

Konkurrenz zwischen Stieleiche und Buche auf Lothar-Sturmflächen

Daniel Otto
Sven Wagner
Peter Brang

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)
Institut für Waldbau und Forstschutz, Technische Universität Dresden (DE)
Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)*

Competition between pedunculate oak and European beech on Lothar windthrow areas

The competitive pressure of naturally regenerated European beech (*Fagus sylvatica*) saplings on planted pedunculate oak (*Quercus robur*) was investigated on two 1.8 ha permanent plots near Habsburg and Murten (Switzerland). The plots were established with the aim to test methods of artificial oak regeneration after large-scale windthrow. On both plots, 80 oaks exposed to varying levels of competitive pressure from at most 10 neighbouring beech trees were selected. The height of each oak as well as stem and branch diameters were measured. The competitive pressure was assessed using Schütz's competition index, which is based on relative tree height, crown overlap and distance from competing neighbours.

Oak trees growing without or with only slight competition from beech were equally tall, while oaks exposed to moderate to strong competition were smaller. A threshold value for the competition index was found above which oak height decreased strongly. The stem and branch diameters of the oaks started to decrease even if the competition from beech was slight, and decreased much further with more competition. The oak stems started to become more slender even with only slight competition from beech. On the moderately acid beech sites studied here, beech grow taller faster than oak. Thus where beech is competing with oak and the aim is to maintain the oak, competitive pressure on the oak must be reduced at an early stage. The degree of the intervention should, however, take the individual competitive interaction into account, with more intervention if the competition is strong.

Keywords: competition, *Quercus robur*, *Fagus sylvatica*, tending, radial growth, height growth, branch diameter
doi: 10.3188/szf.2009.0114

* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail brang@wsl.ch

Stiel- und Traubeneichen (*Quercus robur* bzw. *Q. petraea*) sind ausgesprochene Wertholzbaumarten. Bei keiner anderen Baumart liegt der Wertholzanteil in den existierenden Beständen so hoch wie bei der Eiche (Burschel & Huss 1997). Das Waldbauziel in Eichenbeständen ist oft ein hoher Anteil an astfreiem und geradem Stammholz von mindestens 6–8 m Länge mit 50 cm und mehr Durchmesser.

Die Eiche ist ein Totastverlierer. Ihre Äste gehen aber in der Jugendphase nur verloren, wenn sie im Dichtstand der eigenen Art aufwächst oder ihr Stamm durch einen Nebenbestand aus Schatten ertragenden Arten umfüttert wird, wozu Baumarten wie die Hagebuche (*Carpinus betulus*), die Winterlinde (*Tilia cordata*) und die Buche (*Fagus sylvatica*) gut geeignet sind. Das birgt aber die Gefahr starker Konkurrenz und des Überwachsens. So hat die gleichzeitige Beimischung einer Schattenbaumart zur Eiche zu allen Zeiten die Forstwissenschaftler

beschäftigt (ausführlich dargestellt bei Fricke 1986). Bereits Burckhardt (1855) schrieb, dass der Eiche gleich bei der Bestandesbegründung ein kräftiges Mischholz beigegeben werden müsse. Er führt aus, dass gleich alte Eichen-Buchen-Mischungen Vorzüge mit sich bringen, dass aber eine nachträgliche Mischung als Unterbau oft sicherer sei, da die anfängliche Wuchsunterlegenheit der Buche mit zunehmendem Alter nachlasse und sie dann die Hauptbaumart Eiche gefährde.

In der Vergangenheit wurde Weichlaubhölzern wie Hängebirke (*Betula pendula*), Salweide (*Salix caprea*) und Aspe (*Populus tremula*) sowie weiteren Laubbaumarten wie Buche, Winterlinde und Hagebuche schon bei mässigem Vorkommen in Kulturen und Jungwüchsen ein negativer Effekt auf das Wachstum und die Stammqualität der Hauptbaumarten nachgesagt (Ammer & Dingel 1997). Dies mündete oft in der Anweisung, unerwünschte Nebenbaumarten frühzeitig ganz zu entnehmen (z.B. Röhrig &

Gussone 1990) und die angestrebte Stammqualität in den so geschaffenen Reinbeständen nur durch intraspezifische Konkurrenz zu sichern. Dieses Konzept ist allerdings finanziell aufwendig und vermindert sowohl die strukturelle Vielfalt als auch die Artenvielfalt (Ammer & Dingel 1997, Ruhm 1999). Heutzutage möchte man auch die interspezifische Konkurrenz von natürlich ankommenden Nebenbaumarten nutzen, um kostengünstig Dichtstand herzuleiten (Leder 1996). Zum anderen gewinnt die biologische Vielfalt in unseren Wäldern immer mehr an Bedeutung (Wagner & Röker 2000), akzentuiert als waldbauliche Antwort auf die Klimaänderung (Bolte & Ibisch 2007, Brang et al 2008).

Eine mässige Konkurrenz durch Weichlaubhölzer beeinträchtigt weder Wachstum noch Stammqualität junger Eichen (Bellefleur & Laroque 1983, von Lüpke 1991, Leder 1992, Ammer & Dingel 1997, Wagner & Röker 2000). Deshalb ist die vollständige Entfernung der Weichlaubhölzer unnötig (Ammer & Dingel 1997). Vielmehr soll der von Weichlaubhölzern ausgeübte Seitendruck so dosiert werden, dass er die natürliche Astreinigung der Hauptbaumart unterstützt (Leder 1992, Huss 1993, von Lüpke 1991), das Höhenwachstum aber noch nicht vermindert (Wagner & Röker 2000). Jungwüchse und Dicken der Eiche sind daher mit differenzierten und gemässigten Eingriffen zu pflegen (Wagner & Röker 2000).

Im Gegensatz zur Baumartenkombination Eiche-Weichlaubhölzer ist die gleichaltrige Kombination von Eiche und Buche im Jungwuchsalter nur unzureichend untersucht (z.B. Fricke 1986, von Lüpke 2008). Diese Kombination kann einerseits entstehen, wenn sich Eichen und Buchen nach Schirmhieben in Mischbeständen natürlich verjüngen. Andererseits ist sie auf Sturmflächen anzutreffen, wenn ein Buchenvorbestand sich gerade vor dem Ereignis noch natürlich verjüngen konnte, das Bestockungsziel aber trotzdem einen hohen Eichenanteil vorsieht und daher Eichen künstlich verjüngt werden. Aufgrund der Kenntnislücken in Bezug auf Konkurrenzverhalten von Eiche und Buche im Jungwald war das

Ziel dieser Arbeit, die Reaktion von Eichen im Dickenstadium auf Buchenkonkurrenz zu erfassen. Insbesondere sollten Konkurrenzwirkungen auf Höhen- und Dickenwachstum, Stabilität und Astigkeit der Stämmchen quantifiziert werden. Da in den untersuchten Objekten nur Stieleichen wachsen, beschränkt sich der Aufsatz auf diese Baumart.

Material und Methoden

Untersuchungsgebiete

Für die Untersuchung wurde ein Feldexperiment der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) genutzt, das nach dem Sturm Lothar auf geräumten Sturmflächen eingerichtet wurde (Koch & Brang 2005). Das Experiment umfasst sechs 1.8 ha grosse Versuchspflanzungen mit Stieleiche, wovon die zwei Flächen bei Habsburg (Kanton Aargau) und Murten (Kanton Freiburg), in denen Buchenkonkurrenz eine Rolle spielt (Tabelle 1), gewählt wurden. Das Versuchsdesign war in beiden Flächen identisch: In dreifacher Wiederholung lagen drei Varianten mit Eichenpflanzungen nebeneinander, nämlich eine Reihenpflanzung und zwei unterschiedliche Trupppflanzungen (Koch & Brang 2005). Da der Pflanzabstand zwischen den Eichen einheitlich 1.6 m war, sollte die Variante die Reaktion der Eichen auf Buchenkonkurrenz nicht beeinflussen. Daher wird hier nicht zwischen den Varianten unterschieden. Die Versuchsfelder wurden vor der Pflanzung im Frühjahr 2001 gegen Wildverbiss gezäunt.

Die Flächen Habsburg und Murten liegen auf mässig sauren Buchenstandorten (Waldgesellschaften 7a, 7b und 7d nach Schmider et al 1994). Brombeere (*Rubus fruticosus* aggr.) und Adlerfarn (*Pteridium aquilinum*) in Kombination mit starker Vergrasung (*Carex brizoides*) behinderten die Etablierung der Jungpflanzen stellenweise (Koch & Brang 2005). Daher wurde die Begleitvegetation rund um bedrängte Eichen von 2001 bis 2004 mit Arbeitsschuhen niedergetreten.

Fläche	Habsburg	Murten
Lokalname	Galgehübel	Bloster
Eigentümer	Kanton Aargau	Stadt Murten
Flächengrösse (ha)	1.8	1.8
Höhenlage (m ü. M.)	445–455	560–570
Waldgesellschaft*	7a, 7d	7a, 7b
Koordinaten	656900/256500	578750/198300
Vorbestand	Buchen-Fichten-Bestand	Buchen-Fichten-Bestand
Buchenmastjahr	1999	1999
Pflanzhöhe bei Pflanzung (Frühjahr 2001, cm)	93–127	93–111
Provenienz	Tägerwilen, 550 m	Tägerwilen, 550 m

Tab 1 Beschreibung der Versuchspflanzungen. *Pflanzengesellschaften nach Schmider et al (1994).

Die Entwicklung der Pflanzung und der Naturverjüngung wurde mit Stichprobeninventuren erhoben, die in unterschiedlicher Intensität in den Jahren 2001, 2002, 2003 und 2004 stattfanden. Im Jahr 2007 wurde dann die Konkurrenzsituation erfasst. Die Inventuren ergaben, dass 2001 bereits einige Buchen die Erfassungshöhe von 20 cm überwachsen hatten (Habsburg: 5.7 ± 0.9 Buchen/ha, Mittelwert \pm Standardfehler des Mittelwertes; Murten: 2.3 ± 0.3 /ha). Bei beiden Versuchsflächen war der Vorbestand ein Buchen-Fichten-Bestand, in dem 1999 (also unmittelbar vor dem Sturmereignis) starke Buchenmast beobachtet wurde. Dies erklärt das hohe Buchenaufkommen auf beiden Flächen. Bis 2007 waren die Buchen in einigen Bereichen gleich hoch, zum Teil auch höher gewachsen als die gepflanzten Eichen.

Konkurrenzindizes

Mit Konkurrenzindizes (KI) wird versucht, die Konkurrenzsituation von Bäumen vergleichbar zu bewerten. Der Wert eines KI für einen Baum ist somit ein mathematischer Ausdruck für dessen Konkurrenzsituation in einem Bestand. «Je grösser der berechnete Konkurrenzwert, umso stärker diese Konkurrenz um Raum» (Wagner & Röker 2000).

In der Waldwachstumskunde unterscheidet man zwischen positionsunabhängigen und positionabhängigen KI (Pretzsch 2002). Bei der Berechnung von positionabhängigen KI werden Baumvariablen wie Höhe, Stammdurchmesser, Distanz zwischen Baumfusspunkten, Kronenlänge, Kronenradius und Kronentransparenz einbezogen und entsprechend ihrer nachbarschaftlichen Relevanz gewichtet (Hegyí 1974, Schütz 1989, Tomé & Burkhart 1989, Pretzsch 1995). Zur Charakterisierung der Konkurrenzsituationen verwendeten wir den KI nach Schütz (1989). Dieser war in unseren Daten sehr straff mit dem KI nach Hegyí (1974) korreliert (Habsburg: Pearson-Korrelation $r^2 = 0.904$, $p < 0.001$, $N = 80$; Murten: $r^2 = 0.913$, $p < 0.001$, $N = 80$), weshalb

wir ganz auf die Verwendung des KI nach Hegyí verzichteten.

Der KI nach Schütz (Abbildung 1) berücksichtigt das Konkurrenzverhältnis des Zentralbaums zu jedem seiner Konkurrenten in je einer Konkurrenzzahl (KZ). Die KZ hängt dabei von den Kronenbreiten, der Kronenüberlappung und dem Höhenverhältnis von Zentralbaum und Konkurrent ab. Die KZ ist gleich null, wenn ein Nachbarbaum auf einen Zentralbaum keine Konkurrenz ausübt. Diese Situation ist beispielsweise gegeben, wenn der Zentralbaum einzeln steht oder wenn im Fall von gleicher Höhe von Nachbarbaum und Zentralbaum «mehr als eine halbe Kronenbreite Kronenabstand zwischen beiden besteht» (Schütz 1989). Die KZ nimmt linear mit abnehmendem Abstand zwischen Zentralbaum und Nachbarn zu, bis ein maximaler Wert von 1.5 erreicht ist, bei dem sich die Kronen vollständig überlappen. Bei einem Höhenvorsprung des Nachbarn erhöht sich die KZ linear zum Ausmass dieses Höhenunterschiedes im Verhältnis von 0.65 (Schütz 1989). Alle positiven KZ werden summiert und bilden den dimensionslosen KI, der in der Regel zwischen 0 und 10 liegt, ausnahmsweise auch höher (Wagner & Röker 2000).

Datenerhebung

Im Herbst 2007 wurde auf jeder Versuchsfläche die Konkurrenzsituation von 80 Zentralbäumen erfasst, je 20 aus vier Stufen des KI nach Schütz. Dies sollte sicherstellen, dass Stieleichen mit unterschiedlicher Konkurrenzsituation etwa gleichmässig vertreten waren. Zentralbäume mussten die folgenden Auswahlkriterien erfüllen:

- Stieleichen, die bei den bisherigen Erhebungen in den Versuchspflanzungen bereits erfasst worden waren.
- Potenzielle Z-Bäume, also vitale, vorherrschende oder herrschende Bäume (nach Kraft, zitiert in Burschel & Huss 1997), aber keine grobstämmigen Protzen.

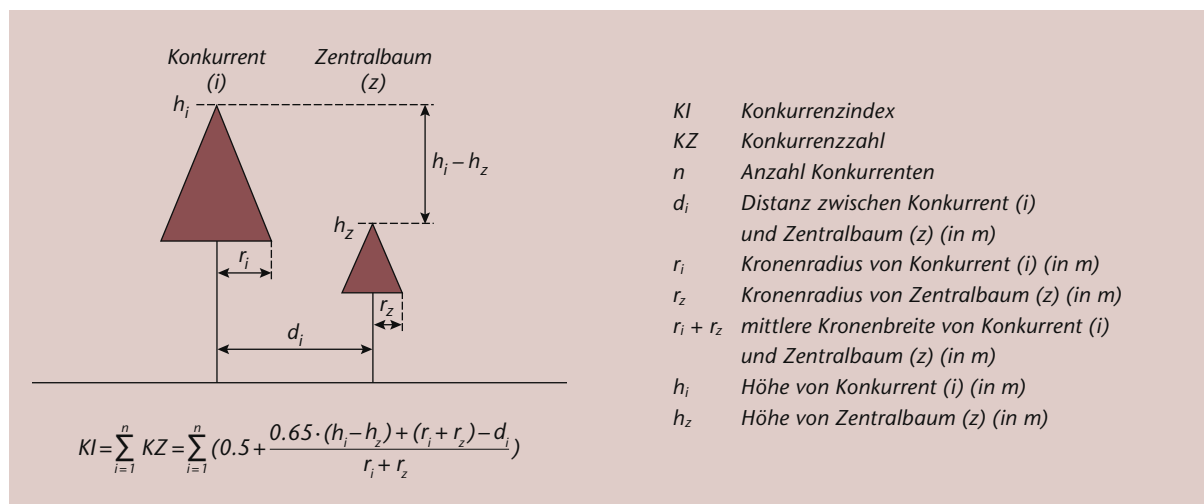


Abb 1 Konkurrenzindex (KI) nach Schütz (1989, modifiziert).

- Von Buchen umgeben, aber ohne andere konkurrierende Baumart (z.B. Hängebirke), um nur Konkurrenzsituationen mit Buchen zu erfassen (Konkurrenz unter Eichen war noch nicht vorhanden).

Nach den Zentralbäumen wurden unter den Nachbarbäumen die Konkurrenten ausgewählt. Konkurrenten mussten folgende Kriterien erfüllen:

- Baumart Buche,
- $KZ > 0$,
- Anzahl an konkurrierenden Buchen ≤ 10 , wobei diejenigen mit der grössten KZ gewählt wurden.

Beim Zentralbaum (Stieleiche) wurden die Höhe (in m), der Brusthöhendurchmesser (BHD, in cm), der Kronenradius (in dm) in Richtung der Konkurrenten und die drei stärksten Astdurchmesser bis in eine Stammhöhe von 2 m (in cm) gemessen; aus Letzteren wurde der Mittelwert gebildet. Aus Höhe (in m) und BHD (in cm) wurde das H/D-Verhältnis

berechnet. Bei den Konkurrenten (Buche) wurden die Höhe (in m), der BHD (in cm), der Kronenradius (in dm) in Richtung Zentralbaum und die Distanz des Stammfusses zum Zentralbaum (in dm) gemessen.

Nach der Erhebung einiger Stieleichen mit unterschiedlicher Konkurrenzsituation war der ungefähre Wertebereich des KI bekannt. Daraus wurden die Stufengrenzen des KI gemäss Tabelle 2 abgeleitet.

KI-Stufe	Beschreibung	Wertebereich KI
I	keine Konkurrenz	< 0.10
II	geringe Konkurrenz	0.10–3.09
III	mässige Konkurrenz	3.10–6.09
IV	starke Konkurrenz	≥ 6.10

Tab 2 Konkurrenzsituation ausgedrückt in Konkurrenzindex-Stufen (KI-Stufe) und Wertebereichen. Siehe auch Abbildung 2 für die Visualisierung der Konkurrenzverhältnisse.



Abb 2 Konkurrenzsituationen zwischen Stieleiche (Pfeil) und Buchen. Links Konkurrenzindex-Stufe I (keine Konkurrenz), rechts Konkurrenzindex-Stufe IV (starke Konkurrenz). Versuchsfläche Habsburg, 2007.

Ergebnisse

Höhenwachstum der Stieleichen

Die mittlere Höhe der Stieleichen betrug in Habsburg $3.96 \text{ m} \pm 0.07 \text{ m}$ (Mittelwert \pm Standardfehler, $N = 80$), in Murten $4.09 \text{ m} \pm 0.05 \text{ m}$ ($N = 80$); die Werte waren also sehr ähnlich. Die konkurrierenden Buchen waren auf der Versuchsfläche Habsburg $3.71 \text{ m} \pm 0.04 \text{ m}$ ($N = 417$) hoch, in Murten $4.00 \text{ m} \pm 0.04 \text{ m}$ ($N = 178$). Auch das Höhen-

wachstum der Eichen über sieben Vegetationsperioden war auf den beiden Versuchsflächen ähnlich, wie sich aus den mittleren Baumhöhen Anfang 2001 (Tabelle 1) und Ende 2007 (s. vorne) ableiten lässt.

Das Höhenwachstum war umso grösser, je tiefer der KI im Jahr 2007 lag; der lineare Zusammenhang war aber eher schwach (Habsburg $r^2 = 0.142$,

$p = 0.001$; Murten $r^2 = 0.282$, $p = 0.000$). Die Höhenmittelwerte der vier KI-Stufen lagen in Habsburg zwischen 3.69 m und 4.25 m, in Murten zwischen 3.73 m und 4.39 m (Abbildung 3). In Habsburg waren Eichen «ohne Konkurrenz» am höchsten, in Murten

solche mit «geringer Konkurrenz». Der kleinste und der grösste Höhenmittelwert lagen in Habsburg nur 0.56 m auseinander, in Murten 0.66 m. Die Mittelwerte der KI-Stufen unterschieden sich teilweise signifikant (TUKEY-HSD-Test).

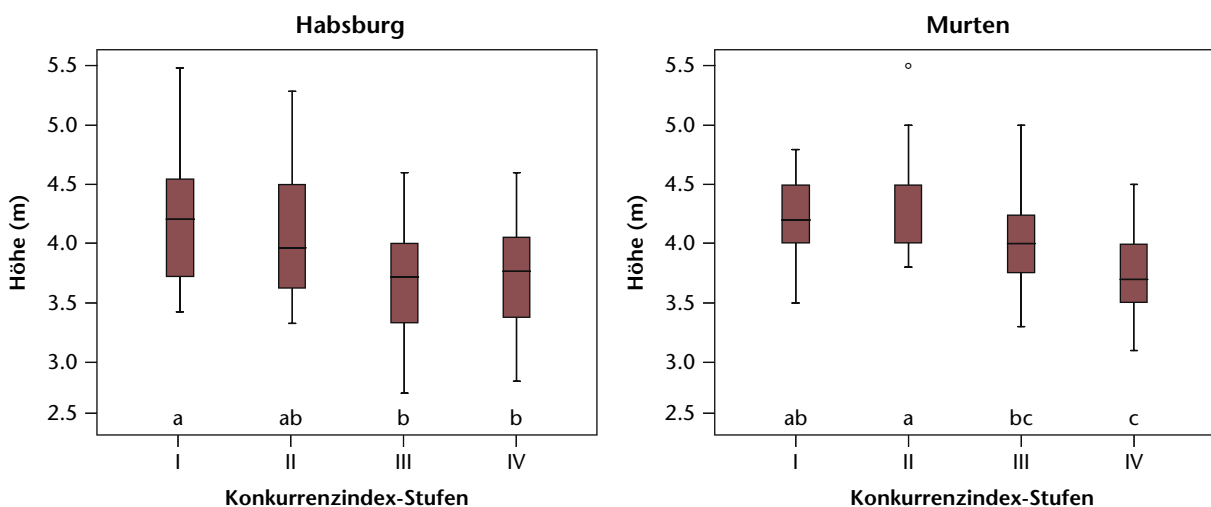


Abb 3 Höhe junger Stieleichen in Abhängigkeit von Konkurrenzindex-Stufen (Index nach Schütz 1989) auf den Versuchsfeldern Habsburg und Murten. $N = 20$ pro Boxplot. Erklärung der Boxplots: Die waagrechte Linie in der Mitte einer Box ist der Median. Der obere und der untere Rand einer Box stellen das obere und untere Quartil dar, sie umfassen also die Hälfte aller Werte. ° und * stehen für Datenwerte, die das obere Quartil um 150 bis 300% (°) beziehungsweise um mehr als 300% (*) der Interquartildistanz übersteigen oder das untere Quartil um diese Beträge unterschreiten. Unterschiedliche Buchstaben unterhalb der Boxen bedeuten, dass sich die Mittelwerte der betreffenden Gruppen signifikant unterscheiden (TUKEY-HSD-Test, Post-hoc-Verfahren). Bei der Fläche Murten fallen Median und oberes Quartil bei Konkurrenzindex-Stufe II zusammen; daher ist der Median nicht sichtbar.

BHD- und Astdurchmesserwachstum der Stieleichen

Der BHD-Mittelwert der Eichen betrug in Habsburg $3.85 \text{ cm} \pm 0.13 \text{ cm}$, in Murten $4.24 \text{ cm} \pm 0.13 \text{ cm}$. Die bis 2007 erreichten BHD waren auf beiden Versuchsfeldern umso grösser, je niedriger der KI war. Der lineare Zusammenhang zwischen BHD und KI war mässig (Habsburg $r^2 = 0.319$, $p = 0.000$; Murten $r^2 = 0.468$, $p = 0.000$). Den grössten BHD wiesen Stieleichen «ohne Konkurrenz» auf (Habsburg: 4.70 cm, Murten: 5.17 cm), den kleinsten diejenigen

mit «starker Konkurrenz» (Habsburg: 2.92 cm, Murten: 3.31 cm; Abbildung 4). In den vier KI-Stufen unterschieden sich die BHD-Mittelwerte auf beiden Versuchsfeldern teilweise signifikant (TUKEY-HSD-Test).

Die drei dicksten Äste der Stieleichen waren in Habsburg ($1.83 \text{ cm} \pm 0.06 \text{ cm}$) etwas dünner als in Murten ($2.04 \text{ cm} \pm 0.07 \text{ cm}$). Die Astdurchmesser nahmen auf beiden Flächen in ähnlicher Weise mit zunehmendem KI linear ab (Habsburg $r^2 = 0.453$, $p = 0.000$; Murten $r^2 = 0.363$, $p = 0.000$; Abbil-

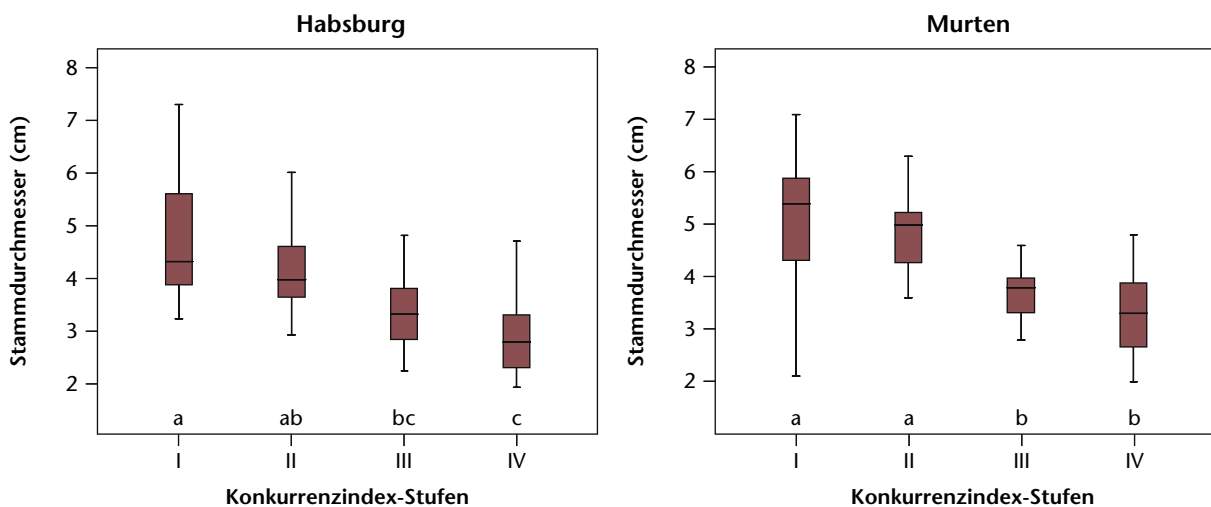


Abb 4 Stammdurchmesser junger Eichen in Abhängigkeit von Konkurrenzindex-Stufen (Index nach Schütz 1989) auf den Versuchsfeldern Habsburg und Murten. Erklärung der Boxplots und Buchstaben siehe Abbildung 3.

dung 5). Die maximale Mittelwertdifferenz der Astdurchmesser zwischen den vier KI-Stufen lag bei 0.94 cm (Habsburg) beziehungsweise 0.91 cm (Murten). Der TUKEY-HSD-Test ergab auf beiden Versuchsflächen teilweise signifikante Mittel-

wertunterschiede. Der Astdurchmesser der Stieleichen korrelierte straffer mit dem Stammdurchmesser (Habsburg: $r^2 = 0.78$, Murten: $r^2 = 0.77$) als mit der Baumhöhe (Habsburg: $r^2 = 0.42$; Murten: $r^2 = 0.34$).

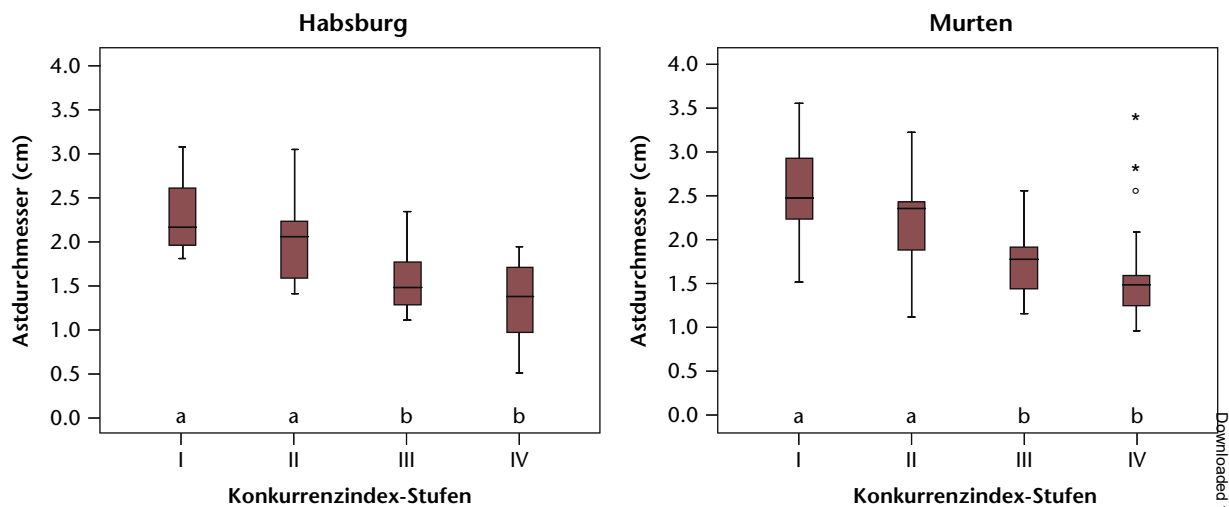


Abb 5 Astdurchmesser junger Eichen in Abhängigkeit von Konkurrenzindex-Stufen (Index nach Schütz 1989) auf den Versuchsflächen Habsburg und Murten. Erklärung der Boxplots und Buchstaben siehe Abbildung 3.

Stabilität (H/D-Verhältnis) der Stieleichen

Das mittlere H/D-Verhältnis der Eichen auf der Versuchsfläche Habsburg war mit 1.09 ± 0.03 leicht grösser als auf der Vergleichsfläche in Murten mit 1.02 ± 0.03 . Der jeweils tiefste Median der H/D-Werte trat bei Eichen «ohne Konkurrenz» auf,

der höchste bei solchen mit «starker Konkurrenz» (Abbildung 6). Der H/D-Wert und der KI korrelierten auf beiden Flächen positiv ($p < 0.001$), wobei die Beziehung nur gut ein Viertel der Streuung erklärte ($r^2 = 0.272$ in Habsburg und $r^2 = 0.288$ in Murten).

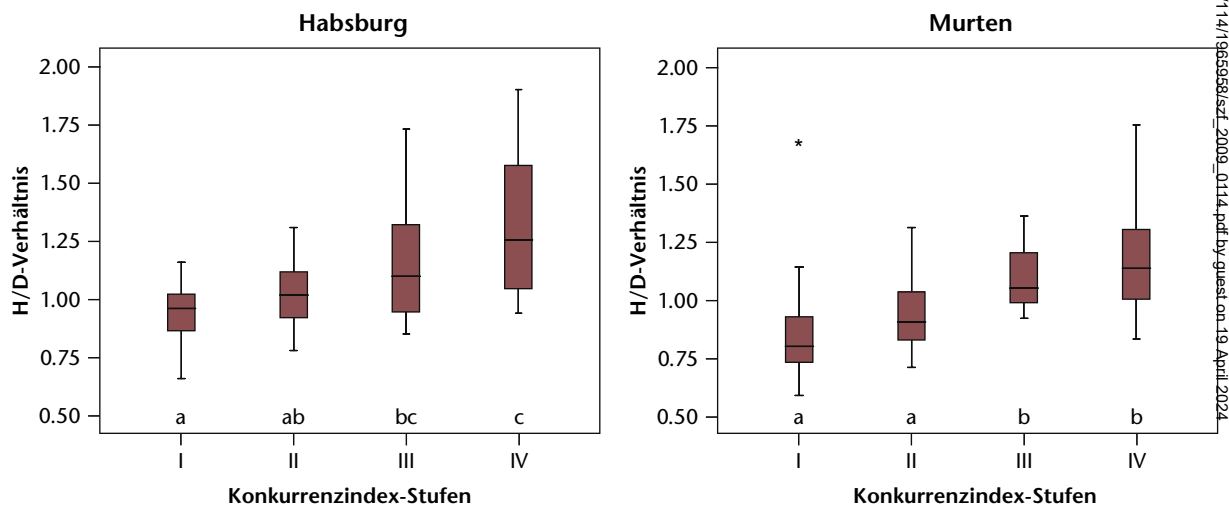


Abb 6 H/D-Verhältnis junger Eichen in Abhängigkeit von Konkurrenzindex-Stufen (Index nach Schütz 1989) auf den Versuchsflächen Habsburg und Murten. Erklärung der Boxplots und Buchstaben siehe Abbildung 3.

Diskussion

Konkurrenzindizes

In waldbaulichen und waldwachstumskundlichen Untersuchungen wird häufig versucht, durch die Verwendung von KI das individuelle Baumwachstum als Funktion der Einschränkung des Wuchs-

raums durch andere Individuen zu beschreiben (Burton 1993). Die hier verwendeten positionsabhängigen KI berücksichtigen die Distanz und die Höhen- und Durchmesserunterschiede zwischen dem Zentralbaum und seinen Konkurrenten (Ammer & Dingel

1997). Die KI von Schütz (Höhen-Abstand-Verhältnis) und Hegyi (Durchmesser-Abstand-Verhältnis) bilden die Konkurrenzsituation zwischen Stieleiche und Buche zwar unterschiedlich ab, doch die Unterschiede waren in unserer Studie gering, wie die straffe Korrelation zwischen den zwei KI zeigt (Habsburg $r^2=0.904$; Murten $r^2=0.913$).

Höhe und Höhenzuwachs der Stieleichen

Da die Ausgangshöhen der Stieleichen auf den zwei Versuchsflächen sehr ähnlich waren, kann die im Jahr 2007 gemessene Höhe direkt als Höhenwachstum interpretiert werden. Wir verzichteten auf eine Umrechnung auf jährliche Höhenzuwachs-werte, weil der Höhenzuwachs von 2001 bis 2002 wegen des Pflanzschocks fast ganz ausfiel und danach zunächst nur zögerlich zunahm (Koch & Brang 2005, Ehring & Keller 2006).

Buchenkonkurrenz beeinflusst das Höhenwachstum der Stieleichen in der Dickenphase grundsätzlich negativ (Abbildung 3). Dabei scheint aber ein «Grenzkonkurrenzwert» zu existieren, bis zu dem Konkurrenz das Höhenwachstum kaum beeinträchtigt (Ammer & Dingel 1997). Dieser Grenzkonkurrenzwert dürfte sich zwischen den KI-Stufen II und III befinden, also beim Übergang von geringer zu mässiger Buchenkonkurrenz. Ab KI-Stufe III, also ab KI-Werten von etwa 3, nahm die Eichenhöhe mit zunehmendem Konkurrenzdruck auf beiden Versuchsflächen ab. Stieleichen reagieren also erst bei mässiger bis starker Buchenkonkurrenz mit einem Rückgang des Höhenwachstums. Keine Hinweise ergaben sich dafür, dass der Höhenzuwachs der Stieleiche bei mässiger Beschattung – d.h. mässiger bis starker Buchenkonkurrenz – am grössten war, wie Igboanugo (1990) in einem Topfexperiment bei der Traubeneiche nachwies. Lediglich auf der Versuchsfläche Murten waren die Stieleichen in KI-Stufe II tendenziell höher als in KI-Stufe I (Abbildung 3). Hier ist anzufügen, dass Traubeneichen als weniger lichtbedürftig eingeschätzt werden als Stieleichen (Jones 1959), wobei uns dazu keine breit abgestützten Untersuchungen bekannt sind.

Die physiologischen Gründe für die konkurrenzbedingten Höhenunterschiede waren nicht Gegenstand dieser Untersuchungen. Es ist davon auszugehen, dass das geringere Wachstum der Stieleichen bei mässiger bis starker Buchenkonkurrenz von Lichtmangel herrührt (Schütz 1989). Es sind aber auch Effekte im Wurzelraum denkbar (Ziegenhagen & Kausch 1993).

Die natürlich verjüngten Buchen waren 2007 auf beiden Versuchsflächen zum Teil in der Oberschicht vertreten (Abbildung 2). Sie konnten also innerhalb von drei bis vier Jahren den anfänglichen Höhenrückstand zu den gepflanzten Stieleichen egalieren. Ein Grund für das rasche Höhenwachstum der Buche dürfte darin liegen, dass die Buche vorverjüngt war. Zudem liegen die Versuchsflächen auf

mässig bodensauren Standorten, also nahe beim Buchenoptimum (Schmidt 2002). Standortbeschreibungen empfehlen auf diesen Standorten eher die Traubeneiche als die Stieleiche (z.B. Schmider et al 1994), aber Schütz & Badoux (1979) leiteten aus der Untersuchung von 18 Stieleichen- und 16 Traubeneichenflächen ab, dass die Stieleiche der Traubeneiche auch auf solchen Standorten bezüglich Stammqualität überlegen ist.

Stamm- und Astdurchmesser der Stieleichen

Empfindlicher als im Höhenzuwachs reagierten die Stieleichen im Durchmesserzuwachs auf Buchenkonkurrenz. Auf beiden Versuchsflächen führte schon eine geringe Konkurrenz zu vermindertem Durchmesserzuwachs (Abbildung 4). Der mittlere BHD nahm von KI-Stufe I bis KI-Stufe IV um bis zu 30% ab. Dies lässt sich damit erklären, dass Stieleichen bei einer Einengung des Kronenraums kleinere Kronen ausbilden, ihre Photosyntheseleistung geringer ist und sie zuerst das Dickenwachstum und erst ab einem bestimmten Grenzkonkurrenzwert auch das Höhenwachstum einschränken (Ammer & Dingel 1997). Dies deckt sich auch mit weiteren waldbaulichen und ertragskundlichen Erkenntnissen über das Dickenwachstum der Stieleiche (von Lüpke 1991, Nutto 1999, Wagner & Röker 2000). Das Dickenwachstum der Stieleiche lässt sich also nicht erst in erwachsenen Beständen über die Kronenbreite waldbaulich steuern (Spiecker 1991), sondern schon in der Dickenphase.

Der mittlere Durchmesser der drei stärksten Eichenäste nahm mit zunehmender Buchenkonkurrenz sukzessive ab (Abbildung 5). So sank der mittlere Astdurchmesser auf der Habsburger Fläche von 2.27 cm (KI I) auf 1.33 cm (KI IV) und auf der Murten Fläche von 2.54 cm (KI I) auf 1.63 cm (KI IV). Dieses Ergebnis ist kongruent mit der Beziehung zwischen KI und BHD, mit dem der Astdurchmesser straff linear zusammenhängt. Die deutliche Buchenkonkurrenz bei den KI-Stufen III und IV ist bezüglich der Astdurchmesser positiv zu werten. Dagegen besaßen Stieleichen ohne oder mit nur geringer Buchenkonkurrenz (KI-Stufen I und II) bis über 3 cm starke Äste (Abbildung 5), weil hier Konkurrenten fehlten und der Bestand nicht geschlossen war. Entweder war dort die Buchennaturverjüngung nicht flächendeckend, oder es trat kaum intraspezifischer Konkurrenzdruck auf, da der Pflanzabstand von 1.6 m gross war. Das Längenwachstum der Äste wird erst bei Kronenkontakt mit Nachbarn gestoppt; bei grösserem Pflanzenabstand werden die Seitenäste folglich länger und stärker (Nutto 1999).

Stabilität der Stieleichen

Als Kriterium für Einzelbaumstabilität gilt hier der Schlankheitsgrad beziehungsweise das H/D-Ver-

hältnis als Quotient aus Baumhöhe und BHD (Fischer 1998, Burschel & Huss 1997, Röhrig et al 2006). Bei den hier untersuchten jungen Stieleichen nahm das H/D-Verhältnis mit zunehmender Buchenkonkurrenz zu (Abbildung 6). Sie vermindern also bei Buchenkonkurrenz den Durchmesserzuwachs rascher als den Höhenzuwachs. So wiesen Stieleichen mit starker Buchenkonkurrenz hohe mittlere H/D-Werte von 1.17 (Habsburg) und 1.33 (Murten) auf, solche ohne Buchenkonkurrenz niedrige H/D-Werte (Mittelwerte von 0.87 und 0.93). Ähnliche H/D-Werte wurden auch bei Stieleichen festgestellt, die in Konkurrenz mit Weichlaubhölzern standen (Wagner & Röker 2000), wobei hier nicht der BHD, sondern der Stammdurchmesser auf 5 cm über der Bodenoberfläche gemessen wurde. Die Bewertung solcher Schlankheitsgrade ist aber schwierig, da sie in der frühen Jugend oft hoch sind (1.0–2.0). So fand zum Beispiel Leibundgut (1976) bei Ausleseebäumen in unbehandelten Stieleichendickungen H/D-Werte von 1.40 bis 1.57 und Manderscheid (1986) für dichte Traubeneichendickungen, die aus Saat hervorgegangen waren, solche von 1.36 bis 2.11. Es ist anzunehmen, dass Eichen bei den hier festgestellten H/D-Mittelwerten von bis zu 1.33 im Falle starker Buchenkonkurrenz bei Nassschneefällen stärker gefährdet sind als solche mit geringeren H/D-Werten.

Praktische Schlussfolgerungen

«Das Erreichen möglichst artenreicher und feiner Baumartenmischungen stellt heute eines der wichtigsten waldbaulichen Ziele bei der Bestandesbegründung und -pflege dar» (Schütz 1989). Feine Mischungen sind aber nur zweckmässig, wenn es sich um Baumarten handelt, die ähnliche ökologische Eigenschaften mitbringen, so zum Beispiel bezüglich Lichtansprüchen, Wachstumsgang und Lebensdauer. Bei asymmetrischen Konkurrenzbeziehungen setzen sich in der Regel eine oder wenige besonders wettbewerbsfähige Baumarten durch (Röhrig et al 2006), während die unterlegenen Baumarten absterben. Ein Beispiel für eine ungleiche Konkurrenzbeziehung sind gleichaltrige Eichen-Buchen-Mischwälder, die sich trotz anfänglicher Wuchsüberlegenheit der Eiche (Schütz 1989, Abbildung 3) oft zuungunsten der Eiche entmischen. Auf den hier untersuchten Sturmflächen tritt diese Wachstumsüberlegenheit der Buche, bei annähernd gleichem Alter der beiden Baumarten, schon im frühen Dickungsstadium auf.

Mit waldbaulichen Mitteln lassen sich solche asymmetrischen Konkurrenzsituationen bei gleichaltrigen Eichen-Buchen-Mischbeständen vermeiden, insbesondere indem die konkurrenzschwachen Stieleichen in grösseren Mischungseinheiten (Trupp,

Gruppe oder Horst) angeordnet werden (Schütz 1989). Bestehen die Konkurrenzsituationen aber schon, wie das auf den hier untersuchten Sturmflächen zum Teil der Fall war, werden Pflegeeingriffe nötig, wenn die Eiche erhalten bleiben soll.

Die interspezifische Konkurrenz zwischen Buchen und Eichen kann aber auch erwünscht sein, wie die Untersuchung gezeigt hat. So vermindern beigemischte Buchen das Durchmesserwachstum der Äste der Stieleichen (Abbildung 5). Die vollständige Beseitigung der Buchen in der Dickungsphase ist somit nicht sinnvoll, denn darauf würden die Eichen mit einem stärkeren Durchmesserzuwachs der Äste reagieren. Die mittleren maximalen Aststärken sind jetzt schon mit 2 bis 3 cm gross. Bei einem Teil der Stieleichen kommen über 3 cm dicke Äste vor (Abbildung 5), was den empfohlenen Maximaldurchmesser bei Astung bereits übersteigt (Häne 2003). Da beim gewählten grossen Eichenpflanzabstand von 1.6 m bei rund vier Metern Baumhöhe noch kaum intraspezifische Konkurrenz auftritt, müssen vorläufig andere Baumarten die Astreinigung sichern. Dazu dienen neben der Naturverjüngung in den Versuchsvarianten mit Trupp-pflanzung auch rund um die Eichentrupps angepflanzte Fichten.

Der grosse Eichenpflanzabstand von 1.6 m wurde gewählt, weil er es erlaubt, den Entscheid für den besten Baum in jedem Trupp bis ins Stangenholzstadium zu verschieben. Bei einem geringeren Abstand von beispielsweise 1.2 m müsste dieser Entscheid bereits Ende der Dickungsphase fallen, was das Risiko erhöht, dass in einzelnen Trupps bis zur Endnutzung keine einzige qualitativ befriedigende Eiche überlebt. Aufgrund der hier vorgestellten Ergebnisse zu den Aststärken ist aber der Pflanzabstand von 1.6 m auch auf produktiven Standorten mit raschem Baumwachstum kritisch zu betrachten, bei spärlicher Naturverjüngung fehlt es bis in die Dickungsstufe am nötigen Seitendruck. Auch aus einem polnischen Pflanzverbandsversuch in Stiel- und Traubeneichenkulturen wurde abgeleitet, dass Standräume über 1.5 m² wegen Starkästen problematisch sind (Ceitel & Szmyt 2000). Bei grösseren Standräumen sind Nebenbaumarten mit dienender Funktion wie Buche oder Weichlaubhölzer unverzichtbar, oder die Eichen sind zu asten.

Aus den vorgestellten Ergebnissen folgt, dass weder das restlose Entfernen der Nebenbaumart Buche noch das völlige Sich-selbst-Überlassen dieser Eichenjungbestände gerechtfertigt ist. Eine angemessene Förderung sollte, wie bei Eichen-Weichlaubholz-Mischungen, stark bedrängte Stieleichen stark und schwächer bedrängte Stieleichen weniger deutlich freistellen (Wagner & Röker 2000). Die Stärke des waldbaulichen Eingriffs sollte also proportional zur KI-Stufe erfolgen. Optimal entwickeln sich die Stieleichen in der Dickungsphase somit in den

KI-Stufen II und III mit geringem und mässigem Konkurrenzdruck (zwei bis vier Konkurrenzbaume pro Stieleiche). Dabei ist es in den hier vorliegenden heterogenen Naturverjüngungen mit Eichen-Ergänzungspflanzungen nicht zweckmässig, eine mittlere Eingriffsstärke – beispielsweise als Anzahl zu entfernender Bedränger – anzugeben, denn die Konkurrenzsituationen sind zu unterschiedlich.

Die WSL plant, die Entwicklung der Versuchspflanzungen weiterzuverfolgen. In den Jahren 2007 und 2008 wurde auf sechs Versuchsflächen die Stammqualität von insgesamt 1190 Stieleichen ähnlich wie in der vorliegenden Arbeit erfasst (Harari & Brang 2008). Dies ist eine gute Grundlage, um im Stangenholzalder die Qualitätsentwicklung der Eichen quantifizieren zu können. ■

Eingereicht: 26. Januar 2009, akzeptiert (mit Review): 1. April 2009

Literatur

- AMMER C, DINGEL C (1997) Untersuchungen über den Einfluss starker Weichlaubholzkonzurrenz auf das Wachstum und die Qualität junger Stieleichen. *Forstw Cent.bl* 116: 346–357.
- BELLEFLEUR P, LAROQUE G (1983) Compétition pour le rayonnement solaire en début de succession secondaire dans une érablière à bouleau jaune et hêtre. *Can J For Res* 13: 514–521.
- BOLTE A, IBISCH PL (2007) Neun Thesen zu Klimawandel, Waldbau und Waldnaturschutz. *Allg Forst Z Waldwirtsch Umweltvorsorge* 62: 572–576.
- BRANG P ET AL (2008) Klimawandel als waldbauliche Herausforderung. *Schweiz Z Forstwes* 159: 362–373. doi: 10.3188/szf.2008.0362
- BURCKHARDT H (1855) Säen und Pflanzen nach forstlicher Praxis. Ein Beitrag zur Holzerziehung. Hannover: Rümpler. 252 p.
- BURSCHEL P, HUSS J (1997) Grundriss des Waldbaus: ein Leitfaden für Studium und Praxis. Berlin: Parey, 2 ed. 487 p.
- BURTON PJ (1993) Some limitations inherent to static indices of plant competition. *Can J For Res* 23: 2141–2152.
- CEITEL J, SZMYT J (2000) Initial spacing and morphology of oak trees (*Quercus robur* L. and *Quercus petraea* Matt. Liebl.) in untended oak saplings at the age of 17 years. *Glasnik za šumske pokuse* 37: 107–121.
- EHRING A, KELLER O (2006) Eichen-Trupp-Pflanzung in Baden-Württemberg. *Allg Forst Z Waldwirtsch Umweltvorsorge* 61: 491–494.
- FISCHER H (1998) Acker-Erstaufforstung: Bestandesbegründung, Wachstum und Ökologie an Fallbeispielen. Göttingen: Hainholz. 324 p.
- FRICKE O (1986) Gleichzeitig oder später – wie sollten die Mischbaumarten in die Eiche eingebracht werden? *Forst-Holzwirt* 41: 7–14.
- HÄNE K (2003) Wertastung. Lehrmittel zur natürlichen und künstlichen Astreinigung. Birmensdorf: Eidgen Forsch.anst Wald Schnee Landsch. 57 p.
- HARARI O, BRANG P (2008) Truppplanzungs-Experimente mit Stieleiche und Bergahorn in der Schweiz. Ergebnisse der Erhebungen 2007. Birmensdorf: Eidg Forsch.anst Wald Schnee Landsch. 25 p. www.wsl.ch/projects/extverj/Resultate%20Erhebungen%202007.pdf (20.4.2009).
- HEGYI F (1974) A simulation model for managing jack-pine stands. In: Fries J, editor. Growth model for tree and simulation. Stockholm: Royal College Forestry, Depart Forest Yield Res, For Res Notes 30. pp. 74–90.
- HUSS J (1993) Gelenkte Sukzessionen mit Hilfe von Pioniergehölzen als Alternative zu Kahlfächenaufforstungen. In: Landesanstalt Umweltschutz Baden-Württemberg. 1. Statuskolloquium des Projektes «Angewandte Ökologie». Karlsruhe: Landesanstalt Umweltschutz. pp. 389–395.
- IGBOANUGO ABI (1990) Effects of shading on shoot morphology, wood production and structure of *Quercus petraea* seedlings. *For Ecol Manage* 38: 27–36.
- JONES EW (1959) Biological flora of the British isles: *Quercus* L. *J Ecol* 47: 169–222.
- KOCH R, BRANG P (2005) Extensive Verjüngungsverfahren nach Lothar. Schlussbericht zuhanden der Forstdirektion des BUWAL. Birmensdorf: Eidg Forsch.anst Wald Schnee Landsch. 90 p.
- LEDER B (1992) Weichlaubhölzer: Verjüngungsökologie, Jugendwachstum und Bedeutung in Jungbeständen der Hauptbaumarten Buche und Eiche. *Schr.reihe Landesanstalt Forstwirtschaft Nordrhein-Westfalen* 2: 33–56.
- LEDER B (1996) Weichlaubhölzer in Eichen- und Buchen-Jungbeständen. Empfehlungen zur Einbeziehung in die waldbauliche Konzeption bei der Pflege von Jungbeständen. *Forst Holz* 51: 340–344.
- LEIBUNDGUTH (1976) Grundlagen zur Jungwaldpflege. Ergebnisse zwanzigjähriger Untersuchungen über die Vorgänge der Ausscheidung, Umsetzung und Qualitätsentwicklung in jungen Eichenbeständen. *Mitt Eidgenöss Anst forstl Vers.wes* 52: 311–371.
- MANDERSCHIED B (1986) Erste Auswertung des Traubeneichen-Saatverbandsversuches in Johanniskreuz/Pfalz. Göttingen: Univ Göttingen, Diplomarbeiten. 115 p.
- NUTTO L (1999) Neue Perspektiven für die Begründung und Pflege von jungen Eichenbeständen. *Schr.reihe Freiburger Forstl Forsch* 5. 137 p.
- PRETZSCH H (1995) Zum Einfluss des Baumverteilungsmusters auf den Bestandeszuwachs. *Allg Forst- Jagdztg* 165: 190–201.
- PRETZSCH H (2002) Grundlagen der Waldwachstumsforschung. Berlin: Parey. 414 p.
- RÖHRIG E, BARTSCH N, VON LÜPKE B (2006) Waldbau auf ökologischer Grundlage. Stuttgart: Ulmer. 479 p.
- RÖHRIG E, GUSSONE HA (1990) Baumartenwahl, Bestandesbegründung und Bestandespflege. Hamburg: Parey, 6 ed. 314 p.
- RUHM W (1999) Versuche zur Teilflächenkultur als Massnahme zum Umbau sekundärer Nadelwälder. *Ber Forstl Bundesvers.anst Wien* 111: 209–217.
- SCHMIDER P, KÜPER M, TSCHANDER B, KÄSER B (1994) Die Waldstandorte im Kanton Zürich: Waldgesellschaften, Waldbau, Naturkunde. Zürich: VdF. 287 p.
- SCHMIDT PA ET AL (2002) Potentielle Natürliche Vegetation Sachsens. Dresden: Sächsisches Landesamt Umwelt Geologie. 450 p.
- SCHÜTZ JP, BADOUX E (1979) Production de jeunes peuplements de chênes en relation avec la station. *Mitt Eidgenöss Anst forstl Vers.wes* 55: 5–176.
- SCHÜTZ JP (1989) Zum Problem der Konkurrenz in Mischbeständen. *Schweiz Z Forstwes* 140: 1069–1074.
- SPIECKER H (1991) Zur Steuerung des Dickenwachstums und der Astreinigung von Trauben- und Stieleichen (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl. und *Quercus robur* L.). *Schr.reihe Landesforstverwalt Baden-Württ* 72. 150 p.

- TOMÉ M, BURKHART HE (1989) Distance-dependent competition measures for predicting growth of individual trees. *For Sci* 35: 816–831.
- VON LÜPKE B (1991) Einfluss der Konkurrenz von Weichlaubhölzern auf das Wachstum junger Traubeneichen. *Forst Holz* 46: 166–171.
- VON LÜPKE B (2008) Einfluss unterschiedlicher Hiebsformen auf die Naturverjüngung eines Traubeneichen-Buchen-Mischbestandes. *Forstarchiv* 79: 4–15.

- WAGNER S, RÖKER B (2000) Birkenanflug in Stieleichenkulturen. *Forst Holz* 55: 18–21.
- ZIEGENHAGEN B, KAUSCH W (1993) Zur Reaktion junger Eichen auf Licht und Schatten. *Forst Holz* 48: 198–201.

Konkurrenz zwischen Stieleiche und Buche auf Lothar-Sturmflächen

Auf zwei jeweils 1.8 ha grossen Versuchsflächen bei Habsburg und Murten (Schweiz) wurde der Konkurrenzdruck von natürlich verjüngten Buchen (*Fagus sylvatica*) auf gepflanzte Stieleichen (*Quercus robur*) untersucht. Die Flächen waren mit dem Ziel angelegt worden, Verfahren der künstlichen Wiederbewaldung mit Eiche nach flächigen Sturmschäden zu testen. Auf beiden Flächen wurden je 80 Eichen mit unterschiedlich starker Konkurrenz durch maximal zehn benachbarte Buchen ausgewählt. Die Stärke der Konkurrenz wurde mit dem Konkurrenzindex nach Schütz erfasst, der auf der relativen Höhe, der Kronenüberlappung und der Distanz von bedrängenden Nachbarn beruht. An jeder Eiche wurden Baumhöhe, Stamm- und Astdurchmesser gemessen. Stieleichen ohne oder mit geringer Buchenkonkurrenz waren etwa gleich hoch, solche mit mässiger bis starker Konkurrenz aber kleiner. Es konnte ein Grenzkonkurrenzwert festgestellt werden, ab dem die Baumhöhen stark zurückgingen. Dagegen nahmen Stamm- und Astdurchmesser der Stieleichen schon bei geringer Buchenkonkurrenz ab, eine Tendenz, die sich mit zunehmendem Konkurrenzdruck sukzessive verstärkte. Bereits bei geringer Buchenkonkurrenz waren die Eichenstämmchen schlanker als bei fehlender Konkurrenz. Auf den untersuchten mässig sauren Buchenstandorten wachsen Buchen rascher in die Höhe als Stieleichen. Bedrängen Buchen die Stieleichen und sollen Letztere erhalten bleiben, ist die Buchenkonkurrenz früh zu vermindern. Die Eingriffsstärke soll aber die individuelle Konkurrenzsituation berücksichtigen und bei starker Konkurrenz stärker sein als bei schwacher.

Concurrence entre le hêtre et le chêne pédonculé sur des surfaces de chablis générées par l'ouragan Lothar

Sur deux placettes de 1.8 ha chacune, situées à proximité de Habsbourg et de Morat (Suisse), nous avons étudié la concurrence exercée par des hêtres (*Fagus sylvatica*) régénérés naturellement sur des chênes pédonculés (*Quercus robur*) plantés. Ces placettes furent aménagées dans le but de tester divers procédés de reboisement artificiel du chêne suite à des chablis à grande échelle. Sur chacune d'elles, nous avons sélectionné 80 chênes exposés à des intensités de concurrence différentes, exercée par la présence proche de dix hêtres au maximum. L'intensité de la concurrence fut déterminée au moyen de l'indice défini par Schütz, indice qui se fonde sur la hauteur relative, le chevauchement des couronnes et la distance par rapport aux voisins oppresseurs. Pour chaque chêne, nous avons mesuré la hauteur de l'arbre, ainsi que le diamètre du tronc et des branches. Sans concurrence des hêtres ou avec une concurrence faible, les chênes sont de taille similaire; exposés à une concurrence moyenne, voire forte, ils sont en revanche de taille inférieure. Nous avons pu constater une «valeur concurrentielle limite» à partir de laquelle la hauteur des chênes diminue fortement. Dès qu'apparaît une faible concurrence du hêtre, le diamètre du tronc et des branches des chênes se réduit, tendance qui s'accroît par la suite avec une pression concurrentielle croissante. Avec une concurrence déjà faible, les tiges des chênes sont plus fines que si celle-ci est nulle. Dans les stations étudiées de hêtres sur sol à acidité moyenne, les hêtres gagnent plus vite en hauteur que les chênes. Si les hêtres évincent les chênes, et que l'on souhaite préserver ces derniers, il importe de réduire tôt la concurrence du hêtre. L'intensité de l'intervention doit toutefois tenir compte de la situation concurrentielle individuelle: elle sera plus élevée en présence d'une forte concurrence, et moindre si celle-ci est faible.