha. Soll die forstliche Produktion zehn Jahre weiter fortgesetzt werden, so muss auf die Realisierung dieses Betrages verzichtet werden, mithin ist die Erhaltung des Bestandes mit einer Investition in der oben angegebenen Höhe verbunden. Fünf Jahre später erfolgt dann eine Durchforstung mit einem erntekostenfreien Holzerlös von 1104 €/ha, weitere fünf Jahre später erfolgt die nächste Durchforstung mit einem erntekostenfreien Holzerlös von 1086 €/ha. Am Ende dieses Zeitraumes hat sich der erntekostenfreie Abtriebswert des verbleibenden Bestandes auf 17370 €/ha erhöht. Auf der Basis des Kalkulationszinsfußes von 1,5 % ergibt sich für diesen Zeitraum ein jährlicher Holzproduktionswert in Höhe von 111 €/ha (s. *Tabelle 1*). Diese für eine 10-jährige Periode berechnete mittlere Größe kann, unter Berücksichtigung der Tatsache, dass man es mit einem vergleichsweise langsamen forstlichen Produktionsprozess zu tun hat, im Prinzip auch als laufender jährlicher Holzproduktionswert angesehen werden.

Für praktische Zwecke erscheint es vorteilhaft, die Ergebnisse der Berechnungen des „jährlichen Holzproduktionswertes“ in einer Struktur, wie sie *Tabelle 1* beispielhaft darstellt, zu dokumentieren. Die erste Spalte der Tabelle zeigt dann das jeweils aktuelle Alter des Bestandes, während die erste Zeile die Länge der Betrachtungsperiode zeigt. Aufgrund der Beschränkungen der Ertragstafel endet die Tabelle bei einem Bestandesalter von 120 Jahren. Für die forstliche Praxis wird es meist genügen, die betrachteten Zeiträume jeweils in Jahrzehnten oder Vielfachen davon auszudrücken, da die forstliche Produktion ohnehin sehr langfristig ist und sich innerhalb dieser 10-jährigen Bewertungsperioden die Produktionsverhältnisse nur wenig verändern. Auf derartige Tabellen kann für vielfältige

Tab. 1

**Jährliche Produktionsüberschüsse der Fichte (1. Ertragsklasse, starke Durchforstung), in Abhängigkeit von Bestandesalter und Dauer der Betrachtungsperiode.**

**Yearly surplus of spruce (1. yield class, strong thinning) depending on stand age and duration of period under review.**

<b>Fichte, 1. EKL, st. Df.; jährlicher Holzproduktionswert in €/ha</b>												
<b>Dauer der Betrachtungsperiode</b>												
<b>Bestandesalter</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>	<b>80</b>	<b>90</b>	<b>100</b>	<b>110</b>	<b>120</b>
<b>mit Kulturkosten</b>	-186	-111	-79	-39	22	63	87	96	97	94	91	86
<b>ohne Kulturkosten</b>	-23	-23	-17	11	65	101	122	128	127	123	119	113
<b>10</b>	-23	-13	26	97	140	162	166	162	155	148	140	
<b>20</b>		0	57	150	198	217	208	196	185	174		
<b>30</b>			122	244	286	296	283	264	245	228	212	
<b>40</b>				385	388	374	341	307	279	254	233	
<b>50</b>					392	367	321	280	246	219	195	
<b>60</b>						337	277	229	194	166	142	
<b>70</b>							206	162	130	104	82	
<b>80</b>								111	82	59	37	
<b>90</b>									48	26	4	
<b>100</b>										0	-23	
<b>110</b>											-50	

Bewertungsfälle leicht zurückgegriffen werden, wenn Informationen über den laufenden und auch über den auf längere Zeiträume (bis hin zu einer ganzen Umtriebszeit) bezogenen durchschnittlichen jährlichen Holzproduktionswert gesucht werden.

### 3.2. Deutung des klassischen Umtriebszeitproblems

Die ermittelten jährlichen Holzproduktionswerte lassen sich auch unmittelbar für die Bestimmung der ökonomisch optimalen Umtriebszeit einsetzen. *Abbildung 3* zeigt den jeweils für verschiedene Umtriebszeiten (Dauern der Betrachtungsperiode) berechneten durchschnittlichen Holzproduktionswert.<sup>13</sup> Erkennbar wird, dass dieser Betrag von der Umtriebszeit abhängt und sein Maximum bei 90 Jahren mit einem Betrag von 97 €/ha/Jahr aufweist.

In der *Abbildung 3* sind auch die laufenden<sup>14</sup> jährlichen Holzproduktionswerte aufgetragen. Im Zeitpunkt der optimalen Umtriebszeit schneiden sich die Kurven der laufenden und durchschnittlichen jährlichen Holzproduktionswerte. Dies ist auch unmittelbar plausibel, denn solange der laufende Holzproduktionswert den durchschnittlichen übersteigt, ist eine Aufrechterhaltung der Produktion ökonomisch vorteilhaft. Ist hingegen der laufende Holzproduktionswert geringer als der durchschnittliche, so ist die Ernte des Bestandes und die Begründung eines Nachfolgebestandes ökonomisch vorteilhafter.

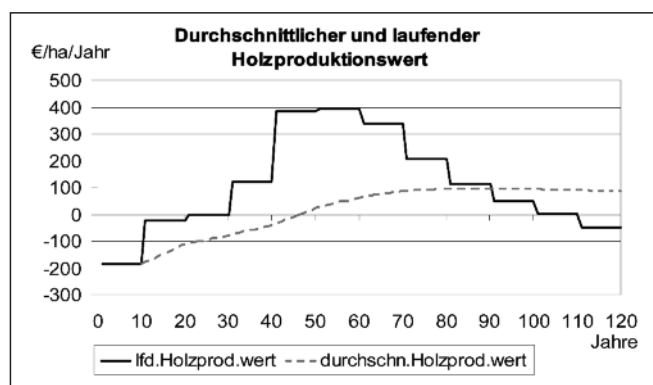


Abb. 3

Entwicklung des durchschnittlichen Holzproduktionswertes und des laufenden Holzproduktionswertes der Fichte (1. Ertragsklasse, starke Durchforstung) in Euro pro Hektar und Jahr für jeweils unterschiedliche Zeiträume der Betrachtung.

Development of average timber production value and current timber production value of spruce (1. yield class, strong thinning) in EUR per hectare and year each with different durations of periods under review.

Die vergleichsweise flache Kurve der durchschnittlichen Holzproduktionswerte weist jedoch auch darauf hin, dass die Einhaltung der ökonomisch optimalen Umtriebszeit unter Rentabilitäts Gesichtspunkten nicht sehr kritisch erscheint, da eine Abweichung von dem Optimum um +/- 10 Jahre nur zu einer Verminderung der jährlichen durchschnittlichen Produktionswerte von wenigen Euro je Hektar führt.

Diese Darstellung des Umtriebszeitproblems ist unmittelbar kompatibel mit den üblichen Beschreibungen zur Bestimmung der ökonomisch optimalen Umtriebszeit über die Maximierung des

Bodenertragswertes (s. KLEMPERER, 1996, S. 216ff.). Der Vorteil dieser auf die jährliche Wertproduktion bezogenen Darstellung wird jedoch darin gesehen, dass der Zusammenhang zwischen laufenden und durchschnittlichen jährlichen Holzproduktionswerten deutlich gemacht werden kann. Insofern ergeben sich innerhalb dieses Modellansatzes auch unmittelbar Anknüpfungspunkte an die laufende Wertbildung konkreter Bestände, was das Verständnis der ökonomischen Zusammenhänge und die Anwendung durch die Praxis sicher erleichtern dürfte.

### 3.3. Einfluss des Kalkulationszinses

Es ist auch aufschlussreich, den Einfluss des Kalkulationszinses auf den jährlichen Holzproduktionswert darzustellen (s. *Abbildung 4*). Es wird erkennbar, dass der hier für die Umtriebszeit von 90 Jahren dargestellte durchschnittliche jährliche Holzproduktionswert mit zunehmender Höhe des Kalkulationszinsfußes sinkt, wobei hier der Zusammenhang zwischen Zins und jährlichem Holzproduktionswert annähernd linear verläuft. Diese Beziehung ist auch unmittelbar plausibel, da mit der Erhöhung des Kalkulationszinses eine Erhöhung der Opportunitätskosten für das in der Produktion gebundene variable Kapital verbunden ist.

Für die Größe des Bodenertragswertes, hier ebenfalls für die Umtriebszeit von 90 Jahren, stellt sich dieser Zusammenhang anders dar. In *Abbildung 5* wird erkennbar, dass der Bodenertragswert bei sinkendem Zins überproportional zunimmt und bei einem Zinsfuß von 0% gar unendlich groß wird. Die *Abbildungen 4* und *5* verdeutlichen also den bereits oben allgemein ausgeführten Zusammenhang, dass bei einem Zinsfuß von 0% der Bodenertragswert nicht definiert ist, wohingegen die Größe des durchschnittlichen Holzproduktionswertes sehr wohl eine plausible inhaltliche Bedeutung erfährt. Sie entspricht (s. *Formel (6)*) dann dem durchschnittlichen Deckungsbeitrag der forstlichen Produktion (ohne Berücksichtigung von Opportunitätskosten des Kapitaleinsatzes) vor Abdeckung der als jährlich konstant angesehenen Fixkosten.

### 3.4. Auflösung der Unvereinbarkeit von Bodenreinertragslehre und Waldreinertragslehre

Traditionell gelten die „Bodenreinertragslehre“ mit der Zielgröße Bodenertragswert und die „Waldreinertragslehre“ mit der Zielgröße Waldreinertrag als unvereinbar (s. MÖHRING, 2001a, S. 195 ff.). Das dürfte nicht zuletzt an der Tatsache liegen, dass die

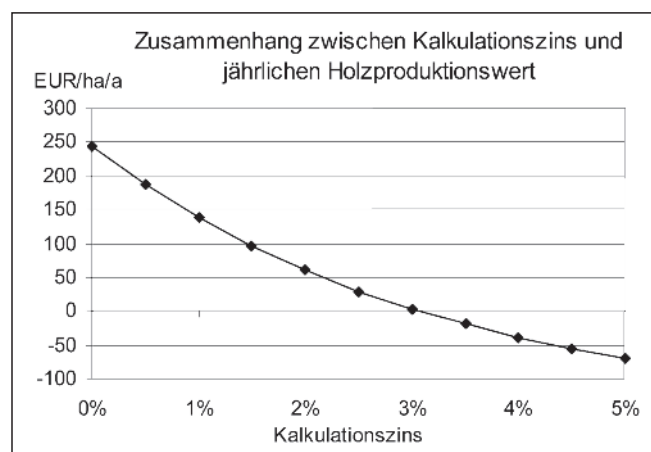


Abb. 4

Zusammenhang zwischen Kalkulationszins und jährlichem Holzproduktionswert für Fichte (1. Ertragsklasse, starke Durchforstung) dargestellt für die Umtriebszeit von 90 Jahren.

Correlation between interest rate and annual timber production value of spruce (1. yield class, strong thinning) diagrammed for a rotation of 90 years.

<sup>13</sup> Es sind hier die Werte der ersten Zeile (Holzproduktionswerte mit Kulturkosten) aus der *Tabelle 1* dargestellt.

<sup>14</sup> Formal handelt es sich um durchschnittliche, auf 10-jährige Perioden bezogene Werte, wobei, wie oben bereits argumentiert, unterstellt wurde, dass diese Mittelwerte von 10-jährigen Perioden die laufende jährliche Wertproduktion recht gut beschreiben. Die laufenden jährlichen Holzproduktionswerte sind der ersten Spalte aus *Tabelle 1* entnommen.



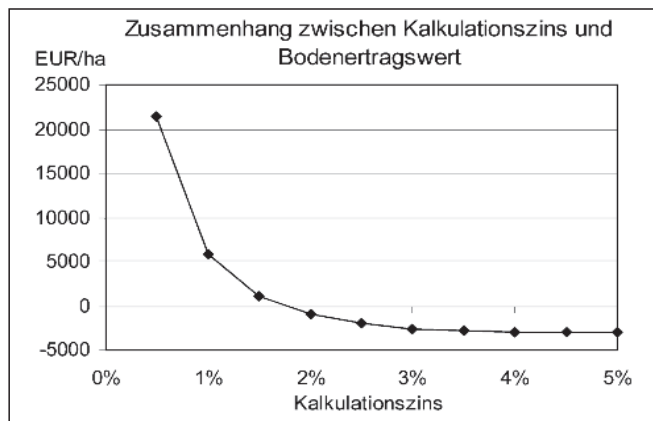


Abb. 5

Zusammenhang zwischen Kalkulationszins und Bodenertragswert für Fichte (1. Ertragsklasse, starke Durchforstung) dargestellt für die Umtriebszeit von 90 Jahren.

Correlation between interest rate and soil expectation value of spruce (1. yield class, strong thinning) diagrammed for a rotation of 90 years.

jeweiligen Zielgrößen nicht kompatibel zueinander sind. Der mit der Investitionstheorie und der Knappheit finanzieller Mittel korrespondierende Bodenertragswert als Kapitalwert einer periodisch ewigen Rente wird bei einem Zinsbetrag von Null, wie oben gezeigt, schlicht unendlich groß. Mithin sprengt dieser Grenzfall eines Kalkulationszinses von Null Prozent das Modell der Bodenertragslehre. Auf der anderen Seite wird auch das Modell der Waldreinertragslehre durch die Einführung von Zinsen gesprengt, denn in der Formel des Waldreinertrages ist schlicht kein Platz für diese Größe, die im Sinne von Opportunitätskosten den Nutzenentgang der unterlassenen alternativen Kapitalverwendung zum Ausdruck bringt.

Die Annuität ist insofern universeller. Aus ihr kann der Bodenertragswert als Spezialfall des Kapitalwertes einer ewig gleichen Annuität abgeleitet werden, indem die Annuität durch den Kalkulationszins dividiert wird. Außerdem kann wie oben gezeigt aus der Annuität bei zinsfreier Betrachtung der Waldreinertrag abgeleitet werden. Deshalb kann die Annuität – im Sinne der Überschrift dieses Beitrages – auch als ein „link“ zwischen Boden- und Waldreinertragslehre angesehen werden, das eine Lücke im Bereich der Forstökonomie zu schließen vermag.

#### 4. AUSBLICK

Ausgangspunkt dieses Beitrages war die Beobachtung, dass trotz aller Anerkennung, die sich die FAUSTMANN'sche Formel im Zirkel von Forstökonomien erworben hat, die forstliche Praxis in Mitteleuropa von diesem Modell und den mit Hilfe dieses methodischen Ansatzes gewonnen Größen wenig Notiz nimmt. Hier wurde deshalb der Versuch unternommen, den Bodenertragswert als Kapitalwert einer ewig gleichen forstlichen Produktion durch die Annuität als ökonomische Zielgröße zu ersetzen. Die Annuität kann gedeutet werden als jener Betrag, welcher der forstlichen Produktion während der Dauer der Investition unter Kapitalerhaltung jährlich entnommen werden kann. Dieser Erfolgsbeitrag wurde hier als jährlicher Holzproduktionswert bezeichnet.

Diesem rechnerischen Ansatz werden folgende Vorteile zugeordnet:

- Die Größe steht in Übereinstimmung mit den Methoden der dynamischen Investitionsrechnung. Insofern ergeben sich gegenüber der traditionellen Berechnung von Kapitalwerten auch keine Abstriche in Bezug auf die ökonomische Theorie oder die Anwendbarkeit.

- Der Bewertungszeitraum wird durch die Normierung auf jährliche Erfolgsgrößen auf die Umtriebszeit oder auf Teilzeiträume davon, bis hinunter auf ein Jahr, verkürzt. Die für das Verständnis der ökonomischen Zusammenhänge stets problematische Betrachtung einer ewigen konstanten forstlichen Produktion wird vermieden.
- Die Größe des jährlichen Holzproduktionswertes hat unmittelbaren Bezug zu der jährlichen Wertproduktion und kann insofern auch leichter mit anderen jährlichen, auf den Hektar bezogenen Leistungskennzahlen verglichen werden.
- Die als jährliche Beträge hergeleiteten Größen können mit Hilfe des Kalkulationszinssatzes diskontiert und so zu einem Kapitalwert kumuliert werden, der dem aus dem originären Zahlungsstrom hergeleiteten Kapitalwert entspricht.
- Die Werte des jährlichen Holzproduktionswertes können für standardisierte Fälle einfach berechnet und tabellarisiert werden und können dann beispielsweise auch für die Bestimmung der Ertragsverluste bei der Einschränkung der forstlichen Produktion (s. MÖHRING, 2004, S. 103ff.), wie sie bspw. bei der Bewirtschaftung in Wasserschutzgebieten, FFH-Gebieten etc. auftreten, verwandt werden.<sup>15</sup>
- Die Agrarökonomie nutzt verbreitet die Annuitätenmethode (s. BRANDES und ODENING, 1992, S. 24 ff.) und wendet diese beispielsweise auch bei der Bewertung der ökonomischen Leistung von Dauerkulturen an (z.B. bei Obstplantagen, WESSELER, 1997, S. 111). Durch die Nutzung dieses methodischen Ansatzes rücken insofern auch die Forst- und Agrarökonomie ein wenig enger zusammen.

Insgesamt wird erwartet, dass der hier beschriebene methodische Ansatz zur Ermittlung der jährlichen Holzproduktionswerte für die forstliche Praxis und die Kommunikation der Ergebnisse gegenüber dem traditionellen FAUSTMANN'schen Modell deutliche Vorteile bietet. Deshalb sollte ernsthaft versucht werden, die vorgeschlagenen Methoden, Argumentationen und Terminologien in die forstbetriebliche Bewertungslehre und Bewertungspraxis einzuführen. Damit wird auch die Hoffnung verbunden, dass die Lücke zwischen forstbetrieblicher Praxis und ökonomischer Theorie zumindest ein wenig verkleinert werden kann.

#### 5. ZUSAMMENFASSUNG

Das FAUSTMANN'sche Modell dominiert in vielen wissenschaftlichen Arbeiten in der Forstökonomie, jedoch gelingt es unter den mitteleuropäischen Rahmenbedingungen meist nicht, zwischen diesem Modell und den realen Bewertungs- und Entscheidungsproblemen der forstlichen Praxis eine tragfähige Brücke herzustellen. Dieser Beitrag will einen Weg zur Lösung dieses Problems aufzeigen, ohne den „ökonomischen Geist“ aufzugeben, der dem FAUSTMANN'schen Ansatz innewohnt.

Hier wird der Versuch unternommen, statt des mit Hilfe der FAUSTMANN'schen Formel ermittelten Bodenertragswertes, der den Barwert sämtlicher Zahlungsüberschüsse einer ewig fortdauernden forstlichen Produktion darstellt, eine im Sinne einer Annuität ermittelte jährliche Erfolgsgröße als Zielgröße zu verwenden. Die Annuität entspricht demjenigen jährlich konstanten Betrag, der während der Laufzeit eines Investitionsprojektes unter „Kapitalerhaltung“ jährlich als Gewinnbeitrag entnommen werden kann. Diese „annuierte“ jährliche Erfolgsgröße der laufenden Holzproduktion wird hier als „jährlicher Holzproduktionswert“ bezeichnet.

<sup>15</sup> Wenn bei konkreten Bewertungen die zu bewertenden Veränderungen betrieblich so relevant sind, dass Anpassungen auch im Bereich der Betriebsorganisation erfolgen, muss dies gesondert bewertet werden, denn hier wurde (s.o.) allgemein unterstellt, dass die Fixkosten für Verwaltung etc. unverändert anfallen.

Es wird gezeigt, dass die so ermittelte Annuität sehr universell verwendbar ist, denn aus dieser Größe kann ebenso der Bodenertragswert als Spezialfall des Kapitalwertes einer ewig gleichen Rente als auch der Waldreinertrag bei zinsfreier Betrachtung abgeleitet werden. Insofern erscheint es nicht übertrieben, die Annuität als ein „missing link“ der Forstökonomie anzusehen, denn sie ist geeignet, die Bodenertragslehre und die Waldreinertragslehre aber auch die langfristige (ganze Umtriebszeiten umfassende) und kurzfristige, laufende Erfolgsermittlung miteinander zu verbinden.

Beispielhafte Berechnungen erfolgen für ganze Umtriebszeiten aber auch für kürzere Zeiträume. Letztere korrespondieren mit dem „sequentiellen“ Entscheidungsproblem, bei dem immer wieder geprüft werden muss, ob die Ernte oder die Erhaltung konkreter Bestände, unter Aufrechterhaltung der laufenden Wertproduktion, vorteilhafter ist. Die Größe des Kalkulationszinsfußes muss sich dabei an der in Waldbeständen typischerweise realisierbaren alternativen Grenzrendite orientieren.

Mit dem hier vorgestellten Ansatz werden einige positive Erwartungen verbunden. Die Größe des „jährlichen Holzproduktionswertes“ erscheint in der Praxis besser kommunizierbar zu sein als der Bodenertragswert. Sie kann einfach berechnet, tabellarisiert und mit anderen auf den Hektar bezogenen Erfolgsgrößen verglichen werden. Auch kann sie z.B. für die Bestimmung jährlicher Ausgleichszahlungen verwandt werden, wie sie bei veränderten Bewirtschaftungsbedingungen in Wasserschutzgebieten, FFH-Gebieten etc. benötigt werden.

## 6. Summary

Title of the paper: *The Annuity – a “missing link” of the Forest Economy?*

The FAUSTMANN (1849) model dominates in many scientific analyses of forest economy research. However, under the conditions in central Europe it is mostly not reasonable to correlate between this model and the real valuation and decision problems in forest practice. This article will deliver solutions to that problem without dismissing the “economic spirit”, which inheres in the Faustmann model.

The soil expectation value is calculated according to the Faustmann formula and represents the present value of all payments surplus of a perpetual forest production. Instead of that value, a value in terms of annuity ascertained annual performance data as the target figure is used. The annuity corresponds to the annual constant amount, which can be yearly paid as a profit during the life span of a capital project under capital maintenance. The annual net surplus of silvicultural production is here termed as “annual timber production value”.

It is demonstrated that the annuity is universally usable. The soil expectation value as net present value of a perpetual equal annuity can be derived from this value as well as the highest revenue by free of interest view. In this respect it is not exaggerated treating the annuity as a missing link of the forest economy. It is suitable to interlink the land rent theory and the theory of highest revenue as well as long-term (whole rotation time containing) and short-term, current performance determination.

Exemplary calculations are made for whole rotations and also for shorter periods of time.

Calculations for shorter periods correspond to the “sequential” decision problem. At this it must prove time and again, if harvest or conservation of concrete stands under maintenance of the current value production is profitable. There the internal rate of discount must be oriented towards the alternative marginal rate of return, which is typically realizable in the stands.

With the here described approach positive expectations for the future are connected. Compared to the soil expectation value the size of the “annual timber production value” is not so difficult to understand for practical foresters. It can be simply calculated, tabulated and compared with other hectare orientated performance data. It can also be used for determining compensatory payments, which are needed for changing the cultivation conditions in water protection areas, FFH-areas etc.

## 7. Résumé

Titre de l'article: *L'annuité – un «missing link» – un chaînon manquant de l'économie forestière.*

Le modèle de FAUSTMANN domine dans de nombreux travaux scientifiques concernant l'économie forestière ; sous les conditions qui règnent en Europe Centrale, on ne réussit pas, le plus souvent, à jeter un pont solide entre ce modèle et les problèmes de décisions et d'estimations qui se posent dans la pratique forestière. Cette contribution se veut d'indiquer une voie à suivre pour résoudre ces problèmes, sans renoncer à la «pensée économique» inhérente à la formule de FAUSTMANN.

Au lieu de la valeur d'avenir du fonds évaluée à l'aide de la formule de FAUSTMANN – valeur qui correspond à la valeur actuelle de l'ensemble des soldes créditeurs de la balance des paiements d'une production forestière se poursuivant à l'infini – on a essayé ici d'utiliser comme grandeur – objectif le montant du résultat annuel, dans l'acception d'annuité. L'annuité correspond au montant annuel constant qui peut être prélevé tout au long de la durée du projet d'investissement, sous réserve de la «conservation du capital», donc en tant que bénéfice. Les montants des résultats de chaque année de la production ligneuse courante ainsi «annuitésés» sont désignés ici sous l'appellation «valeur annuelle de la production ligneuse».

On a montré que l'annuité ainsi calculée est utilisable de manière très générale, car de cette grandeur on peut aussi bien déduire:

- la valeur d'avenir du fonds, comme cas particulier de la valeur en capital d'une rente toujours égale;
- mais aussi, le revenu net de la forêt, sans prise en considération d'intérêts.

Cela étant, il ne semble pas exagéré de regarder l'annuité comme un «missing link» – un maillon manquant – de l'économie forestière car ce concept apte à concilier la théorie du rendement net du sol et la théorie du rendement net de la forêt, mais également à évaluer le résultat courant, à long terme (couvrant la révolution entière) et à court terme.

A titre d'exemples sont présentés des calculs portant sur la révolution toute entière, mais aussi sur des périodes plus courtes. Ces dernières sont liées au problème de la prise de décision «séquentielle» pour laquelle on doit vérifier, en permanence, s'il est avantageux de récolter ou de conserver un peuplement – existant réellement – pour maintenir à son niveau la production courante en valeur. Le niveau du taux d'intérêt calculatoire doit s'envisager comme un taux de capitalisation marginal alternatif, susceptible d'être obtenu, de manière caractéristique, dans des peuplements forestiers.

Quelques espoirs positifs sont liés au concept présenté ici. Le niveau de la «valeur annuelle de la production ligneuse» paraît, dans la pratique, être plus parlant que la valeur d'avenir du fonds. La première se calcule facilement, peut être mise sous forme de tables, et comparée à d'autres grandeurs caractéristiques des résultats à l'hectare. De même on peut l'utiliser pour déterminer le montant des indemnités compensatrices dues lorsque les conditions d'exploitation sont modifiées, par exemple dans les périmètres de protection des eaux.

J. M.

## 8. Literatur

- ABT, K. L. und J. P. PRESTEMON (2003): Optimal Stand Management. In: SILLS, E. O. and ABT, K. L. (eds.): *Forests in a Market Economy*, Kluwer Academic Publishers: Dordrecht u.a., S. 41–57.
- BITZ, M. (1998): Kapitel „B.I. Investition“ in *Vahlens Kompendium der Betriebswirtschaftslehre*, Bd. 1, 4. Auflage; Verlag Franz Vahlen: München, S. 107–173.
- BRANDES, W. und M. ODENING (1992): *Investition, Finanzierung und Wachstum in der Landwirtschaft*, Ulmer: Stuttgart.
- BRAZEE, R. J. (2001): The FAUSTMANN Formula: Fundamental to Forest Economics 150 Years After Publication. *Forest Science* 47 (4), S. 441–442.
- BUONGIORNO, J. und J. K. GILLESS (2003): Decision methods for forest resource management; Academic Press: Amsterdam u.a.
- DAVIS, L. S. und K. N. JOHNSON (1987): *Forest Management*, 3. ed., McGraw-Hill Book Company: New York u.a.
- DEEGEN, P. (2001): Aufforstung und Holzeinschlag als Investitionsprobleme in einer statischen Welt. Habilitationsschrift am der Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaft, TU Dresden: Dresden.
- FAUSTMANN, M. (1849): Berechnung des Werthes, welchen Waldboden, sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen. *Allg. Forst- und Jagd-Zeitung*, Monat December 1849, S. 441–455.
- GÖTZE, U. und J. BLOECH (2004): *Investitionsrechnung: Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben*; 4., durchges. Aufl., Springer-Verlag: Berlin u.a.
- GRAUERT, H. und J. LIEB (1970): *Differential- und Integralrechnung I*, Heidelberg Taschenbücher Band 26, 2. Aufl.; Springer-Verlag: Berlin u.a.
- KATÓ, F. (1986): Statische und klassische dynamische Verfahren der forstlichen Investitionsrechnung. *Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen*, Band 85, J.D. Sauerländer's Verlag: Frankfurt a.M.
- KLEMPERER, W. D. (1996): *Forest Resource Economics and Finance*; McGraw-Hill: New York u.a.
- KRIEGER, H. (1960): Von der forstlichen Betriebswirtschaftslehre. In: *Zeitschrift für Handelswirtschaftliche Forschung*, Heft 5, S. 242–280.
- MANTEL, W. (1968): *Waldbewertung*; fünfte, neubearbeitete Auflage; Bayerischer Landwirtschaftsverlag: München u.a.
- MÖHRING, B. (1994): Über ökonomische Kalküle für forstliche Nutzungsentcheidungen; *Schriften zur Forstökonomie*, Band 7, J.D. Sauerländer's Verlag: Frankfurt a.M.
- MÖHRING, B. (2001a): The German struggle between the 'Bodenreinertragslehre' (land rent theory) and the 'Waldreinertragslehre' (theory of the highest revenue) belongs to the past – but what is left? *Forest Policy and Economics* 2 (2001), S. 195–201.
- MÖHRING, B. (2001b): Nachhaltige Forstwirtschaft und Rentabilitätsrechnung – ein Widerspruch? *Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung*, S. 61–66.
- MÖHRING, B. (2004): Ein vereinfachender Ansatz zur Ermittlung von Ertragsverlusten bei der Einschränkung der Waldbewirtschaftung. In: *Perspektiven forstökonomischer Forschung*, *Schriften zur Forstökonomie*, Band 25, J.D. Sauerländer's Verlag: Frankfurt a.M., S. 103–118.
- NAVARRO, G. A. (2003): On 189 Years of Confusing Debates over the KÖNIG-FAUSTMANN Formula, *Schriften aus dem Institut für Forstökonomie der Universität Freiburg*, Band 18; Kessel, Remagen.
- NEWMAN, D. H. (2002): Forestry's golden rule and the development of the optimal forest rotation literature. *Journal of Forest Economics* 8, S. 5–27.
- OESTEN, G. und A. ROEDER (2002): *Management von Forstbetrieben*, Teil 1, Grundlagen, Betriebspolitik, Kessel, Remagen.
- ROLFES, B. (1992): *Moderne Investitionsrechnung*; Oldenbourg Verlag: München
- SAMUELSON, P. A. (1976): Economics of Forestry in an Evolving Society. In: *Economic inquiry* 14, S. 446–492.
- SCHMIDT, R. H. (1986): *Grundzüge der Investitions- und Finanzierungstheorie*, 2. Aufl., Gabler: Wiesbaden.
- SCHÖBER, R. (1975): *Ertragstabellen wichtiger Baumarten*; J.D. Sauerländer's Verlag: Frankfurt a. M.
- SPEIDEL, G. (1984): *Forstliche Betriebswirtschaftslehre*, 2., völlig neubearb. Aufl., Verlag Paul Parey: Hamburg und Berlin.
- WESSELER, J. (1997): Die Ökonomik der Einführung von Obstkulturen in der Cordillera Central von Nordluzon, Philippinen, *Forschungsberichte zur Ökonomie im Gartenbau*, Band 84, Shaker Verlag: Aachen.
- ZANTOW, R. (2004): *Finanzierung: die Grundlagen modernen Finanzmanagements*; Pearson Studium: München u.a.
- ZINKHAN, F. C. und F. W. CUBBAGE (2003): Financial Analysis of Timber Investments. In: SILLS, E. O. and ABT, K. L. (eds.): *Forest in a Market Economy*; *Forestry Sciences*, 72, Kluwer Academic Publishers: Dordrecht u.a., S. 77–95.

# Unterschiedliche Reaktion deutscher und polnischer Herkünfte der Buche (*Fagus sylvatica* L.) auf Trockenheit

Aus dem Institut für Waldbau, Abt. I: Waldbau der gemäßigten Zonen und Waldökologie, Georg-August-Universität Göttingen und dem Institut für Waldökologie und Waldinventuren der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft

(Mit 6 Abbildungen und 4 Tabellen)

Von T. CZAJKOWSKI<sup>1)</sup> und A. BOLTE<sup>2)</sup>

(Angenommen November 2005)

## SCHLAGWORTER – KEY WORDS

*Provenienz; Topfexperiment; Evapotranspiration; Matrixpotenzial; Blattwasserpotenzial; Trockenstress; Blattfläche; Sprosslänge; Wurzelhalsdurchmesser.*

*Provenance; pot experiment; evapotranspiration; matrix potential; leaf water potential; drought stress; leaf area; shoot length; root collar diameter.*

## 1. EINLEITUNG

Die Häufung und Verschärfung von Trockenperioden sind ein wichtiger Bestandteil der prognostizierten Klimaänderung (IPPC, 2001; FRICH et al., 2002). Im europäischen Vergleich sagt die SCEN-Klimaprognose für die Periode 2071–2100 die höchsten Variabilitäten der Sommertemperaturen für das zentrale und östliche Mitteleuropa voraus (SCHÄR et al., 2004). Diese Region stellt den Kern des Verbreitungsgebiets buchendominierter Wälder dar (BOHN und NEUHÄUSL, 2000–2003). Die Frage der Sensitivität der Buche gegenüber Trockenheit steht damit im Brennpunkt der Diskussionen um eine Arealverschiebung von Buchenwäldern und um die zukünftige Baumarten- und Herkunftswahl auf trockengefährdeten Standorten in Mitteleuropa (RENNENBERG et al., 2004; AMMER et al., 2005; KÖLLING et al., 2005). LASCH et al. (2002) prognostizierten schon bei einer Temperaturerhöhung von 1,5 °C im Laufe einer mehrhundertjährigen Modellsukzession (Modell FORSKA-M) den weitgehenden Verlust potenzieller natürlicher Buchen- und Buchenmischwälder in Brandenburg.

Die Verjüngungsphase stellt eine besonders sensible Phase für die Buche dar, in der neben dem Klimaeinfluss auch die Konkurrenz mit dem Altbestand und der Begleitvegetation Wachstum und Vitalität negativ beeinflussen kann (BOLTE und ROLOFF, 1993; AMMER, 2002; CZAJKOWSKI et al., 2005; LÖF et al., 2005). Stressphysiologische Untersuchungen an Buchenjüngpflanzen nach experimentell induzierter Wasserknappheit zeigten, dass Herkünfte verschieden auf Trockenheit reagieren. Buchen aus trockeneren Klimaten wiesen einen höheren Pflanzenwasserstatus auf oder erreichten einen kritischen Status später als Vergleichsherkünfte aus niederschlagsreicheren Gebieten (TOGNETTI et al., 1995; SCHRAML und RENNENBERG, 2002).

Für experimentelle Trockenstress-Untersuchungen wurden 11 autochtone Buchenherkünfte entlang eines klimatischen Gradienten zunehmender Kontinentalität, Sommerwärme und Tendenz zur Sommertrockenheit von Nordostdeutschland nach Zentralpolen ausgewählt und kultiviert. Ziel war, mögliche Unterschiede der

Buchenherkünfte in der Reaktion auf Trockenheit aufzuzeigen und diese mit der geographischen Lage und den klimatischen Gegebenheiten zu korrelieren.

## 2. MATERIAL UND METHODEN

### 2.1 Kultivierung der Sämlinge

Für die Untersuchungen wurden Samen von 11 anerkannten Buchenherkünften aus Saatgutbeständen polnischer und deutscher Forstbehörden oder Baumschulen kultiviert (Abb. 1, Tab. 1). Nach der Stratifizierung der Buchensamen von Januar bis März 2003 wurden 250 Sämlinge pro Herkunft einzeln in Pflanzcontainern (0,3 l Volumen, Bodensubstrat Typ P 25 von Industrie Erdewerk Archut GmbH) bei 30% rel. Beleuchtungsstärke in Anlehnung an die Methodik von PEUKE et al. (2002) kultiviert. Von Februar bis März 2004 erfolgte eine Umpflanzung von 30 zufällig ausgewählten Jungpflanzen pro Herkunft in mit Sandsubstrat (Bodenart: Mittelsandiger Grobsand, gSms; AD-HOC-AG BODEN, 2005) homogen gefüllten Töpfen (55 cm Höhe, 15 cm Durchmesser). Dieses Substrat entspricht weitgehend dem Mineralboden-Substrat der Herkunftsstandorte (vgl. CZAJKOWSKI et al., 2005). Die Jungpflanzen wurden etwa alle zwei Tage bewässert und gedüngt (0,1% Lösung mit NPKMg Dünger (15+10+15+2) zzgl. Bor, Eisen, Kupfer, Mangan, Molybdän, Zink).

### 2.2 Erhebungen von bodenphysikalischen Parametern

Die Bodentextur (Korngröße) des als Wachstumsmediums verwendeten Sandsubstrates wurde mit Hilfe von Sieb- und Schlämmanalyse sowie Sedimentation (Pipett-Methode) nach der DIN 18123 bestimmt. Zusätzlich erfolgte die Erhebung der mittleren Trockenraumdichte (AK Standortskartierung 1996) an zehn zufällig ausgewählten Proben. Anhand der Ergebnisse wurde die Wasserretentionskurve (WRC) des Sandsubstrates mit Hilfe der Gleichung von van Genuchten (1980, Gl. 1) modelliert, die auf dem Mualem-Genuchten-Modellansatz basiert.

$$\theta_h = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha \cdot \Psi)^n\right]^{\frac{1}{1+n}}} \quad (1)$$

mit

$\theta_h$ : Bodenwassergehalt [Vol.%] bei gegebener Saugspannung (= -Matrixpotenzial  $\Psi$ ) [kPa = 0,001 MPa]

$\theta_s$ : Sättigungswassergehalt, pF = 0 [Vol %]

$\theta_r$ : Restwassergehalt beim Erreichen des permanenten Welkepunktes, pF = 4,2 [Vol %]

$\alpha, n$ : empirische „van Genuchten-Parameter“

Die notwendigen Eingangsparameter für das Modell („van Genuchten-Parameter“:  $\theta_s$ ,  $\theta_r$ ,  $\alpha$  und  $n$ ) wurden zum einen nach Regressionsgleichungen von TEEPE et al. (2003) aus den Angaben zur Bodentextur und Trockenraumdichte berechnet (Modell 1). Zum Vergleich wurden für  $\alpha$  und  $n$  Angaben der AD-HOC-AG BODEN (1999) verwendet (Modell 2). Tabelle 2 enthält die grundlegenden Angaben zu Bodenphysik und den hydraulischen Eigenschaften des Wuchssubstrates der Buchenjüngpflanzen.

<sup>1)</sup> CZAJKOWSKI, TOMASZ (Dipl.-Forsting. Univ.). Georg-August-Universität Göttingen, Institut für Waldbau I: Waldbau der gemäßigten Zonen und Waldökologie, Büsgenweg 1, D-37077 Göttingen. Tel.: 0551-393680, Fax: 0551-393270, Email: tczajko@gwdg.de

<sup>2)</sup> BOLTE, ANDREAS (Prof. Dr.). Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Institut für Waldökologie und Waldinventuren, A.-Möller-Str. 1, D-16225 Eberswalde. Tel.: 03334-65345, Fax: 03334-65354, Email: abolte@bfh-inst7.fh-eberswalde.de



Tab. 1

**Beschreibung der Buchenherkünfte und klimatische Charakterisierung der Herkunftsgebiete,  
KWB: Klimatische Wasserbilanz (Differenz aus Niederschlag und potenzieller Evapotranspiration).  
Description of the beech provenances and climatic characteristics of the three provenance regions,  
KWB: Climatic water balance (difference of precipitation and potential evapotranspiration).**

Nr	Herkunft	Nähere Ortsbez.	Herkunfts-Gebiet	Niederschlag/ KWB Jahr [mm]	T Juli. [°C]	Quellen
1	810 02	Schönhorn	Nordost- deutschland (NO)	550 bis 700/ 50 bis 200	17,9	HAD (BUNR, 2003)
2	810 04	Buchheide				
3	810 05	MLT*				
4	315/3-353	Świebodzin	Westpolen (WP)	525 bis 650/ -50 bis 150	18,1	Klimaatlas Polen (ARSUS, 2001)
5	314/3-301	Świerczyna				
6	314/3-303	Okonek				
7	315/3-354	Lopuchówko	Zentralpolen (ZP)	525 bis 575/ -50 bis 50	18,7	Klimaatlas Polen (ARSUS, 2001)
8	314/1-157	Kwidzyn				
9	351/3-354	Golabki				
10	315/3-356	Jamy				
11	315/3-356	Brodnica				

\* MLT: Märkisch-Lausitzer Tiefland

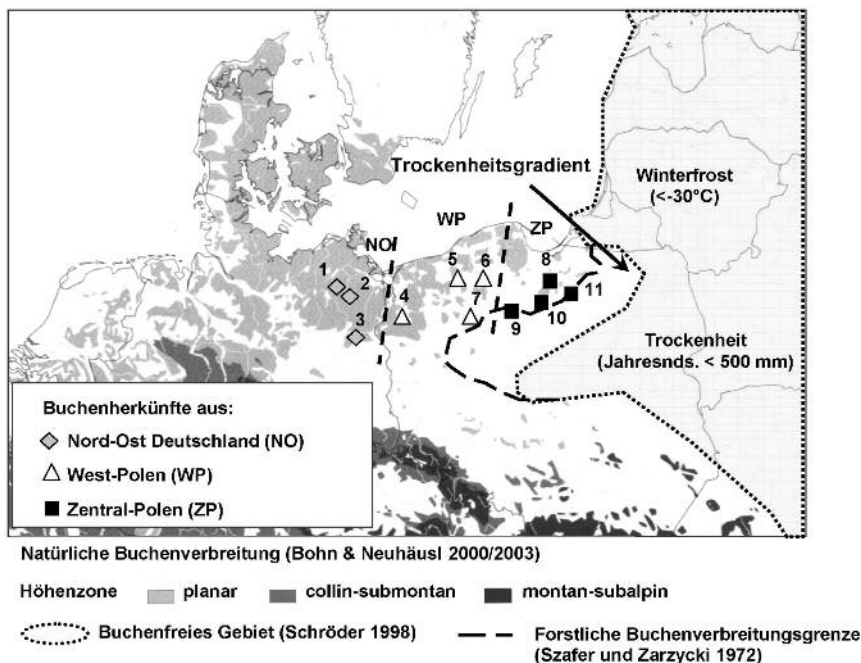


Abb. 1

Lage der ausgewählten Buchenherkünfte in einem geographischen Gradienten von Nordostdeutschland bis Zentralpolen. (Herkunft 3 kann nur grob lokalisiert werden, da außer der Herkunftsnummer keine näheren Angaben verfügbar waren).

Location of the selected beech provenances in a geographic gradient from North-East Germany to Central Poland. (The location of provenance no. 3 can be roughly described, since only information of the provenance district was available).

### 2.3 Simulation einer hochsommerlichen Trockenperiode

Im Zeitraum vom 08.07.2004 bis zum 18.09.2004 wurde eine Trockenperiode im Gewächshaus der Universität Göttingen simuliert. Es erfolgte eine Trennung des Pflanzenkollektivs jeder der 11 Herkünfte in Behandlung und Kontrolle mit je 15 Jungbuchen. Vor Beginn der Simulation wurden alle Pflanzen bis zum Erreichen der Bodenwassersättigung bewässert. Nachdem nach etwa 12 Stunden das bewegliche Bodenwasser aus Sickerungsöffnungen am Boden des Topfes abgeflossen und die nutzbare Feldkapazität (nWSK,  $pF = 1,8$ ; AD-HOC-AG BODEN, 2005) erreicht war, wurden zwei

zufällig ausgewählte Pflanzen pro Herkunft als Indikatorpflanzen inkl. Substrat und Topf gewogen. Nach der Wasserretentionskurve (WRC, Modell 2; AD-HOC-AG BODEN, 1999) wurde der mittlere Anfangswassergehalt (nWSK) auf 21 Vol.% geschätzt (Tab. 2). Dieser Wert liegt zwischen den 23 Vol.% nWSK der Wasserretentionskurve nach Modell 1 für ungestörte Waldböden und Angaben der Bodenkundlichen Kartieranleitung mit 16 bis 18 Vol.% (AD-HOC-AG BODEN, 2005).

Die Simulation einer sommerlichen Trockenheit erfolgte durch ein unterschiedliches Bewässerungsregime. Während die Pflanzen

Tab. 2

**Übersicht über die bodenphysikalischen Messwerte des verwendeten Bodensubstrats und die Modellparameter zur Ableitung der Wasserretentionskurve (WRC).**

**Soil physical data of the used soil material  
and model parameter for the water retention curve (WRC).**

Bodenphysikalische Messwerte	
Korngrößenverteilung [Gew. %]	Sand: 91,5 (gS: 46,1, mS: 29,2, fS: 16,2) Schluff: 4,8 (gU: 2,4, fU und mU: 2,4) Ton: 3,6
Trockenraumdichte (TRD) [g cm <sup>-3</sup> ]	1,20
Anfangswassergehalt Austrocknung $\cong$ Nutzbarer Wasserspeicherkapazität (nWSK) [Vol. %]	21 (Modell 2, pF = 1,8)
Van Genuchten-Parameter (Wasserretention)	
Sättigungswassergehalt $\theta_s$ [Vol. %]	54 bei pF=0
Restwassergehalt $\theta_r$ [Vol. %], PWP	5 bei pF = 4,2
$\alpha$ (Modell 1 / Modell 2)	0,095519 / 0,075404064
$n$ (Modell 1 / Modell 2)	1,62656135 / 1,6163

der Behandlungsvariante keinerlei Wasserzufuhr während des ganzen Untersuchungszeitraums erhielten, wurden die Buchen der Kontrollvariante weiterhin regelmäßig jeden zweiten Tag bewässert. Zweimal pro Woche wurden die Indikatorpflanzen zu Kontrollzwecken gewogen. Nach den Ergebnissen wurde die Bewässerung der Kontrolle so angepasst, dass nur geringe Abweichungen vom Ausgangsgewicht zu verzeichnen waren.

#### 2.4 Erhebungen zur Pflanzenreaktion auf Trockenheit

Die Bestimmung der Evapotranspiration der Behandlungspflanzen erfolgte gravimetrisch aus der Differenz von gemessenem Gewicht und dem Anfangsgewicht zu Beginn der Simulation. Die aufsummierte, kumulative Evapotranspiration während der simulierten Trockenperiode korrespondiert mit der Abnahme des volumetrischen Bodenwassergehaltes, da keine Bewässerung stattfand. Eine Kontrolle des Tiefengradienten der Bodenaustrocknung erfolgte an vier Pflanzen durch orientierende Messungen des Boden-Matrixpotenzials ( $\Psi_r$ ) in 25 cm und 45 cm Bodentiefe mit Gipsblöcken (Soil Moisture Block, Eikelkamp) und dem Ablesegerät Infield 7 (UMS, 2003).

Die Blattwasserpotenziale (Predawn- und Mittagspotenzial) wurden am Ende der simulierten Trockenheit an je 8 zufällig ausgewählten Pflanzen pro Herkunft der Behandlungs- und Kontrollvariante mit Hilfe der Druckkammermethode nach SCHOLANDER et al. (1965) untersucht (vgl. CZAJKOWSKI et al., 2005). Die Messungen erfolgten mit Hilfe einer Scholander-Bombe (Eigenbau der Univ. Göttingen, vgl. HORN, 2002) an intakten Blättern, z. T. mit Sprossabschnitten, unverzüglich nach dem Abtrennen von der Buchenpflanze. Die maximalen Blattwasserpotenziale (Predawn-Potenziale) wurden kurz vor Tagesbeginn (3–5 Uhr) bestimmt, die minimalen Blattwasserpotenziale (Mittagspotenziale) dagegen am Tag zwischen 12–15 Uhr.

An fünf Pflanzen pro Herkunft wurde die Blattfläche pro Pflanze ( $L_A$ ) gemessen. Eine Blatt-Beerntung fand am Ende der Vegetationsperiode (Anfang Oktober) statt. Die Blattfläche wurde an einem Scanner mit Hilfe der Bildverarbeitungssoftware WinFolia (Réagents Instruments Inc., Canada) ermittelt. An diesen Pflanzen wurden auch die Sprosslänge ( $L$ ) und der Wurzelhalsdurchmesser ( $D_0$ ) im März 2004 und im November 2004 erhoben. Aus den Differenzen konnte der Jahreszuwachs an Sprosslänge ( $Z_{L04}$ ) und Wurzelhalsdurchmesser ( $Z_{D004}$ ) bestimmt werden.

#### 2.5 Datenanalyse

Die Ergebnisse aller Messungen an den Buchenjungpflanzen wurden in einer MS ACCESS-Datenbank zusammengeführt und mit Hilfe der EDV-Software Statistica (StatSoft Inc., Tulsa, Oklahoma) statistisch ausgewertet. Unterschiede von Messergebnissen

der Behandlungs- und Kontrollvariante der Trockenheits-Simulation wurden mit dem Mann-Whitney-Zwei-Stichproben-Test (U-Test) auf statistische Signifikanz getestet. Der Signifikanztest auf Differenzen der Resultate der Behandlungsvariante, zusammengefasst nach den drei Herkunftsgebieten Nordostdeutschland (NO), Westpolen (WP) und Zentralpolen (ZP), erfolgte mit dem Kruskal-Wallis-Test (H-Test). Beide Tests verwenden als nicht-parametrische Verfahren die Ränge der Messergebnisse und sind daher robust gegenüber Abweichungen der untersuchten Daten von der Normalverteilung. Bei beiden Tests wurde als Signifikanzschwelle eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 5% gewählt ( $p = 0,05$ ).

### 3. ERGEBNISSE

#### 3.1 Evapotranspiration und Bodenwasserhaushalt

Bei der kumulativen Evapotranspiration der unbewässerten Buchenpflanzen der Behandlung aus den verschiedenen Herkunftsgebieten (Abb. 2) zeigen sich Unterschiede zwischen den Herkünften aus dem weniger kontinentalen Nordost-Deutschland (NO) sowie West-Polen (WP) gegenüber denen des kontinentaleren Zentral-Polens (ZP). Die drei NO- und vier WP-Herkünfte haben nach der 10-wöchigen Trockenperiode im Mittel etwa 45 mm verbraucht, die Buchen aus Zentralpolen (ZP) nur etwa 36 mm (Abb. 2a). Für weitere Analysen zur Bodenwasserausschöpfung werden nur die Tiefe 0 bis 40 cm als effektiver Wurzelraum betrachtet, da die in 45 cm Bodentiefe installierten Gipsblöcke keinerlei Wassorentnahme während der ganzen Austrocknungsperiode anzeigten (Werte oberhalb der Messgrenze von  $-0,01$  MPa, Widerstandswerte in den Gipsblöcken konstant  $<200 \Omega$ ). Durchwurzelungstiefen bis 30 cm, die an zwei Pflanzen nach dem Versuchsende erhoben wurden, bestätigten diese Einschränkung der effektiven Wurzeltiefe.

Vom Anfangswassergehalt der Töpfe (nWSK: 21 Vol.%) bis 40 cm Bodentiefe ist am Ende der Austrocknung bei den Indikatorpflanzen der NO- und WP-Herkünfte im Mittel noch knapp 10% vorhanden (Abb. 2b). Damit sind bei diesen Pflanzen im Schnitt die leicht verfügbaren Wasservorräte bis zu einem Bodenmatrixpotenzial ( $\Psi_r$ ) von  $-0,05$  MPa ( $pF = 2,7$ ) komplett ausgeschöpft. Das Bodensubstrat der Indikatorpflanzen der ZP-Herkünfte weist dagegen im Mittel noch fast 12% Wasservorrat auf. Hier stehen bei einem mittleren Matrixpotential ( $\Psi_r$ ) von  $-0,02$  MPa ( $pF = 2,3$ ) noch leicht mobilisierbare Wasservorräte zur Verfügung. Die am Versuchsende in 25 cm Bodentiefe an drei ausgetrockneten Pflanzen gemessenen Matrixpotenziale ( $\Psi_r$ ) mit einer Spanne  $-0,02$  bis  $-0,06$  MPa stimmen gut mit diesen Modellresultaten überein. Die Variabilität zwischen einzelnen Pflanzen wird aber dadurch deutlich, dass eine vierte Pflanze schon Anfang August 2004 den Messbereich ( $< -0,1$  MPa) unterschritten hatte.

### 3.2 Wasserstatus der Buchenpflanzen

Die geringere Ausschöpfung der Bodenwasservorräte der zentralpolnischen Buchen (ZP) führt dazu, dass die Pflanzen am Ende der Trockenheits-Simulation, gemessen am Predawn-Blattwasserpotenzial ( $\Psi_{PD}$ ), keine Anzeichen eines angespannten Wasserhaushalts zeigen (Mittlere Predawn-Potenziale  $> -0,4$  MPa, vgl. CZAJKOWSKI et al., 2005). Die unbewässerten Buchen der Behandlungsvariante und die bewässerten Buchenpflanzen der Kontrollvariante weisen bis auf Herkunft 11 keine signifikanten Unterschiede der Predawn-Potenziale auf (Abb. 3). Die Behandlungs-Pflanzen der nordostdeutschen und westpolnischen Herkünfte (NO, WP) hingegen haben bei höherer Ausschöpfung des nutzbaren Bodenwasservorrats am Ende des Versuchs bis auf die Herkunft 5 signifikant niedrigere Predawn-Potenziale als die Kontroll-Pflanzen. Vergleicht man die unbewässerten Buchen (Behandlung) aus den unterschiedlichen Herkunftsgebieten, so differieren sowohl die Predawn-Potenziale der nordostdeutschen (NO) und westpolnischen Herkünfte (WP) signifikant von denen zentralpolnischer Herkunft (ZP). Dagegen finden sich keine Unterschiede zwischen den westlichen Herkünften (NO und WP, Tab. 3). Dieser Befund lässt bei den Buchenpflanzen am östlichen Rand der Buchenwaldverbreitung auf eine vergleichsweise geringere Anspannung des pflanzen-internen Wasserhaushaltes gegenüber der Mehrzahl der westlichen Herkünfte schließen.

Bei der Gegenüberstellung der Einzelwerte für das Predawn- ( $\Psi_{PD}$ ) und Mittags-Blattwasserpotenzial ( $\Psi_M$ ) am Ende der Trockensimulation (Abb. 4a) ist bei den Buchenpflanzen der Kontrolle eine nahezu identische Potenzialsprende der unterschiedlichen Regionen ersichtlich. Zwar tritt auch bei einigen bewässerten Pflanzen ein niedriges mittägliches Wasserdefizit auf ( $\Psi_M$  bis  $-1,7$  MPa), aber in der Nacht können sich alle Pflanzen wieder erholen ( $\Psi_{PD} > -0,5$  MPa). Klare Unterschiede zwischen den Herkünften lassen sich aber bei den unbewässerten Pflanzen der Trockenheits-Simulation (Behandlung) erkennen (Abb. 4b). Hier folgen nur die Buchen aus Zentralpolen (ZP) übereinstimmend dem Regenera-

tionsmuster der Kontrolle und können alle ihr Wasserdefizit durch nächtliche Bodenwasseraufnahme ausgleichen. Bei den übrigen Herkünften (NO, WP) gelingt es neun Pflanzen nicht, ihr Blattwasserpotenzial über  $-1$  MPa zu steigern. Fünf Buchen zeigen nur geringe oder keine Regeneration ihres Wasserstatus, wie vergleichbare Mittags- und Predawn-Potenziale zwischen  $-1,5$  MPa und  $-3$  MPa anzeigen. Eine höhere Anzahl von Pflanzen mit nächtlicher Erholung und damit ohne Anzeichen von akutem Wassermangel kommt allerdings bei allen Herkünften vor.

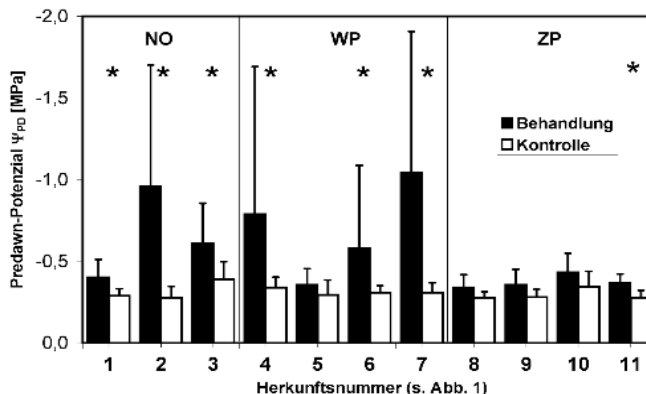


Abb. 3

Wasserstatus (Predawn-Blattwasserpotenzial, Mittelwerte und Standardabweichung) der Buchenpflanzen (Austrocknung und Kontrolle) am Ende der Trockenstress-Simulation getrennt nach Herkunft und Regionen; Sterne zeigen signifikante Differenzen zwischen Behandlungs- und Kontrollvariante an (Mann-Whitney U-Test,  $p < 0,05$ ).

Water status (predawn leaf water potential, means and SD) of the beech plants (treatment and control) at the end of the drought experiment for different provenances and provenance regions; stars indicate significant differences of treatment and control variants (Mann-Whitney U-test,  $p < 0,05$ ).

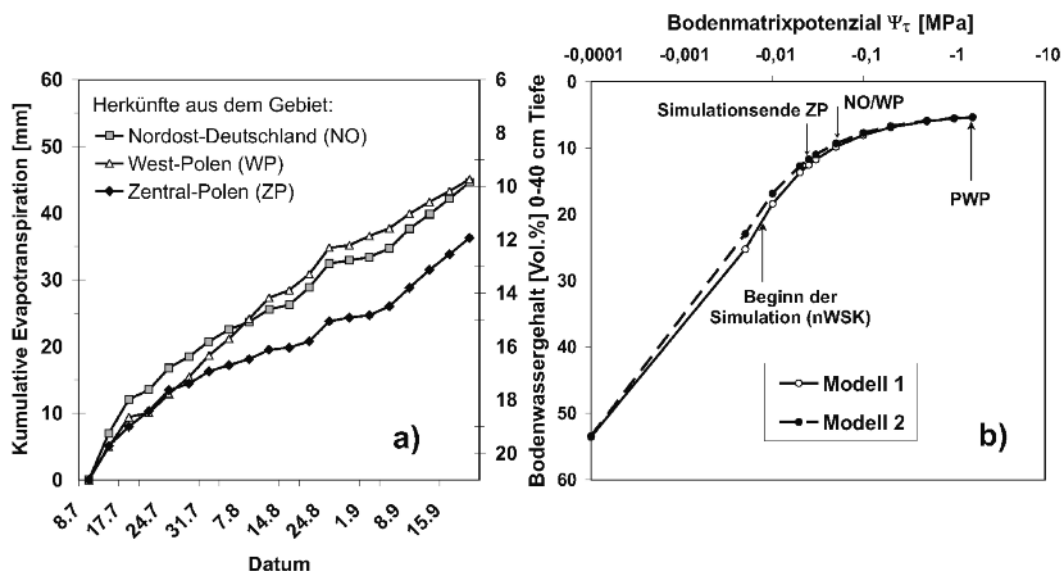


Abb. 2

a) Kumulative mittlere Evapotranspiration und Bodenwassergehalt [Vol. %] während der Trockenheits-Simulation in 2004, b) resultierendes mittleres Matrixpotenzial ( $\Psi_\tau$ ) nach der Wasserretentionskurve (WRC) für das verwendete Bodensubstrat nach Modell von VAN GENUCHTEN (1980), Modell 1: Parameter nach TEEPE et al. (2003), Modell 2: Parameter nach Ad-hoc-AG Boden (1999), PWP: Permanenter Welkepunkt (pF 4,2  $\approx -1,5$  MPa).

a) Cumulative mean evapotranspiration and volumetric soil water content (%) during 2004 drought treatment, b) resulting mean soil water potential due to the water retention curve (WRC) of the used soil substrate according to the model of VAN GENUCHTEN (1980), model 1: parameter acc. to TEEPE et al. (2003), model 2: parameter acc.

To Ad-hoc-AG Boden (1999), PWP: permanent wilting point (pF 4,2  $\approx -1,5$  MPa).

Tab. 3

Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) von Kennwerten zum Wasserstatus (Blattwasserpotenzial), zur Dimension und zum Zuwachs der unbewässerten Buchenjungpflanzen (Behandlung) getrennt nach Herkunftsgebieten; unterschiedliche Buchstaben nach den Mittelwerten kennzeichnen signifikante Differenzen zwischen den Pflanzen unterschiedlicher Herkunftsgebiete (H-Test,  $p < 0,05$ ); n: Probenanzahl.

Means and standard deviations (in parentheses) of characteristic values of water status (leaf water potential), dimension and increment of the non-watered young beeches (treatment) broken down by provenance regions; different letters following means indicate significant differences between plants from different provenance region (H-test,  $p < 0,05$ ); n: total number of samples.

	Nordost-Dtschl. (NO)	Westpolen (WP)	Zentralpolen (ZP)
Predawn-Blattwasserpotenzial ( $\Psi_{PD}$ ) [MPa]	-0,65 <sup>a</sup> (0,50) n = 24	-0,69 <sup>a</sup> (0,69) n = 32	-0,37 <sup>b</sup> (0,09) n = 32
Blattflächensumme pro Pflanze (LA) [cm <sup>2</sup> ]	123,5 <sup>a</sup> (51,7) n = 14*	118,6 <sup>a</sup> (38,8) n = 20	138,8 <sup>a</sup> (45,8) n = 19*
Sprosslänge Nov. 2004 ( $L_{11/04}$ ) [cm]	26,4 <sup>a</sup> (3,8) n = 15	22,8 <sup>b</sup> (4,3) n = 20	24,1 <sup>a</sup> (4,1) n = 20
Sprosslängenzuwachs 2004 ( $Z_{L04}$ ) [cm]	7,6 <sup>a</sup> (4,3) n = 15	8,5 <sup>a</sup> (3,7) n = 20	7,9 <sup>a</sup> (3,1) n = 20
Wurzelhalsdurchmesser Nov. (D0 <sub>11/04</sub> ) 2004 [mm]	5,0 <sup>a</sup> (1,0) n = 15	4,4 <sup>a</sup> (0,6) n = 20	4,5 <sup>a</sup> (0,8) n = 20
Zuwachs Wurzelhalsdurchmesser ( $Z_{D004}$ ) 2004 [mm]	1,3 <sup>a</sup> (0,7) n = 15	1,6 <sup>a</sup> (0,5) n = 20	1,7 <sup>a</sup> (0,6) n = 20

\* Reduktion der Probenanzahl durch vorzeitigen Blattbefall bzw. Blattvergilbung.

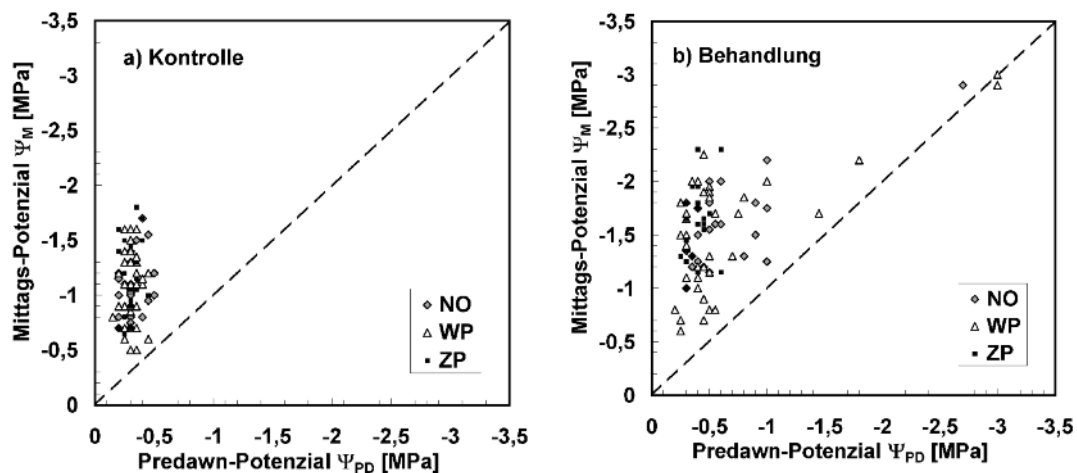


Abb. 4

Gegenüberstellung von Mittags- und Predawn-Blattwasserpotenzialen einzelner Buchenpflanzen am Ende der Trockenstress-Simulation getrennt nach Herkunftsgebieten (NO: Nordostdeutschland, WP: Westpolen, ZP: Zentralpolen), a) Kontrolle (bewässert), b) Behandlung.

Comparison of midday and predawn leaf potentials of beech plants at the end of the drought experiment for the different provenance regions (NO: North-East Germany, WP: West Poland, ZP: Central Poland); a) control, b) drought treatment.

### 3.1.3 Pflanzendimension und Zuwachs

Die mittlere Blattflächensumme pro Pflanze (LA) am Ende der Vegetationsperiode der untersuchten Stichprobe zeigen für alle Herkünfte bis auf Herkunft 5 nur zufällige Abweichungen zwischen unbewässerter Behandlung und bewässerter Kontrolle (Abb. 5). Die Werte der einzelnen Herkünfte liegen meist zwischen 100 cm<sup>2</sup> und 150 cm<sup>2</sup>. Höhere Blattflächensummen von 162 cm<sup>2</sup> und 196 cm<sup>2</sup> werden von der Behandlungsvariante der Herkünfte 3 und 9 erreicht. Die Kontrollvariante der Herkunft 8 weist im Schnitt nur 90 cm<sup>2</sup> Blattfläche aus. Bei einem Vergleich der Buchen der Behandlungsvarianten aus den unterschiedlichen Herkunftsgebieten (NO, WP und ZP) ergeben sich keine signifikanten Unterschiede (Tab. 3).

Die Messungen der Sprosslänge und des Wurzelhalsdurchmessers am gleichen Buchenkollektiv im November 2004 (Abb. 6a, b) ergeben ähnlich wie bei den Blattflächensummen pro Pflanze keine signifikanten Unterschiede zwischen Behandlungs- und Kontrollvariante. Dasselbe gilt für die mittleren Sprosslängenzuwächse im Jahr 2004 (Abb. 6c). Beim mittleren Zuwachs des Wurzelhalsdurchmessers der Kontrolle liegen die Werte der Herkünfte 2 und 8 signifikant über denen der Behandlung (Abb. 6d). Die Gegenüberstellung der mittleren Dimensions- und Zuwachswerte der Buchen getrennt nach Herkunftsgebieten (Tab. 3) zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen Nordostdeutschland (NO), Westpolen (WP) und Zentralpolen (ZP). Lediglich die signifikant geringere Sprosslänge der westpolnischen Buchenpflanzen im November 2004 bil-



det eine Ausnahme. Die im Mittel geringere Verdunstung der Buchen der zentralpolnischen Herkunft (ZP, Abb. 1a) sowie deren überwiegend höherer Pflanzenwasserstatus (Abb. 3) im Vergleich zu den westlichen Herkunft (NO, WP) gehen somit nicht mit geringerer Dimension und geringerem Wachstum einher. Dies deu-

tet eine vergleichsweise höhere Wassernutzungseffizienz der zentralpolnischen Herkunft vom östlichen Rand der Buchenwaldverbreitung an.

#### 4. DISKUSSION

Die unterschiedliche Transpiration der verschiedenen Herkunft während der Trockenheits-Simulation hat zur Folge, dass die nordostdeutschen (NO) und westpolnischen Herkunft (WP) früher als die zentralpolnischen Herkunft (ZP) die leicht mobilisierbaren Wasservorräte der langsam dränenden Grobporen und größeren Mittelporen des Bodens ( $\Psi_t \geq -0,03$ ;  $pF < 2,5$ ) verbraucht hatten (Abb. 2). Dies führt bei einem Teil der nordostdeutschen und zentralpolnischen Buchen zu erkennbarem Trockenstress wie die Blattwasserpotenziale zeigen (Abb. 3). Eine wichtige Rolle spielt dabei die ungünstige Wasserretentionseigenschaft des beim Versuch verwendeten Sandsubstrates, das aber der Textur der natürlichen Standorte der Herkunft im norddeutschen und polnischen Tiefland nahe kommt (s. CZAJKOWSKI et al., 2005). Zusätzlich zu einer geringen nutzbaren Wasserspeicherkapazität (nWSK) nimmt das Bodenmatrixpotenzial ( $\Psi_t$ ) in Sandböden ab 15 Vol.% bei weiterer Ausschöpfung deutlich überproportional ab (s. Tab. 3; TEEPE et al. 2003, AD-HOC-AG BODEN, 2005). Daher wirken sich die geringen Unterschiede im mittleren Restwassergehalt der Töpfe der nordost- und westpolnischen Buchenherkunft (NO/WP) mit 10 Vol.% einerseits und der zentralpolnischen Herkunft (ZP) mit 12 Vol.% andererseits in einer erheblichen Differenz des mittleren Matrixpotentials ( $\Psi_t$ ) von  $-0,05$  MPa (NO und WP) zu  $-0,02$  MPa (ZP) aus. Nur die Bodenmatrixpotenziale in den Töpfen der zentralpolnischen Herkunft bleiben somit oberhalb der kritischen Matrixpotenzial-Schwelle von  $-0,03$  MPa, unterhalb derer Bäume unter Wasserstress geraten können (AK STANDORTSKARTIERUNG, 1996).

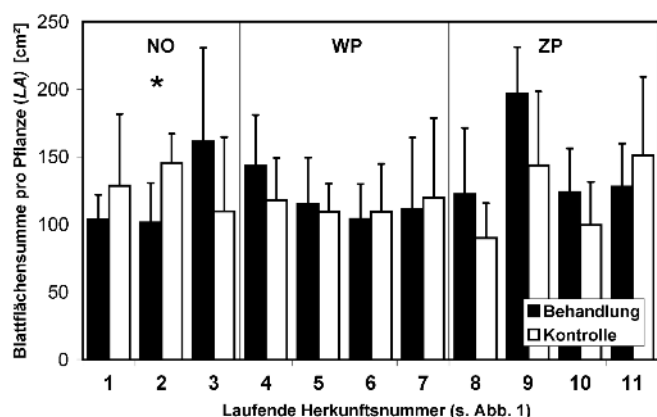


Abb. 5

Mittlere Blattflächensumme und Standardabweichung pro Pflanze (LA) [cm²] der 2-jährigen Buchen nach Herkunft und Regionen geordnet; Sterne zeigen signifikante Differenzen zwischen Behandlungs- und Kontrollvariante an (Mann-Whitney U-Test,  $p < 0,05$ ).

Means and SD of leaf area per plant (LA, cm²) of the beech saplings (2 yrs.) from different provenances and provenance regions; stars indicate significant differences of treatment and control variants (Mann-Whitney U-test,  $p < 0,05$ ).

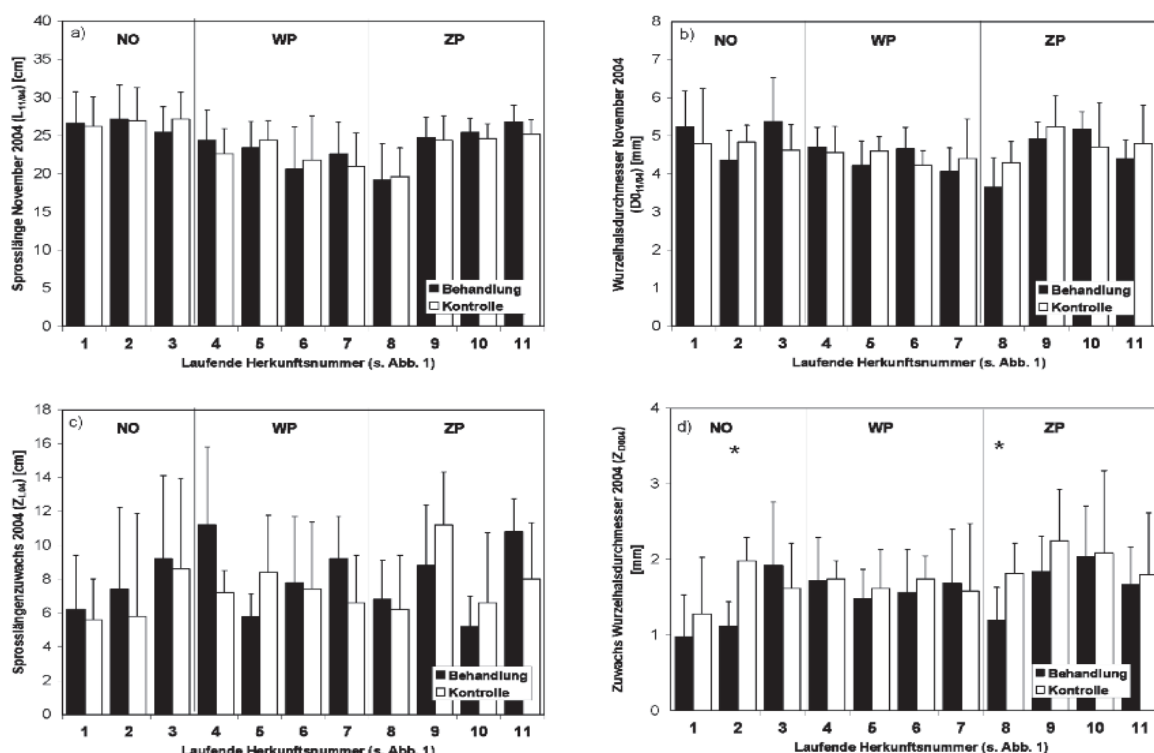


Abb. 6

Mittelwerte und Standardabweichungen (a) der Sprosslängen und (b) der Wurzelhalsdurchmesser nach dem Ende der Vegetationsperiode sowie (c) der Zuwächse an Sprosslänge und (d) der Wurzelhalsdurchmesser von März 2004 bis November 2004; Sterne zeigen signifikante Differenzen zwischen Behandlungs- und Kontrollvariante an (Mann-Whitney U-Test,  $p < 0,05$ ).

Means and SD of (a) plant shoot length, (b) root collar diameter after the end of the growth period, and (c) shoot length increment, (d) diameter increment from March to November 2004; stars indicate significant differences of treatment and control variants (Mann-Whitney U-test,  $p < 0,05$ ).

Für die Pflanzen zentralpolnischer Herkunft (ZP) stehen im Mittel noch etwa 9 mm mehr an meist leichter nutzbarem Wasservorrat (nWSK) zur Verfügung. Diese Pflanzen würden unter konstanten Verdunstungsbedingungen bei einer aus Gesamtverdunstung und Länge der Trockenperiode errechneten durchschnittlichen Evapotranspiration von 0,5 mm pro Tag erst nach weiteren 18 Tagen den u. U. schon kritischen Bodenwasserstatus der beiden anderen Herkünfte (NO, WP) erreichen. Eine solche verspätete Trockenheitswirkung beschreibt auch TOGNETTI et al. (1995) bei Sämlingen sizilianischer Buchenpopulationen von trockenen Standorten, an denen er zwei Tage später Trockenstress diagnostizierte als bei mitelitalienischen Buchenpopulationen feuchterer Standorte. Eine Verzögerung von Trockenheitseffekten ist als wichtiger Vorteil bei

der Anpassung der Buchenverjüngung an zukünftig intensivere und verlängerte Trockenphasen in Europa (vgl. EEA, 2004) zu bewerten.

Das Blattwasserpotenzial (Abb. 3) ist als Indikator für den Wasserstatus der Pflanzen eng an die Nachlieferung von Bodenwasser und damit an das Matrixpotenzial und den Bodenwassergehalt im Wurzelraum gekoppelt (LAMBERS et al., 2000; COLL et al., 2004). Daher weisen die meisten der nordostdeutschen und westpolnischen Herkünfte (NO, WP) am Ende der Trockenphase bei höherer mittlerer Evapotranspiration ein geringeres mittleres Predawn-Blattwasserpotenzial auf als die zentralpolnischen Herkünfte (ZP). Gegenläufige Trends einzelner Herkünfte (Nr. 1, 5) und einzelner Buchenpflanzen aller Herkünfte können darin begründet sein, dass

Tab. 4

**Vergleich der Spannen an Mittel, (Minima und Maxima, in Klammern) der gemessenen Blattwasserpotenziale (Predawn, Mittag) mit einigen Literaturwerten zu Buchenjüngpflanzen und älteren Buchen. Die Einschätzungen zum Trockenstress beziehen sich auf Behandlungsvarianten von Trockenheits-Simulationen oder Anmerkungen der Autoren (– Stress: bewässert/feuchtere Verhältnisse; + Stress: nicht bewässert/trockenere Verhältnisse).**

**Die Zahlenangaben wurden einheitlich auf eine Nachkommastelle gerundet.**

**Comparison of mean ranges (minima and maxima, in parentheses) of beech leaf water potentials (predawn, midday) of this study with literature data on young and mature beech. Drought stress assessments refer to treatment variants of drought experiments or remarks by the authors (– Stress: irrigated/moist sites; + Stress: not irrigated/dryer sites). All values are rounded to one decimal place.**

Wasserpotenzial $\Psi_{PD}$ [MPa] Predawn/Maximum		Wasserpotenzial $\Psi_M$ [MPa] Mittag/Minimum		Untersuchung	Autoren
- Stress	+ Stress	- Stress	+ Stress		
Buchenjungpflanzen					
-0,3 bis -0,4 (-0,2 bis -0,5)	-0,6 bis -1,0 (-0,2 bis -3,0)	-0,9 bis -1,3 (-0,5 bis -1,8)	-1,1 bis -1,8 (-0,6 bis -3,0)	Gewächshaus-Versuch, 2j.	Vorliegende Untersuchung
-0,2 bis -0,3	-0,3 bis -0,7	-	-	Klimakammer-Versuch, 1j., deutsche Herkünfte	Peuke et al. (2002)
-0,3 bis -0,7	-0,4 bis -1,2	-0,6 bis -1,4	-0,7 bis -1,6	Freilandversuch, Es-Bu- Verjüngung 1-15j. unter Bu- Schirm, Südniedersachsen	Horn (2002)
-0,3 bis -0,4	-0,9 bis -1,2	-	-	Freilandinventur, Bu- Bestände, Ostdeutschland und Polen, 2-5j.	Czajkowski et al. (2005)
-0,1	-1,8	-	-	Freilandinventur, Voranbau unter Ki, Zentralspanien	Aranda et al. (2001)
-0,4	-2,1	-	-	Freilandversuch, Buchen- schirm, Schwarzwald, 4j.	Schraml u. Rennenberg (2002)
-0,5	-2	-	-	Klimakammerversuch, 3j., italienische Herkünfte	Tognetti et al. (1994)
-0,6	-2,3	-	-	Klimakammerversuch, 1j., italienische Herkünfte	Tognetti et al. (1995)
-	-1,9 bis -2,6	-	-	Freiland, Es/Bu-Mischungen, 5-7j. (Auswahl), Nordhessen, Südnieders.	Rysavy u. Roloff (1994)
-0,9 <sup>1</sup> bis -1,3 <sup>2</sup>	-2,2 <sup>1</sup> bis -3,7 <sup>2</sup>	-	-	Klimakammer-Versuch, 1j., <sup>1</sup> ohne und <sup>2</sup> mit Konkurrenz von <i>Rubus fruticosus</i>	Fotelli et al. (2001)
			-1,9 bis -4,4	Freilandinventur, Es-Bu- Verjüngung, 15-20j., Göttinger Wald	Rysavy (1992)
-	-	-	-4,0	Gewächshaus-Versuch, 2j., subletal	Rysavy u. Roloff (1994)
Ältere Buchen					
-0,3 bis -0,4	-0,5 bis -0,7	-1,7 bis -2,1	-1,9 bis -2,3	4 Bu-Bestände, Klimagradient Mitteldeutschland	Schipka (2002)
-0,4	-0,7	-1,8	-2,2	Lüneburger Heide	Backes (1996)
>-0,3	-0,8	-2,0	-2,4	Bu-Ei-Bestand (30 J.), Zentralspanien	Aranda et al. (2000)

unterschiedliche Gradienten der Bodenfeuchte zwischen 0 und 40 cm Bodentiefe sowie der Durchwurzelung der Jungbuchen durch die Bestimmung der Gesamtverdunstung der gesamten Bodensäule nicht erfasst werden.

Der Vergleich der am Versuchsende gemessenen Predawn- und Mittags-Blattwasserpotenziale mit einigen Literaturwerten zu Buchenjungenpflanzen (*Tab. 4*) zeigt, dass die Mittel- und Extremwerte der Herkünfte sich ins Bild bisheriger Untersuchungen einordnen lassen. In einigen Fällen erreichten experimentell oder nach Sommertrockenheit untersuchte Buchenjungenpflanzen im Mittel niedrigere Predawn-Potenziale, insbesondere wenn Konkurrenz mit der Bodenvegetation (FOTELLI et al., 2001) oder mit dem Altbestand vorlag (RYSÁVY und ROLOFF, 1994; ARANDA et al., 2001; SCHRAML und RENNEBERG, 2002; HORN, 2002; CZAJKOWSKI et al., 2005). Ältere Buchen weisen dagegen deutlich höhere Predawn-Potenziale auf (BACKES, 1996; ARRANDA et al., 2000; CHIPKA, 2002). Beides deutet zum einen die Empfindlichkeit der jüngeren Buchenverjüngung gegenüber Trockenheit durch ihr auf den Oberboden begrenzten Wurzelraum hin. Zum anderen werden die Nachteile bei der Konkurrenz um Bodenwasserressourcen gegenüber einer Begleitvegetation mit Gräsern (COLL et al., 2003) oder gegenüber dem Altbestand deutlich (BOLTE und ROLOFF, 1993; MADSEN, 1994; AMMER, 2002).

Wichtig ist die Frage zu kritischen Schwellen des Blattwasserpotenzials für die Buchen, die zu einem teilweisen oder gar vollständigen Verlust der hydraulischen Leitfähigkeit des Xylems durch Embolie bzw. Kavitation führt. HACKE und SAUTER (1995) setzen den Grenzwert für einen beginnenden Verlust der Xylemleitfähigkeit der Buche auf ein minimales Wasserpotenzial von  $-1,9$  MPa. Dieser Wert entspricht der unteren Grenze der Mittags-Blattwasserpotenziale der Kontrollpflanzen ( $-1,8$ , *Tab. 3*, *Abb. 3*). Minimale Potenzialwerte oberhalb einer Grenzspanne zwischen  $-2,0$  und  $-2,2$  teilen auch BACKES (1996), ARANDA (2000) und CHIPKA (2002) für Altbuchen ohne Trockenstress mit. Dies zeigt, dass die Buche bei ausreichender Wasserversorgung durch die stomatare Transpirationsregulation der Gefahr einer Xylemembolie entgehen kann. Das Unterschreiten dieser Schwelle bei Trockenheit scheint sich aber bei unterschiedlicher Wasserverfügbarkeit, angezeigt durch das Predawn-Potenzial (LÖSCH, 2001), unterschiedlich auf die Xylem-Leitfähigkeit auszuwirken. So fanden TOGNETTI et al. (1995) und CHIPKA (2002) Zusammenhänge zwischen einem niedrigen Predawn-Blattwasserpotenzial und dem rapiden Absinken der Xylemleitfähigkeit bei Unterschreitung kritischer Mittagspotenziale. Danach erlauben die höheren Predawn-Potenzialwerte unserer zentralpolnischen Herkünfte (ZP) eher ein Unterschreiten der kritischen  $-1,9$  MPa-Marke für minimale Blattwasserpotenziale als die überwiegend niedrigeren Predawn-Potenziale der westlicheren Herkünfte. Ob die Buche bei der besseren Wasserversorgung durch aktives Wiederbefüllen der Gefäße Embolien eher wieder auflösen kann (TYREE et al., 1999), ist noch nicht geklärt (CHIPKA, 2002). Ein Mittags- und Predawn-Blattwasserpotenzial in vergleichbarer niedriger Größenordnung bis zu  $-3$  MPa wie in dieser Untersuchung bei einigen Pflanzen nordostdeutscher und westpolnischer Herkunft zu beobachten war, nimmt allerdings den Pflanzen jede Möglichkeit zur plastischen Reaktion auf weiteren Trockenstress. Das minimale subletale Blattwasserpotenzial bei Buche, angezeigt durch erste irreversible Trockenschäden, beobachteten RYSÁVY und ROLOFF (1994) bei  $-4,0$  MPa.

Größere Unterschiede zwischen den Predawn-Blattwasserpotenzialen der Buchenpflanzen sind nicht nur zwischen unterschiedlichen Herkünften, sondern besonders auch innerhalb der überwiegend stärker trockengestressten nordostdeutschen und westpolnischen Herkünfte zu beobachten. Die zentralpolnischen Herkünfte hingegen verhalten sich weitaus einheitlicher (*Abb. 2*, *3*).

SCHRAML und RENNEBERG (2002) fanden ebenfalls bei der trockenstress-sensitiven Hochlagenherkunft Conventwald höhere Spannbreiten an Predawn-Blattwasserpotentialen und dem Stressindikator Prolingehalt als bei weniger empfindlichen Herkünften. Dies kann ein Hinweis auf eine selektionsbedingte Anpassung der geringer trockenstress-sensitiven Herkünfte sein, bei der die empfindlichen Individuen ausgesiebt wurden und so von der Reproduktion ausgeschlossen sind. Da die Buche eine Baumart mit hoher genetischer Diversität ist (KONNERT et al., 2000), sind evolutionäre Umwelthanpassungen durch die Ausbildung genetisch differenzierter Ökotypen wahrscheinlich. Dafür spricht auch ein unterschiedliches Blattaustriebsverhalten von Herkünften aus Gebieten mit unterschiedlicher Spätfrostgefahr, das auch bei Transfer von Pflanzen in andere Gebiete erhalten bleibt (WÜHLISCH et al., 1995; CHMURA und ROZKOWSKI, 2002; VIŠNÍČ und DOHRENBUSCH, 2004). Welche Genorte die Anpassung der Buche an Trockenheit steuern, ist bisher ungeklärt (BOLTE, 2005).

Die Ergebnisse zur Pflanzendimension und zum Pflanzenwachstum der Jungbuchen zeigen bei vergleichbarer Dimension am Ende der Vegetationsperiode (Blattflächensumme, Sprosslänge, Wurzelhalsdurchmesser) nur geringe Unterschiede im Zuwachs zwischen Behandlung und Kontrolle (*Abb. 6*). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Trockenheits-Simulation die Wassernachlieferung für die Buchenpflanzen erst dann nachhaltig begrenzte, als das Längenwachstums weitgehend abgeschlossen war und nur noch geringes Durchmesserwachstum erwartet werden konnte (BRAUN, 1980). Von ähnlichen Befunden zum Höhen- und Durchmesserwachstum der Buchenverjüngung bei spätsommerlicher Trockenperiode berichten AMMER (2002) sowie SCHRAML und RENNEBERG (2002). Vor diesem Hintergrund sind auch die vergleichbaren mittleren Längenzuwächse der Herkünfte aus den unterschiedlichen Gebieten trotz unterschiedlicher Trockenstressempfindlichkeit zu verstehen (*Abb. 6*). Stärkere Wuchsdepressionen der Behandlungsgegenüber der Kontrollvariante und Unterschiede zwischen den Herkünften sind erst im Folgejahr zu erwarten (VAN HEES, 1997; LÖF und WELANDER, 2000; CZAJKOWSKI et al., 2005). Die im Mittel bei vergleichbaren Blattflächensumme pro Pflanze und Durchmesserzuwachsen geringere mittlere Evapotranspiration der zentralpolnischen Herkünfte gegenüber den anderen Herkünften aus Nordostdeutschland und Westpolen deutet allerdings insgesamt auf deren höhere Nutzungseffizienz knapper Bodenwasserressourcen hin.

## 5. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die vorgestellten Ergebnisse zeigen eine geringere Trockenstress-Empfindlichkeit von Buchenherkünften vom östlichen Rand der Buchenwaldverbreitung in Zentralpolen gegenüber der Mehrzahl der untersuchten Herkünfte innerhalb des Tieflandareals in Ostdeutschland und Westpolen. Damit deutet sich die grundsätzliche Möglichkeit an, im Rahmen eines auf Klimaänderung ausgerichteten Waldbaus trockenheitsangepasste Buchenherkünfte vom östlichen oder südlichen Buchenverbreitungsrand in jenen Buchenwaldregionen einzuführen, die deutlich verschärfte Trockenphasen zu erwarten haben (vgl. RENNEBERG et al., 2004). Andererseits bietet das Vorhandensein einer bestimmten Anzahl von weniger trockenstress-sensitiven Buchenindividuen in allen untersuchten Herkünften an, im Rahmen von Buchennaturverjüngung natürliche Selektionsprozesse für eine evolutionäre Trockenheitsanpassung lokaler Buchenpopulationen zu nutzen. In bestehenden Buchenaltbeständen ist letztere Möglichkeit realistischer, auch wenn die zu erwartende hohe Dynamik des Klimawandels mit u. U. Temperaturerhöhungen bis mehr als  $6^{\circ}\text{C}$  innerhalb einer Buchenumtriebszeit (vgl. IPCC, 2001) evolutionäre Anpassungsprozesse erschwert. Die Einführung gebietsfremder Herkünfte mit hoher Anpassung an Trockenheit oder die Mischung lokaler und

eingeführter Herkünfte (NIELSEN und JØRGENSEN, 2003) ist am ehesten interessant bei Neuanpflanzung und Waldumbau mit Buche. Bei der Auswahl der einzuführenden Herkünfte ist allerdings die Anpassungsfähigkeit an alle herrschenden Umweltbedingungen und auch die Wuchsqualität am neuen Standort zu berücksichtigen, um weitreichende Fehlentscheidungen zu vermeiden (vgl. AMMER et al., 2005). Hierzu sind zukünftig Versuchsanbauten unterschiedlicher Herkünfte über das Maß der bestehenden Herkunftsversuche hinaus notwendig. Diese sollten durch umfassende forstgenetische Forschungen zur genetischen Steuerung von Klimaanpassung der Buche begleitet und ergänzt werden.

## 6. ZUSAMMENFASSUNG

Ein Anstieg der mittleren Lufttemperatur von fast 1 °C innerhalb des letzten Jahrhunderts deutet auf eine sich vollziehende Klimaerwärmung in Europa hin. Dies soll unter anderem zu einer zukünftigen Verschärfung von sommerlichen Trockenphasen führen.

An zweijährigen Buchenpflanzen wurde in Topfversuchen die unterschiedliche Reaktion auf Trockenheit untersucht. Die Kultivierung der Buchenjungepflanzen erfolgte aus Buchensamen elf unterschiedlicher Herkünfte aus Nordostdeutschland (NO), Westpolen (WP) und Zentralpolen (ZP). Diese drei Regionen decken einen West-Ost-Gradienten zunehmender klimatischer Kontinentalität mit abnehmenden Niederschlägen und abnehmender klimatischer Wasserbilanz ab. Während einer 72-tägigen Trockenperiode-Simulation im Gewächshaus vom 08.07.2004 bis 18.09.2004 bekamen 15 Pflanzen pro Herkunft keine Wasserzufuhr (Behandlung), die gleiche Pflanzenanzahl wurde als Kontrolle weiterhin regelmäßig an jedem zweiten Tag bewässert.

Während der Simulation überstieg die mittlere kumulative Evapotranspiration (ET) der unbewässerten Buchen (Behandlung) der westlichen Herkünfte (NO, WP; ET: 45 mm) die der zentralpolnischen Herkünfte (ZO; 36 mm). Dies führte bei den Töpfen der NO/WP-Herkünften zu einer durchschnittlich höheren Ausschöpfung des Bodenwasservorrats bis knapp 10 Vol.% und damit niedrigeren modellierten Matrixpotenzialen ( $\Psi_t$ : -0,05 MPa) im Vergleich zu den Töpfen der ZP-Herkünften (Restbodenwasservorrat knapp 12%,  $\Psi_t$ : -0,02 MPa). Der mittlere Pflanzenwasserstatus (Predawn-Blattwasserpotenzial,  $\Psi_{PD}$ ) der NO und WP-Buchenherkünfte war dementsprechend signifikant niedriger und erreichte im Mittel Werte bis unter -1 MPa gegenüber > 0,5 MPa aller ZP-Herkünfte. Einzelne Buchen der NO und WP-Herkünfte unterschritten sowohl beim Mittags- ( $\Psi_M$ ) als auch beim Predawn-Blattwasserpotenzial mit Werten bis -3 MPa die kritische Grenze für beginnende Xylemembolie von -1,9 MPa (Hacke und Sauter, 1995). Buchenpflanzen ohne angespannten Wasserstatus ( $\Psi_{PD} < 0,4$  MPa) fanden sich allerdings auch in allen Herkunftsregionen. Sowohl die Pflanzendimensionen (Blattflächensumme pro Pflanze, Sprosslänge und Wurzelhalsdurchmesser) der Buchen aus den unterschiedlichen Herkunftsgebieten (NO, WP und ZP) nach dem Versuchsende als auch deren Längen- und Durchmesserzuwächse in der Vegetationsperiode unterschieden sich nur wenig. Ebenso gab es keine ausgeprägten Differenzen zwischen den mittleren Dimensionen und Zuwächsen der Behandlungs- und Kontrollvariante der einzelnen Herkünfte.

Die Ergebnisse deuten auf eine im Durchschnitt höhere Nutzungseffizienz knapper Bodenwasserressourcen und eine höhere Trockenheitsanpassung der zentralpolnischen Buchenherkünfte (ZP) am östlichen und kontinentalen Rand der Buchenwaldverbreitung gegenüber den nordostdeutschen und westpolnischen Herkünften (NO, WP) hin. Insbesondere eine verzögerte Ausschöpfung der restlichen nutzbaren Wasservorräte verschafft den ZP-Herkünften Vorteile bei sich verschärfenden Trockenphasen in

Mitteleuropa. Das Auftreten weniger trockenstressempfindlicher Buchenindividuen bei allen Herkünften zeigt aber auch die grundsätzliche Möglichkeit einer evolutionären Anpassung der Buche an verstärkte Trockenheit durch Selektionsprozesse an. Danach könnten die Einführung gebietsfremder Herkünfte trockenerer Klimate und die Selektion naturverjüngter lokaler Buchenpopulationen bzw. Buchenherkünfte zwei unterschiedliche Alternativen für die Verminderung der Trockenstressanfälligkeit mitteleuropäischer Buchenwälder sein.

## 7. Summary

Title of the paper: *Different reaction of beech (Fagus sylvatica L.) provenances from Germany and Poland to drought.*

An increase in mean air temperature of almost 1 °C during the last century indicates an ongoing climate warming in Europe. Among other changes, this is expected to lead to an intensification of future summer drought events.

The reaction of European beech (*Fagus sylvatica* L.) to drought was studied in greenhouse pot experiments using 2-year-old saplings. The saplings were cultivated using beech nuts from eleven different provenances from the regions North-East Germany (NO), West Poland (WP) and Central Poland (ZP). These regions cover a climatic East-West-gradient of decreasing precipitation and increasing July temperatures. A drought treatment was applied to 15 saplings per provenance for 72 days (08/07 to 18/09/04) in a greenhouse by discontinuing irrigation (treatment). A control sample comprising the same sapling number was continued every second day.

During the drought simulation, the mean cumulative evapotranspiration of the drought-treated beech from western provenances (NO, WP; ET: 45 mm) exceeded that of beech from the Central Polish provenance (ZP; ET: 36 mm) markedly. The NO and WP saplings demonstrated a higher exploitation of soil water resources than in ZP, until mean volumetric water content of the pots was just below 10%. Thus, a lower modelled soil water potential ( $\Psi_t$ : -0.05 MPa) remained at the end of the experiment compared to the Central Poland provenance (ZP) pots with about 12% water content ( $\Psi_t$ : -0.02 MPa). Accordingly, mean plant water status (predawn leaf water potential,  $\Psi_{PD}$ ) of the western provenances (NO, WP) was significantly lower than beech water status of the Central Polish provenances (ZP) and attained means of  $\Psi_{PD}$  lower than -1 MPa. Both predawn ( $\Psi_{PD}$ ) and midday ( $\Psi_M$ ) leaf water potential of a few NO/WP-plants with values as low as -3 MPa fell below the critical limit of -1.9 MPa for xylem embolism (Hacke and Sauter, 1995). However, beech saplings with no indications of water stress ( $\Psi_{PD} < 0.4$ ) were also found in all provenance regions studied. Both sapling dimensions (leaf area, plant shoot length, root collar diameter) after the drought simulation and beech height and diameter growth during the growing season were comparable among the different provenance regions (NO, WP and ZP). Similarly, differences between mean dimensions and growth in the drought treatment and control were minimal.

A higher soil water use efficiency (WUE) and better adaptation to drought was evident for the beech provenances in Central Poland (ZP) at the eastern, continental beech forest boundary compared to the beech in North-East Germany (NO) und West-Poland (WP). Particularly, a prolonged water exploitation option of the ZP-beech provenances must be considered as an advantage for survival and competition under conditions of intensified drought events in Central Europe. However, the occurrence of less stress-sensitive beech individuals in all provenances points to the possibility of evolutionary adaptation to more intensive drought due to selection processes. Thus, the introduction of drought-adapted provenances and the selection of naturally regenerated, local beech populations or prove-



nances may provide two options for to decreasing the vulnerability of Central European beech stands to drought events.

## 8. Résumé

Titre de l'article: *Réaction différente à la sécheresse de provenances de hêtre allemandes et polonaises.*

Une augmentation de la température moyenne de l'air au cours du dernier siècle montre un réchauffement patent du climat en Europe. En autres conséquences cela doit conduire, à l'avenir, à une aggravation des phases de sécheresse estivales. Sur des plants de hêtre de deux ans éduqués en pots on a étudié les différences de réaction à la sécheresse. Les jeunes plants de hêtre cultivés étaient issus de fâmes de diverses provenances, du Nord-est de l'Allemagne (NO), de l'ouest de la Pologne (WP) et du centre de la Pologne (ZP). Ces trois régions couvraient un gradient ouest-est, avec un climat de plus ou plus continental, des précipitations et un bilan hydrique de moins en moins élevés. Lors d'une simulation de période sèche d'une durée de 72 jours, en serre – du 08.07.2004 au 18.09.2004 – 15 plants de chacune des provenances ne reçurent aucun apport d'eau (traitement) alors que le même nombre de plants continuèrent à être arrosés régulièrement tous les deux jours (témoin). Pendant la simulation l'évaporation moyenne cumulée (ET) des hêtres non-arrosés (traitement) augmenta en ce qui concerne les provenances de l'ouest (NO, WP; ET: 45 mm) et celles du centre de la Pologne (ZO; 36 mm). Dans les pots des origines NO/WP, cela conduit à un assèchement plus important en moyenne, donc à une moindre quantité d'eau dans le sol, jusqu'à tout juste 10% en volume et de ce fait, un assez faible potentiel d'absorption selon le modèle Matrix ( $\Psi_t$ : -0,05 MPa) en comparaison des pots avec les provenances ZP (quantité d'eau restant dans le sol limité à 12%  $\Psi_t$ : -0,02 MPa). L'état hydrique moyen des plants/potentiels hydrique des feuilles au lever du jour – predawn – ( $\Psi_{PD}$ ) des provenances NO et WP était de ce fait significativement plus faible – atteignant en moyenne des valeurs pouvant être inférieures à 0,1 MPa – que celui de toutes les provenances ZP dont le potentiel reste supérieur à 0,5 MPa. Quelques hêtres des provenances NO et WP avaient des valeurs – jusqu'à -3 MPa du potentiel hydrique des feuilles – aussi bien au lever du jour ( $\Psi_{PD}$ ) qu'à midi ( $\Psi_M$ ) – inférieures à la valeur limite de -1,9 MPa à partir de laquelle des embolies peuvent se produire dans le xylème (HACKE et SAUTER, 1995). Des plants de hêtres dont l'état hydrique n'était pas tendu se rencontraient néanmoins pour toutes les régions de provenance ( $\Psi_{PD}$  < 0,4 MPa). Qu'il s'agisse, soit de la taille (surface totale des feuilles d'un plant, longueur de la tige et diamètre au collet) des hêtres des diverses origines (NO, WP, ZP) à l'issue de l'expérience, soit de leurs accroissements en longueur et en diamètre au cours de la période de végétation, les différences n'étaient que faibles. De même, il n'existe aucune différence marquée, pour les diverses provenances, entre les valeurs moyennes de la taille et des accroissements des plants du traitement et de ceux du témoin.

Ces résultats laissent entendre qu'en moyenne, l'efficacité d'utilisation de ressources en eau limitées dans le sol et l'adaptation à la sécheresse sont l'une et l'autre plus élevées chez les provenances de hêtre du centre de la Pologne (ZP), à la frange orientale et continentale de l'aire forestière du hêtre, que chez les provenances du nord-est de l'Allemagne et de l'ouest de la Pologne (NO, WP). Tout particulièrement un épuisement plus tardif des réserves hydriques restantes utilisables procure un avantage aux provenances du centre de la Pologne lors des phases de sécheresse de plus en plus marquées en Europe Centrale. L'apparition d'individus de l'essence hêtre moins sensibles à la sécheresse qu'on a constatée chez toutes les provenances montre qu'il existe fondamentalement une possibilité d'adaptation évolutive du hêtre à de plus fortes sécheresses grâce aux processus de la sélection. Cela étant, l'introduction de provenances non autochtones croissant sous

climat chaud et la sélection dans des régénérations naturelles de populations locales de hêtre peuvent constituer deux alternatives différentes pour diminuer la sensibilité des hêtraies de l'Europe Centrale aux stress dus à la sécheresse. J. M.

## 9. Danksagung

Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) förderte die Untersuchungen im Rahmen eines Promotionsstipendiums für Dipl.-Forsting. (Univ.) TOMASZ CZAJKOWSKI. Deutsche und polnische Forstbehörden unterstützten die Forschungen durch Bereitstellung von Buchensamen autochtoner Buchenbestände und lieferten weit reichende Informationen zur Bestandeslage. Herr HEIKO RUBBERT, Institut für Waldbau der Universität Göttingen, half bei der Kultivierung der Buchenjungepflanzen. Allen genannten Personen und Institutionen sei für Ihre Hilfe herzlich gedankt.

## 10. Literatur

- AD-HOC-AG BODEN [der Staatlichen Geologischen Dienste und der BGR] (1999): Verknüpfungsregel 1.20 – Ermittlung der Parameter für das Modell einer stetigen Funktion der  $k(\Psi)$ -Beziehungen nach MUALEM (1976) und VAN GENUCHTEN (1980), Online: [http://www.bgr.de/saf\\_boden/adhocAG/Ergaenzungsregel\\_1\\_20.pdf](http://www.bgr.de/saf_boden/adhocAG/Ergaenzungsregel_1_20.pdf).
- AD-HOC-AG BODEN [der Staatlichen Geologischen Dienste und der BGR] (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5). 5. Aufl., Stuttgart
- AK STANDORTSKARTIERUNG [Arbeitskreis Standortskartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung] (1996): Forstliche Standortsaufnahme. 5. Aufl., Eching b. München.
- AMMER, C. (2002): Response of *Fagus sylvatica* seedlings to root trenching of overstorey *Picea abies*. Scand. J. For. Res. 17: 408–416.
- AMMER, C., L. ALBRECHT, H. BORCHERT, F. BROISINGER, Ch. DITTMAR, W. ELLING, J. EWALD, B. FELBERMEIER, v. H. GILSA, J. HUSS, J. KENK, Ch. KÖLLING, U. KOHNLE, P. MEYER, R. MOSANDL, H.-U. MOOSMAYER, S. PALMER, A. REIF, K.-E. REHFUES und B. STIMM (2005): Zur Zukunft der Buche (*Fagus sylvatica* L.) in Mitteleuropa – kritische Anmerkungen zu einem Beitrag von RENNENBERG et al. (2004). Allg. Forst- u. J.-Ztg. 176: 60–67.
- ARANDA, I., L. GIL und J. A. PARDOS (2000): Water relations and gas exchange in *Fagus sylvatica* L. and *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. in a mixed stand at their southern limit of distribution in Europe. Trees 14: 344–352.
- ARANDA, I., L. GIL und J. A. PARDOS (2001): Effects of thinning in a *Pinus sylvestris* stand on foliar water relations of *Fagus sylvatica* seedlings planted within pinewood. Trees 15: 358–364.
- ARSUS [Akademia Rolnica w Szczecinie Uniwersytet Szczeciński] (2001): Atlas Klimatyczno Rzyzka Uprawy Roślin w Polsce – Atlas of climatic risk to crop cultivation in Poland, Szczecin.
- BACKES, K. (1996): Der Wasserhaushalt vier verschiedener Baumarten der Heide-Wald-Sukzession. Diss. Math.-Nat. Fakultäten, Univ. Göttingen.
- BOHN, U. und R. NEUHÄUSL (2001–2003): Karte der natürlichen Vegetation Europas / Map of the Natural Vegetation of Europe / Scale 1: 25 000 000. Teil 1–3. Münster-Hiltrup
- BOLTE, A. (2005): Zur Zukunft der Buche in Mitteleuropa. AFZ-DerWald 60: 1077–1078.
- BOLTE, A. und A. ROLOFF (1993): Einfluss von Buchenüberhältern auf Bodenvegetation und Naturverjüngung. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 164: 97–102.
- BRAUN, H. J. (1988): Bau und Leben der Bäume. 2. Aufl., Freiburg i. Breisgau.
- BUNR [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (Hrsg.) (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland. 3. Lieferung, Bonn, Berlin.
- CHMURA, D. J. und R. ROZKOWSKI (2002): Variability of beech provenances in spring and autumn phenology. Silvae Genet. 51: 123–127.
- COLL, L., P. BALANDIER, C. PICON-COCHARD, B. PRÉVOSTO und T. CURT (2003): Competition for water between beech seedlings and surrounding vegetation in different light and vegetation composition conditions. Ann. For. Sci. 60: 593–600.
- COLL, L., P. BALANDIER und C. PICON-COCHARD (2004): Morphological and physiological responses of beech (*Fagus sylvatica*) seedlings to grass-induced belowground competition. Tree Physiology 24: 45–54.
- CZAJKOWSKI, T., M. KÜHLING und A. BOLTE (2005): Einfluss der Sommer-trockenheit im Jahre 2003 auf das Wachstum von Naturverjüngungen der Buche (*Fagus sylvatica* L.) im nordöstlichen Mitteleuropa. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 176: 133–143.
- EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (EEA) (2004): Impacts of Europe's changing climate – An indicator-based assessment. EEA-Report 2/2004, Luxembourg.
- FOTELLI, M. N., A. GESSLER, A. PEUKE und H. RENNENBERG (2001): Drought affects the competitive interactions between *Fagus sylvatica* seedlings and an early successional species, *Rubus fruticosus*: responses of growth, water status and  $\delta^{13}C$  composition. New Phytologist 151: 427–435.

- FRICH, P., L. V. ALEXANDER, P. DELLA-MARTA, B. GLEASON, M. HAYLOCK, A. M. G. KLEIN TANK und T. PETERSON (2002): Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Clim. Res.* **19**: 193–212.
- HACKE, U. und J. J. SAUTER (1995): Vulnerability of xylem to embolism in relation to leaf water potential and stomatal conductance in *Fagus sylvatica*, *F. purpurea* und *Populus balsamifera*. *Journal of Experimental Botany* **46**: 1177–1183.
- HORN, A. (2002): Konkurrenz zwischen natürlich verjüngten Eschen und Buchen in Bestandeslücken: Wachstum, Feinwurzelverteilung und ökophysiologische Reaktion auf Austrocknung. *Ber. Forschungsz. Waldökosysteme Göttingen A* **177**.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2004): Climate change 2001: Synthesis Report, Geneva, Switzerland.
- KÖLLING, C., H. WALENTOWSKI und H. BORCHERT (2005): Die Buche in Mitteleuropa. *AFZ-DerWald* **60**, 13: 696–701.
- KONNERT, M., M. ZIEHE, U. TRÖBER, W. MAURER, A. JANSSEN, T. SANDER, E. HUSSENDÖRFER und H. HERTEL (2000): Genetische Variation der Buche (*Fagus sylvatica* L.) in Deutschland: Gemeinsame Auswertung genetischer Inventuren über verschiedene Bundesländer. *Forst und Holz* **55**: 403–408.
- LAMBERS, H., F. S. CHAPIN und T. L. PONS (2000): *Plant Physiological Ecology*. New York, Berlin, Heidelberg.
- LASCH, P., M. LINDNER, M. ERHARD, F. SUCKOW und A. WENZEL (2002): Regional impact assessment on forest structure and functions under climate change—the Brandenburg case study. *For. Ecol. Manage.* **162**: 73–86.
- LÖF, M. und N. T. WELANDER (2000): Carry-over effects on growth and transpiration in *Fagus sylvatica* seedlings after drought at various stages of development. *Can. J. For. Res.* **30**: 468–475.
- LÖF, M., A. BOLTE und N. T. WELANDER (2005): Interacting effects of irradiance and water stress on dry weight and biomass partitioning in *Fagus sylvatica* seedling. *Scand. J. For. Res.* **20**: 322–328.
- LÖSCH, R. (2001): *Wasserhaushalt der Pflanzen*. Wiebelsheim.
- MADSEN, P. (1994): Growth and survival of *Fagus sylvatica* seedlings in relation to light and soil water content. *Scand. J. For. Res.* **9**: 316–322.
- NIELSEN, C. N. N. und F. V. JØRGENSEN (2003): 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.
- PEUKE, A. D., C. SCHRAML, W. HARTUNG und H. RENNENBERG (2002): Identification of drought-sensitive beech ecotypes by physiological parameters. *New Phytologist* **154**: 373–387.
- RENNENBERG, H., W. SEILER, R. MATYSSEK, A. GESSLER und J. KREUZWIESER (2004): Die Buche (*Fagus sylvatica*) – ein Waldbaum ohne Zukunft im südlichen Mitteleuropa? *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* **175**: 210–224.
- Rysavy, T.: Vereschung - Ursachen und Möglichkeiten ihrer Vermeidung. Dissertation Forstwiss. Fachbereich Univ. Göttingen, 1992.
- RYSAVY, T. und A. ROLOFF (1994): Ursachen der Vereschung in Mischbeständen und Vorschläge zu ihrer Vermeidung. *Forst u. Holz* **49**: 392–395.
- SCHÄR, CH., P. L. VIDALE, D. LÜTHI, CH. FREI, CH. HÄBERLI, M. A. LINIGER und CH. APPENZELLER (2004): The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature* **427**: 332–336.
- SCHOLANDER, P. F., H. T. HAMMEL, E. D. BRADSTREET und E. A. HEMMINGSEN (1965): Sap pressure in vascular plants. *Science* **148**: 339–346.
- SCHIPKA, F. (2002): Blattwasserzustand und Wasserumsatz von vier Buchenwäldern entlang eines Niederschlagsgradienten in Mitteldeutschland. Diss. Math.-Nat. Fakultäten, Univ. Göttingen.
- SCHRAML, C. und H. RENNENBERG (2002): Ökotypen der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) zeigen unterschiedliche Reaktionen auf Trockenstreß. *Forstw. Cbl.* **121**: 59–72.
- SCHRÖDER, F. G. (1998): *Lehrbuch der Pflanzengeographie*. Wiesbaden.
- SZAFER, W. und K. ZARZYCKI (Hrsg.) (1972): *Szata roślinna Polski*. Tom II, PWN Warszawa.
- TEEPE, R., H. DILLING und H. BEESE (2003): Estimation water retention curves of forest soils from soil texture and bulk density. *J. Plant Nutr. Soil. Sci.* **166**: 111–119.
- TOGNETTI, R., M. MICHELOZZI und M. BORGHETTI (1994): Response to light of shade grown beech seedlings subjected to different water regimes. *Tree Physiology* **14**: 751–758.
- TOGNETTI, R., J. D. JOHNSON und M. MICHELOZZI (1995): The response of European beech (*Fagus sylvatica* L.) seedling from two Italian populations to drought and recovery. *Trees* **9**: 348–354.
- TYREE, M. T., S. SALLEO, A. NARDINI, M. A. LO GULLO und R. MOSCA (1999): Refilling of embolized vessels in young stems of laurel. Do we need a new paradigm? *Plant Physiol.* **120**: 11–21.
- UMS [Umweltanalytische Messsysteme GmbH] (2003): Infield 7, Handmessgerät für UMS-Tensiometer und andere Bodensonden. Datenblatt. Online: <http://www.ums-muc.de/pdf/Data-d/boden/INF7b-d.pdf>.
- VAN GENUCHTEN, M. T. (1980): A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* **44**: 892–898.
- VAN HEES, A. F. M. (1997): Growth and morphology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings in relation to shading and drought. *Ann. Sci. For.* **54**: 9–18.
- VIŠNÍČ, C. und A. DOHRENBUSCH (2004): Frostresistenz und Phänologie europäischer Buchenprovenienzen. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* **175**: 101–108.
- WÜHLISCH, G. V., D. KRUSCHE und H. J. MUHS (1995): Variation in temperature sum requirement for flushing of beech provenances. *Silvae Genet.* **44**: 343–346.

## Buchbesprechung

**Ökokonten und Kompensationsflächenpools in der Bauleitplanung und der Fachplanung. Anforderungen – Erfahrungen – Handlungsempfehlungen.** Von W. D. SPANG und S. REITER. Beiträge zur Umweltgestaltung, Band A 160, Erich Schmidt Verlag 2005, ISBN 3-503-09034-7.

Ökokonten und Kompensationsflächenpools sind neuartige Werkzeuge der Eingriffsregelung. Sie nehmen gegenwärtig einen breiten Raum in der wissenschaftlichen Fachdiskussion und in der Planungspraxis ein. Ihr zentrales Ziel von Ökokonten ist den Trägern von Vorhaben Zeit- und Kosten zu sparen einerseits und Naturschutz und Landschaftspflege effizienter zu gestalten andererseits.

Fragt man nach der Funktionsweise von Ökokonten bzw. Ausgleichs- bzw. Kompensationsflächenpools so lässt sich folgendes Beispiel anführen: Der Träger eines Vorhabens schafft durch bestimmte Maßnahmen z.B. einen besonderen Lebensraum für Pflanzen und Tiere oder wertet ein bestimmtes Gebiet durch seine Maßnahmen hinsichtlich Arten- und Biotopschutz auf. Er kann anschließend diese Maßnahmen als Guthaben auf ein so genanntes Ökokonto buchen. Bei einem späteren Eingriff in Natur und Landschaft z.B. durch eine Baumaßnahme kann der Träger des Vorhabens zum Ausgleich für den Eingriff auf das „angesparte“ Guthaben zurückgreifen.

Ökokonten und Kompensationsflächenpools sollten jedoch professionell gemanagt werden. Konzeption, Planung und Rechtsanwendung sind dabei unabdingbar. In der Bauleitplanung finden Poolösungen bereits breite Anwendung. Die Fachplanung ist noch in der Pionierphase. Verantwortliche aus beiden Anwendungsbereichen brauchen gut aufbereitete Informationen aus Theorie und Praxis.

Mit dem vorliegenden Band wird zum ersten Mal ein umfassender Überblick über dieses hochaktuelle Thema der Umweltplanung vorgelegt. Er reicht von den fachlichen Grundlagen bis zu den Praxisberichten erfahrener Anwender, die vielfältige Fragen zum Thema beantworten und die Optionen der Träger von Vorhaben beschreiben.

Der Inhalt umfasst folgende Frage- und Problemstellungen

- Gesetzliche Grundlagen
- Naturschutzfachliche und organisatorische Anforderungen
- Nutzung von Ökokonten und Kompensationsflächenpools
- Kommunikative Potenziale
- Flächenbevorratung mit Konzept
- Synergieeffekte mit anderen Planungsinstrumenten
- Sicherung, Unterhaltung, Dokumentation und Kontrolle

H. ESSMANN

*Neuerscheinung:*

# **Mikroökonomische Analyse des bundesdeutschen Spanplattenmarktes**

**Schriften zur Forstökonomie, Band 28**

Von STEFANIE VON SCHELIHA

ISBN 3-7939-7028-0. Kartoniert € 22,–  
224 Seiten mit 97 Abbildungen und 12 Tabellen

Holzspanplatten sind der bedeutendste Holzwerkstoff in Deutschland. Mit der vorliegenden Arbeit werden für den Zeitraum 1977–2002 ausgewählte Merkmale des Spanplattenmarktes mit Hilfe von mikroökonomischen Theorien erklärt.

Hierzu werden die Methoden der Marktlehre der Forst- und Holzwirtschaft angewendet, und es kommen erstmals auch industrieökonomische und spieltheoretische Ansätze zur Erklärung eines deutschen Holzmarktes zum Einsatz.

Für die bundesdeutsche Spanplatten-Industrie wird ein deutlicher Konzentrationsprozess auf Seiten der Anbieter nachgewiesen, die im Laufe des Untersuchungszeitraums eine teiloligopolistische Struktur mit bis zu drei Unternehmen in der Oligopolgruppe annimmt. Im Vergleich mit bestehenden Konzentrationsanalysen für die bundesdeutsche Holzwirtschaft wird gezeigt, dass die Unternehmenskonzentration in der Spanplatten-Industrie deutlich über derjenigen für den gesamten Wirtschaftszweig liegt und auch von der amtlichen Statistik unterschätzt wird.

Danach werden bei der Analyse der Spanplatten-Nachfrage, die als abgeleitete Nachfrage ökonomisch modelliert und ökonometrisch getestet wird, mehrere Determinanten als signifikant identifiziert. Es wird außerdem gezeigt, dass die Nachfrage relativ preisunelastisch ist.

Zur Erklärung des Anbieterverhaltens werden zuerst Studien der holzwirtschaftlichen Fachliteratur unternommen. Hier finden sich deutliche Hinweise darauf, dass sich die Anbieter im Wettbewerb mit Preisstrategien befinden, der als sehr stark („*Kampf*“) beschrieben wird und sich auch auf die Anbieterstruktur auswirkt („*Verdrängungswettbewerb*“).

Es wird das Modell des oligopolistischen Wettbewerbs mit Preisstrategien von BERTRAND und dessen Weiterentwicklung von LAUNHARDT und HOTELLING verwendet, um diese Beobachtungen ökonomisch zu erklären und weitere Implikationen abzuleiten. Es wird außerdem ein nicht-kooperatives Spiel modelliert, in dem die Unternehmen über verschiedene Preisstrategien verfügen.

Die Arbeit weist nach, dass durch die Verfolgung der dominanten Strategie „Preis senken“ sich die Unternehmen der Spanplatten-Industrie inzwischen in eine Dilemma-Situation gebracht haben.

Die gesamte Branche könnte aufgrund der relativ preisunelastischen Gesamtnachfrage höhere Gewinne erzielen, wenn die beteiligten Unternehmen ihre Preisforderung kollektiv-rational anheben würden. Es kann somit klar gezeigt werden, dass die bundesdeutschen Unternehmen der Spanplattenindustrie einen echten Anreiz zur Preisabsprache haben.