

## **Waldumbau mit Buche unter Berücksichtigung ihrer ökologischen Ansprüche**

Forest conversion to beech in consideration of its ecological demands

*Hendrik Rumpf und Regina Petersen*

### **Zusammenfassung**

Die neuartigen Waldschäden in den 1980er Jahren haben in Deutschland bis heute zu einem verstärkten Umbau gleichaltriger Nadelholz-Reinbestände in Mischbestände im Wege des Buchen-Voranbaus geführt. Nach einem Abriss der wichtigsten verjüngungsökologischen Eigenschaften der Buche werden vor diesem Hintergrund zwei Versuche der NW-FVA zum Waldumbau exemplarisch vorgestellt und unter Würdigung einschlägiger Veröffentlichungen zu diesem Problembereich diskutiert.

Auf der ersten Fläche wurden Wachstum und Qualität vorangebauter Buchen unter einem Kiefernbaumholz bei verschiedenen Dichten des Kronenschirmes und verschiedenen Pflanzverbänden untersucht. Mit Ausnahme des Höhenwachstums wurde die Entwicklung der Buchen bislang maßgeblich durch den Pflanzverband beeinflusst. Eine sehr starke Absenkung des Bestockungsgrades förderte das Durchmesserwachstum der Buchen nur geringfügig, führte aber zu erheblichen Zuwachsverlusten bei den Altkiefern.

Beiträge aus der NW-FVA, Band 3, 2008

Auf der zweiten Fläche wurden die Auflaufergebnisse und die Überlebensrate einer Buchensaat unter Fichtenschirm analysiert. Des Weiteren wurde das Wachstum der gekeimten Buchen in Konkurrenz zur vorhandenen Fichten-Naturverjüngung bei unterschiedlichen Überschirmungsverhältnissen untersucht. Die Überlebensrate der Saat betrug nach 5 Jahren lediglich 5 %. Die etablierten Buchenpflanzen konnten sich im gesamten untersuchten Strahlungsbereich gegenüber der vorhandenen Fichtennaturverjüngung durchsetzen.

**Stichworte:** Waldumbau, Verjüngungsökologie, Buchenvoranbau, Pflanzverband, Buchensaat, Lichtsteuerung

### **Abstract**

The forest dieback caused by acid rain in Germany in the 1980s led to the intensified conversion of pure evenaged coniferous stands to mixed stands by underplanting beech. After a summary of the most important characteristics of beech regeneration ecology, two forest conversion experiments conducted by the Northwest German Forest Research Station (NW-FVA) are introduced here by way of example, and the issues discussed in a review of the relevant literature.

At the first site, the growth and quality of the beech planted as underplantings in a Scots pine stand at different canopy cover densities and different plant spacings were investigated. So far, with the exception of height growth, primarily plant spacing has influenced the development of beech. A major reduction in the stocking level promotes beech diameter growth only minimally, yet leads to considerable losses in growth increment in mature Scots pine.

At the second site, the germination rate and survival rate of beech sown under a Norway spruce canopy have been analysed. In addition, the growth of newly germinated beech seedlings competing against the existing Norway spruce natural regeneration was investigated under different canopy cover conditions. After five years, the survival rate of the plants germinated from seed was only 5 %. The established beech seedlings competed successfully with existing Norway spruce natural regeneration across the range of radiation conditions investigated.

**Keywords:** forest conversion, regeneration ecology, beech underplanting, plant spacing, beech seed, light regulation

## 1 Einleitung

### 1.1 Waldumbau – Ziele und Tendenzen

Unter Waldumbau wird das Ergreifen von Maßnahmen verstanden, welche Veränderungen des Waldgefüges, insbesondere der Baumartenzusammensetzung, zum Ziel haben. Vor dem Hintergrund sich bedrohlich entwickelnder immissionsbedingter Waldschäden (ULRICH 1986) wurde Mitte der 1980er Jahre in den Waldschadensschwerpunkten - beispielsweise im Harz oder im Erzgebirge - mit einem gezielten Waldumbau begonnen. Wichtigster Beweggrund für die Umwandlung von Fichtenreinbeständen in Mischbestände und den Übergang zu einzelstammweisen bis femelartigen Hiebsformen mit längeren Verjüngungszeiträumen war zunächst die Minderung bzw. Streuung des Betriebsrisikos (OTTO 1986).

In der Folge sind die Anforderungen an einen anspruchsvollen Waldbau, wie sie im Zuge der Ausrichtung forstlichen Handelns am Leitbild einer multifunktionalen, nachhaltigen Forstwirtschaft gestellt werden, immer vielgestaltiger geworden. Neben der *Rio-Konvention* bilden die Nachhaltigkeitskriterien von *Helsinki, 1993*, welche die Erhaltung der biologischen Vielfalt, der Produktivität, der Verjüngungsfähigkeit sowie der Vitalität der Waldbestände gewährleisten und damit auch für künftige Generationen die Option zur Multifunktionalität sicherstellen sollen, eine wichtige Entscheidungsgrundlage für Waldumbaumaßnahmen (vgl. WAGNER 2004 u. 2007).

In nahezu allen Waldbauprogrammen der Länder sowie in den Förderrichtlinien für den Privatwald wurde die Laub- und Mischwaldvermehrung als feste Zielgröße einer naturnahen Waldwirtschaft implementiert (u. a. OTTO 1995, WICKEL u. BUTTER 1998, v. TEUFFEL 1999, WOLLBORN 2000). Der Umbau von größtenteils nicht standortgerechten Nadelholreinbeständen in naturnahe, standortgerechte und stabilere Laub- und Mischwälder wurde auf sehr großer Fläche vorangetrieben, wobei die Buche hierbei aufgrund ihrer ökologischen bzw. verjüngungsökologischen Eigenschaften bislang eine herausragende Stellung einnimmt. Die Zunahme der mit Buche bestockten Waldfläche von 12,9 % im Jahr 1987 (Bundeswaldinventur (BWI) I) auf 14,8 % im Jahr 2002 (BWI II) unterstreicht deren Bedeutung für den Waldumbau (BMVEL 2004).

Der Umfang der Baumartenverschiebungen und die damit verbundenen Investitionen wurden anfangs recht selten kritisch hinterfragt (RIPKEN 1996 u. 1998, v. LÜPKE 1996, SPELLMANN 1997). Unter gestiegenem Kostendruck ist die Forstpraxis heute aber mehr denn je gezwungen Rationalisierungspotenziale auszuschöpfen. Zielsetzung und Umfang von Waldumbaumaßnahmen werden nicht zuletzt auch wegen der global zu beobachtenden Veränderungen am Holzmarkt zunehmend kritisch diskutiert (MÖHRING 2004, SPELLMANN 2005).

Bei der Bestandesbegründung wird deshalb heute bereits in vielen Forstbetrieben ein weitaus differenzierteres Vorgehen favorisiert, das die standörtliche

und waldbauliche Ausgangssituation noch stärker berücksichtigt und sich an Leitbildern mit deutlich umrissenen Verjüngungs- und Bestandeszielen orientiert. Nicht zuletzt vor dem Hintergrund der verheerenden „Kyrill-Schäden“ sind die Forderungen nach einem zielorientierten Waldumbau mit effizientem Einsatz knapper Ressourcen lauter geworden.

Darüber hinaus zeichnet sich ab, dass die derzeit prognostizierten Klimaänderungen und deren Auswirkungen auf die klimatische Wasserbilanz für künftige Waldumbaumaßnahmen in vielen Wuchsgebieten an Entscheidungsrelevanz gewinnen werden.

## 1.2 Verjüngungsökologie der Buche

Die Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) nimmt unter unseren heimischen Baumarten eine herausragende Stellung ein. Dank ihrer großen Konkurrenzkraft würde sie von Natur aus etwa 66 % der Waldfläche in Deutschland bedecken, in den alten Bundesländern wären es sogar ca. 80 % (LEUSCHNER 1998). Die Buche dominiert hierbei in einer weiten Standortamplitude sowohl hinsichtlich des Bodenfeuchtegehaltes als auch der Basensättigung (ELLENBERG 1996).

Für den in der Regel über Saat oder Pflanzung laufenden Waldumbau mit der Buche bildet die Verfügbarkeit genetisch hochwertigen Vermehrungsgutes eine wichtige Grundvoraussetzung (vgl. KLEINSCHMIT 1999). Daneben ist die Beachtung ihrer verjüngungsökologischen Eigenschaften von wesentlicher Bedeutung für den Verjüngungserfolg.

Die Buche blüht etwa von April bis Mai, wobei die Blütenbildung maßgeblich von der Witterung des Vorjahres bestimmt wird. Bei Fehlen einer Mast im Vorjahr führen überdurchschnittlich hohe Temperaturen im Juni und Juli verbunden mit deutlich geringeren Niederschlägen zu vermehrtem Blütenansatz (WACHTER 1964, SCHMIDT 2001). Nach GRUBER (2003) nehmen auf die Fruchtbildung der Buche die Witterungsfaktoren bestimmter Monate über einen Zeitraum von mindestens drei Jahren Einfluss. Im Zusammenwirken von steigenden Sommertemperaturen mit hohen N-Einträgen scheint sich die Fruktifikationsneigung der Buche in Häufigkeit und Ausmaß merklich zu erhöhen (PAAR et al. 2000, SCHMIDT 2001). Für das Ausreifen der Samen sind das Ausbleiben stärkerer Spätfröste und eine ausreichende Wasserversorgung während der Sommermonate Voraussetzung. Die Hauptfallzeit der Bucheckern liegt in den Monaten Oktober (Höhepunkt) und November. Der Samenertrag bei Vollmast kann bis zu 900 kg/ha betragen.

Samen- und Keimlingsverluste durch Fressfeinde – Tauben, Finken, Mäuse, Wild – und Pilze, wie z. B. *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora spec.*, können sehr hoch sein (vgl. NIELSEN 1977), wobei die Gefahr des Verpilzens bei Mineralbodenkontakt allgemein geringer einzuschätzen ist (BRESSEM 1998, DUBBEL 1989 u. 1992).

Im Gegensatz zur Eiche beeinflusst der Strahlungsgenuss bereits in der ersten Vegetationsperiode das Keimlingswachstum der Buche (u. a. WELANDER u. OTTOSSON 1998). Wie bei anderen Baumarten auch führt bei mehrjährigen Jungpflanzen bereits mäßige Beschattung zu einer Verlagerung der Biomasseproduktion von der Wurzel zum Spross, was zu einer Erweiterung des Spross/Wurzel-Verhältnisses führt (s. BURSCHEL u. SCHMALTZ 1965). Aus den Ergebnissen vieler Untersuchungen lässt sich eine nichtlineare Beziehung zwischen dem Wachstum junger Buchen und der Strahlungszufuhr ableiten. Innerhalb einer Spanne von etwa 10-20 % relativer Beleuchtungsstärke wird neben der Gesamtbiomasseproduktion auch das wesentlich weniger sensitiv auf die Beleuchtungsverhältnisse reagierende Höhenwachstum bereits erheblich eingeschränkt (u. a. GRALLA et al. 1997, LEDER u. WAGNER 1996, PAMPE 2000). Die Wachstumsreaktionen stehen häufig in enger Beziehung zur Nährstoff- und Wasserversorgung, wobei eine verbesserte Ressourcenverfügbarkeit die Photosyntheseleistung und damit die Schattentoleranz meist deutlich erhöht (u. a. BURSCHEL u. HUSS 1964, KLUMPP u. KAZDA 2000, KERKMANN 2007). Ein Überleben der Buche ist zweifelsohne auch bei relativen Beleuchtungsstärken unter 5 % über längere Zeit möglich.

Insgesamt vermag die Buche in der Etablierungs- und frühen Jugendwachstumsphase auch bei sehr ungünstigen Verhältnissen zu überleben, was ihr insbesondere bei starker Beschattung Konkurrenzvorteile gegenüber lichtbedürftigeren Baumarten verschafft. Andererseits ist sie in der Lage, auf eine verbesserte Licht-, Nährstoff- und Wasserversorgung schnell mit gesteigertem Wachstum zu reagieren (MADSEN 1995).

## **2 Versuche der NW-FVA zum Umbau von Nadelholzreinbeständen mit Buche**

Der Umbau von Nadelholzreinbeständen ist darauf ausgerichtet, standortgerechte, stabile und ertragreiche Wälder zu begründen. Eingriffe in den Stoffhaushalt sollen dabei minimiert und Finanzmittel sparsam eingesetzt werden. Bereits Anfang der 1990er Jahre wurde auf die potenziellen Möglichkeiten der „biologischen Rationalisierung der Bestandesbegründung“ hingewiesen (z. B. RIPKEN 1992). Neben der Verwendung geeigneter Herkünfte und qualitativ hochwertigen Vermehrungsgutes wurden in der Reduzierung der Ausgangspflanzenzahlen, insbesondere über Voranbauten unter Schirm, durch Ausnutzung von Füll- und Treibholz oder Verwendung von Großpflanzen, größere Rationalisierungspotenziale gesehen. Auch die Saat, als ein mit der Naturverjüngung am ehesten vergleichbares Verjüngungsverfahren, kam als kostengünstige Alternative wieder mehr ins Gespräch.

Nachfolgend werden Versuchsergebnisse von zwei Versuchsanlagen zu den Themenkomplexen „Buchenvoranbau unter Kieferschirm“ und „Buchenvoransaaten unter Fichtenschirm“ vorgestellt.

## 2.1 Versuch Unterlüß 1200 – Buchenvoranbau unter Kieferschirm

### 2.1.1 *Versuchsanlass und Versuchsanlage*

Im nordwestdeutschen und nordostdeutschen Tiefland sollen beträchtliche Kiefernreinbestandsflächen in stabile Laub- oder Laub-Nadel-Mischbestände umgewandelt werden. Die Kiefer wird in ihrer führenden Position überwiegend durch Eiche, Buche oder Douglasie abgelöst. Neben ökologischen Vorteilen, wie der Verbesserung der Standorteigenschaften und der Reduzierung des Kalamitätsrisikos gegenüber biotischen und abiotischen Schadeinflüssen, versprechen sich die Forstbetriebe aus den zu entwickelnden Beständen eine Ertragssteigerung. Insbesondere für die Laubholzanteilflächen wird zunehmend gefordert, auf geeigneten Standorten qualitativ hochwertiges Holz zu erziehen. Entscheidende Weichenstellungen für das Wachstum und die qualitative Entwicklung erfolgen neben der Standortwahl über die Pflanzdichte, welche in erheblichem Maße die Höhe der Bestandesbegründungskosten bestimmt.

Zur Klärung der Frage, wie sich mit unterschiedlichen Pflanzverbänden und unter verschiedenen Schirmstellungen vorangebaute Buchen unter Kiefer entwickeln und inwieweit Wechselwirkungen zwischen Schirmdruck und Pflanzdichte zu erwarten sind, wurde 1994 im früheren Forstamt Sprakensehl ein Voranbauversuch angelegt. Neben der Buche umfasst der Versuch auch Traubeneiche und Douglasie. Die weiteren Ausführungen fokussieren sich jedoch ausschließlich auf die Buche.

Die Versuchfläche befindet sich im südöstlichen Teil des Wuchsbezirkes Hohe Heide, im heutigen Niedersächsischen Forstamt Unterlüß. Das Klima zeichnet sich durch einen Jahresniederschlag von 730 mm aus, von denen 330 mm in der forstlichen Vegetationszeit fallen. Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 8,0 °C, in der forstlichen Vegetationszeit werden durchschnittlich 14,3 °C erreicht. Der Wuchsbezirk gilt als besonders spätfrostgefährdet. Das Ausgangssubstrat der Bodenbildung ist charakterisiert durch eine Deckschicht aus anlehmigem bis schwach anlehmigem Geschiebesand über in 40-50 cm Tiefe liegendem Schmelzwassersand, woraus sich eine podsolige Braunerde entwickelt hat. Es handelt sich um einen überwiegend mäßig frischen bis mäßig sommertrockenen Standort mit einer schwachen bis mäßigen Nährstoffversorgung, welcher in Niedersachsen für den vorrangigen Anbau von Douglasie mit Buche vorgesehen ist.

In dem bei Versuchsanlage 43-jährigen Kiefernbestand (0,7. Ekl. nach Ertrags-tafel Wiedemann, 1943) wurde die Buche im Sortiment 2+0 in den Pflanzverbänden

- 1,5 × 1 m
- 2,0 × 1 m
- 3,0 × 1 m

in jeweils 20 x 20 m große Parzellen gepflanzt. Der Voranbau erfolgte versuchsbedingt in diesem frühen Entwicklungsstadium der Kiefer, um ausgehend von homogenen Bestandesverhältnissen ohne Störungslücken die Schirmstellung gezielt variieren zu können. Jeder Pflanzverband wurde unter den Zielbestockungsgraden (Ertragstafel Wiedemann, 1943)

- $B^{\circ} 0,4$  (72 %)
- $B^{\circ} 0,6$  (58 %)
- $B^{\circ} 0,8$  (46 %)

wiederholt. Zusätzlich wurden die Strahlungsverhältnisse mit Hilfe hemisphärischer Photos (WAGNER 1994a) quantifiziert. Die gemittelten Schätzwerte für die relative Beleuchtungsstärke sind den oben aufgeführten Zielbestockungsgraden in Klammern angehängt. Die Pflanzverbandsvarianten innerhalb gleicher Zielbestockungsgrade wiesen durchweg vergleichbare Strahlungsverhältnisse auf. Auf den Versuchspartellen wurde jegliche ankommende Naturverjüngung in regelmäßigen Abständen entfernt, um den Einfluss von Pflanzverband und Schirm weitgehend „störungsfrei“ herausarbeiten zu können.

Auf den insgesamt 9 Versuchspartellen wurden je Parzelle 5 Aufnahmeplots mit einem festen Radius von 3 m für die Erhebung der quantitativen und qualitativen Parameter ausgewählt. Die Messung von BHD und Höhe erfolgte an allen Buchen im Plot, die Erfassung der qualitätsbestimmenden Merkmale erfolgte an den 2 höchsten Bäumen je Aufnahmeplot. Folgende Qualitätsparameter wurden erfasst:

- *Relative Ansatzhöhe des ersten Grünastes*
- *Anzahl Grünäste auf den ersten 2 m Baumlänge*
- *Relative Ansatzhöhe des stärksten Grünastes auf den ersten 2 m Baumlänge*
- *Durchmesser des stärksten Grünastes*
- *Einschätzung der Stammform in 4 Stufen (gerade, bogig, knickig, verbuscht)*
- *Erfassung der Verzweiselung*

Die statistische Analyse der Aufnahmedaten erfolgte mit dem Programm „SPSS“, Version 15.0. Die verschiedenen Parameter wurden einer mehrfaktoriellen Varianzanalyse unterzogen. Anwendung fand ein gemischtes lineares Modell unter Einbeziehung der Aufnahmeplots als sogenannter „nested factor“. Die Zählwerte wurden vor der Analyse einer Wurzeltransformation unterzogen. Bei Vorliegen signifikanter Faktorwirkungen wurden Unterschiede zwischen den Faktorstufen unter Berücksichtigung der Sidak-Anpassung auf dem Niveau  $p \leq 0,05$  auf Signifikanz überprüft, wobei sich alle Vergleiche auf modellbasierte geschätzte Mittelwerte beziehen. Auf der Grundlage dieser Schätzwerte wurden auch die graphischen Darstellungen erstellt.

In einem kleineren Nebenversuch wurde bei einem Zielbestockungsgrad von 0,6 im Kieferschirm und einem Pflanzverband der Buche von 2 x 1 m auf

15 x 15 m großen Parzellen die ankommende Naturverjüngung - überwiegend Eberesche - nicht entfernt, um die Auswirkungen von Füll- und Treibholz auf die Entwicklung junger Buchen quantifizieren zu können. Aufnahme- und Auswertungsdesign entsprachen weitgehend dem bereits beschriebenen Vorgehen im Hauptversuch.

### 2.1.2 Ergebnisse

Die bis zum Alter 16 erreichten Pflanzenhöhen variieren in Abhängigkeit von Pflanzverband und Zielbestockungsgrad in einer Spanne von 587 cm bis 713 cm (s. Abb. 1), wobei nur für den Zielbestockungsgrad ein signifikanter Einfluss auf das Höhenwachstum nachgewiesen werden kann.

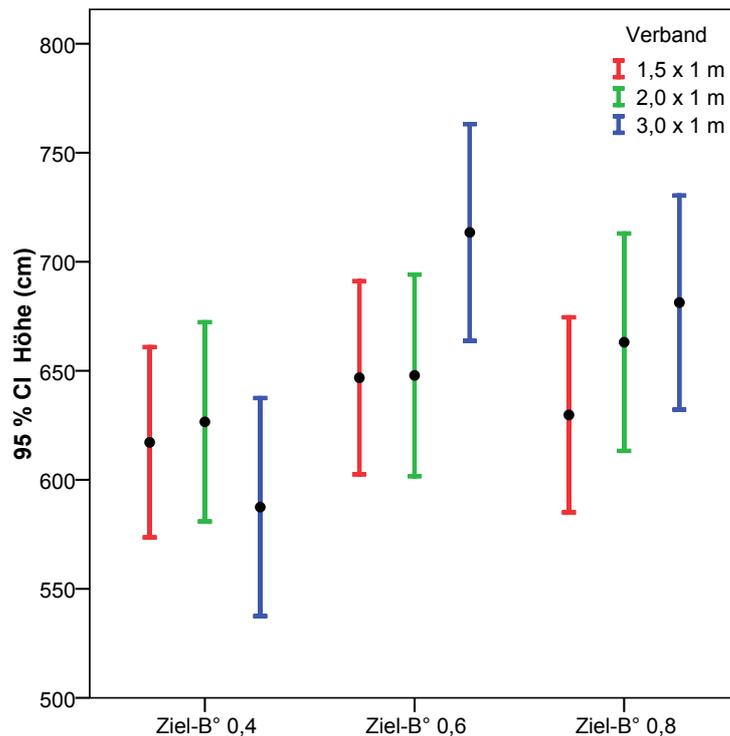


Abbildung 1: Höhendifferenzierung in Abhängigkeit von Pflanzverband und Zielbestockungsgrad

In der am lichtesten gestellten Überschirmungsvariante erreicht die Buche die geringste Höhe und unterscheidet sich signifikant ( $p \leq 0,05$ ) von den Buchen bei höheren Zielbestockungsgraden. Die augenfälligste Differenzierung tritt beim Weitverband auf, wo die Höhenwuchsleistung bei sehr lichter Schirmstellung im Mittel um mehr als 100 cm nachlässt.

Bei vergleichender Betrachtung des Höhenwachstums aller drei im Versuch Unterlüß 1200 integrierten Baumarten spiegeln sich die unterschiedlichen lichtökologischen Ansprüche von Buche, Traubeneiche und Douglasie deutlich wider (s. Abb. 2). Unter den gegebenen Standortsbedingungen und Anwendung eines praxisnahen Pflanzverbandes ist nur für Buche und Traubeneiche eine signifikante Wirkung des Zielbestockungsgrades nachzuweisen. Verglichen mit der „Schattbaumart“ Buche reagiert die „Lichtbaumart“ Traubeneiche auf eine Verbesserung des Lichtangebotes durchweg mit gesteigertem Wachstum, die „Halbschattbaumart“ Douglasie nimmt eine Mittelstellung ein.

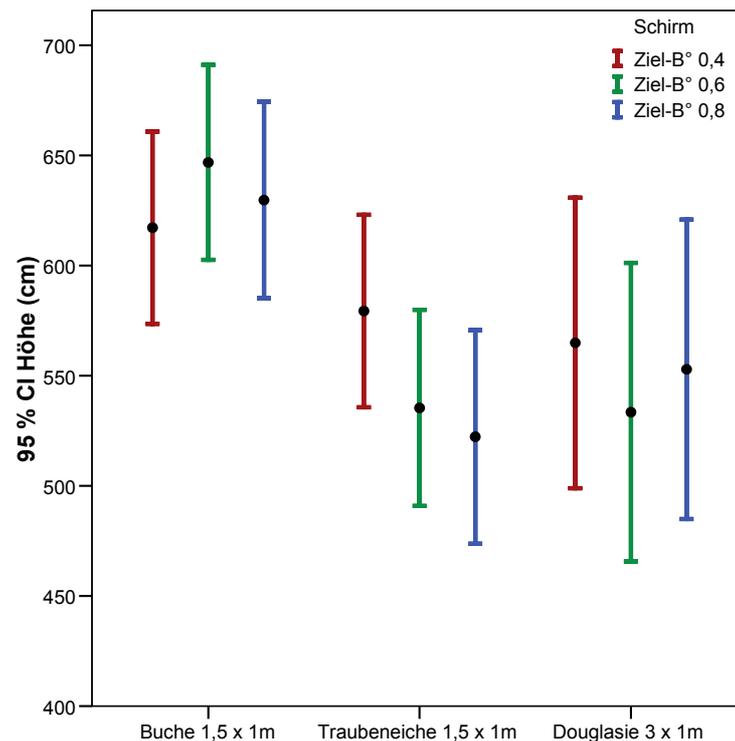


Abbildung 2: Höhendifferenzierung in Abhängigkeit von Baumart und Zielbestockungsgrad

Auch die ermittelten Brusthöhendurchmesser lassen eine starke Differenzierung mit einer Durchmesserspreitung von 36 bis 51 mm erkennen (s. Abb. 3), die aber überwiegend auf die signifikante Wirkung des Pflanzverbandes zurückzuführen ist.

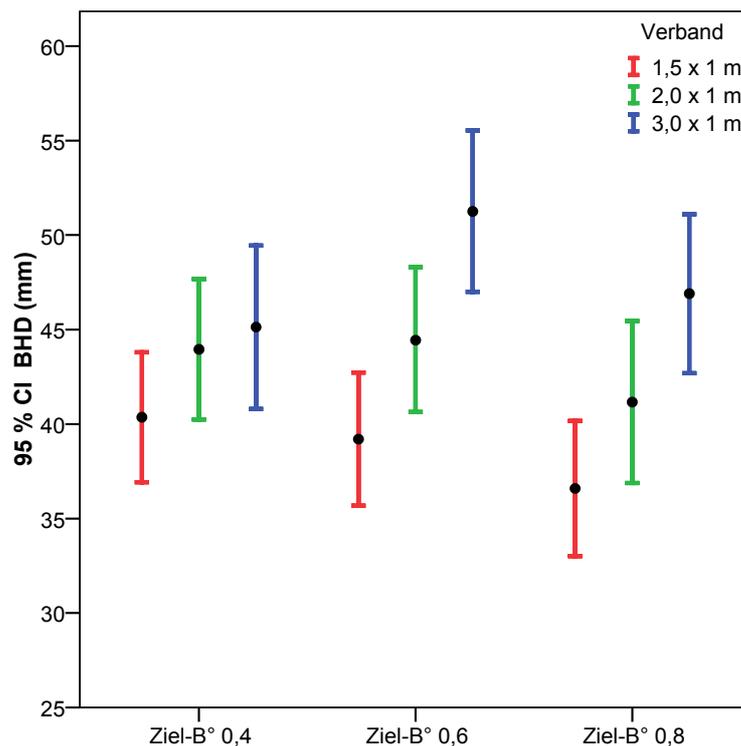


Abbildung 3: BHD-Differenzierung in Abhängigkeit von Pflanzverband und Zielbestockungsgrad

Der Vergleich der drei Pflanzverbände zeigt im Mittel aller Zielbestockungsgrade durchweg signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ). Die Differenzen zwischen den Pflanzverbänden sind unter der lichtesten Schirmstellung am geringsten.

Die Erfassung der qualitätsbestimmenden Parameter führte zu recht indifferenten Ergebnissen. Unabhängig von Pflanzverband und Zielbestockungsgrad weisen 98 % der untersuchten Buchen gerade Stammformen auf und nur 3 % sind verzweigt. Die mittlere relative Ansatzhöhe des ersten Grünastes variiert in Abhängigkeit von Pflanzverband und Überschirmung innerhalb einer vergleichsweise engen Spanne von 3,7 bis 10,1 % der Baumlänge, wobei weder der Pflanzverband noch der Zielbestockungsgrad eine signifikante Wirkung zeigen. Über alle Zielbestockungsgrade hinweg kann zwischen dem Weit- und Engverband lediglich eine Verschiebung der relativen Astansatzhöhe von 4,9 % beim Weitverband auf 7,9 % beim Engverband festgestellt werden. Auch bei der relativen Ansatzhöhe des stärksten Grünastes ist kein signifikanter Einfluss des Pflanzverbandes und des Zielbestockungsgrades nachzuweisen. Die Spreitung zwischen den Pflanzverbänden beträgt lediglich 4,2 %, wobei der stärkste Grünast beim Weitverband mit 22,4 % der Baumlänge am tiefsten ansetzt.

Statistisch absicherbar sind hingegen der Einfluss des Pflanzverbandes und des Zielbestockungsgrades auf die Anzahl lebender Äste auf den ersten 2 m Baumlänge (s. Abb. 4). Im Engverband entwickelten bzw. hielten sich mit durchschnittlich 11 Grünästen signifikant weniger Äste als in den weiteren Verbänden. Insbesondere bei sehr lichter Schirmstellung ist bei den weiteren Pflanzverbänden sprunghaft eine stärkere Astigkeit zu beobachten.

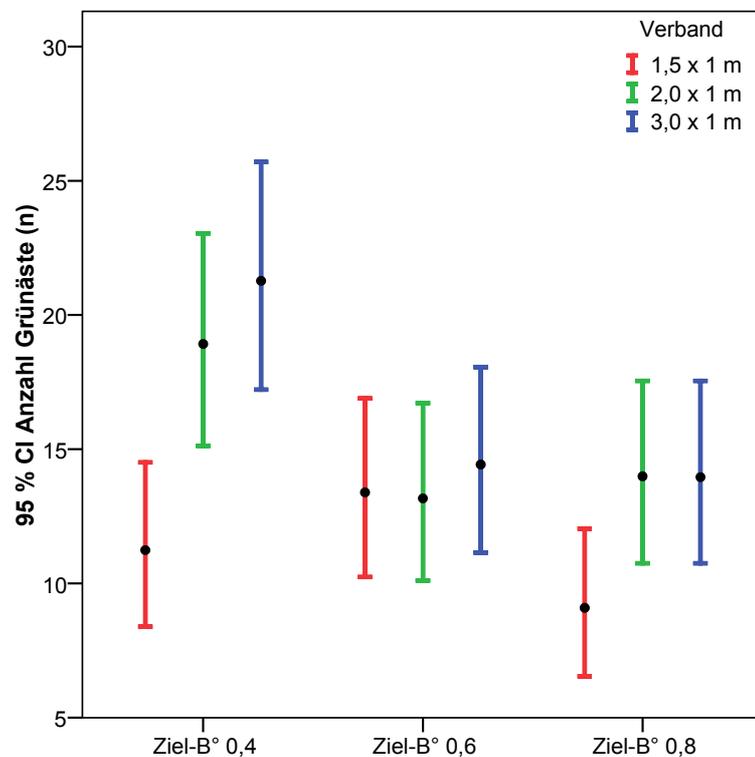


Abbildung 4: Anzahl Grünäste in Abhängigkeit von Pflanzverband und Zielbestockungsgrad

Auch der Astbasisdurchmesser ist im Weitverband mit 19,4 mm signifikant stärker als im Engverband mit 15,8 mm. Im Verband 2 x 1 m erreicht der Astbasisdurchmesser 16,6 mm. Eine signifikante Wirkung des Schirmes auf die Aststärke konnte nicht nachgewiesen werden.

Das Belassen von Weichlaubebäumen - nahezu ausschließlich Eberesche - führt gegenüber der konkurrenzfreien Variante bei gleichem Zielbestockungsgrad (0,6) und Pflanzverband (2 x 1 m) bei keinem der erhobenen Parameter zu signifikanten Unterschieden, wenngleich sich bei einigen Merkmalen zumindest Trends andeuten (s. Abb. 5).

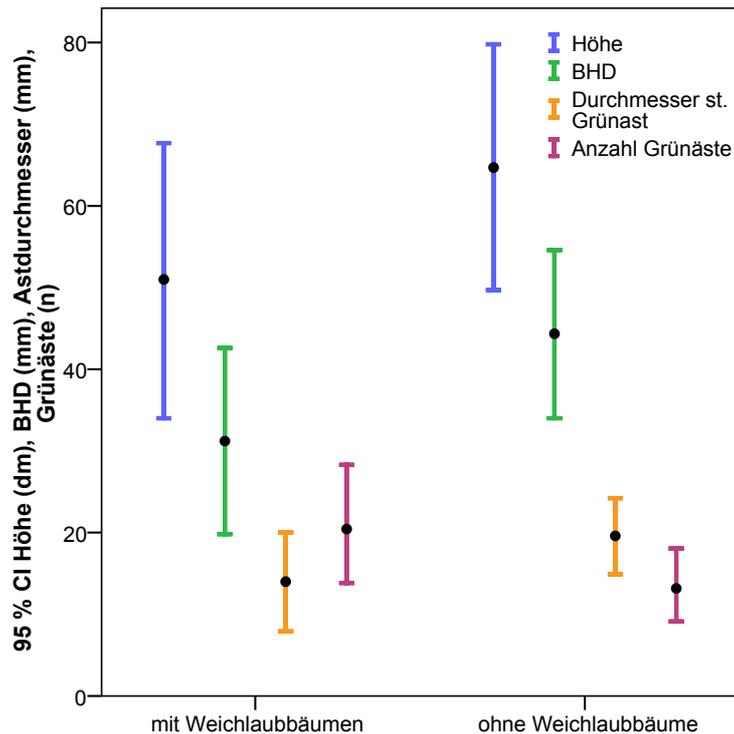


Abbildung 5: Höhe, BHD, Durchmesser stärkster Grünast und Anzahl Grünäste in Abhängigkeit von Weichlaubbaumkonkurrenz

Die Höhen und Brusthöhendurchmesser der Buchen erreichen unter dem Einfluss der Weichlaubbaumkonkurrenz deutlich geringere Werte, wobei die weit gefassten Grenzen der Konfidenzintervalle auf insgesamt recht inhomogene Verhältnisse schließen lassen. Das Dickenwachstum der Äste wird etwas gebremst, die Grünastanzahl nimmt dagegen leicht zu. Eine fortgeschrittene Astreinigung kann nicht festgestellt werden. Die schärfsten Konkurrenten der Buchen, definiert durch einen maximalen Abstand zur Buche von 1 m und einem Sprosswachstum, das mindestens 60 % der Buchenhöhe erreicht, bleiben im Höhenwachstum durchschnittlich rund 70 cm hinter den Buchen zurück.

Die Entwicklung des Kiefernbestandes führte in Abhängigkeit vom Zielbestockungsgrad zu recht differenzierten waldwachstumskundlichen Ergebnissen (s. Tab. 1). Im Rahmen der grundflächenbezogenen Steuerung des Kiefernschirmes erfolgten seit Versuchsbeginn drei Durchforstungseingriffe. Insbesondere die sehr starke Absenkung der Bestandesgrundfläche auf  $B^\circ 0,4$  führt zu deutlichen Zuwachsverlusten im Gesamtbestand und zu einer im Gegensatz zum  $B^\circ 0,8$  um über 100 Vorratsfestmeter geringeren Gesamtwuchsleistung. Der zusätzliche Standraum kann nicht für ein gesteigertes Durchmesserwachstum genutzt werden.

Tabelle 1: Ertragskundliche Parameter des Kiefernbestandes in Abhängigkeit vom Zielbestockungsgrad nach 15-jähriger Beobachtungsdauer ( $D_{100}$  = Durchmesser der 100 stärksten Bäume je Hektar,  $V$  = Volumen,  $GWL$  = Gesamtwuchsleistung,  $i_V$  = laufender Volumenzuwachs)

	$D_{100}$ [cm]	$V$ [m <sup>3</sup> /ha]	$GWL^*$ [m <sup>3</sup> /ha]	$i_V$ [m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]
Ziel-B° <b>0,8</b>	33,4	273	410	11,7
Ziel-B° <b>0,6</b>	34,4	199	382	10,1
Ziel-B° <b>0,4</b>	32,9	127	303	5,9

\* Die bis zum Versuchsbeginn im Alter 43 angefallenen Durchforstungserträge sind in der Gesamtwuchsleistung nicht berücksichtigt.

### 2.1.3 Diskussion

Das beobachtete Wachstum und die qualitative Entwicklung der heute 16-jährigen Buchen lassen eine recht differenzierte Wirkung des Pflanzverbandes und des Zielbestockungsgrades erkennen. Bei keinem der erfassten Merkmale liegen signifikante Wechselwirkungen zwischen der Pflanzendichte der vorangebauten Buchen und dem Zielbestockungsgrad der Kiefer vor. Während das Höhenwachstum maßgeblich durch die Beleuchtungsverhältnisse gesteuert wird, entwickeln sich der Brusthöhendurchmesser und der Astbasisdurchmesser des stärksten Grünastes in straffer Abhängigkeit vom Pflanzverband, wobei die stärksten Dimensionen jeweils im weitesten Verband (3 x 1 m) erzielt werden.

Zu teilweise vergleichbaren Ergebnissen kamen LEDER u. WEIHS (2000), die feststellten, dass das Durchmesserwachstum 12-jähriger Buchen unter dem Schirm 90-jähriger Kiefern ebenfalls im weitesten Pflanzverband (4 x 1 m) am stärksten war. Mit abnehmender Überschirmungsintensität nahm insbesondere das Durchmesserwachstum, in geringerem Maße auch das Höhenwachstum aufgrund des zusätzlichen Lichtgenusses zu. Nach Analyse der Beziehung zwischen Konkurrenz und Wuchsleistung bei 9, 23, und 39 Jahre alten vorangebauten Buchen unter Kiefernschirm kommt RÖHLE (2001) zu dem vorsichtigen Schluss, dass mit zunehmendem Alter der Buche die Bedeutung des Schirmdrucks für den Höhen- und Radialzuwachs abnimmt und die der intraspezifischen Konkurrenz innerhalb des Buchenvoranbaus zunimmt.

Im vorliegenden Versuch reagierten die Buchen auf die Abnahme der relativen Beleuchtungsstärke von 58 % (B° 0,6) auf 46 % (B° 0,8) mit nur unbedeutenden Veränderungen des Höhen- und Durchmesserwachstums. Verschiedene Untersuchungen haben verdeutlicht, dass mit stärker reduziertem Wachstum der Buche ohnehin erst bei wesentlich geringeren Beleuchtungsstärken ab etwa 10-20 % zu rechnen ist (s. Kap. 1.2). V. LÜPKE u. HAUSKELLER-BULLERJAHN (2004) zeigten anhand monomolekularer Wachstumsfunktionen (vgl. PRETZSCH 2001), dass sich

das Höhenwachstum 8-jähriger gepflanzter Buchen unter einem alten Buchen-Eichenbestand bereits ab etwa 30-40 % PAR (photosynthetisch aktive Strahlung) asymptotisch einem Maximalwert nähert.

Erstaunlicherweise führte im Versuch Unterlüß 1200 die Absenkung des Zielbestockungsgrades auf 0,4 - entsprechend 72 % relativer Beleuchtungsstärke - zu signifikant geringerem Höhenwachstum und nahezu stagnierendem Durchmesserwachstum. Dieser Leistungsabfall wurde bereits bei einer früheren Auswertung des Versuches durch PETERSEN u. WAGNER (1999) aufgezeigt. SPELLMANN u. WAGNER (1993) berichteten hingegen von einem Voranbauversuch im niedersächsischen Harz, wo im Zuge eines Saumschlages in einem Fichtenaltbestand die Höhen und Wurzelhalsdurchmesser 9-jähriger Buchen entlang eines Gradienten von knapp 20 % relativer Beleuchtungsstärke am westlichen Rand des Innensaumes bis hin zu über 60 % relativer Beleuchtungsstärke am östlichen Rand des Außensaumes deutlich zunahm. Auf einem eutrophen Basaltstandort in Nordhessen beobachteten WEIHS u. KLAENE (2000) an maximal 10-jährigen Buchen unter Fichtenschirm ein wesentlich gesteigertes Höhen- und Durchmesserwachstum ab einer relativen Beleuchtungsstärke von 60 %.

Möglicherweise kommen standörtliche Ursachen für das Wuchsverhalten der Buche in Unterlüß in Frage. Im Rahmen lichtökologischer Untersuchungen an vorangebauten jungen Traubeneichen unter Kieferschirm in unterschiedlichen Regionen Brandenburgs analysierten KÄTZEL et al. (2006) die kleinklimatischen Verhältnisse in Abhängigkeit verschiedener Zielbestockungsgrade des Kieferschirmes (0,4/0,6/0,8). Der Bestandesniederschlag variierte dabei in einer recht engen Spanne zwischen 73 % ( $B^\circ$  0,4) und 60 % ( $B^\circ$  0,8) des Freilandniederschlages. Mit zunehmendem Bestockungsgrad kam es jedoch zu einer deutlichen Dämpfung der Temperaturmaxima und -minima. Bei einer Auflichtung des vollbestockten Kiefernbestandes auf  $B^\circ$  0,4 erhöhte sich dagegen die potenzielle Evapotranspirationsrate bereits auf das vierfache. Wenngleich die Niederschlagsmengen im Bereich der Versuchsfläche Unterlüß 1200 mit rd. 330 mm in der forstlichen Vegetationszeit deutlich über denen im trockeneren Tieflandklima Brandenburgs liegen, kann periodischer Trockenstress trotz günstiger Beleuchtungsverhältnisse und geringerer Altholzwurzelkonkurrenz möglicherweise dennoch zu einem Rückgang der Assimilationsleistung der Buche geführt haben und Ursache für das geringe Höhen- und Durchmesserwachstum sein. Diese Vermutung liegt nahe, da der Standort in Unterlüß nicht zuletzt wegen des wenig bindigen sandigen Bodensubstrates als mäßig frisch, tendenziell sogar als mäßig sommertrocken eingestuft wurde. Im Rahmen eines Anbauversuches auf einem schwach nährstoffversorgten, sommertrockenen Sandstandort im Nordosten Niedersachsens beobachtete WAGNER (1994b) an jungen Buchen unter Kieferschirm ebenso einen Wachstumsrückgang mit zunehmender relativer Beleuchtungsstärke. Diese Entwicklung hat sich auf der Versuchsfläche bis heute fortgesetzt und ist offensichtlich mit den für die Buche mit abnehmender Überschildung ungünstiger werdenden klein-

klimatischen Bedingungen zu erklären. Auch die mittlerweile häufiger zu beobachtenden Witterungsextreme lassen periodischen Trockenstress (z. B. Sommer 2003 u. 2006) als Ursache für die verminderte Wuchsleistung der Buche vermuten. Die Toleranz gegenüber stark eingeschränkter Wasserversorgung ist zumindest bei jungen Buchensämlingen geringer einzuschätzen als bei Eichen gleichen Alters. Bei Experimenten von V. HEES (1997) führte Trockenstress darüber hinaus zu einer vermehrten Biomasseallokation in den Feinwurzeln junger Buchen zu Lasten des Sprosswachstums.

Unabhängig von Pflanzverband und Zielbestockungsgrad zeigten die Buchen in Unterlüß fast durchweg orthotropes Wachstum. Die beobachtete geringe Abweichung der Sprossachse von der senkrechten Wuchsrichtung hat mit durchschnittlich  $10\text{-}14^\circ$  vermutlich die Ausbildung überwiegend gerader Stammformen gefördert. Die gerade Wuchsform ist sicherlich in nicht unerheblichem Maße auch auf genetische Einflüsse zurückzuführen (KRAHL-URBAN 1953 u. 1958, HUSSENDÖRFER et al. 1996, KLEINSCHMIT u. SVOLBA 1996). Die über alle Pflanzverbände und Bestockungsgrade hinweg zu verzeichnende geringe Astreinigung und die indifferente Ansatzhöhe des stärksten Grünastes deuten darauf hin, dass der bislang erreichte Dichtschluss auch im Engverband noch nicht ausgereicht hat, den Astreinigungsprozess der 16-jährigen Buchen voranzutreiben. LEONHARDT u. WAGNER (2006) beobachteten an vorangebauten Buchen in Fichtenaltbeständen des Sauerlandes, dass in den ersten 10 Jahren nach der Pflanzung unabhängig von Schirmdruck und Pflanzendichte keine Qualitätsdifferenzierung stattgefunden hat, im Alter 11-15 konnte steigender Seitendruck nur in Verbindung mit hohem Schirmdruck die qualitative Entwicklung der Buchen beeinflussen. Erst im Zeitraum von 16 bis 20 Jahren wirkten sich Standraum und Schirmstellung deutlich auf die Qualitätsentwicklung aus, wobei ab Pflanzendichten von 5000 je ha mit abnehmender Pflanzendichte der Anteil schlechter Stammformen unabhängig vom Grad der Überschirmung deutlich zunahm.

Die Entwicklung der Astbasisdurchmesser und der Anzahl lebender Äste machen aber deutlich, dass auf der Fläche Unterlüß 1200 eine pflanzverbandsabhängige Qualitätsdifferenzierung bereits eingesetzt hat und sich diese für die Astigkeit mit der Senkung des Zielbestockungsgrades von 0,6 auf 0,4 verstärkt zu haben scheint. Soweit in diesem frühen Entwicklungsstadium einschätzbar, ist im Weitverband neben deutlich stärkeren Ästen mit einer verlangsamten Astreinigung zu rechnen, was künftig eine Qualitätsverschlechterung erwarten lässt. Der engere Pflanzverband von  $1,5 \times 1$  m führte im Vergleich zum  $2 \times 1$  m Verband bislang mit Ausnahme geringerer Grünastanzahlen zu keiner weiteren Qualitätsverbesserung.

Da die Wahl des Pflanzverbandes die Durchmesserentwicklung sowie die Ausbildung der Aststärken und damit die Geschwindigkeit der Astreinigung beeinflusst, wurde für Freiflächenkulturen die Frage des Ausgangsverbandes lange Zeit heftig diskutiert. Höhere Pflanzendichten von um die 10000 Pflanzen je ha lassen i. d. R. eine bessere Qualitätsentwicklung erwarten (KRAHL-URBAN 1963,

RICHTER 1990). MUHLE u. KAPPICH (1979) sowie FREIST (1980) berichten dagegen von 19 bzw. 29 Jahre alten Buchenbeständen, die bei Ausgangspflanzenzahlen von 6000 bzw. 5000 Pflanzen je ha sich qualitativ durchaus ansprechend entwickelt haben. OTT u. v. LÜPKE (2006) fordern jedoch für 10-jährige Buchenkulturen unter Freiflächenbedingungen eine Mindestpflanzenzahl von 5000 Buchen je Hektar im Reinbestand.

Bei den bereits erwähnten Untersuchungen von LEDER u. WEIHS (2000) an Buchen unter Kieferschirm erreichte der Astbasisdurchmesser des stärksten Grünastes sein Maximum wie im vorliegenden Versuch im weitesten Pflanzverband (4 x 1 m). Die Ergebnisse zeigten darüber hinaus, dass ein Unterschreiten einer Pflanzendichte von 5000 Pflanzen je ha bei lockerer Überschirmung mit einer deutlichen Verzögerung der Astreinigung und abnehmender Wipfelschäftigkeit verbunden ist. Dagegen halten BERGERS et al. (2006) nach einer Überprüfung von Buchenvoranbauten unter Kiefer im niederrheinischen „Grenzwald“ bei einem Bestockungsgrad der Kiefer von 0,3 bis 0,5 einen Pflanzverband von 2 x 1,5 m und bei einem Bestockungsgrad von 0,5 bis 0,7 einen Pflanzverband von 2 x 2 m als zweckmäßig.

Das in Unterlüß beobachtete eingeschränkte Höhen- und Durchmesserwachstum der Buche unter Weichlaubbaumkonkurrenz bewegte sich bislang in einem tolerierbaren Rahmen. Ein um 4 mm geringerer Astbasisdurchmesser ließ zumindest ansatzweise eine qualitätsfördernde Wirkung der Ebereschen erkennen. Bei durchschnittlich einer konkurrenzstarken Eberesche je Buche bleibt abzuwarten, ob der gesteigerte Seitendruck ausreicht, die Astreinigung wesentlich voranzutreiben. Die Konkurrenzkraft der Eberesche ist im Vergleich zu Birke, Salweide und Aspe sicher deutlich geringer einzuschätzen, andererseits ist die Toleranz der Buche gegenüber Weichlaubbaumkonkurrenz, insbesondere gegenüber lichtdurchlässigen Arten, vergleichsweise stark ausgeprägt (vgl. PAMPE 2001). Mit zunehmender Salweidenkonkurrenz beobachtete LEDER (1995) erhöhte Anzahlen feinastiger und wipfelschäftiger Buchen, Durchmesser- und Höhenwachstum der Buchen ließen dagegen aber nach. Nach OTT u. v. LÜPKE (2006) sollten sich in Freiflächenkulturen im Alter von 10 Jahren bei einem Minimum von 2000 Buchen zusätzlich mindestens 4000 Misch-/Begleitbaumarten je Hektar etabliert haben, um im Stangenholz eine ausreichende Anzahl gut geformter Buchen erzielen zu können.

Ungeachtet dessen, dass nach dem heutigen Erfahrungs- und Wissensstand über die Konkurrenzkraft der Buche unter den gegebenen Standortverhältnissen ein Buchenvoranbau wesentlich später eingeleitet würde, führte in Unterlüß die Absenkung des Zielbestockungsgrades auf 0,4 zu unverhältnismäßig hohen Zuwachsverlusten in der Kiefer. Diese konnten weder durch ein gesteigertes Einzelbaumwachstum der Kiefern noch durch ein verbessertes Wachstum der vorangebauten Buchen kompensiert werden. DITTMAR u. KNAPP (1989) schlagen für die Bestandespflege der Kiefer mit Buchenunterbau/-voranbau im nordost-

deutschen Tiefland bis zur Kulmination des dGZ Derbholz - je nach Bonität der Kiefer - im Alter von 70-85 Jahren, eine Absenkung des Bestockungsgrades auf 0,8 bis 0,7 (Ertragstafel Lembcke et al. 1975) vor. Untersuchungen in über 45- bis 120-jährigen „Buchenunterbauten“ unter Kieferschirm in den verschiedenen Klimaregionen Brandenburgs zeigten, dass die Buche in der Klimastufe „Tf“ (entsprechend 600 bis >660 mm Jahresniederschlag) bei einem Kiefern-Bestockungsgrad von 0,9 noch 90 % der Durchmesserleistung des Buchenreinbestandes gleichen Alters, gleicher Bonität (Ertragstafel Dittmar et al. 1983) und gleichen Bestockungsgrades erreichen kann (KNAPP 1992). Die in Unterlüß beobachtete Entwicklung des Buchenvoranbaus lässt eine Absenkung des Bestockungsgrades der Kiefer unter 0,8 bislang nicht erforderlich erscheinen.

#### 2.1.4 Schlussfolgerungen

Knapp 15 Jahre nach Einrichtung des Versuches befinden sich die vorangebauten Buchen in einer Entwicklungsphase, wo Selbstdifferenzierungsprozesse zunehmend stärker das Wachstum und die natürliche Schaftreinigung beeinflussen. Künftig sind noch deutlichere Differenzierungen zwischen den Versuchsvarianten zu erwarten. Die vorgestellten und diskutierten Versuchsergebnisse lassen zum heutigen Zeitpunkt aber dennoch einige vorsichtige Schlussfolgerungen zur Durchführung von Buchenvoranbauten unter Kieferschirm zu:

- in Kiefernbeständen zweiter oder besserer Bonität sollten Voranbauten mit der konkurrenzstarken Buche erst ab einem Bestandesalter von 80 Jahren erfolgen
- unter den gegebenen Standortbedingungen sind übermäßig starke Absenkungen des Bestockungsgrades im Kiefernaltbestand unter  $B^{\circ} 0,6$  nicht zielführend, da im Buchenvoranbau mit einem deutlichen Nachlassen des Höhenwachstums zu rechnen und eine weitere Durchmesserzunahme nicht zu erwarten ist. Darüber hinaus führt ein solcher Eingriff zu unverhältnismäßig hohen Zuwachsverlusten in der Kiefer, die im Laufe des Bestandeslebens nicht ausgeglichen werden können
- weitgehend unabhängig von den Beleuchtungsverhältnissen lässt der 2 x 1 m Pflanzverband bei noch gutem Durchmesserwachstum eine günstige qualitative Entwicklung der Buchen erwarten
- die Konkurrenz von Weichlaubebäumen - überwiegend Ebereschen - vermag es nur sehr beschränkt durch zusätzlichen Seitendruck die Qualität der Buchen zu fördern. Eine Konkurrenzsteuerung zugunsten der Buche ist unter den gegebenen Verhältnissen derzeit nicht erforderlich

Die weitere Entwicklung des Buchenvoranbaus wird zeigen, ob und inwieweit die Zielbestockungsgrade von 0,6 und 0,8 zu einem späteren Zeitpunkt abgesenkt

werden müssen, um ein kräftiges Wachstum der Buche bei gleichzeitig hoher Vitalität und Qualität sicherzustellen.

## 2.2 Umbau von Fichtenreinbeständen mithilfe der Buchensaat

### 2.2.1 *Versuchsanlass und Versuchsanlage*

Angesichts der hohen Kosten, die herkömmliche Voranbauten aus Pflanzung verursachen, wird in den letzten Jahren verstärkt nach Alternativen gesucht. Ein in der Praxis vielerorts bewährtes Verfahren stellt die Saat dar. Ihren unbestrittenen Vorteilen - Erzielen hoher Pflanzendichten unter Vermeidung von Pflanzenschock und Wurzeldeformationen bei geringeren Kosten, Werbung von Wildlingen - stehen jedoch auch gravierende Nachteile, insbesondere das schwer kontrollierbare Ausfallrisiko, entgegen. Um wissenschaftlich fundierte Praxisempfehlungen für Buchenvoraussaaten geben zu können, wurden auf Initiative des Deutschen Verbandes Forstlicher Forschungsanstalten in mehreren Bundesländern Voraussaatversuche angelegt, deren Ergebnisse u. a. in das Merkblatt „Erfolg von Buchensaat steigern“ (LWF 2004) eingegangen sind. Einer dieser Versuche befindet sich im Niedersächsischen Forstamt Clausthal (Harz). Hier sollen u. a. folgende Aspekte untersucht werden:

- a) Dokumentation der Auflafergebnisse und Überlebensraten der Saat
- b) Entwicklung der Buchensaat in Konkurrenz zur vorhandenen Fichten-Naturverjüngung unter unterschiedlichen Überschirmungsverhältnissen

*Standort:* Höhenlage 540 m ü. NN (montan), Exposition Nord, Ausgangssubstrat Kulm-Tonschiefer, Bodentyp podsolige Braunerde. Frisch bis vorratsfrischer Schatthangstandort mit mäßiger Nährstoffversorgung, 30-70 cm mächtige Fließerde über basenarmen Silikatgestein.

*Altbestand* (Nov. 1997): Fichte 96-jährig, Ekl II,7 (Lkl 9), Grundfläche 39,9 m<sup>2</sup>/ha ( $B^\circ = 1,0$ ) mit im Mittel 5-jähriger Fichten-Naturverjüngung.

*Versuchsanlage:* Im Frühjahr 1997 wurde in einem ein Hektar großen Fichtenbestand eine Buchen-Rillensaat mit der zweirilligen Sämaschine Ökosat/U schleppergestützt durchgeführt. Die Ausbringungsmenge betrug 65 kg/ha. Dabei wurden Rückegassen und ein bereits durch Fichten-Naturverjüngung bestocktes Bestandesloch nicht befahren, so dass insgesamt 82 % der Fläche mit Buche eingesät wurden. Die Fläche wurde anschließend in einem 10 x 10 m-Raster verpflockt. An den Rasterpunkten wurde auf 3 m<sup>2</sup> großen Probekreisen das Auflaufen und die Überlebensrate der gesäten Buchen fünf Jahre lang flächenrepräsentativ erfasst. Zudem wurde ausgehend von dem Bestandesloch auf drei Transekten in den geschlossenen Bestand hinein auf 68 Plots das Wachstum einzeln nummerierter Buchen und Fichten beobachtet. Dabei wurden Höhen und Durchmesser jährlich bis nunmehr zum Alter 10 gemessen. Des Weiteren wurde bei Versuchsbeginn zur

Strahlungsschätzung über jedem Plot ein Fish-eye-Foto aufgenommen. Der daraus berechnete Diffuse Site Factor (DIFFSF) gibt den Anteil der diffusen Strahlung am Messpunkt in Prozent zur Freilandstrahlung an.

### 2.2.2 Ergebnisse

*Auflaufergebnis der Buchensaat:* Da die Fläche nicht vollständig befahren wurde, betrug die ausgebrachte Saatgutmenge bezogen auf die Nettofläche 79 kg/ha. Nach den ersten sechs Monaten waren 20.300 Buchen je ha besäter Fläche aufgelaufen, dies entspricht einem Auflaufergebnis von 12,0 %. Das Auflaufergebnis war nicht homogen, die Belegung der Aufnahmeplots reichte von 0 bis 31 Buchen.

*Überlebensrate:* In den nächsten 4 Vegetationsperioden nahm die Zahl der vorhandenen Buchen auf 11.450 Pflanzen/ha ab, dies entspricht einer Ausfallrate von 44 %, wenn man die Anzahl der vorhandenen Buchen im Herbst 1997 als Berechnungsgrundlage heranzieht. Gleichzeitig stieg der Anteil der Plots ohne Buchensämlinge von 38 % auf 53 %. Die Überlebensrate der Saat betrug nach 5 Jahren lediglich 5 % bezogen auf die Anzahl lebender Keime zum Zeitpunkt der Aussaat. Dabei konnte in den ersten drei Standjahren ein signifikanter Zusammenhang zwischen Überlebensrate und DIFFSF, welcher im Bereich zwischen 2,8 % und 22,8 % lag, nachgewiesen werden. Mit steigendem Lichtangebot nimmt die Ausfallrate degressiv ab (exponentielle Regression  $r^2 = 0,56$ ).

Von den bei Versuchsanlage vorhandenen Fichten aus Naturverjüngung waren bis zur Aufnahme 2007 93 % vergangen. Auch hier stand die Ausfallrate in einem signifikanten Zusammenhang zum DIFFSF, je höher die relative Beleuchtungsstärke, desto niedriger die Ausfallrate (lineare Regression  $r^2 = 0,65$ ).

*Wachstum:* Das Höhen- und das Durchmesserwachstum der Buchen wurde an 269 Pflanzen über einen Zeitraum von 10 Jahren gemessen. Die Buchen reagierten im Höhenwachstum positiv auf zunehmende Auflichtung. Der Effekt wirkte am stärksten ab einer relativen Beleuchtungsstärke von 10-15 %, darüber hinaus war keine weitere Höhenzunahme mit steigendem Lichtangebot zu verzeichnen (s. Abb. 5). Ähnlich verhielt es sich mit dem Durchmesserwachstum (s. Abb. 6). Auch hier waren deutliche Zuwachssteigerungen bei einer relativen Beleuchtungsstärke zwischen 10-15 % festzustellen, ein höheres Lichtangebot führte dagegen nur zu geringfügiger Durchmesserzunahme.

In beiden Abbildungen ist die im sechsten Standjahr vollzogene Durchforstung mit einer Eingriffsstärke von 82 Efm/ha zu erkennen. Die Buchen reagierten mit einem Wachstumsschub, der möglicherweise durch die warme Sommerwitterung des Jahres 2003 noch unterstützt wurde.

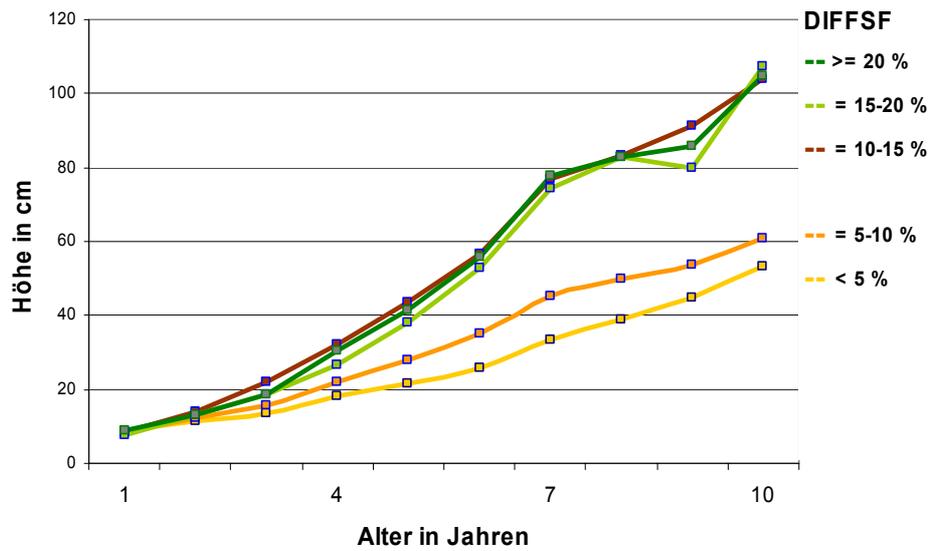


Abbildung 5: Höhenwachstum der gesäten Buchen in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke (DIFFSF)

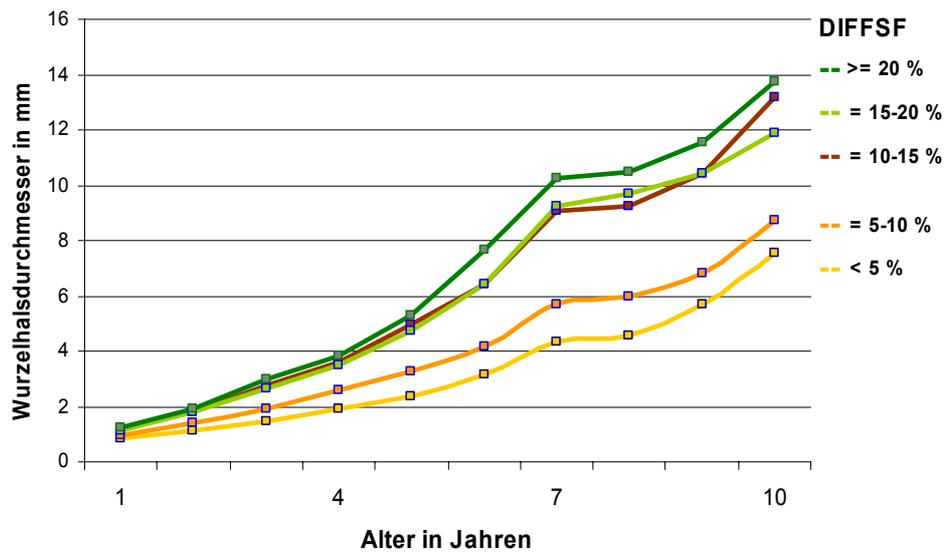


Abbildung 6: Durchmesserwachstum der gesäten Buchen in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke (DIFFSF)

Im Alter von 10 Jahren hatten die Buchen einen deutlichen Höhenvorsprung gegenüber der im Mittel 4 Jahre älteren und zum Zeitpunkt der Saat bereits etablierten Fichtennaturverjüngung erreicht (s. Abb. 7). Selbst am Rande des Bestandeslochs bei einer relativen Beleuchtungsstärke zwischen 20 % und 25 % geriet die Fichte gegenüber der Buche ins Hintertreffen.

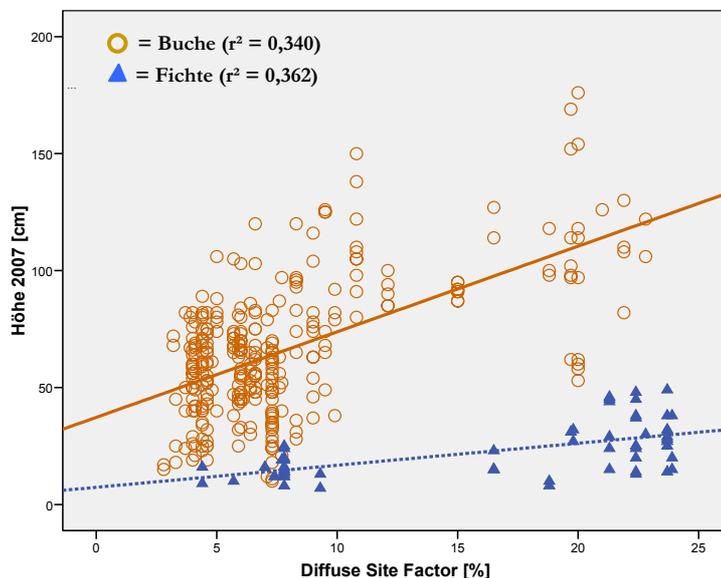


Abbildung 7: Einfluss des Diffuse Site Factors auf das Höhenwachstum von Buche und Fichte

### 2.2.3 Diskussion

Die Buchensaat stellt eine Alternative zur Pflanzung dar, verfügt allerdings nur über einen begrenzten Einsatzbereich und ist an mannigfaltige Voraussetzungen geknüpft. Geeignete Saatflächen sind stabile Bestände auf gut wasser- und nährstoffversorgten Böden mit schwacher Konkurrenzvegetation, guter Bodengare und geringer Rohhumusaufgabe. Eine der Saat vorausgehende Bodenbearbeitung mit Kalkung erhöht die Auflaufdichte signifikant (KÜBNER u. WICKEL 1998). AMMER und MOSANDL (2000) fanden deutlich bessere Auflaufergebnisse in einem Fichtenbestand mit einer Grundflächenhaltung von 41 m<sup>2</sup>/ha als in einem sehr vorratsreichen Fichtenbestand mit 55 m<sup>2</sup>/ha. Mit Modellen, die den Überschirmungsgrad bzw. die relative Altbaum-Feinwurzelndichte einbeziehen, konnten 72 % bzw. 52 % der Streuung der Auflaufergebnisse erklärt werden (AMMER et al. 2002). Nach GOMMEL (1994) sind nur vorgepflegte Bestände mit intaktem Bodenleben und aktiver Streuzersetzung für eine Buchen-Vorausaat geeignet. Er empfiehlt eine kräftige Durchforstung 4-5 Jahre vor der Saat sowie eine weitere Durchforstung

sofort nach der Aussaat, wobei das Reisig als Schutz auf der Fläche belassen werden sollte. Ein Merkblatt der nordrhein-westfälischen Landesforstverwaltung (MURL 1998) sieht eine Durchforstung 2-3 Jahre vor der Saat vor. AMMER et al. (2001) sind hingegen der Meinung, dass erst möglichst kurz vor der Saat aufgelichtet werden sollte, damit sich die Bodenvegetation nicht zu stark entwickelt. Zeitpunkt und Stärke der Vorbereitungshiebe sollten im Einzelfall vom zu erwartenden Konkurrenzdruck durch Bodenvegetation und begleitende Naturverjüngung (z. B. Fichte) abhängig gemacht werden. Wie die Ergebnisse in Clausthal zeigen, führte eine Grundflächenhaltung von  $39,9 \text{ m}^2/\text{ha}$  ( $B^\circ = 1,0$ ) zu einem raschen Ausdunkeln der Fichten-Naturverjüngung, ohne dass das Auflaufen und Überleben der Buchensämlinge gefährdet war. Bis zu einem DIFFSF von 25 % war die in diesem Versuch sogar ein paar Jahre ältere Fichte der Buche im Höhenwachstum deutlich unterlegen (s. Abb. 7). Untersuchungen von PAMPE (2000) im Harz machten deutlich, dass eine Angleichung der Höhenzuwächse erst ab einer Strahlungsklasse von DIFFSF 30-45 % festzustellen ist. Dies entspricht einem Bestockungsgrad des Fichtenbestandes von maximal 0,6. Des Weiteren konnte PAMPE (2002) für eine Buchensaat in Segeberg nachweisen, dass die auf den Plätzen gleichzeitig aufgelaufene Fichtennaturverjüngung bis zu einem DIFFSF von 45 % nicht konkurrenzfähig war und bereits durch die 6-jährigen Saatbuchen ausgedunkelt wurde.

Die Durchforstung der Versuchsfläche Clausthal 6 Jahre nach Aussaat hatte mit der Absenkung der Grundfläche im Fichtenaltholz auf  $36,5 \text{ m}^2/\text{ha}$  ( $B^\circ = 0,9$ ) bereits einen deutlich positiven Effekt auf Durchmesser- und Höhenwachstum der Buchen, ohne dabei Gefahr zu laufen, die vorhandene Fichtennaturverjüngung übermäßig zu fördern. Eine weitere Auflichtung zugunsten der Buche wäre sicherlich möglich.

Saaten sollten gruppenweise in großen Beständen bei Vollmasten durchgeführt werden (ab 10 ha nach MURL 1998), um den Druck durch Fressfeinde, insbesondere Vögel und Mäuse (ENGLER et al. 1979), zu verteilen. Ein zusätzlicher Zaunbau ist dennoch in den meisten Fällen unumgänglich. Die Anforderungen an das zu verwendende Saatgut sind hoch, ebenso ist eine gute Logistik und eine hohe Flexibilität der Mitarbeiter erforderlich. Die in neuer Zeit empfohlenen Saatgutmengen variieren beträchtlich. Im Merkblatt der nordrhein-westfälischen Landesforstverwaltung (MURL 1998) werden für plätze- oder streifenweise Buchen-Voraussaaten unter Fichtenschirm, basierend auf den Untersuchungen von LEDER u. WAGNER (1996) sowie LEDER (1998), Saatmengen von  $60 \text{ kg je ha}$  Buchenanteilfläche vorgeschlagen. TRAUTMANN (1996) empfiehlt unter Fichtenschirm  $75 \text{ kg/ha}$ , GOMMEL (1994) sogar  $120\text{-}150 \text{ kg/ha}$ . Nach einer Umfrage der Forstdirektion Oberbayern-Schwaben wurden in den 1990er Jahren zwischen 13 und  $170 \text{ kg/ha}$  gesät, als gelungen wurden Saaten mit einer Saatgutmenge über  $50 \text{ kg/ha}$  beurteilt (NÖRR 2004). Die Bayerische Landesanstalt (LWF 2004) empfiehlt als Kompromiss zwischen Kosten und Ausfallrisiko eine Menge

zwischen 50 und 100 kg/ha Buchensaatfläche. Im Ergebnis sollen möglichst 15.000 Buchen/ha die erste Vegetationsperiode überleben. Diese im Vergleich zur Pflanzung höheren Sämlingszahlen sind notwendig, da durch ungleichmäßiges Auflaufen höhere Ausfälle entstehen. Mit einer ausgebrachten Menge von 79 kg/ha befindet sich der Versuch Clausthal im mittleren Bereich der empfohlenen Ausbringungsmengen. Nach der ersten Vegetationsperiode standen 20.300 Buchen/ha auf der Fläche, welches einer Auflaufrate von 12 % entspricht. LEDER (1998) erreichte im ersten Standjahr bei einer Plätzeaat mit Mineralboden-Abdeckung eine durchschnittliche Pflanzenausbeute von rund 13 %, in einer Untersuchung von AMMER u. EL KATEB (2007) lag die Auflaufrate bezogen auf die ausgebrachte Menge keimfähiger Bucheckern zwischen 9,9 und 25,6 %. Ein noch besseres Ergebnis wies PAMPE (2002) ebenfalls auf Plätzeaat in einer Untersuchung in Segeberg nach, bei der ein Auflaufprozent von 31,4 erreicht wurde.

Die Überlebensrate der Buchen in Clausthal betrug nach 5 Jahren 5 % und entspricht einer Pflanzenzahl von 11.450 Stück/ha. Dieses Ergebnis ist im Vergleich zu der Untersuchung von AMMER u. EL KATEB (2007) sowie PAMPE (2002) als eher schlecht einzustufen. Erstgenannte konnten in Abhängigkeit vom Standort nach acht Vegetationsperioden eine Überlebensrate zwischen 7,4 % und 22 % nachweisen, während PAMPE (2002) für eine Saat unter Fichte in Segeberg nach 7 Jahren bezogen auf die Anzahl lebender Keime eine Auflaufrate von 9 % ermittelte.

#### 2.2.4 *Schlussfolgerungen*

Die Buchen-Vorausaat zur Umwandlung nicht standortgerechter Fichtenreinbestände ist dann erfolgreich und entsprechend kostengünstig, wenn folgende Faktoren berücksichtigt werden:

- ausreichend aufgelichtete Bestände ohne Konkurrenzvegetation mit gut wasser- und nährstoffversorgten Böden und guter Bodengare
- Verwendung von hochwertigem Saatgut in ausreichender Menge ( $\geq 60$  kg/ha)
- professionelle Vorbereitung und rasche Ausbringung des Saatgutes mit Verfahren, die den Mineralbodenanschluss der Bucheckern gewährleisten

Die gruppenweise in Altbeständen angelegten Saatflächen sollten dann in die helleren Bestandepartien eingebracht werden, wenn diese noch nicht mit Fichten-Naturverjüngung besetzt sind. Befinden sich in den helleren Partien (größere Bestandeslücken, Störungslöcher) bereits höhere Fichtenkegel, kann auch in die dunkleren Bereiche gesät werden, nachdem ein Vorbereitungshieb zur Verbesserung der Wuchsbedingungen durchgeführt wurde. Die Konkurrenz gleichzeitig ankommender Fichten-Naturverjüngung ist für die Buche bis zu einer relativen Beleuchtungsstärke von 45 % unproblematisch.

Sind die Buchensämlinge in ausreichender Zahl aufgelaufen und haben sich etabliert, muss nachgelichtet werden, um den Wuchsvorsprung weiter auszubauen und die Qualitätsentwicklung zu fördern (Verhinderung des plagiotropen Wachstums). Bestände, deren Eignung für die Buchensaat zweifelhaft erscheint, sollten von vornherein bepflanzt werden, denn schlecht aufgelaufene Saaten führen nicht zu einem qualitativ befriedigenden Buchenanteil im Folgebestand.

## Literatur

- AMMER, CH. u. MOSANDL, R. (2000): Zum Einfluss des Altbestandes auf das Keimergebnis gesäter Buchen. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Sektion Waldbau, Jahrestagung in Dessau/Klieken, 79-94
- AMMER, CH.; MOSANDL, R.; EL KATEB, H. u. STÖLTING, R. (2001): Die Entwicklung von Buchensaat im Vergleich zu Pflanzungen. Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald, 1208-1210
- AMMER, CH.; MOSANDL, R. u. EL KATEB, H. (2002): Direct seeding of beech (*Fagus sylvatica*) in Norway spruce (*Picea abies*) stands - effects of canopy density and fine root biomass on seed germination. Forest Ecology and Management, 159, 59-72
- AMMER, CH. u. EL KATEB, H. (2007): Buchensaat oder -pflanzung: Vergleich zweier Optionen zum Umbau von Fichtenreinbeständen. LWF Wissen 58, 38-41
- BERGERS, CH.; FRANK, A. u. KAISER, H. (2006): Voranbauten von Buche und Eiche unter Kiefer. Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald, 482-484
- BMVEL (2004): Die zweite Bundeswaldinventur – BWI 2. Das Wichtigste in Kürze. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL), Bonn
- BRESSEM, U. (1998): Förderung der Buchennaturverjüngung. Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald, 933-936
- BURSCHEL, P. u. HUSS, J. (1964): Die Reaktion von Buchensämlingen auf Beschattung. Forstarchiv, 225-233
- BURSCHEL, P. u. SCHMALTZ, J. (1965): Die Bedeutung des Lichtes für die Entwicklung junger Buchen. Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung, 193-210
- DITTMAR, O. u. KNAPP, E. (1989): Waldbauliche Behandlung von Kiefernbeständen mit Buchenunterbau zwecks Übernahme der Buche als Hauptbestand. Sozialistische Forstwirtschaft, 146-148
- DUBBEL, V. (1989): Die Bedeutung des Bodenkontaktes für die Qualität des Buchensaatgutes. Forst und Holz, 512-516
- DUBBEL, V. (1992): Pilze an Bucheckern. Allgemeine Forstzeitschrift, 642-645
- ELLENBERG, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Stuttgart
- ENGLER, J. M.; LE LOUARN, H. u. LE TACON, F. (1979): L'influence des oiseaux et des rongeurs sur la régénération naturelle du hêtre. Revue Forestière Française 31, 41-49
- FREIST, H. (1980): Beitrag zur Frage der Stammzahlhaltung am Beispiel eines Buchenjungbestandes im Bramwald. Forst und Holz, 21-22
- GOMMEL, H. J. (1994): Umbau von Fichten-Beständen durch Buchen-Saat. Allgemeine Forstzeitschrift, 516-518
- GRALLA, T.; MÜLLER-USING, B.; UNDEN, T. u. WAGNER, S. (1997): Über die Lichtbedürfnisse von Buchenvoranbauten in Fichtenbaumhölzern des Westharzes. Forstarchiv, 51-58
- GRUBER, F. (2003): Welche Witterung bestimmt die Fruchtbildung bei der Rotbuche? Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald, 246-249

- HEES, A. F. M. v. (1997): Growth and morphology of pedunculate oak (*Quercus robur*) and beech (*Fagus sylvatica*) seedlings to shading and drought. *Annales de Science Forestière*, 9-18
- HUSSENDÖRFER, E.; SCHÜTZ, J.-P. u. SCHOLZ, F. (1996): Genetische Untersuchungen zu phänotypischen Merkmalen an Buche. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 785-802
- KÄTZEL, R.; LÖFFLER, S.; WINTER, S. u. KALLWEIT, R. (2006): Zum Einfluss von Überschirmung und Begründungsverfahren auf den Entwicklungserfolg von Eichen- und Buchen-Voranbauten in der Initialphase. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe*, 23, 79-101
- KERKMANN, M. (2007): Einflüsse von Niederschlagshöhe und Überschirmungsdichte auf das Wachstum und die Qualität junger Buchen aus Voranbauten in Fichtenaltbeständen. *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Band 200*
- KLEINSCHMIT, J. (1999): Ist Naturverjüngung immer die beste Lösung für den naturnahen Waldbau? In: KOHLSTOCK, N.; STAUBER, T.; ZASPEL, I. (Hrsg.): *Erhaltung und Nutzung genetischer Ressourcen für den naturnahen Waldbau - Betriebswirtschaft und/oder Naturschutz. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft*, 199-214
- KLEINSCHMIT, J. u. SVOLBA, J. (1996): Ergebnisse der Buchenherkunftsversuche von Krahl-Urban. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 780-782
- KLUMPP, K. u. KAZDA, M. (2000): Influence of nutrient amendment on photosynthetic parameters in *Fagus sylvatica* plants under a Norway Spruce Canopy. In: KLIMO, E.; HAGER, H. u. KULHAVÝ, J. (Hrsg.): *Spruce monocultures in Central Europe – Problems and Prospects, EFI-Proceedings 33*, 161-165
- KNAPP, E. (1992): Zur Wuchsleistung der Unterbaubuche im ungleichaltrigen Kiefern-Buchen-Mischbestand vor und nach ihrer Übernahme als Hauptbestand auf Standorten des nordost-deutschen Tieflandes. *Schriftenreihe der Landesanstalt für Forstwirtschaft Nordrhein-Westfalen*, Band 3, 29-46
- KRAHL-URBAN, J. (1953): Rassefragen bei Eichen und Buchen. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 478-480
- KRAHL-URBAN, J. (1958): Vorläufige Ergebnisse der Buchenprovenienzversuche. *Allgemeine Forst- u. Jagd-Zeitung*, 242-251
- KRAHL-URBAN, J. (1963): Untersuchungen über Verbandsweiten bei Buchenpflanzungen. *Forstarchiv*, 157-164
- KÜßNER, R. u. WICKEL, A. (1998): Entwicklung einer Buchensaart unter Fichte im Osterzgebirge. *Forstarchiv*, 191-198
- LEDER, B. (1995): Jugendwachstum und waldbauliche Behandlung von natürlich angesamten Weichlaubhölzern in Laubholzjungwüchsen. In: LÖBF (Hrsg.): *Weichlaubhölzer und Sukzessionsdynamik in der naturnahen Waldwirtschaft. Schriftenreihe der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten/Landesamt für Agrarordnung Nordrhein-Westfalen*, 29-44
- LEDER, B. (1998): Pflanzenprozentage nach Bucheckern-Voraussaaten unter Fichten-Schirm. *Forst und Holz*, 477-481
- LEDER, B. u. WAGNER, S. (1996): Bucheckern/Streu-Voraussaat als Alternative beim Umbau von Nadelholzreinbeständen in Mischbestände. *Forstarchiv*, 7-13
- LEDER, B. u. WEIHS, U. (2000): Wachstum und qualitative Entwicklung eines 8 Jahre alten Buchen-Verbandsversuches unter Kieferschirm im Niederrheinischen Tiefland. *Forst und Holz*, 172-176
- LEONHARDT, B. u. WAGNER, S. (2006): Qualitative Entwicklung von Buchen-Voranbauten unter Fichtenschirm. *Forst und Holz*, 454-457
- LEUSCHNER, C. (1998): Mechanismen der Konkurrenzüberlegenheit der Rotbuche. *Berichte der Reinh.-Tüxen-Gesellschaft*, 10, 5-18
- LÜPKE, B. v. (1996): Waldbau unter ökonomischen Sachzwängen? *Allgemeine Forst- u. Jagd-Zeitung*, 178-184
- LÜPKE, B. v. u. HAUSKELLER-BULLERJAHN, K. (2004): Beitrag zur Modellierung der Jungwuchsentwicklung am Beispiel von Traubeneichen-Buchen-Mischverjüngungen. *Allgemeine Forst- u. Jagd-Zeitung*, 61-69

- LWF (2004): Erfolg von Buchensaat steigern. Merkblatt 16 der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF)
- MADSEN, P. (1995): Effects of soil water content, fertilization, light, weed competition and seedbed type on natural regeneration of beech (*Fagus sylvatica*). *Forest Ecology and Management*, 251-264
- MÖHRING, B. (2004): Betriebswirtschaftliche Analyse des Waldumbaus. *Forst und Holz*, 523-530
- MUHLE, O. u. KAPPICH, I. (1979): Erste Ergebnisse eines Buchen-Provenienz- und Verbandsversuchs im Forstamt Bramwald. *Forstarchiv*, 65-69
- MURL (1998): Merkblatt zur Bucheckern-Voraussaat unter Nadelholzschild. Landesforstverwaltung Nordrhein-Westfalen
- NIELSEN, B.O. (1977): Beech seeds as an ecosystem component. *Oikos*, 268-274
- NÖRR, R. (2004): Buchensaat- ein Thema mit Zukunft. *LWF aktuell*, 1-3
- OTT, B. u. v. LÜPKE, B. (2006): Erfolg von Buchenpflanzungen auf Sturmschadensflächen von 1990 im hessischen Vogelsberg. *Forstarchiv*, 119-126
- OTTO, H.-J. (1986): Standortliche Voraussetzungen, Ziele und Waldbautechnik in Fichten-Buchen-Mischbeständen des Harzes, *Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung*, 157. Jg., 184-196, 214-222
- OTTO, H.-J. (1995): Die Verwirklichung des LÖWE-Regierungsprogramms. *Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald*, 1028-1031
- PAAR, U.; KIRCHHOFF, A. u. EICHHORN, J. (2000): Fruktifikation der Buche in Hessen, *Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald*, 1362-1363
- PAMPE, A. (2000): Zur Konkurrenz von Buche und Fichte in der montanen Stufe des Harzes. *Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Sektion Waldbau, Jahrestagung in Dessau/Klieken*, 95-109
- PAMPE, A. (2001): Versuche zur Verwendung von Traubeneichen- und Buchen-Großpflanzen in Nordwestdeutschland. *Forst und Holz*, 331-337
- PAMPE, A. (2002): Exkursionsführer Forschungsergebnisse für den Waldbau in Schleswig-Holstein. *NW-FVA*, 1-5
- PETERSEN, R. u. WAGNER, S. (1999): Erste Ergebnisse eines Voranbauversuchs unter Kiefer im östlichen Niedersachsen. *Forst und Holz*, 647-653
- PRETZSCH, H. (2001): Modellierung des Waldwachstums. Berlin
- RICHTER, J. (1990): Die Qualität von Buchenpflanzbeständen. *Schriftenreihe der Landesanstalt für Forstwirtschaft Nordrhein-Westfalen*, 1, 35-52
- RIPKEN, H. (1992): Rationalisierungsmöglichkeiten in der biologischen Produktion des Forstbetriebes. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 569-573
- RIPKEN, H. (1996): Controlling der naturalen Leistungen und Kosten der Walderneuerung. *BWL-Seminar der Niedersächsischen Landesforstverwaltung*, unveröffentlicht
- RIPKEN, H. (1998): Ökonomische Nachhaltigkeitskriterien im Forstbetrieb. *Forst und Holz*, 155-160
- RÖHLE, H. (2001): Wuchsverhalten und Konkurrenzdynamik in Waldbeständen in der Umbauphase. *Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie*, 182-187
- SCHMIDT, W. (2001): Veränderungen der Samenproduktion und des Blattstreufalls in Buchenwäldern unter dem Einfluss von Umwelteinflüssen. *Forschungsvorhaben im Auftrag der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz*, 26 S.
- SPELLMANN, H. (1997): Ertragsentwicklung im "LÖWE"-Wald der Niedersächsischen Landesforstverwaltung. *Forst und Holz*, 711-718
- SPELLMANN, H. (2005): Produziert der Waldbau am Markt vorbei? *Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald*, 454-459
- SPELLMANN, H. u. WAGNER, S. (1993): Entscheidungshilfen für die Verjüngungsplanung in Fichtenbeständen zum Voranbau der Buche im Harz, *Forst u. Holz*, 483-490
- TEUFFEL, K. v. (1999): Waldentwicklungstypen in Baden-Württemberg. *Allgemeine Forstzeitschrift / Der Wald*, 672-676

- THOMASIU, H. (1996): Geschichte, Theorie und Praxis des Dauerwaldes. ANW Bücherdienst Ebrach
- TRAUTMANN, L. (1996): Saatkultur für Unterbau und Freifläche. Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald, 942-943
- ULRICH, B. (1986): Die Rolle der Bodenversauerung beim Waldsterben: Langfristige Konsequenzen und forstliche Möglichkeiten. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 421-435
- WACHTER, H. (1964): Über die Beziehung zwischen Witterung und Buchenmastjahren. Forstarchiv, 69-78
- WAGNER, S. (1994a): Strahlungsschätzung in Wäldern durch hemisphärische Fotos. Dissertation Universität Göttingen
- WAGNER, S. (1994b): Einbringung von Laubbaumarten in Kiefernbestände auf armen Sanden im Nordosten Niedersachsens. Forstarchiv 65, 3-9
- WAGNER, S. (2004): Möglichkeiten und Beschränkungen eines funktionsorientierten Waldbaus. Forst und Holz, 105-111
- WAGNER, S. (2007): Rationaler Waldumbau - Fragen und Anregungen. Forst und Holz, 12-17
- WEIHS, U. u. KLAENE, K. (2000): Wuchsdynamik und Qualität von Buchenvoranbauten unter Fichtenaltholz auf Basaltstandorten im Hessischen Forstamt Kassel. Forst und Holz, 177-181
- WELANDER, N.T. u. OTTOSSON, B. (1998): The influence of shading on growth and morphology in seedlings of *Quercus robur* and *Fagus sylvatica*. Forest Ecology and Management, 117-126
- WICKEL, A. u. BUTTER, D. (1998): Ökologische Waldentwicklungsplanung in Sachsen. Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald, 220-222
- WOLLBORN, P. (2000): Ist weniger mehr? Forst und Holz, 202-207

Korrespondierender Autor:

Dr. Hendrik Rumpf  
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt  
Grätzelstr. 2  
37079 Göttingen  
E-Mail: [Hendrik.Rumpf@nw-fva.de](mailto:Hendrik.Rumpf@nw-fva.de)  
URL: [www.nw-fva.de](http://www.nw-fva.de)

Regina Petersen  
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt