

7. Literatur

- ¹ TORREY, J. G. and D. T. CLARKSON (eds): The Development and Function of Roots, Third Cabot Symposium, Academic Press London, 1975
- ² COUTTS, M. P.: Root architecture and tree stability, *Plant and Soil* 71, 171–188, 1983
- ³ COUTTS, M. P. and J. GRACE (eds): *Wind and Trees*, Cambridge University Press, 1995
- ⁴ NICOLL, B. C. and D. RAY: Adaptive growth of tree root systems in response to wind action and site condition, *Tree Physiology* 16, 891–898, 1996
- ⁵ STOKES, A. (eds): *The Supporting Roots of Trees and Woody Plants: Form, Function and Physiology*, Kluwer Academic Press Dordrecht Netherlands, 2000
- ⁶ MATTHECK, C.: *Warum alles kaputt geht – Form und Versagen in Natur und Technik*, Verlag Forschungszentrum Karlsruhe 2003; englische Übersetzung: *The Face of Failure in Nature and Engineering*, Forschungszentrum Karlsruhe, 2004
- ⁷ MATTHECK, C.: *Mechanik am Baum – erläutert mit einfühlsamen Worten von Pauli dem Bär*, Verlag Forschungszentrum Karlsruhe, 2002
- ⁸ KUTSCHERA, L. und E. LICHTENEGER: *Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher*, Leopold Stocker Verlag, Graz-Stuttgart, 2002
- ⁹ MÜLLER, P. und C. MATTHECK: Die wunderbare Selbstkompression der Wurzelplatte in ihrem schwächsten Bereich. Tagungsband, 10. VTA-Spezialseminar, Messen und Beurteilen am Baum, Forschungszentrum Karlsruhe, 4.–5. Mai, 2004
- ¹⁰ MATTHECK, C., K. WEBER und K. GÖTZ: Wie die Rotbuche radiale Zugbelastungen bewältigt. *AFJZ* 171, Heft 1, 2000
- ¹¹ KOLESINSKI, C.: *Materialkundliche Untersuchung entlang einer Baumwurzel innerhalb der mechanisch wirksamen Wurzelplatte*. Dipl. Arbeit, Forschungszentrum Karlsruhe, 2002.
- ¹² RIEDL, H.: *Bau und Leistungen des Wurzelholzes*, Dissertation TH Dresden, Verlag Gebrüder Borntraeger Leipzig, 1937

Zur Beurteilung von intra- und interspezifischer Konkurrenz von Laubbaumbeständen im Dickungsstadium

(Mit 3 Abbildungen und 3 Tabellen)

Von CH. AMMER, C. ZIEGLER und T. KNOKE

(Angenommen April 2005)

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Konkurrenzindizes; Buche (Fagus sylvatica L.); Birke (Betula pendula Roth); Durchmesserzuwachs; Höhenzuwachs; Jungbestandspflege.

Competition indices; European beech (Fagus sylvatica L.); silver birch (Betula pendula Roth); diameter increment; height increment; tending of young stands.

1. EINLEITUNG

Seit Jahren zwingt die schlechte Ertragslage die Forstwirtschaft insbesondere zu Maßnahmen der Kostenreduktion. Besonders kritisch sind dabei Aufwendungen für solche Investitionen, von denen unsicher ist, ob damit überhaupt Erträge verbunden sind oder diese erst in ferner Zukunft anfallen und daher durch kalkulatorische Zinsen belastet sind. Beides ist bei der Jungbestandspflege der Fall. So ist insbesondere in Laubbaumdickungen die Gefahr hoch, durch die flächig durchgeführten Entnahmen bedrängender Weichlaubbaumarten Kosten zu verursachen, ohne dadurch tatsächlich künftige Mehrerlöse in angemessener Höhe sicherstellen zu können. Dies gilt umso mehr, als sich in vielen Untersuchungen gezeigt hat, dass eine bemessene Konkurrenz durch Weichlaubbaumarten in bestimmten Phasen der Bestandesentwicklung insbesondere für die Qualitätsentwicklung der Zielbaumart positiv wirken kann (LEDER, 1996; AMMER und DINGEL, 1997; ROCK et al., 2004) oder ökologisch erwünschte Effekte mit sich bringt (COMEAU und HEINEMAN, 2003). Zu beachten ist aber auch, dass insbesondere auf Sturmwurfflächen Bestände entstanden, von denen davon ausgegangen werden muss, dass ohne steuernde Eingriffe zulasten natürlich angekommener Weichlaubhölzer nur ein Bruchteil der mit hohen Kulturkosten eingebrachten Zielbaumarten gehalten werden kann. In den meisten Fällen hat das gestiegene Kostenbewusstsein in den letzten Jahren dazu geführt, Eingriffe in jungen Laubbaumbeständen entweder zu unterlassen oder nur noch punktuell durchzuführen (WAGNER und RÖKER, 2000). In jedem Fall steht die forst-

liche Praxis bei der Entscheidung, ob und in welchem Umfang gepflegt werden soll, vor der Aufgabe, die Konkurrenzsituation, in der sich die Bestockung befindet, möglichst realitätsnah einzuschätzen. Dies bedeutet, dass ohne Hilfsmittel auf gutachtlicher Basis erkannt werden muss, ob das im Hinblick auf den künftigen Bestand entscheidende Baumkollektiv so stark bedrängt ist, dass sein Durchmesser-, vor allem aber sein Höhenwachstum beeinträchtigt ist. Während die Reduktion des Durchmesserwachstums eines betrachteten Bäumchens durch konkurrierende Nachbarn in vielen Fällen akzeptiert wird, da der Konkurrenzdruck neben einer gebremsten Durchmesserentwicklung eine qualitative Verbesserung (geringere Aststärken und frühzeitigeres Absterben der Äste) erwarten lässt (LEDER und WEIHS, 2000; FISCHER, 2000), ist eine Beeinträchtigung des Höhenwachstums ein erstes Kennzeichen dafür, dass das dauerhafte Überleben des betrachteten Individuums gefährdet ist. Betrifft dies einen Großteil der qualitativ erfolgversprechenden und gleichzeitig innerhalb ihrer Art vitalsten Individuen der Zielbaumart, sind Eingriffe meist unumgänglich (WAGNER und RÖKER, 2000).

Die Konkurrenz der oft vorwüchsigen sogenannten „Weichlaubhölzer“ (z.B. Birke, Aspe, Vogelbeere, Weide) wird dabei offensichtlich häufig als besonders stark empfunden, was mancherorts zum rigorosen Aushieb solcher Mischungskomponenten geführt hat. Es erschien damit interessant zu untersuchen, welche Unterschiede hinsichtlich des Konkurrenzdrucks durch einzelne Baumarten(gruppen) existieren.

Im einzelnen sollten hierzu die folgenden Fragen überprüft werden:

1. Besteht zwischen der durch Konkurrenzindizes quantifizierten Konkurrenzsituation zu Beginn der Vegetationsperiode und dem nachfolgend geleisteten Wachstum ein Zusammenhang?
2. Inwieweit wird eine gutachtliche Einschätzung der Konkurrenzsituation eines ausgewählten Kollektivs den tatsächlich gemess-

senen Verhältnissen gerecht bzw. findet diese im tatsächlich geleisteten Zuwachs ihre Entsprechung?

3. Welcher Anteil an der erwarteten Beeinträchtigung kommt der innerartlichen und welcher der zwischenartlichen Konkurrenz zu?

4. Mit welchem der getesteten Konkurrenzindizes kann der höchste Anteil der Variation der gemessenen Zuwachswerte erklärt werden?

2. MATERIAL UND METHODEN

Untersuchungsbestand

Die vorliegende Untersuchung wurde im Wald der Ludwig-Maximilians-Universität München auf einer ca. 2 ha großen Fläche durchgeführt (11°59'32" E, 48°34'46" N). Der ursprünglich darauf stockende Fichtenbestand war 1990 vom Sturm geworfen und noch im selben Jahr mit zweijährigen Buchen (*Fagus sylvatica* L., 8000/ha) wiederaufgeforstet worden.

Der daraus inzwischen entstandene Buchenbestand befindet sich im Wuchsbezirk 12.09 (Niederbayerisches Tertiärhügelland) in ebener Lage und stockt auf einer mäßig frischen, zum Teil schwach pseudovergleiten Parabraunerde aus Lösslehm über tertiärem Material. Die Jahresniederschläge betragen im Mittel ca. 780 mm, die mittlere Jahrestemperatur liegt bei ca. 7,5 °C (SCHÄFER, 2000).

In den seit der Pflanzung im Jahr 1990 bis zum Zeitpunkt der Aufnahme vergangenen 11 Jahren hatten sich zwischen den Buchen weitere Baumarten auf natürlichem Wege eingefunden. Dabei handelte es sich insbesondere um Faulbaum (*Rhamnus frangula* L.), Birke (*Betula pendula* Roth), Stieleiche (*Quercus robur* L.), Vogelbeere (*Sorbus aucuparia* L.), Weiden (*Salix spec.*) und die Aspe (*Populus tremula* L.). Aufgrund der die Fläche dem äußeren Eindruck nach dominierenden Weichlaubebäume, insbesondere durch die durchschnittlich 2350 Birken/ha, wurde der Jungbestand zum Zeitpunkt der Aufnahmen von mehreren Praktikern einheitlich als pflegedringlich eingestuft.

Auswahl und Aufnahme der Probebäume

Insgesamt wurden 63 förderungswürdige, d. h. vitale und qualitativ befriedigende Buchen als Probebäume markiert und an-

schließend aufgenommen. Im Zuge der Auswahl wurde auf ein möglichst breites Spektrum an Konkurrenzsituationen bei gleichzeitig möglichst einheitlichem Ausgangsdurchmesser geachtet. Im Durchmesserbereich von ca. 1 bis 3,5 cm (siehe Abb. 1) wurden insgesamt 63 Bäumchen aufgenommen. Diese wurden so ausgewählt, dass je 21 Individuen einer gutachtlich angesprochenen „starken“, „mittleren“ und „schwachen“ Konkurrenz ausgesetzt waren. Hierbei galt als starke Konkurrenz wenn die Kronen mehrerer Nachbarindividuen in die Krone des betrachteten Baumes einwachsen oder diesen überschrünten. Als mittlere Konkurrenz wurden Verhältnisse klassifiziert bei denen die Krone mindestens eines Nachbarn in die Krone des betrachteten Baumes einwuchs. Als schwach wurde die Konkurrenz angesprochen, wenn die Kronen der Nachbarbäume nicht in die Krone des betrachteten Baumes einwachsen. Bei jedem der so ausgewählten Bäumchen wurden sowohl zu Beginn (April) als auch nach Abschluss (Oktober) der Vegetationsperiode des Jahres 2001 der Brusthöhendurchmesser (in mm mit einer Schiebelehre) und die Baumhöhe (in cm mit einer Teleskopstange) gemessen.

Auswahl und Aufnahme der Konkurrenten

Im April wurde neben den Messungen an den Probebäumen auch eine Aufnahme ihrer potenziellen Konkurrenten durchgeführt. Als Konkurrenten galten dabei alle Bäume die eines der beiden folgenden Kriterien erfüllten: Zum Einen wurden alle Bäume erfasst, deren Standpunkt innerhalb eines Radius von 1,60 m um den jeweiligen Probebaum lag. Dadurch sollten auch Konkurrenzwirkungen durch Individuen berücksichtigt werden, die kleiner waren als der jeweilige Probebaum. Der Radius von 1,60 m entsprach etwa der halben durchschnittlichen Höhe der Bäumchen. Zum Zweiten wurden alle Bäume klassifiziert, die in einen bei 2/3 der Höhe des Probebaumes ansetzenden Suchkegel mit einem Öffnungswinkel von 90° (alternativ wurde auch mit einem Öffnungswinkel von 60° operiert) hineinragten und maximal 5 m von diesem entfernt waren. Dieses Vorgehen orientierte sich an den von PRETZSCH (1992) gemachten Vorschlägen zur Konkurrentenauswahl. An allen Konkurrenten wurden die Baumart, der Brusthöhendurchmesser (in mm), die Höhe (in cm) und die Position zum Probebaum nach Entfernung und Winkel bestimmt.

Tab. 1

Regressionsgleichungen zur Schätzung der mittleren Kronenschirmfläche cc (in m^2) aus dem BHD (in cm). Die angegebenen Variablentransformationen dienen der Einhaltung der Modellvoraussetzungen der Regressionsanalyse (vgl. QUINN und KEOUGH, 2002).

In einigen Fällen wurden zusätzlich Ausreißer eliminiert.

Regression equations for estimating crown projection area ("cc" in m^2) by diameter in breast height ("bhd" in cm). Note that the independent variable bhd was transformed for reasons of normality and homoscedasciety of the residuals according to QUINN and KEOUGH (2002). Moreover in some cases outliers had to be removed.

Baumart	Regressionsgleichung	R ²	df	MSE	Pr>F
Buche	$cc = -0,06085 + 0,47804 \text{ bhd}^{0,9}$	0,80	16	0,0311	<0,0001
Birke	$cc = -11,11861 + 9,53342 \text{ bhd}^{0,3}$	0,85	21	0,9619	<0,0001
Vogelbeere	$cc = -0,25859 + 0,34656 \text{ bhd}^{1,3}$	0,88	10	0,1342	<0,0001
Faulbaum	$cc = -0,13711 + 0,33634 \text{ bhd}^{1,6}$	0,86	16	0,0397	<0,0001
Weide	$cc = e^{(-1,6988 + 1,85992 \ln(\text{bhd}))}$	0,77	16	0,2356	<0,0001
Eiche	$cc = e^{(-1,79337 + 1,96198 \ln(\text{bhd}))}$	0,88	14	0,0729	<0,0001
Aspe	$cc = e^{(-0,94299 + 1,51609 \ln(\text{bhd}))}$	0,70	14	0,1474	<0,0001
Fichte	$cc = -0,26156 + 0,75224 \text{ bhd}^{0,7}$	0,85	12	0,0295	<0,0001

Das so erfasst Kollektiv umfasste 809 Bäume. An mindestens 12 und bis zu 21 Individuen je Baumart wurden darüber hinaus in 8 Himmelsrichtungen die Kronenradien durch Abloten bestimmt, um baumartenspezifische Funktionen zur Schätzung der Kronenschirmflächen zu parametrisieren. Die Ergebnisse der betreffenden Schätzfunktionen sind in *Tabelle 1* zusammengestellt.

Konkurrenzindizes

Die Quantifizierung der Konkurrenzsituation vor Beginn der Vegetationsperiode erfolgte durch die Berechnung von sieben im folgenden beschriebenen Konkurrenzindizes (CI). Dabei wurden zunächst in Anhalt an PRETZSCH (1992) als Konkurrenten eines Probebaums alle Individuen ausgewählt, die in einen bei 2/3 der Höhe des Probebaumes ansetzenden Suchkegel mit einem Öffnungswinkel von 60° hineinragten. Sämtliche Berechnungen wurden darüber hinaus auch mit einem Suchkegel zur Konkurrentenauswahl mit einem Öffnungswinkel von 90° durchgeführt.

Nach der Auswahl der Konkurrenten wurden für jeden Probebaum mit jedem der sieben Indizes drei, nach Baumarten(gruppen) getrennte Konkurrenzwerte berechnet. Zum einen wurde die Konkurrenz auf der Basis von Konkurrenten berechnet, die ebenfalls Buchen darstellten (CI_{Buche}, d. h. nur Buchen werden als Konkurrenten j berücksichtigt). Zudem wurde der Konkurrenzwert für die ausschließlich von Birken ausgehende Konkurrenz bestimmt (CI_{Birke}, d. h. nur Birken werden als Konkurrenten j berücksichtigt). Und schließlich wurde die von allen noch verbleibenden Bäumen verursachte Konkurrenz in einem dritten Konkurrenzindex zusammengefasst (CI_{Sonstige}, d. h. alle anderen Baumarten werden als Konkurrenten j berücksichtigt).

Aus der Vielzahl der bislang in den verschiedenen Untersuchungen getesteten Indizes (vgl. z. B. DANIELS et al., 1986; PUKKALA und KOLSTRÖM, 1987; MAC DONALD et al., 1990; BIGING und DOBBERTIN, 1992 und 1995; UNG et al., 1997; BACHMANN, 1998; RICHARDSON et al., 1999; WANG et al., 2000; BRAVO et al., 2001; LEDERMANN und STAGE, 2001; RADKE et al., 2003) wurden folgende Konkurrenzindizes ausgewählt:

(1) Index nach ELLIOTT und VOSE (1995):

$$CI_i = \sum_{j=1}^n \frac{h_j}{bhd_i * dist_{ij}}$$

Dieser wird als Summe des für alle n Konkurrenten gebildeten Verhältnisses aus der Höhe des Konkurrenten j (h_j) und dem mit der Entfernung (dist_{ij}) zwischen Probebaum i und Konkurrenten j multiplizierten Brusthöhdurchmesser des Probebaums i (bhd_i) bestimmt.

(2) Index nach HEGYI (1974, zit. nach BACHMANN, 1998):

$$CI_i = \sum_{j=1}^n \frac{bhd_j}{bhd_i * (dist_{ij} + 1)}$$

Dieser wird als Summe des für alle n Konkurrenten gebildeten Verhältnisses aus dem Brusthöhdurchmesser des Konkurrenten j (bhd_j) und dem mit der Entfernung (dist_{ij}) zwischen Probebaum i und Konkurrenten j + 1 multiplizierten Brusthöhdurchmesser des Probebaums i (bhd_i) bestimmt.

Die Indizes (1) und (2) enthalten keine baumartenspezifischen Komponenten.

(3) Index in Anhalt an BIGING und DOBBERTIN (1995):

$$CI_i = \sum_{j=1}^n \frac{cc_j}{cc_i * (dist_{ij} + 1)}$$

Dieser Index berechnet sich als Summe des für alle n Konkurrenten gebildeten Verhältnisses aus der Kronenschirmfläche des Kon-

kurrenten j (cc_j) und der mit der Entfernung (dist_{ij}) zwischen Probebaum i und Konkurrenten j gewichteten Kronenschirmfläche des Probebaums i (cc_i).

Die Herleitung der Kronenschirmflächen sowohl der Konkurrenten, als auch der Probebäume erfolgte durch die in *Tabelle 1* angegebenen baumartenspezifischen Regressionsgleichungen, durch die sich die Kronenschirmfläche eines Baumes aus dem BHD schätzen lässt.

(4) Index nach SCHÜTZ (1989):

$$CI_i = \sum_{j=1}^n 0,5 - \frac{(dist_{ij} - cr_i - cr_j)}{(cr_i + cr_j)} + 0,65(h_j - h_i)$$

Dieser wird als Summe des für alle n Konkurrenten gebildeten Verhältnisses aus dem um die mittleren Kronenradien von Probebaum i (cr_i) und Konkurrent j (cr_j) verminderten Abstand zwischen beiden Bäumen (dist_{ij}) und der Summe der beiden mittleren Kronenradien sowie der mit 0,65 gewichteten Höhendifferenz von Probebaum und Konkurrent (h_j-h_i) bestimmt.

(5) Index in Anhalt an PRETZSCH (1992, 2001), PRETZSCH et al. (2002):

$$CI_i = \sum_{j=1}^n \beta_j \cdot \frac{cc_j}{cc_i} \cdot tm_b$$

Der Index berechnet sich für jeden Probebaum aus der Summe des für alle Konkurrenten n gebildeten Produkts von β, das ist der Winkel zwischen der Grundlinie des bei 2/3 der Höhe des Probebaumes aufsetzenden Suchkegels von 60° (siehe oben) und der Verbindungslinie zur Kronenspitze eines Konkurrenten j, und dem Verhältnis der wie unter (3) beschrieben aus den Brusthöhdurchmessern von Probebaum i und Konkurrent j geschätzten Kronenschirmflächen cc_j und cc_i, sowie dem baumartenspezifischen Transmissionskoeffizienten tm_b. Dieser beträgt in Anhalt an PRETZSCH (2001) und ELLENBERG (1982) für Buche = 1,0, für Birke = 0,2, für Vogelbeere, Weide, Aspe und Faulbaum = 0,4, für Eiche = 0,6 und für Fichte = 0,8.

(6) Index nach BELLA (1971):

$$CI_i = \sum_{j=1}^n \frac{o_{ij} \cdot bhd_j}{cc_i \cdot bhd_i}$$

Für die Berechnung dieses Index ist es notwendig die Fläche zu bestimmen, die sich durch die Überlappung der Kronenschirmflächen (o_{ij}) von Probebaum i und Konkurrent j ergeben. Der Index selbst berechnet sich aus der Summe des für alle Konkurrenten gebildeten Verhältnisses der mit dem BHD des Konkurrenten gewichteten Überlappungsfläche und der mit dem BHD gewichteten Kronenschirmfläche des Probebaums i.

(7) Index nach PUKKALA und KOLSTRÖM (1987):

$$CI_i = \sum_{j=1}^n \alpha_j$$

Bei diesem Index wird für jeden der n Konkurrenten ein Winkel α berechnet, den die beiden Tangenten bilden, die vom Stammzentrum in 1,3 m Höhe des betrachteten Bäumchens i ausgehend die als Kreis angenäherte Grundfläche des Konkurrenten j seitlich berühren. Mit Hilfe des Winkels α wird ähnlich wie bei der Winkelzählprobe auf elegante Weise die Entfernung des Konkurrenten einerseits und seine Dimension andererseits in einem einzigen Wert ausgedrückt. Ein schwacher Stamm kann damit eine im Vergleich zu einem deutlich stärkeren Stamm identische oder höhere Konkurrenz bewirken, wenn er näher am betrachteten Baum steht. Die Höhe des Konkurrenzindex für jedes betrachtete Bäumchen ergibt sich aus der Summe aller Winkel α.

Auch der Index (7) enthält – wie die Indizes (1) und (2) – keine artspezifischen Komponenten.

Statistische Auswertung

Zur Beantwortung der Frage, inwieweit sich die mittleren Brusthöhendurchmesser und Höhen der Probestämme der gutachtlich bestimmten Teilkollektive „beeinflusst durch schwache Konkurrenz“, „beeinflusst durch mittlere Konkurrenz“ und „beeinflusst durch starke Konkurrenz“ im Frühjahr und im Herbst signifikant unterschieden, wurde ein varianzanalytischer multipler Mittelwertvergleich nach TUKEY (vgl. DUFNER et al., 1992) durchgeführt.

Die Quantifizierung der intra- und interspezifische Konkurrenzwirkungen auf den Durchmesser- und Höhenzuwachs der Probestämme erfolgte durch eine multivariate Regressionsanalyse. Hierbei wurde für jeden Konkurrenzindex getestet, welcher Anteil der Variation der gemessenen Zuwachswerte durch die unabhängigen Variablen „Ausgangsdurchmesser“ bzw. innerartliche (Buche) und zwischenartliche Konkurrenz erklärt werden konnte. Im Falle der

zwischenartlichen Konkurrenz wurde der Einfluss der Birken von jenem aller anderer Baumarten getrennt betrachtet. Das hierzu verwendete Regressionsmodell lautete (y war entweder der Durchmesser- (in mm) oder der Höhenzuwachs (in cm)):

$$y = b_0 + b_1 BDH_{April} + b_2 (CI_{Sonstige})^{0,25} + b_3 (CI_{Buche})^{0,25} + b_4 (CI_{Birke})^{0,25}$$

Als Alternativmodell wurde eine Regressionsgerade parametrisiert, die hinsichtlich der Konkurrenz nicht nach Baumarten differenzierte. Die Modellgleichung lautete hier:

$$y = b_0 + b_1 BDH_{April} + b_2 (CI_{Alle})^{0,25}$$

Zur Einhaltung der Modellvoraussetzungen, denen die Regressionsanalyse unterliegt, mussten die Konkurrenzwerte wegen der jeweils linksschiefen Verteilungen transformiert werden. Dazu wurde in Anhalt an QUINN und KEOUGH (2002) die 4. Wurzel der jeweiligen Variable berechnet. Dies führte in allen Fällen zu normalverteilten Residuen. Sämtliche Berechnungen und statistischen

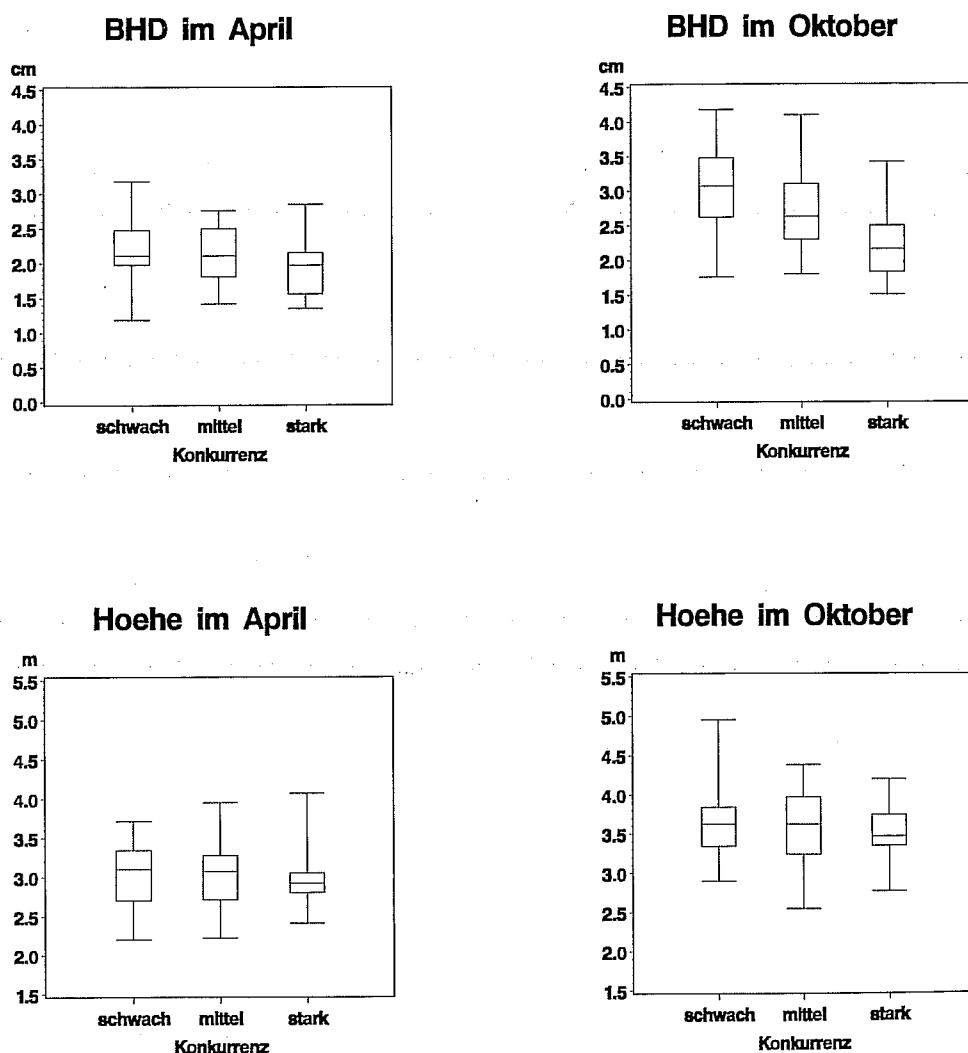


Abb. 1

Boxplots von Höhe und Durchmesser der Buchen der drei ausgewählten Kollektive zu Beginn und nach Abschluß der Vegetationsperiode.

Boxplots of beech height ("Höhe") and diameter in breast height ("Durchmesser") for three subsamples of the subject trees: subsample "schwach" (low competitive interactions of neighbouring trees at the beginning of the investigation), "mittel" (intermediate competitive interactions of neighbouring trees at the beginning of the investigation) and "stark" (strong competitive interactions of neighbouring trees at the beginning of the investigation). The graphs show the height and diameter values at the beginning (April) and at the end (October) of the observed period.

Analysen wurden mit dem Statistikpaket SAS® (Statistical Analysis System Version V 8, SAS Institute Inc., Cary, N.C.) durchgeführt.

3. ERGEBNISSE

Der Vergleich der drei ausgewählten Kollektive im Frühjahr und im Herbst zeigt, dass sich die unterschiedliche Konkurrenzsituation der untersuchten Bäumchen im Durchmesserzuwachs, nicht aber in der Höhenentwicklung widerspiegelt (*Abb. 1*). So unterschieden sich die Durchmesser nach nur einer Vegetationsperiode im Herbst zwischen den ausgeschiedenen Gruppen (schwache, mittlere, starke Konkurrenz) statistisch hoch signifikant, während dies im Frühjahr zum Zeitpunkt der ersten Messung noch nicht der Fall war. Im Gegensatz dazu konnten statistisch nachweisbare Unterschiede in der Höhe der drei Kollektive weder im Frühjahr noch im Herbst nachgewiesen werden. Deutlich werden diese Zusammenhänge beim Vergleich der je Kollektiv geleisteten mittleren Durchmesser- bzw. Höhenzuwächse. Diese betragen im Falle der Bäume ohne Konkurrenz 0,82 cm bzw. 0,61 m, im Falle der Bäume mit mittlerer Konkurrenz 0,58 cm bzw. 0,56 m und lagen bei den Bäumen die starker Konkurrenz ausgesetzt waren bei 0,32 cm bzw. 0,52 m. Im Vergleich lassen die Kollektive also mit zunehmender Konkurrenz einen erheblichen Abfall des Durchmesserwachstums, aber einen nur unwesentlichen Abfall des Höhenwachstums erkennen.

Wie sich zeigte, ließ sich beim Gesamtkollektiv die Variation der Durchmesserzuwächse bis zu 67% aus dem Ausgangsdurchmesser und der vor Beginn der Vegetationsperiode bestimmten und durch die verschiedenen Indizes quantifizierten Konkurrenzsituation erklären (*Tab. 2*). Im Gegensatz dazu war mit keinem der verwendeten Indizes eine signifikante Beziehung zwischen dem Höhenzuwachs und der Ausgangshöhe sowie der Konkurrenzsituation

absicherbar. Die in *Tabelle 2* dargestellten Ergebnisse beruhen hinsichtlich der für die Berechnung der Konkurrenzindizes getroffenen Auswahl der Konkurrenten auf einem Suchkegel mit einem Öffnungswinkels von 60° (vgl. Abschnitt Material und Methoden). Alternativ dazu durchgeführte Regressionsberechnungen auf der Grundlage eines Suchkegels mit einem Öffnungswinkel von 90° ergaben bei der Erklärung der Variation der Durchmesserzuwächse durchwegs um ca. 0,1 geringere Bestimmtheitsmaße.

In allen Regressionsmodellen zur Erklärung des Durchmesserzuwachses erwiesen sich der Ausgangsdurchmesser und die durch Buchen und Birken ausgeübte Konkurrenz als signifikante Einflussfaktoren (*Tab. 2*). Mit nur einer Ausnahme (Index von BIGGIN und DOBBERTIN, 1995) war dies auch für die interspezifische Konkurrenz durch alle anderen Baumarten der Fall (*Tab. 2*). Die Analyse der Residuen, beispielhaft in *Abbildung 2* dargestellt, ergab durchwegs keine systematischen Trends oder inhomogene Fehlerstreuungen. Damit konnte davon ausgegangen werden, dass die Voraussetzungen, an die die Regressionsanalyse geknüpft ist, nicht verletzt wurden.

Wie der Vergleich der im Zuge der Regressionsrechnungen ermittelten Koeffizienten der unabhängigen Variablen in *Tabelle 2* zeigt, wird – vordergründig betrachtet – der Bedeutung der Konkurrenz durch Nachbarbuchen, Birken und Konkurrenten anderer Baumarten je nach Konkurrenzindex ein unterschiedliches Ausmaß beigemessen. Dieses Ergebnis verdeutlicht *Abbildung 3*, in der die je Konkurrenzindex berechneten Koeffizienten der Konkurrenz durch Birke bzw. andere Baumarten ins Verhältnis zum entsprechenden Wert für die innerartliche Konkurrenz gesetzt wurden. So zeigt sich, dass jeweils nur ein Index die von Birken bzw. anderen Baumarten ausgehende Konkurrenz auf den Durchmesserzuwachs stärker einschätzt als die intraspezifische Konkurrenz – für Birke

Tab. 2

Ergebnisse der Regressionsberechnungen zur Erklärung der Variation des Durchmesserzuwachses junger Buchen aus der durch Indizes erfassten Konkurrenz durch Nachbarbuchen, Birken und sonstige Konkurrenten. Die angegebenen Variablentransformationen dienen der Einhaltung der Modellvoraussetzungen der Regressionsanalyse (vgl. QUINN und KEOUGH, 2002). In einigen Fällen wurden zusätzlich Ausreißer eliminiert.

Results of regression analyses. The table shows the regression equations for the prediction of the increment in diameter breast height of the subject beeches ("Durchmesserzuwachs" in mm) by their initial dbh ("bhd_{April}" in mm) and the values of seven competition indices.

Each index was calculated separately for three different groups of competitors:

CI_{sonstige} labels competitors of all tree species which were not birches and beeches.

CI_{Birke} and CI_{Buche} represent competition by birch and beech respectively. Note that the independent variables were transformed using the fourth root according to QUINN and KEOUGH (2002). Moreover in some cases outliers had to be removed.

Index	Ordinatenabschnitt	BHD _{April}	CI _{sonstige}	CI _{Buche}	CI _{Birke}	R ²	Df	MSE	F	Pr>F
Elliott & Vose	0,51234 (0,0002)	0,14776 (0,0103)	-0,12553 (0,0006)	-0,11562 (0,0045)	-0,11637 (0,0005)	0,64	58	0,02977	23,48	< 0,0001
Hegyí	0,52227 (0,0002)	0,14764 (0,0097)	-0,14961 (0,0025)	-0,16175 (0,0027)	-0,15797 (0,0001)	0,63	58	0,02989	23,33	< 0,0001
Bigging & Dobbertin	0,49746 (0,0003)	0,16792 (0,0037)	n.s.	-0,15820 (0,0001)	-0,09493 (<0,0001)	0,66	57	0,02987	34,15	< 0,0001
Schütz	0,53332 (0,0001)	0,14217 (0,0130)	-0,11212 (0,0054)	-0,16613 (0,0007)	-0,11678 (0,0002)	0,62	59	0,03254	22,10	< 0,0001
Pretzsch	0,48144 (0,0004)	0,15256 (0,0034)	-0,17048 (0,0099)	-0,22018 (0,0019)	-0,23330 (<0,0001)	0,67	56	0,02338	26,58	< 0,0001
Bella	0,40720 (0,0023)	0,14545 (0,0106)	-0,18327 (0,0058)	-0,21095 (0,0024)	-0,13201 (0,0021)	0,57	58	0,03252	18,08	< 0,0001
Pacala & Kolström	0,53416 (<0,0001)	0,14502 (0,0105)	-0,15335 (0,0010)	-0,17250 (0,0007)	-0,14878 (0,0003)	0,63	59	0,03152	23,26	< 0,0001

Regressionsgleichung:

$$\text{Durchmesserzuwachs (mm)} = b_0 + b_1 \text{BDH}_{\text{April}} + b_2 (\text{CI}_{\text{sonstige}})^{0,25} + b_3 (\text{CI}_{\text{Buche}})^{0,25} + b_4 (\text{CI}_{\text{Birke}})^{0,25}$$

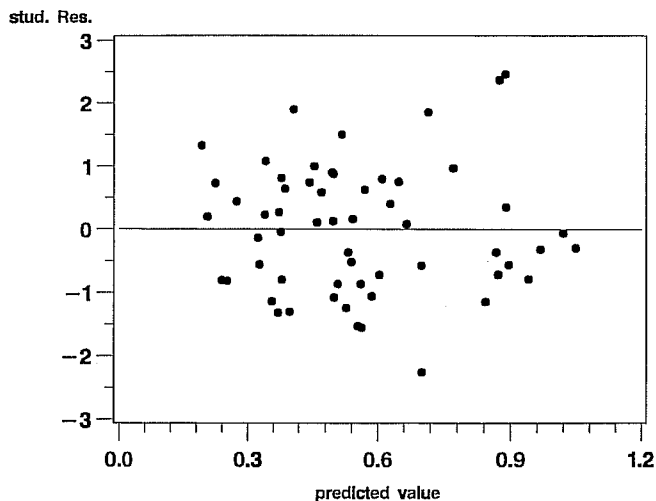


Abb. 2

Beispielhafte Darstellung der studentisierte Residuen für eine der durchgeführten Regressionsberechnungen (die Grafik beruht auf den Ergebnissen der in *Tabelle 2* Zeile „Pretzsch“ angegebenen Regressionsgleichung).

Example of a residual plot. The results of the regarding regression analysis are shown in *Table 2* line “Pretzsch”.

der Index von PRETZSCH (2001), für die anderen Baumarten der Index von ELLIOTT und VOSE (1995).

Aufgrund der unterschiedlichen Struktur der Konkurrenzindizes müssen diese Befunde im Hinblick auf die Frage, ob von den Birken bzw. sonstigen Bäumen eine im Vergleich zu den Buchen unterschiedlich starke Konkurrenz ausgeht, aber differenziert betrachtet werden. Durch die Integration baumartenspezifischer Merkmale, wie z. B. der Kronenschirmflächen oder von Transmissionskoeffizienten, wird die Interpretation der Parameter der Konkurrenzindizes in Bezug auf die Stärke der Konkurrenz erschwert. Die Kombination von im Konkurrenzindex selbst abgebildeten

Baumartenmerkmalen, auf der einen Seite, mit dem baumartenspezifischen Parameter des Index, auf der anderen Seite, verschleiert einen etwaigen Unterschied in der Stärke der Konkurrenz zwischen den Baumarten(gruppen), wenn man diesen aus den entsprechenden Parametern ablesen möchte. Es können hier Kompensationen eintreten. So muss beispielsweise bei der Interpretation einer vordergründig stärkeren Konkurrenz der Birke nach dem Index von PRETZSCH (2002) beachtet werden, dass der entsprechend erhöhte Parameter eventuell lediglich die Wirkung des Transmissionskoeffizienten (der ja für die Birke bei nur 0,2 lag) aufhebt. Ähnlich verhält es sich im Falle der Berücksichtigung von baumartenspezifischen Kronenschirmflächen.

Aussagen zur Stärke der von verschiedenen Baumarten(gruppen) ausgehenden Konkurrenz lassen sich folglich am besten anhand von Indizes ableiten, die keine baumartenspezifischen Charakteristika beinhalten. Geeignet zur Abbildung von baumartenspezifischer Konkurrenz mit Hilfe der Parameter der Konkurrenzindizes sind demnach die Indizes von ELLIOTT und VOSE (1995) sowie HEGYI (1974, zit. nach BACHMANN, 1998). Zumindest mit Blick auf die besonders interessierende Birke deuten diese Indizes aber darauf hin, dass keine Unterschiede im Vergleich zur Konkurrenz durch Buchen vorliegen (vgl. *Abb. 3*).

Auch der Index von PACALA und KOLSTRÖM (1987) berücksichtigt keine Baumartenspezifika. Durch ihn wird sowohl die Konkurrenz der Birken als auch die der sonstigen Baumarten im Vergleich zu den Buchen als niedriger eingewertet. Es zeigt sich damit insgesamt, dass wir von den häufig vorwüchsigen Birken und sonstigen „Weichlaubhölzern“ eine maximal gleich große Konkurrenz wie durch die Buchen selbst zu erwarten haben.

Mit diesem Befund in Einklang stehend ergab ein Regressionsmodell, das auf die Differenzierung des Konkurrenzindex nach Baumarten verzichtet, keine wesentlich schlechteren Resultate. Der mittlere quadratische Fehler (MSE) dieses Modells schwankte, je nach verwendetem Konkurrenzindex, zwischen 0,03288 (was einer durchschnittlichen Differenz zwischen wirklichem und prognostiziertem Zuwachs von nur $\pm 0,18$ mm entspricht) und 0,042 ($\pm 0,20$ mm, vgl. *Tab. 3*). Das Modell mit einem nach Baumarten

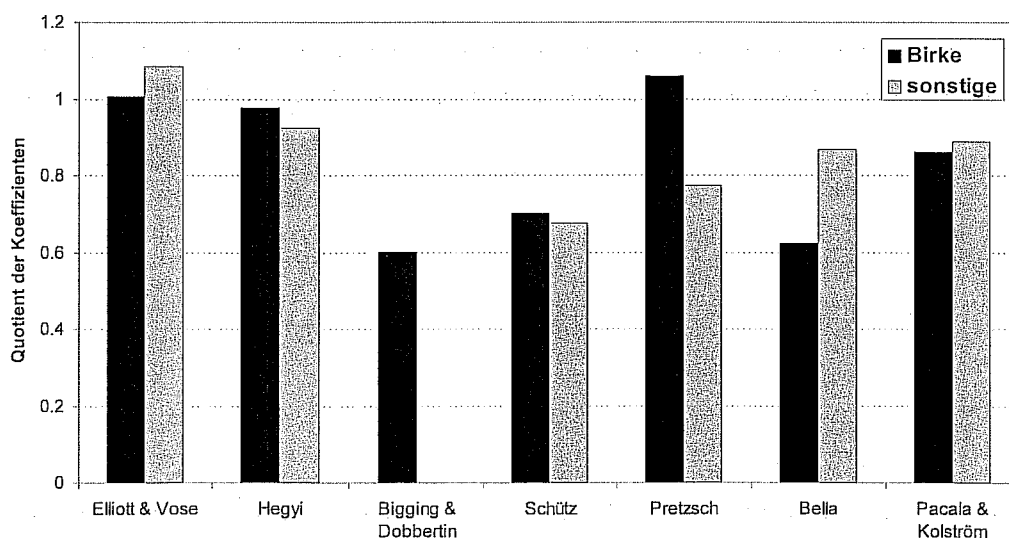


Abb. 3

Quotient der je Konkurrenzindex berechneten Regressionskoeffizienten (vgl. *Tab. 2*) von Birke (CI_{Birke}) und den sonstigen Baumarten (CI_{Sonstige}) zu jenem der Buche (CI_{Buche}) aus *Tabelle 2*.

Ratio of the regression coefficients given in *Table 2*. The graph shows the ratio of the regression coefficients of the independent variables CI_{sonstige} (grey columns; CI calculated on the basis of all competitors which were not birches or beeches) and CI_{Birke} (black columns, CI calculated on the basis of all competing birches) to that of CI_{Buche} (CI calculated on the basis of all competing beeches, i. e. intraspecific competition) for each CI.

Tab. 3

Ergebnisse der Regressionsberechnungen zur Erklärung der Variation des Durchmesserzuwachses junger Buchen aus der durch Indizes erfassten Konkurrenz durch benachbarte Individuen aller Baumarten. Die angegebenen Variablentransformationen dienten der Einhaltung der Modellvoraussetzungen der Regressionsanalyse (vgl. QUINN und KEOUGH, 2002).

In einigen Fällen wurden zusätzlich Ausreißer eliminiert.

Results of regression analyses. The table shows the regression equations for the prediction of the increment in diameter breast height of the subject beeches ("Durchmesserzuwachs" in mm) by their initial dbh (" $b_{HD_{April}}$ " in mm) and the values of seven competition indices. In contrast to table 2 all competitors, regardless of tree species, were considered for the calculation of each index. Note that the independent variable was transformed using the fourth root according to QUINN and KEOUGH (2002).

Moreover in some cases outliers had to be removed.

Index	Ordinalen abschnitt	BH_{April}	CI	R^2	DF	MSE	F	$Pr > F$
Elliott & Vose	0,59859 ($<0,0001$)	0,15133 (0,0086)	-0,25205 ($<0,0001$)	0,60	59	0,03472	43,15	$<0,0001$
Hegyl	0,59404 ($<0,0001$)	0,14886 (0,0080)	-0,31577 ($<0,0001$)	0,60	58	0,03288	42,46	$<0,0001$
Biggling & Dobbertin	0,50488 (0,0012)	0,17891 (0,0045)	-0,14469 ($<0,0001$)	0,62	59	0,04200	30,99	$<0,0001$
Schütz	0,47438 (0,0006)	0,19551 (0,0007)	-0,22796 ($<0,0001$)	0,58	58	0,03492	38,34	$<0,0001$
Pretzsch	0,57339 ($<0,0001$)	0,14928 (0,0067)	-0,45236 ($<0,0001$)	0,62	58	0,03164	45,22	$<0,0001$
Bella	0,30246 (0,0175)	0,19625 (0,0005)	-0,23573 ($<0,0001$)	0,54	58	0,03229	32,22	$<0,0001$
Pacala & Kolström	0,51942 ($<0,0001$)	0,18416 (0,0009)	-0,30191 ($<0,0001$)	0,60	58	0,03275	42,74	$<0,0001$

Regressionsgleichung:

$$\text{Durchmesserzuwachs (mm)} = b_0 + b_1 BH_{April} + b_2 (CI)^{0,25}$$

aufgeteilten Konkurrenzindex erreichte Werte zwischen 0,02338 ($\pm 0,15$ mm) und 0,03252 ($\pm 0,18$ mm). Die Bestimmtheitsmaße fielen durch die Aufgabe der Baumartendifferenzierung lediglich um 0,03 bis 0,05 ab. Allein im Falle des Konkurrenzindex nach BIGGING und DOBBERTIN (1995) ergab sich ein bedeutender Verlust an Erklärungskraft, indem das Bestimmtheitsmaß um 0,14 absank.

4. DISKUSSION

Zur Beziehung zwischen Konkurrenzsituation und Wachstum

Die erste der eingangs gestellten Fragen, durch die geklärt werden sollte, ob zwischen der durch Indizes quantifizierten Konkurrenzsituation vor der Vegetationsperiode und dem nachfolgend geleisteten Wachstum der betrachteten Bäume ein Zusammenhang besteht, kann für das Durchmesserwachstum mit ja, für das Höhenwachstum dagegen mit nein beantwortet werden (Abb. 1, Tab. 2). Dieser Befund, also das Ergebnis, dass Konkurrenzwirkungen das Durchmesserwachstum negativ beeinflussen, lange bevor sie sich auf das Höhenwachstum auswirken, deckt sich mit den Ergebnissen vieler anderer Versuche (KURTH, 1946; VON LÜPKE, 1991; WAGNER und RADOSEVICH, 1991; LEDER, 1992; GÖRLITZ und LEDER, 1994; LEDER und WEIHS, 2000; WAGNER und RÖKER, 2000). Aus ökologischer Sicht ist dieses Verhalten von Individuen, die Konkurrenzwirkungen ausgesetzt sind, zweckmäßig, da das möglichst uneingeschränkte Aufrechterhalten des Höhenwachstums ein dauerhaftes Überleben eher sicherstellt als ein forciertes Durchmesserwachstum zulasten der Höhe.

Zur gutachtlichen Einschätzung der Konkurrenzsituation

Für die Beurteilung der Konkurrenzsituation von Jungbeständen in der Praxis bedeutet das oben genannte Ergebnis, dass gutachtlich

zwar die Konkurrenzsituation in Bezug auf den Durchmesser, nicht aber in Bezug auf die Höhe wirklichkeitsnah eingeschätzt werden kann. So konnte weder beim Vergleich der drei Kollektive noch bei der Erklärung des Höhenwachstums durch die Konkurrenzindizes ein signifikanter Einfluss der Konkurrenz durch Nachbarbäume auf das Höhenwachstum abgesichert werden. Folgt man WAGNER und RÖKER (2000), nach denen ein Eingriff zugunsten der Zielbaumart erst dann notwendig ist, wenn deren Höhenwachstum beeinträchtigt wird, wäre im vorliegenden Fall eine waldbauliche Pflegemaßnahme noch nicht zwingend erforderlich gewesen. Es ist allerdings angesichts des tendenziell bereits abgesunkenen Höhenwachstums insbesondere des Kollektivs „starke Konkurrenz“ davon auszugehen, dass dieser Zeitpunkt für einen Teil des herrschenden Kollektivs in naher Zukunft erreicht worden wäre. Auch wenn die Beobachtungszeit im Rahmen der vorliegenden Untersuchung für weitreichende waldbauliche Schlussfolgerungen zu kurz bemessen ist und die Studie einen methodischen Schwerpunkt hat, deuten sich aus den Ergebnissen auch Hinweise für die waldbauliche Praxis an. Für die Beurteilung der Konkurrenzsituation in Laubbaumdickungen könnte als Schlussfolgerung bei gleichzeitiger Beantwortung der zweiten der eingangs gestellten Fragen demnach der Grundsatz formuliert werden, dass pflegende Eingriffe erst ein bis drei Jahre nach dem Zeitpunkt notwendig sind, zu dem das gesamte herrschende Kollektiv einer Konkurrenz ausgesetzt ist, die als stark eingeschätzt wird. Dies bedeutet umgekehrt, dass Pflegeeingriffe in vielen Fällen vermutlich eher zu früh und zu häufig durchgeführt werden, als dies zur Erhaltung einer ausreichenden Zahl qualitativ guter und vitaler Individuen der Zielbaumart notwendig wäre. Inwieweit diese vorläufige Einschätzung Bestand hat müssen künftige Untersuchungen zeigen.

Immerhin zeigen die Ergebnisse in Übereinstimmung mit den Befunden von VON LÜPKE (1991) aber auch, dass eine gutachtliche Einschätzung der Konkurrenzsituation grundsätzlich möglich ist (vgl. auch TER-MIKAELIAN et al., 1999; WANG et al., 2000). Für die Beurteilung der Pflegedringlichkeit empfehlen WAGNER und RÖKER (2000) das jährliche Besichtigen der Jungbestände um ein deutliches Absinken des Höhenzuwachses nicht zu übersehen. Ein solches Vorgehen erscheint zwar durchaus wünschenswert. Es ist aber offen, ob eine jährliche Besichtigung der Flächen bei stetig anwachsenden Betriebs- und Reviergrößen praktikabel ist.

Zur Wirkung von intra- und interspezifischer Konkurrenz

Vermutlich wird in der forstlichen Praxis neben der Pflegedringlichkeit auch die Bedeutung der interspezifischen Konkurrenz insbesondere durch Birken nur zum Teil richtig eingeschätzt. Bei der Beantwortung der dritten in der Einleitung gestellten Frage zeigte sich nämlich, dass die vom Birkenkollektiv oder den anderen Baumarten ausgehenden Konkurrenzwirkungen sich kaum von der innerartlichen Konkurrenz unterscheiden. Bestätigt sich dieser Befund auch in länger andauernden Versuchen bedeutet dies, dass sich ein Buchenbestand mit zahlreichen Birken von einem reinen Buchenbestand mit hoher Stammzahl nicht grundsätzlich unterscheidet. Diese Aussage gilt jedoch nur unter der Voraussetzung, dass sich die Wirkung der Birken auf die Qualitätsentwicklung der Buchen nicht von jener durch andere Buchen abhebt (wobei hinsichtlich dieses Postulats noch Forschungsbedarf besteht) und unter der Annahme, dass qualitativ befriedigende Birken auf dem Holzmarkt auch in Zukunft absetzbar sein werden. Eine der wenigen Studien, in der die Konkurrenzwirkungen auf die Zielbaumart ebenfalls nach intra- und interspezifischer Konkurrenz unterschieden wurden, haben ROCK et al. (2004) für junge Eichen vorgestellt. Wie sich zeigte, war dort die innerartliche Konkurrenz deutlich niedriger als die von Birken auf die Eichen ausgeübte (ROCK et al., 2004). Dies kann mit vorliegender Studie, die allerdings auf einem Buchen- und nicht auf einem Eichenbestand aufbaut, nicht bestätigt

werden. Vielmehr legen die mit dieser Arbeit erzielten Befunde nahe, Birken und andere „Weichlaubhölzer“ in einem Buchenbestand ähnlich wie die Buchen selbst zu betrachten und zu behandeln. Auch wenn die kurze Beobachtungszeit eine abschließende Beurteilung der Notwendigkeit zu steuernden Eingriffen in Laubbaumjungbeständen nicht zulässt, deutet sich an, dass eine bevorzugte Entnahme von Birken vor dem Hintergrund der von ihnen ausgehenden Konkurrenzwirkung kaum gerechtfertigt ist. Wichtig erscheint in diesem Zusammenhang auch der Hinweis, dass bei der Festlegung des Zeitpunktes der Pflegemaßnahme die sehr unterschiedlich ausgeprägte Fähigkeit der Baumarten, Konkurrenzwirkungen durch Weichlaubebäume zu ertragen (vgl. z. B. KÜSSNER und WOLLMERSTÄDT, 2003), Berücksichtigung finden sollte.

Zusammenfassend kann in Übereinstimmung mit anderen Autoren festgehalten werden, dass angesichts der ökonomischen Vorteilhaftigkeit von Mischungen (vgl. KNOKE, 2003) und dem Umstand, dass Birken in der Regel bereits früher hiebsreif sind als die meisten Zielbaumarten, diese nicht mehr vollständig entnommen werden sollten (VON LÜPKE, 1991; LEDER, 1996; WAGNER und RÖKER, 2000). Dies gilt im Grundsatz auch für alle anderen Mischbaumarten, von denen ein wirtschaftlicher Wert oder ein sonstiger Nutzen zu erwarten ist und die keine anderen Auswirkungen auf die Qualifizierung der Zielbaumart haben, als die innerhalb dieser Art zu erwartenden Konkurrenzwirkungen (LEDER, 1996).

Nach WAGNER und RÖKER (2000) empfiehlt sich ein differenziertes Eingreifen nicht nur hinsichtlich der räumlichen Verteilung der Zielbaumart und der Konkurrenten, sondern auch bezüglich der Eingriffstärke. So sollten stark bedrängte, aber vitale und qualitativ vielversprechende Individuen deutlicher freigestellt werden als ebenso zielgemäße, aber nur schwach bedrängte Bäume. Auch dies erfordert eine verlässliche gutachtliche Einschätzung der Konkurrenzsituation einzelner Bäume.

Zur Eignung der getesteten Konkurrenzindizes für Jungbestände

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass sich alle hier verwendeten, in der Regel aus der Analyse von Altbeständen entwickelten Konkurrenzindizes im Prinzip auch für die Abschätzung von Konkurrenzwirkungen in Jungbeständen eignen. So konnte mit Ausnahme des Index von BELLA (1971), der allerdings ursprünglich nur für die Verwendung in gleichaltrigen Reinbeständen entwickelt wurde, ein relativ ähnlicher (62–67%) Teil der Variation des Durchmesserwachstums aus dem Ausgangswert und den Konkurrenzwerten erklärt werden. Dies unterstreicht die Einschätzung von DANIELS et al. (1986), BIGING und DOBBERTIN (1995), BRAVO et al. (2001) sowie LEDERMANN und STAGE (2001), dass es keinen „besten“ Konkurrenzindex gibt, sondern deren Eignung von den untersuchten Arten und den jeweiligen Verhältnissen abhängt.

Selbstverständlich ist auch das Untersuchungsziel relevant. Eine Reihung der Stärke der Konkurrenzwirkung nach Baumarten erscheint in diesem Zusammenhang am besten mit Indizes möglich, die artspezifische Unterschiede nicht implizit berücksichtigen.

Da sich die Indizes in den zu ihrer Berechnung notwendigen Messgrößen zum Teil erheblich unterscheiden, können für künftige Untersuchungen in Jungbeständen insbesondere die einfach zu berechnenden Indizes wie z. B. jener von HEGYI (1974, zit. nach BACHMANN, 1998) empfohlen werden (vgl. HOLMES und REED, 1991), welcher zudem den Vorteil hat, artspezifisch unterschiedliche Konkurrenzwirkungen aufdecken zu können. Hinsichtlich des Öffnungswinkels des zur Auswahl der Konkurrenten geeigneten Suchkegels bestätigen die Ergebnisse die Zweckmäßigkeit des von PRETZSCH (1992) vorgeschlagenen Ansatzes. So zeigte sich deutlich, dass ein größerer Öffnungswinkel, d. h. das Einbeziehen

zusätzlicher Bäume zur Berechnung der Indizes, in keinem Fall zu einer verbesserten Erklärung der Variation der Durchmesserzuwachswerte führte. Ein vergleichbares Ergebnis erzielten DANIELS (1976) bei der vergleichenden Untersuchung verschiedenen Ansätze zur Konkurrentenauswahl sowie WAGNER und RADOSEVICH (1991) und BIGING und DOBBERTIN (1992).

Die Ergebnisse der Regressionsanalysen belegen einmal mehr die Bedeutung des Ausgangswertes für das Durchmesserwachstum (vgl. BRAND, 1986; HOLMES und REED, 1991). So erwies sich selbst bei einem hinsichtlich des Ausgangsdurchmessers relativ homogenen Kollektiv ausgewählter Bäume dieser trotz der geringen Variation der betreffenden Werte neben der Konkurrenz als wesentliche Größe für die Erklärung der Variation des Durchmesserwachstums (Tab. 2).

Welcher Art die durch die Indizes ausgedrückten Konkurrenzwirkungen im Hinblick auf die von den Pflanzen genutzten Ressourcen sind, kann aus den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung nicht abgeleitet werden. Wie eine eingehende Analyse verschiedener Konkurrenzindizes und gleichzeitig durchgeführter Strahlungsmessungen jedoch zeigten (vgl. MAC DONALD et al., 1990; ELLIOTT und VOSE, 1995; RICHARDSON et al., 1999; COMEAU und HEINEMAN, 2003), sind die Werte vieler Indizes streng mit der Strahlungsverfügbarkeit korreliert. Da sich mit diesen Indizes in der Regel eine große Variation des Durchmesserwachstums erklären lässt, gehen viele Autoren davon aus, dass insbesondere in den frühen Phasen der Bestandesentwicklung Konkurrenz um Licht einen für das Fortkommen der Pflanzen besonders wichtigen Einfluss ausübt (BRAND, 1986; HOLMES und REED, 1991; MORRIS und FORSLUND, 1991). Unabhängig davon ist zu beachten, dass die Konkurrenzindizes auch unterirdische Konkurrenz berücksichtigen können. In der Regel geschieht dies allerdings nur insoweit sich die unterirdische Konkurrenz in den zur Berechnung des Konkurrenzindex gemessenen oberirdischen Parametern widerspiegelt (BURTON, 1993). Dies bedeutet, dass aus der Verwendung eines Konkurrenzindex keine abschließenden Aussagen zur Bedeutung der unter den jeweiligen Verhältnissen für das Pflanzenwachstum entscheidenden Ressourcen abgeleitet werden können (DANIELS et al., 1986; TER-MIKAELIAN et al., 1999). Dies würde eine klare Beziehung zwischen den für einen Index zu bestimmenden Größen und den Prozessen, mit denen Pflanzen die Ressourcen nutzen, erfordern (BRAVO et al., 2001).

5. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Untersuchung wurden die Auswirkungen unterschiedlich starker intra- und interspezifischer Konkurrenz auf das Durchmesser- und Höhenwachstum von 11jährigen Buchen untersucht. Zur Quantifizierung der Konkurrenz wurden 7 verschiedene Konkurrenzindizes eingesetzt. Je nach verwendetem Index ließen sich 57–67% der Variation der gemessenen Durchmesserzuwächse aus dem Ausgangsdurchmesser und den Konkurrenzwerten erklären. Im Gegensatz dazu konnte ein Einfluss auf den Höhenzuwachs der betrachteten Buchen nicht nachgewiesen werden. Hinsichtlich des Durchmesserwachstums konnten die inter- von den intraspezifischen Konkurrenzwirkungen getrennt werden. Es zeigte sich dabei, dass die Konkurrenz durch Birken eine ähnliche Größenordnung erreichte wie die intraspezifische Konkurrenz. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung belegen, dass sich alle hier verwendeten, in der Regel aus der Analyse von Altbeständen entwickelten Konkurrenzindizes im Prinzip auch für die Abschätzung von Konkurrenzwirkungen in Jungbeständen eignen. Soll allerdings aufgedeckt werden, welchen Konkurrenzdruck die verschiedenen Baumarten ausüben, sind die Indizes nicht gleichwertig. Für diese Fragestellungen sollten die verwendeten Indizes möglichst keine artspezifischen Komponenten (wie z.B.

Kronenschirmflächen oder Transmissionskoeffizienten) integrieren. Nur dann lassen sich artspezifische Unterschiede in der Konkurrenz eindeutig aus den Parametern der für die einzelnen Baumarten berechneten Konkurrenzindizes ablesen. In der vorliegenden Untersuchung zeigten die artenspezifischen Indizes beim Vergleich der von den Baumarten(gruppen) „Buche“, „Birke“ und „Sonstige“ ausgeübten Konkurrenz aber kaum Unterschiede an. Die unter dem Vorbehalt der nur kurzen Beobachtungszeit aus diesen Ergebnissen abgeleiteten Schlussfolgerungen für die waldbaulichen Praxis können wie folgt zusammengefasst werden: Da der tatsächliche Konkurrenzdruck insbesondere durch vorwachsene Birken in Jungbeständen in der Regel überschätzt zu werden scheint, sollten pflegende Eingriffe einige Zeit nach dem Zeitpunkt erfolgen, zu dem die Konkurrenz dem das gesamte herrschende Kollektiv ausgesetzt ist, als stark eingeschätzt wird. Eingriffe sind aber in Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus anderen Studien spätestens dann notwendig, wenn ein Absinken des Höhenzuwachses zu beobachten ist. Angesichts der ökonomischen und ökologischen Vorteilhaftigkeit von Mischungen sollten vollständige Entnahmen von bedrängenden Weichlaubebäumen nicht mehr durchgeführt werden sollten. Nach der vorliegenden Untersuchung kann der Konkurrenzdruck durch die sogenannten „Weichlaubhölzer“ als ähnlich hoch eingeschätzt werden, wie jener durch die innerartliche Konkurrenz der Buchen. Dies gilt insbesondere für die Birke. Diese Baumart ist daher hinsichtlich ihrer Förderungswürdigkeit oder Konkurrenzwirkung genauso zu behandeln wie eine entsprechende Buche.

6. Summary

Title of the paper: *Assessing intra- and interspecific competition in thickets of broadleaved tree species.*

The impact of inter- and intraspecific competition on height and diameter growth of 11 years old European beech (*Fagus sylvatica* L.) was investigated using seven different competition indices. Depending on the competition index used regression analyses revealed that 57 to 67% of the variation of the diameter growth data could be explained by the initial diameter and intra- and interspecific competition (Table 2). In contrast to diameter, height growth did not response to competition (figure 1). Competition effects on beech were separated into interference by neighbouring beeches, by birch (*Betula pendula* Roth) and by all other tree species respectively. It could be shown that the interspecific competition by birch was comparable to the intraspecific interferences. For that reason a regression model where a differentiation between the competitive effect of tree species was renounced, resulted in only slightly reduced R-squares and hardly increased MSEs (Table 3).

The results show that the seven competition indices tested within the present study can be used for sound estimations of inter- and intraspecific competition effects although they all have been developed for investigations in older stands. However, if the competitive effect of different tree species is to be differentiated, not all indices are suitable. In this case only indices should be used which were not characterized by species specific components like crown shape or light transmission coefficients. Otherwise the parameters of the indices calculated on a tree species level do not provide information on the competitive effect of the interfering species. However, in the present study even the indices which do not take into account species specific components showed no distinct differences in the competitive effect between beech and birch (see figure 3).

The main objective of the study was to test competition indices in young stands and to differentiate the competitive effect of different tree species. The study therefore focused mainly on methodical implications. However, even though the observed period comprised

only one vegetation period some silvicultural recommendations for tending measures in young broad-leaved were derived. These are summarised as follows: Measures to control competing tree species are required if height growth of the vital and qualitatively promising trees starts to be impeded. This might be some years after these trees are classified as strongly affected by competition. However, because of the ecological and economic advantages of mixtures tending measures should never remove all interspecific individuals competing with the target tree species. This is true particularly for tree species like birch which can yield high prices or species which provide wildlife habitat or other none timber production values. As the competitive effect of birch does not differ from the intraspecific interference of beech, it should be removed only if this is advised also for a comparable beech tree.

7. Résumé

Titre de l'article: *Détermination des concurrences, intra et interspécifique, dans des peuplements feuillus au stade du fourré.*

Dans la recherche présentée ici on a étudié quels étaient les effets sur les accroissements en diamètre et en hauteur de concurrences intra et interspécifiques de forces différentes sur des hêtres âgés de 11 ans. Selon l'indice utilisé on explique 57 à 67% de la variation de l'accroissement de diamètre, mesuré depuis le diamètre de départ et selon les valeurs de la concurrence. En revanche aucune influence sur l'accroissement en hauteur des hêtres observés n'a pu être détectée. En ce qui concerne l'accroissement en diamètre il a été possible de distinguer les effets de la concurrence interspécifique de ceux de la concurrence intraspécifique. Il est apparu que la concurrence due aux bouleaux était du même ordre de grandeur que la concurrence intraspécifique. Les résultats de la présente recherche ont établi que les indices, en général développés à partir d'analyses effectuées dans des vieux peuplements, convenaient également, en principe, pour évaluer les effets de la concurrence dans les jeunes peuplements. Cependant s'il s'agit de découvrir quelle pression de concurrence exercent les différentes essences, les indices ne sont plus alors tous équivalents. Dans ce cas les indices utilisés ne doivent pas, dans toute la mesure du possible, comporter des composantes propres à l'espèce (par ex. les surfaces abritées par les couronnes ou les coefficients de transmission). Cela étant des différences inhérentes à l'espèce dans la concurrence exercée ne peuvent être clairement détectées qu'à partir des paramètres des indices calculés pour chacune des essences. Dans cette étude, lorsqu'on a comparé la concurrence provoquée par les essences, ou groupes d'essences, «hêtre», «bouleau», «divers», c'est à peine si les indices spécifiques aux essences ont présenté quelques différences. Sous réserve de la brièveté de la période d'observation, les conclusions à tirer de ces résultats pour la pratique sylvicole peuvent se résumer comme ci-après. Comme la pression de concurrence effective, en particulier celle des bouleaux préexistants dans les jeunes peuplements, paraît en général surestimée, les interventions culturales sont à pratique peu après le moment où la concurrence à laquelle est soumise l'ensemble de la collectivité dominante est considérée comme forte. Mais, et ceci en conformité avec les résultats d'autres études, des interventions s'avèrent au plus tard nécessaires lorsque l'on observe une diminution des accroissements en hauteur. Eu égard aux avantages que présentent les mélanges aux plans économique et écologique, les prélèvements ne doivent plus concerner exclusivement les feuillus tendres gênants. Selon la recherche présentée, la pression concurrentielle exercée par ce qu'il est convenu d'appeler «bois feuillus tendres» peut être considérée comme étant d'un niveau analogue à celle des hêtres entre eux. Cela vaut tout particulièrement pour les bouleaux. Par conséquent cette essence, en raison de son aptitude au développement ou de son effet concurrentiel, est à traiter comme un hêtre, en fait analogue.

J. M.

8. Danksagung

Wir danken dem Betriebsleiter des Waldes der Universität München Herrn Prof. Dr. R. MOSANDL und dem Revierleiter Herrn Dipl.-Forstwirt (univ.) CH. DIMKE für die vielfältige Unterstützung vor Ort. Wertvolle Hinweise zur Verbesserung des Manuskriptes verdanken wir zwei anonymen Gutachtern.

9. Literatur

- AMMER, Ch. und C. DINGEL: Untersuchungen über den Einfluß starker Weichlaubholzkonkurrenz auf das Wachstum und die Qualität junger Stieleichen, Forstwissenschaftliches Centralblatt **116**, 346–358, 1997
- BACHMANN, M.: Indizes zur Erfassung der Konkurrenz von Einzelbäumen. Methodische Untersuchungen in Bergmischwäldern. Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 171, 1998
- BIGING, G. S. und M. DOBBERTIN: A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees, Forest Science **38**, 695–720, 1992
- BIGING, G. S. und M. DOBBERTIN: Evaluation of competition indices in individual tree growth models, Forest Science **41**, 360–377, 1995
- BELLA, J. E.: A new competition model for individual trees, Forest Science **17**, 364–372, 1971
- BRAND, D. G.: A competition index for predicting the vigour of planted Douglas-fir in southwestern British Columbia, Canadian Journal of Forest Research **16**, 23–29, 1986
- BRAVO, F., D. W. HANN und D. A. MAGUIRE: Impact of competitor species composition on predicting diameter growth and survival rates of Douglas-fir trees in southwestern Oregon, Canadian Journal of Forest Research **31**, 2237–2247, 2001
- BURTON, P. J.: Some limitations inherent to static indices of plant competition, Canadian Journal of Forest Research **23**, 2141–2152, 1993
- COMEAU, P. G. und J. L. HEINEMAN: Predicting understory light microclimate from stand parameters in young paper birch (*Betula papyrifera* Marsh.) stands, Forest Ecology and Management **180**, 303–315, 2003
- DANIELS, R. F.: Simple competition indices and their correlation with annual Loblolly pine tree growth, Forest Science **22**, 454–456, 1976
- DANIELS, R. F., H. E. BURKHART und T. R. CLASON: A comparison of competition measures for predicting growth of Loblolly pine trees, Canadian Journal of Forest Research **16**, 1230–1237, 1986
- ELLENBERG, H.: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 1982
- ELLIOTT, K. J. und J. M. VOSE: Evaluation of the competitive environment for White pine (*Pinus strobus* L.) seedlings planted on prescribed burn sites in the Southern Appalachians, Forest Science **41**, 513–530, 1995
- FISCHER, H.: Qualitätsverbesserung bei jungen Traubeneichen (*Quercus petraea* Liebl.) allein durch innerartliche Konkurrenz, Forst und Holz **55**, 377–382, 2000
- GÖRLITZ, E. und B. LEDER: Über die Wirkung von Pflegemaßnahmen in Stieleichen-Jungbeständen, Beiträge zu Forstwirtschaft und Landschaftsökologie **28**, 153–159, 1994
- HOLMES, M. J. und D. D. REED: Competition indices for mixed species northern hardwood, Forest Science **37**, 1338–1349, 1991
- KNOKE, T.: Die Begründung von Mischbeständen – eine Möglichkeit zur Minderung von Risiko? In: Deutscher Forstverein e.V.: Die Begründung von Mischbeständen – eine Möglichkeit zur Minderung von Risiko? Deutscher Forstverein e. V., 2003
- KURTH, A.: Untersuchungen über Aufbau und Qualität von Buchendickungen, Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen **24**, 581–658, 1946
- KÜSSNER, R. und J. WOLLMERSTÄDT: Entwicklung eines Tannenvorbanbaus mit Birkenverjüngung, Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald **58**, 311–312, 2003
- LEDER, B.: Weichlaubhölzer – Verjüngungsökologie, Jugendwachstum und Bedeutung in Jungbeständen der Hauptbaumarten Buche und Eiche, Schriftenreihe der Landesanstalt für Forstwirtschaft Nordrhein-Westfalen, Sonderband, Balve: Zimmermann, 1992
- LEDER, B.: Weichlaubhölzer in Eichen- und Buchenjungbeständen. Empfehlungen zur Einbeziehung in die waldbauliche Konzeption bei der Pflege von Jungbeständen, Forst und Holz **51**, 340–344, 1996
- LEDER, B. und U. WEIHS: Wachstum und qualitative Entwicklung eines 8 Jahre alten Buchen-Verbandsversuches unter Kieferschirm im Niederrheinischen Tiefland, Forst und Holz **55**, 172–176, 2000
- LEDERMANN, T. und A. R. STAGE: Effects of competitor spacing in individual-tree indices of competition, Canadian Journal of Forest Research **31**, 2143–2150, 2001
- LÜPKE, B. v.: Einfluß der Konkurrenz von Weichlaubhölzern auf das Wachstum junger Traubeneichen, Forst und Holz **46**, 166–171, 1991
- MACDONALD, B., D. M. MORRIS und P. L. MARSHALL: Assessing components of competition indices for young boreal plantations, Canadian Journal of Forest Research **20**, 1060–1068, 1990
- MORRIS, D. M. und R. R. FORSLUND: A field-oriented competition index for young jack pine plantations and a computerized decision tool for vegetation management, New Forests **5**, 93–107, 1991
- PRETZSCH, H.: Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände. Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 115, 1992
- PRETZSCH, H.: Modellierung des Waldwachstums. Parey Buchverlag im Blackwell-Wissenschaftsverlag, Berlin, Wien, 2001
- PRETZSCH, H., P. BIBER und J. DURSKÝ: The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation, Forest Ecology and Management **162**, 3–21, 2002
- PUKKALA, T. und T. KOLSTRÖM: Competition indices and the prediction of radial growth in Scots pine, Silva Fennica **21**, 55–67, 1987
- QUINN, G. P. und M. J. KEOUGH: Experimental design and data analysis for biologists. Cambridge University Press, Cambridge, New York, Port Melbourne, Madrid, Cape Town, 2002
- RICHARDSON, B., M. O. KIMBERLEY, J. W. RAY und G. W. COKER: Indices of interspecific plant competition for *Pinus radiata* in the central north island of New Zealand, Canadian Journal of Forest Research **29**, 898–905, 1999
- RADTKE, P. J., J. A. WESTFALL und H. E. BURKHART: Conditioning a distant-dependant competition index to indicate the onset of inter-tree competition, Forest Ecology and Management **175**, 17–30, 2003
- ROCK, J., K. PUETTMANN, H. A. GOCKEL und A. SCHULTE: Spatial aspects of the influence of silver birch (*Betula pendula* L.) on growth and quality of young oaks (*Quercus* spp.) in central Germany, Forestry **77**, 235–247, 2004
- SCHÄFER, A.: Untersuchungen zur Charakterisierung der Strahlungs- und Überschirmungsverhältnisse in Fichtenaltbeständen und zum Einfluss der Überschirmung auf den Keimerfolg von Bucheckernsaaten, Unveröffentlichte Diplomarbeit, Studienfakultät für Forstwissenschaft und Ressourcenmanagement der TU München, 2000
- SCHÜTZ, J.-P.: Zum Problem der Konkurrenz in Mischbeständen, Schweizer Zeitschrift für Forstwesen **140**, 1069–1083, 1989
- TER-MIKAELIAN, M., R. G. WAGNER, F. W. BELL und C. SHROPSHIRE: Comparison of photosynthetically active radiation and cover estimation for measuring the effect of interspecific competition on Jack pine seedlings, Canadian Journal of Forest Research **29**, 883–889, 1999
- UNG, C.-H., F. RAULIER, D. QUELLET und J.-F. DHOTE: L'indice de compétition interindividuelle de Schütz, Canadian Journal of Forest Research **27**, 521–526, 1997
- WAGNER, S. und B. RÖKER: Birkenanflug in Stieleichenkulturen – Untersuchungen zur Dynamik der Konkurrenz über 5 Vegetationsperioden, Forst und Holz **55**, 18–22, 2000
- WAGNER, R. G. und RADOSEVICH, S. R.: Neighborhood predictors of interspecific competition in young Douglas-fir plantations, Canadian Journal of Forest Research **21**, 821–828, 1991
- WANG, G. G., J. SU und J. R. WANG: Height growth of planted black spruce seedlings in response to interspecific vegetation competition: a comparison of four competition measures at two measuring positions, Canadian Journal of Forest Research **30**, 573–579, 2000