

Voranbau von Buche unter Kieferschirm in Nordwestdeutschland – Vergleichende Studie zu Sortimenten, Verbandweiten, Pflanz- und Bodenbearbeitungsverfahren

(Mit 4 Abbildungen und 9 Tabellen)

PATRICIA LOHSE* und NIKOLAS VON LÜPKE

(Angenommen März 2022)

DOI-Nummer: 10.23765/afjz0002080

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Voranbau; Buche; Kiefer; Sortiment; Pflanzverband; Bodenbearbeitung; Pflanzverfahren.

Advanced planting; European beech; Scots pine; plant assortment; initial spacing; soil treatment; planting method.

1. EINLEITUNG

Die Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) macht im Norddeutschen Tiefland knapp 51% der Waldfläche aus (BWI 2012). Dabei überwiegen heute Bestände in der III. Altersklasse (41–60 Jahre), von denen ein Großteil in den kommenden Jahrzehnten zur Verjüngung ansteht. Auf den öffentlichen Waldflächen soll sich im Zuge des Waldumbaus die Anteilsfläche der Kiefer gleichzeitig um mehr als die Hälfte verringern und in entsprechendem Maße Laubholz eingebracht werden (BÖCKMANN et al., 2019). Der Buche (*Fagus sylvatica* L.) kommt dabei in den waldbaulichen Planungen trotz ihres vergleichsweise hohen Trockenstressrisikos (BÖCKMANN et al., 2019) eine hohe Bedeutung zu. Auch wenn sich die Buche über Distanzen von bis zu 700 m natürlich verjüngen kann (AXER et al., 2021; AXER und WAGNER, 2020), wird vielfach eine künstliche Einbringung dieser Baumart über Pflanzung oder Saat bevorzugt. Dabei können dichte Vegetationsdecken oder mächtige, biologisch inaktive Rohhumusaufgaben eine Bodenbearbeitung notwendig machen. Für diese Art der Bestandesbegründung stehen verschiedene, praxiserprobte Arbeitsverfahren zur Verfügung. Hinsichtlich der Rationalisierungsbestrebungen innerhalb vieler Forstbetriebe und der angespannten finanziellen Situation nach Katastrophen und Wirtschaftskrisen (MERKER, 1998; JANBEN, 2000; KNOKE et al., 2021) stellt sich die Frage, wie der gewünschte bzw. geforderte Waldumbau ökonomisch effizient gelingen kann, ohne dabei auf die Erfüllung von Nachhaltigkeitskriterien verzichten oder Qualitätseinbußen in Kauf nehmen zu müssen. Lösungsansätze stellen zum Beispiel verschiedene Pflanzensortimente, Pflanzverfahren und -verbände sowie diverse Bodenbearbeitungsverfahren dar (u.a. LEDER und WEIHS, 2000; KAETZEL et al., 2005; BERGERS et al., 2006; RUMPF und PETERSEN, 2008). Die Ziele dabei sind vor allem eine ver-

besserte Anwuchsrate, Einsparungen von Zaun oder Einzelschutzmaßnahmen oder aber die Senkung der Pflanzungskosten bei gleichbleibend hoher Pflanzungsqualität. Weiterhin sollen Pflegeeingriffe in den Folgejahren nach der Bestandesbegründung möglichst reduziert werden.

Um fundierte Aussagen zur Eignung der verschiedenen Verjüngungstechniken zum Umbau reiner Kiefernbestände treffen zu können, wurde von der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) im Jahr 2002, in Zusammenarbeit mit den Niedersächsischen Landesforsten, ein Versuch im Forstamt Rotenburg angelegt. Das Ziel war der Vergleich verschiedener Sortimente, Verbandweiten, Pflanz- und Bodenbearbeitungsverfahren bei Voranbauten mit Buche unter Kieferschirm.

2. VERSUCHSFLÄCHE UND METHODIK

Die Versuchsfläche befindet sich in der Waldbauregion „Mittel-Westniedersächsisches Tiefland und Hohe Heide“ im Wuchsbezirk „Geest-Mitte“. Die Klimadaten der Periode 1981–2010 zeigen eine Jahresdurchschnittstemperatur von 9,4°C und eine jährliche Niederschlagsmenge von 796 mm, davon 315 mm in der Vegetationszeit (DWD (O.J.), zitiert nach BÖCKMANN et al., 2019). Es finden sich vor allem tiefgründige Gley-Podsole mit stellenweisen Flugsandüberwehungen und Orterdehorizonten. Die Böden sind mäßig nährstoffversorgt bei einer grundfrischen bis grundfeuchten Wasserversorgung. Als natürliche Waldgesellschaften werden Hainsimsen-Buchenwälder und frische Drahtschmielen-Buchenwälder mit Birke, Eiche und Kiefer beschrieben. Die aktuelle Waldbaurichtlinie Niedersachsens sieht als Waldentwicklungstypen (WET) Douglasie-Buche, Kiefer-Eiche und Kiefer-Douglasie-Buche vor.

Die Pflanzung erfolgte im Frühjahr 2002. Ausgehend von den natürlichen Waldgesellschaften und den empfohlenen WET wurden Stiel-Eichen (*Quercus robur* L.) und Buchen unter einem 54-jährigen Kieferschirm (EKL I,0; B° 0,8; D₁₀₀ = 35,8 cm) gepflanzt. Im Anschluss wurde die Kulturfläche gezäunt. Den frühen Zeitpunkt des Voranbaus rechtfertigen die mäßige bis schlechte Qualität der Kiefern und der geringe zu erwartende Wertzuwachs. Vor der Versuchsanlage erfolgte eine Absenkung des Bestockungsgrades auf 0,7 (bezogen auf die Ertragstafel von WIEDEMANN, 1943), um eine homogene Lichtstellung zu erreichen.

*) Korrespondierende Autorin: PATRICIA LOHSE. SG Waldverjüngung, Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Grätzelstraße 2, D-37079 Göttingen. E-Mail: patricia.lohse@nw-fva.de

Tab. 1

Parameter der Varianten in den einzelnen Parzellen.
Experimental treatments and parameters of the variants in the individual plots.

Sortiment	Alter	Pflanzverfahren	Verband [m]	Pflanzzahlen/ha	Art der Bodenbearbeitung	Verfahren zur Bodenbearbeitung	Variante
Normalpflanze (50/80)	2+0	Hohlspaten	2 x 1	5000	streifenweise	Streifenpflug	Pflug
	2+0	Hohlspaten	2 x 1	5000	plätzweise	Lochbohrer (+Kalk)	LoBo
	2+0	Hohlspaten	2 x 1	5000	plätzweise	Bräcke-Hochleger	HL
	2+0	Hohlspaten	2 x 1	5000	-	-	Ohne
Großpflanze (150/200)	2+2	Bagger	2 x 2 (weit)	2500	-	-	Bagger_W
	2+2	Pflanzfuchs	2 x 1,2 (eng)	4166	-	-	Fuchs_E
	2+2	Pflanzfuchs	2 x 2 (weit)	2500	-	-	Fuchs_W

Bei der Versuchsfläche handelt es sich um einen Blockversuch mit 4 Wiederholungen. Je Block gibt es 6 Eichen- und 7 Buchen-Parzellen mit einer Größe von je 400 m², wobei für die vorliegende Analyse lediglich die Buchen-Parzellen ausgewertet wurden. Diese wurden innerhalb der Blöcke gruppenweise (gruppiert nach Bodenbearbeitungsverfahren) gemischt. Auf den Parzellen variieren die Parameter Sortiment, Alter, Pflanzverfahren, Pflanzverband und Bodenbearbeitung (Tabelle 1).

Für Groß- und Normalpflanzen gab es unterschiedliche Aufnahmemethoden. Für die Normalpflanzen wurden in jeder Parzelle 5 Probekreise à 20 m² angelegt. Innerhalb dieser Probekreise wurden alle Bäume aufgenommen. In den Parzellen der Großpflanzen wurde eine Vollaufnahme auf einer Kernfläche von 300 m² durchgeführt.

2.1 Modellierung der Wachstumsdaten

Die Erhebung der Wachstumsdaten und eine ausführliche Schadansprache (Boniturschema siehe *Anhang 1*) erfolgten jährlich bis zum Abschluss der Anwuchsphase nach 3 Jahren. Anschließend wurden die Daten im 2-jährigen Turnus erhoben. Zur Berücksichtigung der mehrjährigen Messwiederholungen und des geschachtelten Versuchsdesigns wurden nichtlineare gemischte Modelle zur Analyse der Höhenentwicklung genutzt. Diese wurde für den Zeitraum nach der Pflanzung in Abhängigkeit von der Starthöhe und der Behandlung modelliert. Dabei folgt der Funktionsverlauf der Hossfeld IV-Funktion

$$h = t^c / \left(b + \frac{t^c}{a} \right)$$

(nach PRETZSCH, 2019) wobei a , b und c Regressionsparameter sind und t den Zeitpunkt nach der Pflanzung beschreibt. Gewählt wurde diese Funktion, da sie sich in vorherigen Studien als robust und dennoch flexibel bei der Anpassung nichtlinearer gemischter Modelle zur Modellierung des Jugendwachstums von Bäumen gezeigt hat. Für die Parameter a und c wurden Zufallseffekte auf Parzellenebene modelliert. Darin geschach-

telt, wurden für Parameter c zudem Zufallseffekte auf Baumebene angenommen. Die Variante wurde als erklärende Variable genutzt.

Um den Höhenzuwachs der Bäume zu berechnen, wurde die erste Ableitung der Hossfeld IV-Funktion

$$h' = bct^{c-1} / \left(b + \frac{t^c}{a} \right)^2$$

verwendet. Die Analyse wurde mithilfe des R-Pakets *nlme* (PINHEIRO et al., 2020) durchgeführt.

Um einen Eindruck der Überlebensrate während der ersten acht Jahre zu gewinnen, wurden die Ausfälle in einer kumulativen Verteilungsfunktion berechnet. Diese erlaubt es, eine prozentuale Häufigkeitsverteilung der ausgefallenen Pflanzen in Bezug auf die jeweils im Aufnahmejahr noch lebende Gesamtmenge zu berechnen. Die Interpretation der aufgenommenen Schäden erfolgte über eine klassische Häufigkeitsverteilung. Hierbei wurde lediglich der am häufigsten auftretende Schaden über den gesamten Messzeitraum betrachtet.

Zusätzlich wurde zur Beurteilung der Stabilität der Pflanzen bei der Kulturanlage der h/whd-Wert berechnet, wobei es sich um den Quotienten aus Sprosslänge und Wurzelhalsdurchmesser handelt. Hierbei gilt, wie auch beim klassischen h/d-Verhältnis, je geringer der h/whd-Wert, desto stabiler die Pflanze. Es wird davon ausgegangen, dass ein ausgewogenes h/whd-Verhältnis ebenfalls auf ein gutes Spross-Wurzel-Verhältnis schließen lässt, weshalb der Wert bei der Beurteilung der Pflanzenqualität bei Anlieferung durch die Baumschule herangezogen werden kann (SCHÖNE et al., 2021).

Für die Analyse liegen Wachstumsdaten von insgesamt 10 Aufnahmen aus den Jahren 2002 bis 2019 vor.

2.2 Bewertung der Stammqualität

In den Jahren 2015 und 2019 wurden umfangreiche Qualitätsansprachen durchgeführt. Hierbei wurden insbesondere die Stamm- und Wuchsform auf Grundlage eines festgelegten Bewertungsschemas beurteilt. Die Ansprache und Einordnung der Qualitätsparameter erfolgte in Anlehnung an Studien von MOSANDL et al.

Tab. 2

Kriterien zur Zuordnung der Güteklassen.
Criteria of the quality classes.

relative Qualität	Zwiesel	Steilast	Stammform
gut	nein	nein	gerade - bogig
schlecht	ja	ja	knickig

(1991) und BÖRNER et al. (2003). Die Messkriterien orientierten sich weitgehend an den Vorgaben von AMMER et al. (2004). Es wurde eine Bewertungsmatrix erstellt und die Güteklassen „gut“ und „schlecht“ vergeben (Tabelle 2). Ausschlaggebend für die Zuordnung in die Güteklasse „schlecht“ waren vor allem das Auftreten von Zwieseln, Steilästen und knickigen Stammformen. Weiterhin erfolgte eine ausführliche Ansprache der Astigkeit. Diese wurde während der Datenauswertung allerdings nicht näher berücksichtigt. Es stellte sich heraus, dass auf Grund des geringen Alters eine stärkere Differenzierung hinsichtlich vorhandener Grün-, Trocken- und Totäste keine realitätsnahen Ergebnisse der zu erwartenden Qualitäten zur Folge hatte. Der Fokus lag bei der Auswertung daher ausschließlich auf den Qualitätsparametern, die die Stammform betreffen.

Da die Qualitätsparameter unabhängig von den absoluten Wachstumsparametern betrachtet werden, wurde auf eine Unterscheidung der Normal- und Großpflanzen verzichtet. Um die Abhängigkeit der Qualität von den Bodenbearbeitungsverfahren und dem Pflanzverband zu überprüfen, wurde eine logistische Regressionsanalyse mit gemischten Modellen durchgeführt:

$$p_{ijk} = \frac{e^{\mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_k}}{1 + e^{\mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_k}}$$

Dabei bezeichnet p die Wahrscheinlichkeit einer bestimmten Qualitätsklasse anzugehören, α_i den Regressionsparameter für die Behandlungsvariante i , β_j den Parameter für das Vorkommen von Triebtrocknis j und ε_k den Zufallseffekt in Versuchsblock k . Zudem erfolgte eine klassische Aufstellung der Häufigkeitsverteilung der Qualitätsklassen.

2.3 Messungen zur eindämmenden Wirkung der Bodenbearbeitungsverfahren auf die Konkurrenzvegetation

Die mengenmäßige Bestimmung der Begleitvegetation sollte zeigen, wie schnell eine Wiederbesiedelung durch grasige und krautige Vegetation innerhalb des freigelegten Raums erfolgen kann. Es wird hierbei davon ausgegangen, dass eine langsamere Wiederbesiedelung den Konkurrenzdruck auf die Kulturpflanzen in den ersten Jahren nach der Pflanzung verringert (BARTSCH et al., 2020). In den Jahren 2004 und 2006 erfolgten daher Aufnahmen der Biomasse der Begleitvegetation, um den Fortschritt der Wiederbesiedelung nach der Bodenbearbeitung festzustellen. Aufgenommen wurden lediglich die Parzellen der Normalpflanzen, da Großpflanzen gegenüber verdämmender Konkurrenzvegetation auf Grund ihrer Ausgangshöhe überlegen sein sollten. Als

Zentrum des Proberahmens wurde jeweils eine gepflanzte Buche gewählt, wobei die Plots in den beiden Jahren an unterschiedlichen Bäumen lagen. Pro Block wurden 4 Proben auf einer Fläche von 40 cm x 60 cm genommen. Hierzu wurden die Pflanzen auf der gesamten Probefläche knapp über dem Erdboden abgeschnitten, gewogen und die jeweilige Art bestimmt. Für jede Bodenbearbeitungsvariante lagen entsprechend 16 Proben vor. Diese wurden bei 90 °C für 24 Stunden in einem Trockenschrank getrocknet. Anschließend wurde das Trockengewicht ermittelt. Für den Vergleich der Trockengewichte wurden die Werte der beiden Jahre getrennt voneinander mittels Varianzanalyse (Anova) und anschließend Post-hoc-Test nach Bonferroni auf Unterschiede zwischen den Gruppen untersucht. Zusätzlich wurden die 95 %-Konfidenzintervalle für den Mittelwert der Trockengewichte der jeweiligen Variante berechnet.

2.4 Gegenüberstellung der Ergebnisse

Nach Abschluss der jeweiligen Aufnahmen und entsprechenden Datenauswertungen waren verschiedene Teilergebnisse vorhanden. In Abhängigkeit von der jeweiligen Fragestellung zeigten unterschiedliche Verfahren die besten Ergebnisse. Bei der Bewertung dieser kommt hinzu, dass, je nach Waldbesitzart und persönlichem Interesse der Waldbesitzenden, die Wichtigkeit von bspw. Höhenwachstum, Mortalität und Qualität unterschiedlich bewertet werden kann. Um die Teilergebnisse gegenüberstellend zu vergleichen und zusätzlich eine Gewichtung der einzelnen Untersuchungsparameter durchzuführen, wurde eine Nutzwertanalyse in Form eines analytischen Hierarchieprozesses (AHP) nach SAATY (1980) durchgeführt (ALBERT, 2003). Im Zuge des AHP werden für die jeweilige Begründungsvariante relative Nutzwerte eingeschätzt. Diese orientieren sich an einer vorgegebenen Skala. Im Anschluss erfolgt eine Gewichtung der Kriterien je nach Zielstellung und Risikobereitschaft der Entscheidungsträger:innen. Die so gewichteten Werte je Kriterium werden addiert und ein Gesamtwert je Variante berechnet. Dieser stellt den Nutzwert der jeweiligen Alternative dar. Als Bestverfahren kann darüber das Begründungsverfahren mit der höchsten Summe, also dem höchsten Nutzwert, beurteilt werden.

Da im vorliegenden Versuch für die Beurteilung der Vorteilhaftigkeit der verschiedenen Begründungsvarianten vor allem die Wachstumswerte und die Höhe des finanziellen Aufwandes entscheidend waren, wurden den Kategorien „Wachstum“ und „Kosten“ die höchsten Gewichtungen zugesprochen. Unter der Kategorie „Wachstum“ werden hierbei sowohl die Höhe als auch der Durchmesser nach der zehnten Aufnahme zusammengefasst. Als wichtig, aber nicht entscheidend für die Wahl des Bestverfahrens, wurde die Wiederbesiedlungsfähigkeit nach der Bodenbearbeitung beurteilt. Diese ergibt sich aus der Analyse der Trockengewichte der Konkurrenzvegetation 2 bzw. 4 Jahre nach der entsprechenden Bearbeitung. Dem entgegen wurden Qualität und Triebtrocknis (hier als Ausdruck des am häufigsten verzeichneten Schadens über die gesamte Messdauer) als nachrangig eingeschätzt (Tabelle 3).

Tab. 3

**Normierte Gewichte der untersuchten Kriterien
getrennt nach Normal- und Großpflanzen.
Höhere Gewichte entsprechen einer
höheren Priorität im Entscheidungsprozess.**
**Normalized weights of the examined criteria
for normal and large plants. Higher weights correspond
to a higher priority during the decision-making process.**

Kriterien	Normalpflanzen	Großpflanzen
	Gewicht	Gewicht
Wachstum	0,43	0,40
Triebtrocknis	0,08	0,21
Wiederbesiedelung	0,14	
Qualität	0,04	0,10
Kosten	0,30	0,29

3. ERGEBNISSE

3.1 Mortalität und Qualität während der Anwuchsphase

Die Ausfälle über den gesamten Messzeitraum waren sehr gering. Während der Anwuchsphase lagen die Ausfallraten bei den Parzellen der Großpflanzen und der Normalpflanzen mit Bodenbearbeitung bei insgesamt 1 bis 2%. Über den Aufnahmezeitraum von 8 Jahren blieb die Mortalitätsrate bei allen Behandlungsvarianten konstant niedrig. Im Gegensatz dazu wurden die meisten Ausfälle innerhalb der Anwuchsphase von 3 Jahren mit 6% in den unbearbeiteten Parzellen dokumentiert. Insgesamt fielen hier nach 7 Standjahren 8% aller Pflanzen aus (Abb. 1).

Der am häufigsten verzeichnete Schaden über den gesamten Beobachtungszeitraum war „Triebtrocknis“. Von den Normalpflanzen wiesen bei der Erstaufnahme im März 2002, unmittelbar nach der Pflanzung, 10–18% der Pflanzen Trockenschäden auf (Abb. 2).

Der höchste Schadanteil wurde in den Parzellen der Bodenbearbeitungsvarianten beobachtet. Bei den Großpflanzen wurden während der Erstaufnahme Trockenschäden an 33 bis 48% aller Pflanzen verzeichnet. Zwei Vegetationsperioden nach der Pflanzung wurden bei diesem Sortiment lediglich an rund 7% der Pflanzen Trockenschäden festgestellt. Nach dem dritten Standjahr nahmen die Trockenschäden bei beiden Sortimenten deutlich ab und pendelten sich auf einem sehr geringen Niveau ein.

3.2 Begleitvegetation

Nach 2 bzw. 4 Jahren waren Pfeifengras (*Molinia spec. SCHRANK*) und Himbeere (*Rubus idaeus L.*) die maßgeblichen Arten in der Begleitvegetation, wobei Pfeifengras, abgesehen von den Flächen der „Lochbohrer“-Variante, stets die vorherrschende Art war. Während der ersten Aufnahme der Konkurrenzvegetation (September 2004) wurden deutliche Unterschiede bei der vorhandenen Biomasse zwischen den beiden plätzweisen (Hochleger und Lochbohrer) und dem streifenweisen Bodenbearbeitungsverfahren des Pflugs sichtbar (Abb. 3). Die Variante „Streifenpflug“ unterschied sich mit dem geringsten Trockengewicht von 307 g/m² signifikant von der Variante „Ohne Bodenbearbeitung“ und der „Lochbohrer“-Variante. Weitere zwei Jahre später (Juli 2006) waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten mehr ersichtlich.

3.3 Höhenwachstum

Die Ergebnisse der Höhenmodellierung zeigen einen signifikanten Einfluss (p-Wert <0,05) der Behandlung auf alle Regressionsparameter sowie der Starthöhe auf den Parameter *c*. Allerdings zeigt sich, dass der Einfluss der verschiedenen Behandlungsvarianten nicht zu praxisrelevanten Unterschieden führt (Abb. 4).

So zeigen insbesondere die modellierten Höhenwerte der Großpflanzen ein ähnliches Bild. Das Verfahren

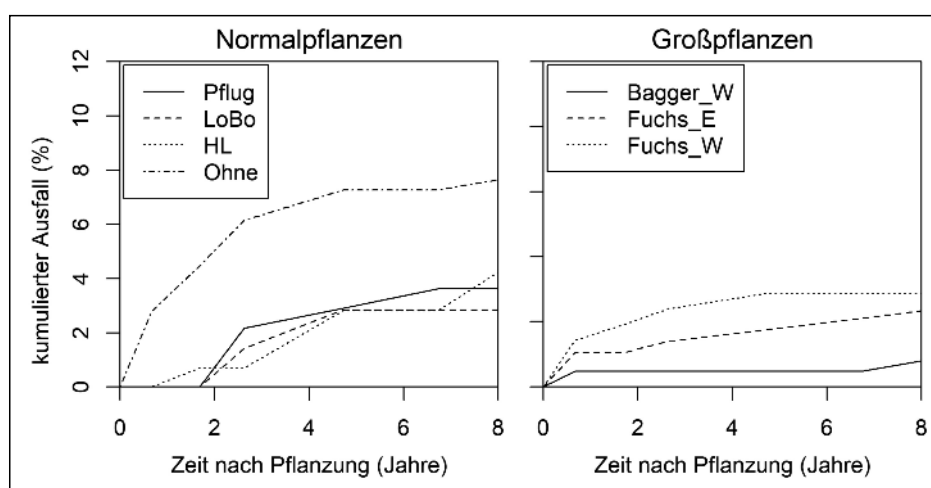


Abb. 1

Kumulierte Häufigkeiten der Ausfälle während der ersten 8 Jahre nach Pflanzung, getrennt nach Sortimenten und Bodenbearbeitungsverfahren.

Cumulative death rate during the first eight years after planting, as a function of assortment and soil treatment.

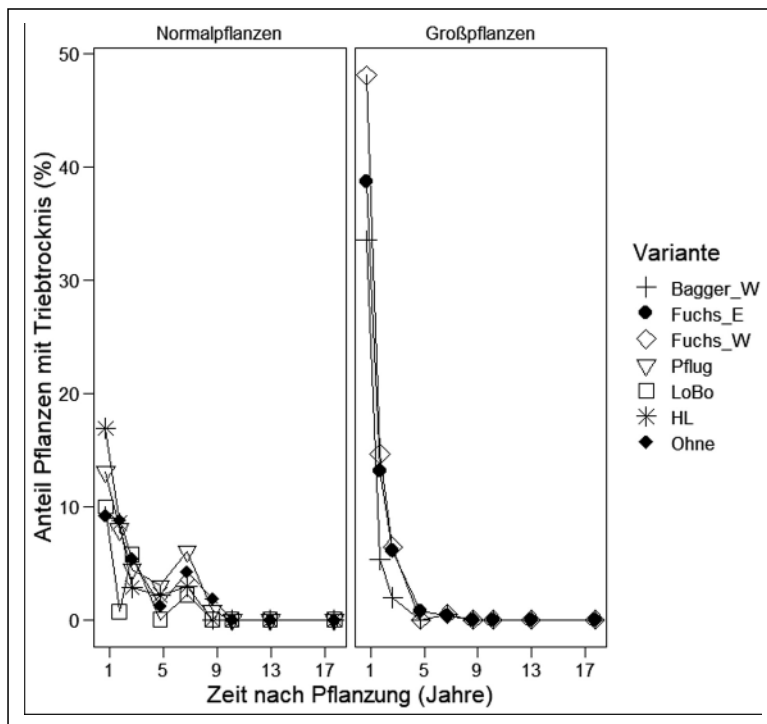


Abb. 2

Prozentuale Häufigkeit der Trockenschäden über die gesamte Versuchsdauer, getrennt nach Bodenbearbeitungsverfahren.

Relative frequency distribution of drought damage over the entire experimental period, separated by soil treatment.

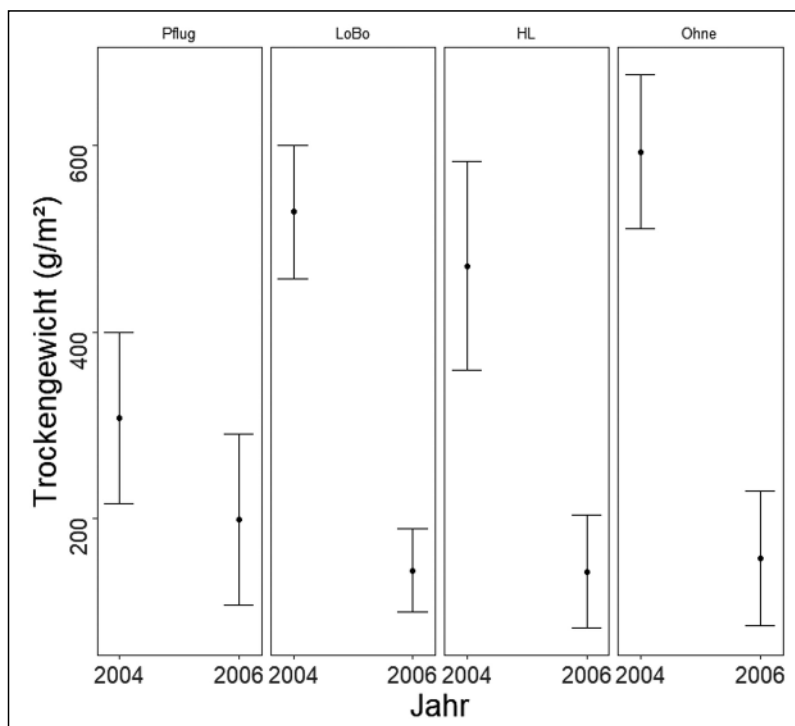


Abb. 3

Biomasse-Trockengewichte (g/m^2) der Konkurrenzvegetation in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungsverfahren, getrennt nach Jahren.

Punkte kennzeichnen Mittelwerte, Whisker 95%-Konfidenzintervalle.

Dry weights (g/m^2) of biomass of competitive vegetation, separated by soil treatment and years. Points indicate mean values, whiskers 95% confidence intervals.

„Pflanzfuchs im engen Verband“ schneidet tendenziell schlechter ab. Von einem signifikant schlechteren oder gehemmten Wachstum kann dennoch nicht die Rede sein. Ausschlaggebend ist hingegen die Starthöhe. Durch diese wird die Höhenentwicklung über den gesamten Beobachtungszeitraum in merklichem Ausmaß beeinflusst.

3.4 Qualität

Basierend auf den festgelegten Qualitätskriterien, ist mit durchschnittlich über 70% ein hoher Anteil qualitativ schlechter Bäumen vorhanden (Tab. 4). Dabei weisen die Verfahren „Pflanzfuchs im weiten Verband“ und „Lochbohrer“ die höchsten Anteile schlechter Bäume auf. Prozentual am meisten als qualitativ gut bewertete

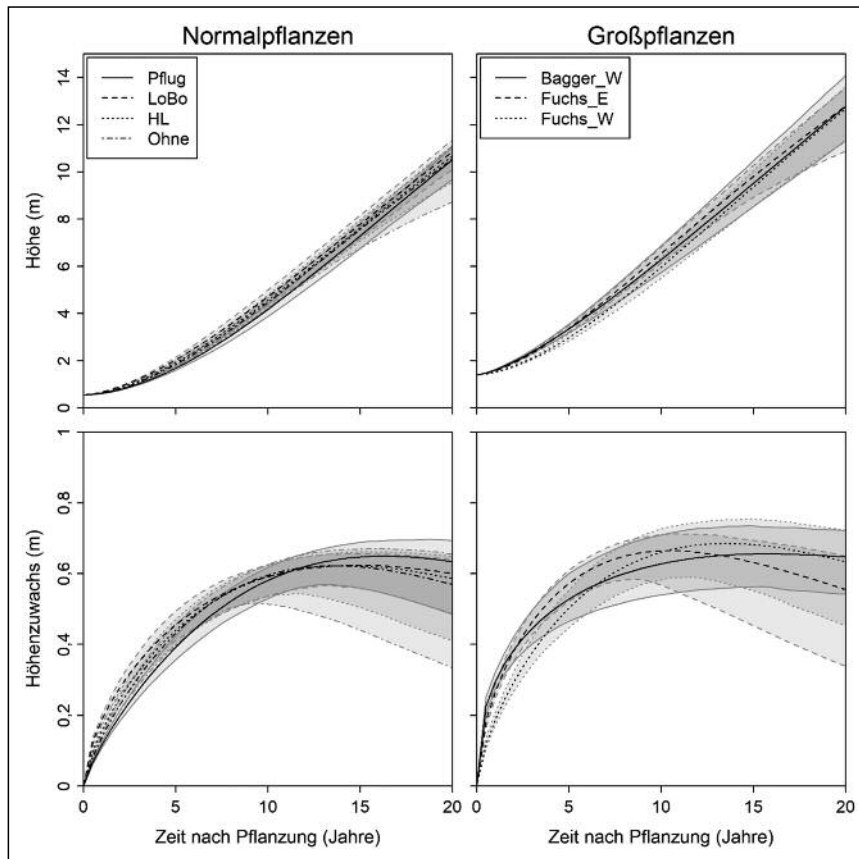


Abb. 4

Modellierte Höhenentwicklung im Zeitraum nach der Pflanzung in Abhängigkeit von Behandlung und Starthöhe. Die schwarzen Linien zeigen die Entwicklung bei Starthöhen, die den Mittelwerten des Sortiments entsprechen (0,55 m bzw. 1,40 m).

Die grau schraffierten Bereiche zeigen 95%-Konfidenzintervalle, die in einem Bootstrap-Verfahren mit 1.000 Wiederholungen berechnet wurden.

Modeled height development during the period from planting to the last measurement as a function of starting height and soil treatment. Black lines show the development at starting heights corresponding to the mean values for plant assortments (0.55 m resp. 1.40 m). Shaded areas indicate 95%-confidence intervals, calculated through bootstrapping with 1,000 replications.

Tab. 4

Prozentuale Verteilung der Güteklassen in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitungsvariante bzw. vom Pflanzverfahren.
Relative distribution of quality classes, depending on soil treatment and planting method.

Güteklasse	Pflug	LoBo	HL	Ohne	Bagger_W	Fuchs_E	Fuchs_W
gut	37	26	39	39	34	28	24
schlecht	63	74	61	61	66	72	76

Tab. 5

Aufstellung der Verfahrenskosten auf Grundlage der Daten aus dem Pflanzjahr 2002.
Treatment costs based on data from year 2002.

	Verfahren	Pflanzen-	Preis/	Kosten der	Kosten der	Zaun-	Gesamt-
		zahl/ ha	Pflanze	Boden-	Pflanzung	kosten	kosten/ ha
		Verband [m]	€/Stk	€/Pflanzplatz	€/Stk	€/ha	
Normalpflanzen	Pflug	5000 (2x1)	0,30	0,04	0,34	2.800	6.200
	LoBo	5000 (2x1)	0,30	1,00	0,34	2.800	11.000
	HL	5000 (2x1)	0,30	0,03	0,34	2.800	6.150
	Ohne	5000 (2x1)	0,30	-	0,34	2.800	6.000
Großpflanzen	Bagger_W	2500 (2x2)	1,28	-	0,60		4.700
	Fuchs_E	4166 (2x1,2)	1,28	-	0,72		7.132
	Fuchs_W	2500 (2x2)	1,28	-	0,72		5.000

Bäume werden in den Varianten „Hochleger“ und „Ohne Bearbeitung“ beobachtet. Im Zuge der logistischen Regressionsanalyse konnte keine Abhängigkeit der Güteklassen von Verbandweiten, Bodenbearbeitungsverfahren oder der aufgetretenen Trockenschäden in den ersten Standjahren nachgewiesen werden.

3.5 Kosten

Durch die hohe Flächenleistung und die entsprechend geringen Kosten je Pflanzplatz verzeichnen die Verfah-

ren „Hochleger“ und „Streifenpflug“ die geringsten Bodenbearbeitungskosten (Tab. 5). Diese liegen pro Hektar nur 150-200 € über der Variante „Ohne Bearbeitung“.

Mit, im Vergleich zu den anderen drei Bodenbearbeitungsverfahren, nahezu doppelten Begründungskosten ist die Verwendung des Lochbohrers inkl. Kalkbeigabe das teuerste, weil aufwändigste Verfahren. Die Pflanzung der Großpflanzen mit dem Pflanzfuchs ist 20% teurer als mit dem Bagger. Da die Pflanzungskosten

Tab. 6

Ergebnisse der Wachstumsdaten nach Abschluss der zehnten Aufnahme 2019 sowie der weiteren analysierten Parameter. Dargestellt sind die Mittelwerte der jeweiligen Parameter, deren Standardabweichung (\pm) und der Stichprobenumfang (n). Der Parameter h/d bezeichnet hierbei das Verhältnis von der Höhe des Baumes zum Durchmesser.

Fett gedruckte Werte kennzeichnen jeweils den besten Wert der Analyseeinheit.

Growth values and further observed parameters after the 10th recording in 2019.

Shown are the mean values of the respective parameters, their standard deviation (\pm) and the sample size (n). The parameter „h/d“ identifies the relationship between height and diameter of a tree. Bold values indicate the best value of the unit of analysis.

Aufnahme	Höhe	BHD	h/d	Triebtrocknis (Standjahr 1-3)	Qualitäts- klasse "gut"	System- kosten	
							Nr. 10
Normal- pflanzen	Pflug (n=46)	8,48 \pm 1,3	5,3 \pm 1,5	63	22	37	6.200
	LoBo (n=52)	9,19 \pm 1,2	6,1 \pm 1,5	66	14	26	11.000
	HL (n=35)	9,09 \pm 1,0	5,8 \pm 1,8	64	25	39	6.150
	Ohne (n=47)	8,56 \pm 1,6	5,3 \pm 1,7	62	22	39	6.000
Groß- pflanzen	Bagger_W (n=16)	11,18 \pm 1,3	7,6 \pm 1,7	68	47	34	4.700
	Fuchs_E (n=21)	10,91 \pm 1,1	7,3 \pm 1,6	67	52	28	7.132
	Fuchs_W (n=15)	10,7 \pm 1,5	7,6 \pm 2,3	71	57	24	5.000

Tab. 7

**Gewichtete Nutzwerte für die untersuchten Kriterien.
Fett markierte Zahlen kennzeichnen die jeweils besten Summenwerte
und damit das Bestverfahren mit dem höchsten Nutzwert.**

**Weighted values of benefit for the examined criteria.
Bold numbers indicate the highest sum values in each case
and thus the method with the highest value of benefit.**

	Wachstum	Triebtrocknis	Qualität	Kosten	Wiederbesiedelung	Summe
Pflug	0,265	0,289	0,622	0,200	0,262	0,314
LoBo	0,438	0,455	0,125	0,082	0,062	0,265
HL	0,188	0,175	0,172	0,359	0,308	0,229
Ohne	0,110	0,081	0,082	0,359	0,368	0,193
Gewichte	0,432	0,077	0,144	0,044	0,303	
Bagger_W	0,544	0,490	0,537	0,429		0,498
Fuchs_E	0,110	0,198	0,268	0,143		0,154
Fuchs_W	0,346	0,312	0,195	0,429		0,348
Gewichte	0,399	0,209	0,102	0,291		

aber deutlich geringer sind als die Kosten der Pflanzen selbst, sind die Gesamtkosten vor allem von Letzteren abhängig.

3.6 Gegenüberstellung der Ergebnisse mithilfe des AHP

Je nach beobachtetem Parameter wiesen, nach Abschluss der zehnten Aufnahme im Herbst 2019, unterschiedliche Begründungsverfahren die jeweils besten Werte auf (Tab. 6).

Bei den Großpflanzen wurden bei allen Parametern nur geringfügige Unterschiede beobachtet. Allerdings zeigt das „Pflanzfuchs“-Verfahren im engen Verband tendenziell schlechtere Werte als die beiden Verfahren des weiteren Verbandes. Hinzu kommen die höheren Kosten für dieses Verfahren. Bei der Betrachtung der Qualität fällt auf, dass die „Bagger“-Variante mit Abstand die höchsten Anteile guter Stammqualitäten aufweist und entsprechend die höchsten Nutzwerte erhält. Generell erreichte das „Bagger“-Verfahren jeweils die höchsten Nutzwerte je Kriterium (Tab. 7). Dementsprechend wird für dieses Verfahren auch der höchste Gesamtwert erzielt. Das Pflanzfuchsverfahren im weiten Verband erhält den niedrigsten Gesamtwert und zeigt, abgesehen von den Qualitätsparametern, in allen Kategorien die niedrigsten Nutzwerte.

Bei den Normalpflanzen erreicht die Variante „Ohne Bodenbearbeitung“ den geringsten Gesamtwert. Die vergleichsweise hohen Ausfallraten und Trocknissschäden in den ersten Jahren nach der Pflanzung, geringere Zuwächse bei Höhe und Durchmesser sowie die tendenziell schlechtere Qualität spiegeln sich in den sehr geringen Nutzwerten wider. Das Verfahren „Lochbohrer“ zeigt die besten Wachstumswerte, ist allerdings auf Grund der Kalkzugabe mit den höchsten Begründungskosten verbunden. Die höchste Gesamtpunktzahl erhält das Verfahren „Streifenpflug“. Obwohl dieses bei den einzelnen Kriterien „Wachstum“ und „Triebtrocknis“ keine führenden Werte erreichen konnte, sind die verzögerte Wiederbesiedlung mit Begleitvegetation sowie die gerin-

gen Begründungskosten im Vergleich zum „Lochbohrer“-Verfahren ausschlaggebend für eine führende Position in der Gesamtbilanz.

4. DISKUSSION

4.1 Sortimentwahl und Bodenbearbeitung als Alternative bei vorhandener Konkurrenzvegetation

Wie die vorliegende Untersuchung verdeutlicht, hängt die Wahl eines Bestandesbegründungsverfahrens von der Zielsetzung, der Risikobereitschaft und der Finanzkraft der waldbaulichen Entscheidungsträger:innen und nicht zuletzt von den zur Verfügung stehenden Arbeitsverfahren und -kapazitäten ab.

Wird vor Ort die Konkurrenz als gering eingeschätzt, kann auf eine Bodenbearbeitung zur Etablierung von kleineren Pflanzensortimenten verzichtet werden. Obgleich die Parzellen ohne Bodenbearbeitung im Vergleich die höchsten Ausfallraten aufwiesen, waren diese mit einem maximalen Wert von insgesamt 8% bis zum Alter von 9 bzw. 11 Jahren sehr gering. In Anlehnung an die Förderrichtlinie des Landes Niedersachsen ist eine Nachbesserung bei derart geringen Ausfallquoten nicht förderfähig und würde in der Regel unterbleiben (NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 2020). Sollte, unabhängig von der Förderfähigkeit, die Entscheidung doch zugunsten der Nachbesserung getroffen werden, lägen die entstehenden Kosten immer noch im Bereich der Kosten für eine flächige Bodenbearbeitung.

Bei Flächen, auf denen mit erhöhtem Konkurrenzdruck gerechnet werden muss, ist dagegen eine Bodenbearbeitung dringend zu empfehlen. Mit einer Biomasse von umgerechnet ca. 3 t/ha der Arten *Molina spec. L.* und *Rubus idaeus L.*, kann die Konkurrenzsituation auf der Versuchsfläche als mäßig eingeschätzt werden (BARTSCH et al., 2020). Der Rückgang der Biomasse der Begleitvegetation nach 4 Jahren Standzeit des Buchen-voranbaus könnte mit dem zunehmenden Höhenwachs-

tum desselben in Verbindung gebracht werden. Die in fast allen Bereichen tendenziell schlechteren Ergebnisse in den Parzellen „Ohne Bodenbearbeitung“ lassen zudem einen negativen Einfluss der Konkurrenzflora auf die Buchenpflanzen vermuten (SCHMIDT-VOGT und GÜRTH, 1977; VON LÜPKE, 1987). Auch BERGERS et al. (2006) beobachteten die geringsten Ausfälle und den besten Anwuchserfolg bei Buchenvoranbauten in Flächen mit vorheriger Bodenbearbeitung. Zudem wurden bereits in vorangegangenen Arbeiten Hinweise auf den wachstumshemmenden Einfluss von Begleitbaumarten aus Naturverjüngung auf die Zielbestockung dokumentiert (PETERSEN und WAGNER, 1999; KAETZEL et al., 2005; RUMPF und PETERSEN, 2008). Ein deutlich regulierender Einfluss auf die Begleitvegetation war bei dem Verfahren „Streifenpflug“ zu beobachten. Es kann angenommen werden, dass Verfahren mit einer größeren Eingriffsfläche bei hohem Konkurrenzdruck wirkungsvoller sind. Eine ähnliche Beobachtung bei Buchen-Voranbauten unter Kiefernschirm machte FLEDER (1991), der für ein streifenweises Scheibenpflugverfahren einen Abstand von 2 m empfahl. Neben dem positiven Einfluss auf die Begleitvegetation haben Bodenbearbeitungen den Vorteil die oberen Bodenschichten zu lockern und zu mischen, was wiederum die biologische Aktivität fördern kann. Unterschiede im Mikrorelief der Fläche können dadurch verringert werden (KAETZEL, 2005). Die Umsetzung einer solchen Bodenbearbeitung ist je nach Zertifizierungssystem genau zu prüfen. Laut aktuellen FSC-Richtlinien bspw. wäre eine „erforderliche Freilegung des Mineralbodens zur Unterstützung der angestrebten Verjüngung [...] streifen- oder plätzweise“ möglich (FSC, 2018). Da jedoch die Befahrung ausschließlich auf die Gassen beschränkt wird, müssten, für eine flächige Bearbeitung, Verfahren mit Pferd oder aber die Wahl anderer Pflanzensortimente und damit eine Vermeidung der Bodenbearbeitung in Betracht gezogen werden.

4.2 Einsatzmöglichkeiten und damit verbundene Vorteile von Großpflanzen

Bei vorhandener Konkurrenzvegetation kann außerdem die Wahl von Großpflanzen eine Alternative zu kleineren Sortimenten darstellen (SCHMIDT-VOGT und GÜRTH, 1977; BARTSCH et al., 2020). Aufgrund ihrer Ausgangsgröße können in der Regel Wildschutzmaßnahmen bei der Kulturanlage unterbleiben. Obschon die absoluten Pflanzen- und Verfahrenskosten meist höher sind als bei der Nutzung von Normalpflanzen, zeigt die Gegenüberstellung der Verfahren, dass die Einsparpotenziale von Zaun oder Einzelschutz erheblich sind. Dem gegenüber stehen, trotz der guten Qualität der Versuchspflanzen bei der Anlieferung, starke Trockenschäden innerhalb der ersten Jahre. Gerade bei Großpflanzen ist dieses Symptom des Pflanzschocks stark ausgeprägt und wurde mehrfach beobachtet (VON LÜPKE, 1973; SCHMIDT-VOGT und GÜRTH, 1977; SOUTH und ZWOLINSKI, 1996). Im Gegensatz zu vorausgegangenen Studien wurden neben den Trockenschäden keine verminderten Anwuchsraten dokumentiert (HILBRIG, 1999). Die Ursache für die Triebtroknis könnte in dem grundsätzlich ungünstigeren Wurzel/Spross-Verhältnis der Großpflanzen im Gegensatz zu Normalpflanzen, sowie der Nährstoff- und

Wurzelkonkurrenz des Altbestandes begründet sein (VON LÜPKE, 1973; HAASE und ROSE, 1993; HILBRIG, 1999; PAMPE, 2001; BERGERS et al., 2006). Zudem können der Verlust von Feinwurzeln, ein schlechter Wurzel-Boden-Kontakt und die geringe Wasseraufnahmefähigkeit der verholzten Wurzeln ein Zurücktroknern der Sprossachse begünstigen (SOUTH und ZWOLINSKI, 1996; GROSSNICKLE, 2005). Da kleine Pflanzen auf Grund der geringeren Wurzelmasse bei der Werbung im Verhältnis weniger Wurzeln verlieren als Große, sind Frischeverluste während der Werbung und des Transports unbedingt zu vermeiden (SCHMIDT-VOGT und GÜRTH, 1977). ROTHKEGEL et al. (2013) schlagen darum vor, ganze Beete ohne Größen-sortierung zu kaufen. Dies ist natürlich nur möglich, wenn ein enger Kontakt zur Baumschule und ein entsprechend gutes Vertrauensverhältnis bestehen. Von Vorteil könnte dieser Kontakt auch bei der Frage der Akklimatisierung der Baumschulpflanzen an die Umweltbedingungen im Bestand sein. GOISSER (2014) wies darauf hin, dass der hohe Lichtgenuss der Pflanzen in der Baumschule einen „verstärkten Produktivitätsverlust bei gleichzeitiger Wasser- und Lichtlimitierung nach der Anzucht“ zur Folge hat. Der beobachtete Trockenstress könnte also bereits in der Baumschule durch eine entsprechende Akklimatisierung abgemildert werden. Des Weiteren muss bei allen Sortimenten auf die Kontrolle sämtlicher Qualitätsparameter (Zustand der Knospen, Verformung des Sprosses oder der Wurzel, Verhältnis von Höhe/WHd) gesteigerter Wert gelegt werden (EZG, 2010; ROTHKEGEL et al., 2013). Mit einem Wurzel/Spross-Verhältnis von 1:1,2 und einem leicht überhöhten h/whd-Wert von 95 wiesen die untersuchten Normalpflanzen im Sortiment 50/80 vor der Pflanzung im Jahr 2002 eine gute Qualität auf (VDF, 2011; HOHENSEE et al., 2005). Auch die Großpflanzen konnten mit einem h/whd-Wert von 70 und einem Wurzel/Spross-Verhältnis von 1:1 als qualitativ sehr gut eingestuft werden (EZG, 2010). Trotz der starken Triebtroknis an den Großpflanzen innerhalb der ersten 3 Jahre konnten in den Folgejahren weder Wuchshemmungen noch qualitative Beeinträchtigung nachgewiesen werden. Ist das hohe Risiko der Anwuchsphase überwunden, bleibt der Wuchsvorsprung über die Dauer der Jugendphase bestehen.

Bei den Großpflanzen konnten zwischen den Pflanzverfahren und Verbandweiten keine Unterschiede im Hinblick auf die Wachstumsparameter festgestellt werden. Anders verhält es sich bei den Normalpflanzen. Über den gesamten Messzeitraum verzeichnete das Verfahren „Lochbohrer“ die besten Werte. Diese Beobachtung deckt sich mit Untersuchungen, wonach die besten Wachstumswerte ebenfalls bei Verfahren mit Kalkzugabe erreicht wurden (HILBRIG, 1999; BERGERS et al., 2006).

4.3 Standörtliche und waldbauliche Gegebenheiten

Um eine einheitliche Beleuchtungssituation für alle Varianten zu schaffen, wurde der Bestockungsgrad vor der Pflanzung auf 0,7 abgesenkt. Aus anderen Veröffentlichungen ist die sinkende Apikaldominanz der Buche

bei zunehmendem Licht bekannt (LINNERT, 2009), was die Entscheidung zur Wahl des initialen Bestockungsgrades bestätigt (RUMPF und PETERSEN, 2008; LINNERT, 2009). PAMPE (2000) und LINNERT (2009) stellten fest, dass durch eine weitere Steigerung des Lichtes kein Leistungsanstieg zu erwarten ist. Ein optimales Buchenwachstum ist folglich unter moderatem oder intensivem Schirm zu erwarten (WEIHS und KLAENE, 2000; BLASCHKEWITZ, 2018). Dem entgegen stellen WEIDIG und WAGNER (2021) fest, dass das Höhenwachstum vor allem von der Bestandesdichte, nicht aber von der Beschattung beeinflusst wird. In der vorliegenden Studie konnte dies nicht beobachtet werden. Die Ergebnisse zeigen, dass bei einem einheitlichen Schirm das Höhenwachstum vor allem durch das Sortiment, nicht aber durch den Standraum beeinflusst wird. Doch auch hier spielen die relativ geringen Pflanzzahlen je Hektar wieder eine nicht unbedeutende Rolle. Studien mit einem hohen Anteil sehr guter Individuen und starkem Höhenwachstum wurden zumeist auch mit einer höheren Stammzahl begründet (LEONHARDT und WAGNER, 2006; WEIDIG, 2016).

Die frühe Einbringung der Buche unter den Kieferschirm wird in erster Linie durch die schlechte Qualität des Oberstandes gerechtfertigt. Des Weiteren kann durch eine entsprechend frühe Maßnahme der Endnutzungszeitraum der Kiefer gestreckt werden. BLASCHKEWITZ (2018) gibt Hinweise darauf, dass für qualitativ gute Voranbauten längere Standzeiten des Oberstandes eingeplant werden müssen. Hierbei bezieht sich die Autorin auf Überschirmungszeiträume von über 20 Jahren. Bei dem betrachteten Bestand würde dies die Möglichkeit einer, auf lange Zeiträume gestreckten Auflichtung des Oberstandes zur Folge haben. Hierdurch wäre die Möglichkeit gegeben, die Kiefer in mehreren Durchgängen zu entnehmen und der Buche somit Zeit zu geben, sich an die geänderten Lichtverhältnisse anzupassen (WEIDIG, 2016).

4.4 Qualitative Einschätzung von Buchen-Voranbauten

Für die Beurteilung der Qualität wurde ausschließlich die Stammform bewertet. Dies erschien zweckmäßig, da erwartet werden kann, dass sich fehlerhafte Stammformen wie bspw. Tiefzwiesel nicht mehr verwachsen. Obgleich bereits temporäre Zwiesel beschrieben wurden, die nach einigen Jahren nicht mehr als solche angesprochen werden konnten (DRÉNOU, 2000; DONG et al., 2007), kann in dem untersuchten Bestand nicht von einer derartigen Entwicklung ausgegangen werden. Die vorgefundenen Zwiesel sind nahezu ausschließlich Tiefzwiesel und beginnen innerhalb der ersten drei Meter des Stammes. Mit einem aktuellen Alter von 18 Jahren und einer Oberhöhe von 9 m befindet sich die Buche am Beginn der Gerten- und Stangenholzphase (BÖCKMANN et al., 2016). Bei entsprechendem hohem Seitendruck und einem hohen Schirmdruck kann in diesem Alter bereits von einer qualitativen Differenzierung ausgegangen werden (LEONHARDT und WAGNER, 2006). Hierbei muss allerdings darauf geachtet werden, dass die Konkurrenz in Form des Seitendrucks nicht zu hoch wird, da ins-

besondere unter Schirm dadurch die Wahrscheinlichkeit einer Zwieselbildung steigen kann (BLASCHKEWITZ, 2018). In der Regel gilt diese Phase bei einem Erreichen von astfreien Schaftlängen zwischen 7 und 9 m als abgeschlossen. Die Oberhöhe von ca. 9 m nach der letzten Aufnahme lässt erkennen, dass der beobachtete Bestand am Anfang dieser Selbstdifferenzierung steht. In der Studie von RUMPF und PETERSEN (2008) wurde die Astreinigung bei 16-jähriger Buche ebenfalls als nicht abgeschlossen beurteilt. Letztlich scheint es im Hinblick auf die Astigkeit noch zu früh, um mit Hilfe der ausgewählten Parameter eine umfangreiche qualitative Einschätzung vornehmen zu können. Realistische Qualitätsansprüche werden frühestens mit Einwachsen des Bestandes in die Baumholzphase und dem damit verbundenen Abschluss der Qualifizierungsphase möglich sein (VON LÜPKE, 1986, KLÄDTKE, 2002; NAGEL und SPELLMANN, 2008). Auch MATTHES (1998) geht davon aus, dass eine qualitative Entwicklung junger Buchen kaum vorhergesagt werden kann. Die Qualitätserfassung ist ihm zufolge vielmehr ein Hinweis auf das qualitative Potential des Voranbaus. Unter diesem Aspekt können die Tendenzen der verschiedenen Begründungsverfahren gegenübergestellt werden.

Der Ansatz, dass engere Verbände und entsprechend höhere Pflanzzahlen zu einer Steigerung der Qualität führen, kann noch nicht belegt werden (KRAHL-URBAN, 1963; MUHLE und KAPPICH, 1979; LEDER und WEIHS, 2000; OLESKOG und LÖF, 2005; OTT und VON LÜPKE, 2006; WEIDIG und WAGNER, 2021). Für die Buche wird davon ausgegangen, dass gute Qualitäten bei gleichzeitig vitalem Wachstum bei Pflanzzahlen von > 5.000 N/ha erzielt werden können (KLEIN, 1983; LEDER und WEIHS, 2000; OTT und VON LÜPKE, 2006; WEIDIG et al., 2015). Dem gegenüber bewegen sich die verwendeten Pflanzzahlen auf einem eher niedrigen Niveau. Gerade die Pflanzzahlen der Großpflanzen liegen deutlich unter den empfohlenen Werten (Kohnle et al., 2006). Diese geringe Stammzahl ist jedoch ausschlaggebend für die geringen Begründungskosten. Für die Waldbesitzenden stellt sich hier also die Frage der Risikobereitschaft. Die Nutzung von Großpflanzen bringt finanzielle Einsparmöglichkeiten und gute Wachstumswerte. Gleichzeitig steigt die Wahrscheinlichkeit schlechterer Qualitäten bei der Verringerung der Pflanzzahlen je Hektar (RICHTER und LEDER, 1990; PAMPE, 2001). Stammzahlreiche Kulturen sind zwar teurer, bieten bei der Verwendung von Normalpflanzen in Kombination mit einer vorangegangenen Bodenbearbeitung dafür auch weniger Trockenschäden bei ebenfalls gutem Wachstum.

Alternativ machen moderne Arbeitsverfahren zur Pflanzung von Großpflanzen engere Pflanzverbände je Hektar kostengünstiger. Die Baggergabelpflanzung bspw., geeignet für Sortimente bis 120 cm Höhe, ermöglicht eine Leistungssteigerung und damit eine Kostenreduktion (GUBA, 2020). Gleichzeitig werden durch baggergestützte Pflanzverfahren Wurzeldeformationen minimiert, da es bei fachgerechter Ausführung nicht mehr zu Verdrehungen oder Stauchungen kommen kann. Auch die Qualität der eigens für die Baggerpflanzung angezogenen Großpflanzen hat sich in den vergangenen Jahren deutlich verbessert.

5. FAZIT

Die Ergebnisse nach 18 Jahren Standzeit sind nicht eindeutig. Dennoch lässt sich für die Verwendung von Buchen-Großpflanzen im Voranbau Folgendes festhalten: Trotz immenser Trockenschäden innerhalb der ersten Jahre, bleibt der Höhenvorsprung der Großpflanzen über den gesamten Versuchszeitraum erhalten und die Kosten je Hektar lassen sich über moderne Arbeitsverfahren deutlich reduzieren. Qualitätsunterschiede können zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht klar identifiziert werden. Im Vergleich zeigte das Baggerverfahren die besten Wachstums- und Qualitätswerte. Insgesamt sind die Kosten für die Kulturbegründung mit Groß- oder Normalpflanzen vergleichbar. Wichtig bei der Verwendung von Großpflanzen ist generell eine hohe Pflanzen- und Pflanzungsqualität. **Sinnvoll ist eine Nutzung von großen Sortimenten immer dann, wenn geringe Flächengrößen den Zaunbau nicht rechtfertigen und/oder hochwüchsige Begleitflora vorhanden ist.**

Im Zuge des Klimawandels und etwaiger, länger anhaltender Trockenperioden im Frühjahr wird der Anwuchserfolg bei der Anlage forstlicher Kulturen an Bedeutung zunehmen. Durch hohe Anwuchsraten können teure Nachbesserungen in den Folgejahren vermieden werden. **Bei der Verwendung von Normalpflanzen sollte daher, bei konkurrierender Begleitvegetation, immer eine Bodenbearbeitung stattfinden.** Das Verfahren „Lochbohrer“ zeigt zwar die besten Wachstumswerte, ist aber teurer und bringt keine wesentlichen Qualitätsverbesserungen. Auch der Wachstumsvorsprung ist mit durchschnittlich 10 cm auf einer Gesamthöhe von ca. 9 m gegenüber dem nächst schlechteren Verfahren forstlich nicht relevant. Eine grundsätzliche Überlegenheit gegenüber den anderen Verfahren ist demnach nicht festzustellen. Die Verfahren „Hochleger“ und „Streifenpflug“ hingegen können als Standardverfahren eingesetzt werden, sofern eine flächige Befahrung erlaubt und erwünscht ist.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Zukünftig werden in Norddeutschland vermehrt Kiefernreinbestände zur Verjüngung anstehen. Ziel wird dabei auch der Umbau dieser reinen Nadelholzbestände in Laub- und Mischbestände sein. Um dieses möglichst kostensparend und effizient umzusetzen, stehen den Forstbetrieben bspw. verschiedene Sortimente, Pflanzverbände und -verfahren sowie unterschiedliche Bodenbearbeitungsverfahren zur Auswahl. Im Niedersächsischen Forstamt Rotenburg wurde im Jahr 2002 ein Blockversuch angelegt, in dem 2-4 jährige Buchen unter einen 54-jährigen Kieferschirm gepflanzt wurden. Verglichen werden in diesem Versuch Sortimente (Normal- und Großpflanzen), Pflanzverfahren (Hohlspaten, Pflanzfuchs, Bagger), Bodenbearbeitungsverfahren (Streifenpflug, Bräcke-Hochleger, Lochbohrer, ohne) sowie Pflanzverbände (2 x 1 m, 2 x 1,2 m, 2 x 2 m). Im Zuge mehrerer Datenaufnahmen wurden Wachstums- und Qualitätsparameter aufgenommen und ausgewertet. Zusätzlich erfolgte eine Kostenaufstellung und eine Mortalitäts- bzw. Schadensberechnung. Für die Normal-

pflanzen konnte festgestellt werden, dass eine Bodenbearbeitung den Konkurrenzdruck durch die Begleitvegetation verringert. Hierbei sollten die streifenweisen Verfahren den plätzweisen vorgezogen werden. Für die Großpflanzen kann die Baggerpflanzung empfohlen werden, da sie sich positiv auf Wachstum und Qualität auswirkt und zudem mit vergleichsweise geringen Kosten verbunden ist. Sollten Zertifizierungsrichtlinien dem nicht entgegenstehen, so kann dieses als Bestverfahren für große Sortimente ausgewiesen werden.

7. ABSTRACT

Title of the paper: *Advanced planting of European beech beneath Scots pine shelter – A comparative analysis in Northwestern Germany of plant assortments, initial spacing, planting methods and soil treatment.*

In Northern Germany, many pine forests have to be regenerated during the next years and in many cases a conversion into mixed or broad-leaved stands is desired. To identify the most effective methods for conversion, we created an experimental area in the Forestry District Rotenburg. 2-4 year old Beech were planted under a 54-year old Pine shelter. The sites were established with different plant sizes, plant spaces, planting methods and soil preparation methods. Growth, mortality, damages and quality parameters were monitored. After 20 years of observation the measured data show different results for larger sized plants and regular sized. The excavator technique can be recommended for the large plants, since it has positive effects on their growth and quality development and can be executed at comparatively low costs. The regular size plants should be established with any kind of soil preparation – especially a striped treatment like preparing the ground by plough.

8. RÉSUMÉ

Titre de l'article: *Introduction du hêtre sous couvert de pins dans le nord-ouest de l'Allemagne – Étude comparative des plants, de l'écartement de plantation, des méthodes de plantation et de travail du sol.*

A l'avenir, de plus en plus de peuplements monospécifiques de pin devront être régénérés dans le Nord de l'Allemagne. L'objectif sera de convertir ces peuplements monospécifiques de conifères en peuplements feuillus et mélangés. Pour réaliser cette transformation de la manière la plus économique et la plus efficace possible, les entreprises forestières ont le choix entre différents plants, écartements de plantation et procédés de plantation ainsi que différentes méthodes de travail du sol. Dans le Forstamt (Centre forestier d'Etat) Rotenburg en Basse-Saxe, un essai en bloc a été installé en 2002 où des hêtres de 2 à 4 ans ont été plantés sous un couvert de pins de 54 ans. Dans cet essai, il a été comparé les types de plants (plants normaux et grands plants), les méthodes de plantation (bêche creuse, renard de plantation, pelle mécanique), les méthodes de travail du sol (charrue à bandes, machine à planter, tarière de sol, sans) ainsi que les écartements de plantation (2x1m, 2x1,2m, 2x2m). Les paramètres de croissance et de qualité ont été relevés et analysés au cours de plusieurs prises de données. Au surplus, un calcul des coûts, de la

mortalité et des dégâts a été effectué. Pour les plants normaux, on a pu constater qu'un travail du sol réduisait la pression de la concurrence par la végétation d'accompagnement. Dans ce cas, les méthodes de plantation par bandes devraient être préférées aux méthodes par placettes. Pour les grands plants, la plantation à la pelle mécanique peut être recommandée, car elle a un effet positif sur la croissance et la qualité et est en outre associée à des coûts relativement faibles. Si les directives de certification ne s'y opposent pas, alors cette méthode peut être désignée comme étant la meilleure pour les grands plants.

9. DANKSAGUNG

Wir danken REGINA PETERSEN und Dr. THOMAS BÖCKMANN, sowie zwei anonymen Gutachter:innen für hilfreiche Anmerkungen.

10. LITERATURVERZEICHNIS

- ALBERT, M. (2003): Analyse und multikriterielle Bewertung alternativer Waldentwicklungsszenarien mit Hilfe des Analytischen Hierarchieprozesses. In: Jahrestagung Sektion Ertragskunde Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten (DVFFA): S. 256–270.
- AMMER, C., P. BRANG, T. KNOKE und S. WAGNER (2004): Methoden zur waldbaulichen Untersuchung von Jungwüchsen. In: Forstarchiv **75**: S. 83–110.
- AXER, M., S. MARTENS, R. SCHLICHT und S. WAGNER (2021): Modelling natural regeneration of European beech in Saxony, Germany: identifying factors influencing the occurrence and density of regeneration. In: European Journal of Forest Research. Internet: <https://link.springer.com/10.1007/s10342-021-01377-w> (30.04.2021).
- AXER, M. und S. WAGNER (2020): Methodische Ansätze zur forstbetriebsweisen Modellierung der Fernausbreitung der Buche aus Inventurdaten: Potenzielle Verjüngungsdichte von Buche in Abhängigkeit der Distanz zum Buchenaltbestand. In: Allgemeine Forst- und Jagdzeitung **190** (9/10): S. 222–237.
- BARTSCH, N., B. VON LÜPKE und E. RÖHRIG (2020): Waldbau auf ökologischer Grundlage. UTB, Band 8310. Stuttgart.
- BERGERS, C., A. FRANK und H. KAISER (2006): Voranbauten von Buche und Eiche unter Kiefern. In: AFZ-Der Wald **61** (9): S. 482–484.
- BWI (2012): Inventurdaten zur Bundeswaldinventur. <https://bwi.info/>. Abgerufen am 15.01.2021
- BLASCHKEWITZ, B. (2018): Qualitätsaspekte bei Voranbauten von Buche [*Fagus sylvatica* L.] mit variierenden Pflanzverbänden in unterschiedlich aufgelichteten Fichtenaltbeständen [*Picea abies* (L.) KARST]. Dissertation. Dresden.
- BÖCKMANN, T., J. HANSEN, K. HAUSKELLER-BULLERJAHN, T. JENSEN, J. NAGEL, R.-V. NAGEL, M. OVERBECK, A. PAMPE, A. PETEREIT-BITTER, M. SCHMIDT, M. SCHRÖDER, C. SCHULZ, H. SPELLMANN, V. STÜBER, J. SUTMÖLLER und P. WOLLBORN (2019): Klimaangepasste Baumartenwahl in den Niedersächsischen Landesforsten. Aus dem Walde – Schriftenreihe Waldentwicklung in Niedersachsen, Band 61.
- BÖCKMANN, T., W. FRELS, K. HAUSKELLER-BULLERJAHN, E. KREYSERN, R.V. NAGEL, R. SEPAN, H. SPELLMANN, B. WESTPHALEN, R. WIEMER und P. WOLLBORN (2016): Entscheidungshilfen zur Behandlung und Entwicklung von Buchenbeständen. Niedersächsischen Landesforsten. Braunschweig.
- BÖRNER, M., M. GUERICKE, B. LEDER, L. NUTTO, F. STÄHR und A. WEINREICH (2003): Erhebung qualitätsrelevanter Parameter am Einzelbaum – Aufnahmestandards für Junge bis mittelalte Laubhölzer als Grundlage für wissenschaftliche Untersuchungen. In: Forstarchiv **74**: S. 75–282.
- EZG (2020): Zur Qualität von Forstpflanzen. Erzeugergemeinschaft für Qualitätsforstpflanzen Süddeutschland e.V. Nr. 2/2020. Buch-Gannertshofen.
- DONG, P. H., W. EDER und M. MUTH (2007): Traubeneichen-Läuterungsversuche im Pfälzerwald. In: P. H. DONG (Hg.): Eiche im Pfälzerwald. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, **63**. Trippstadt, S. 57–77.
- DRÉNOU, C. (2000): Pruning trees: the problem of forks. In: Journal of Arboriculture **26** (5): S. 264–269.
- FLEDER, W. (1991): Erfahrungen mit Unterbau und Voranbau der Buche in Unterfranken. In: AFZ – Der Wald **46**: S. 307–309.
- FSC – VERANTWORTUNGSVOLLE WALDWIRTSCHAFT E.V. (2018): Deutscher FSC-Standard 3.0. Freiburg (Brsg.).
- GOISSER, M. M. (2014): Establishing *Fagus sylvatica* under annually recurring summer drought – experimental forest restoration upon wind-throw of *Picea abies* in view of climate change. Dissertation der TU München.
- GROSSNICKLE, S. C. (2005): Importance of root growth in overcoming planting stress. In: New Forests **30** (2–3): S. 273–294.
- GUBA, E. (2020): Pflanzen mit der Baggergabel. In: Forst & Technik **32** (4): S. 14–19.
- HAASE, D. L. und R. ROSE (1993): Soil Moisture Stress Induces Transplant Shock in Stored and Unstored 2 + 0 Douglas-Fir Seedlings of Varying Root Volumes. In: Forest Science **39** (2): S. 275–294.
- HILBRIG, L. (1999): Untersuchungen zu unterschiedlichen Buchenvoranbauverfahren unter Kiefernbeständen. Dissertation. Hildesheim.
- HOHENSEE, M., B. MÜLLER, K. H. J. SCHMIDT, G. REICHWALDT, P. WOLLBORN, W. AUE und A. PAMPE (2005): Merkblatt Pflanzenqualität – Empfehlungen für die Qualitätssicherung bei Bestellung, Abnahme und Behandlung forstlichen Pflanzgutes in den Nds. Landesforsten. Hrsg. NLF. Wolfenbüttel.
- JANSEN, G. (2000): Von der Waldverwüstung zum naturnahen Wirtschaftswald – ein Gebot rationeller, ökonomisch sinnvoller Forstwirtschaft. In: Forst und Holz **55** (18): S. 579–587.
- KAETZEL, R., S. LÖFFLER, S. WINTER und R. KALLWEIT (2005): Zum Einfluss von Übershirmung und Begründungsverfahren auf den Entwicklungserfolg von Eichen- und Buchen-Voranbauten in der Initialphase. In: (2005): Ökologischer Waldumbau im nordostdeutschen Tiefland, Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Band **23**. Eberswalde: S. 79–101.
- KLEIN, E. (1983): Rationelle Pflanzverbände bei der künstlichen Begründung von Buchen-Vorausverjüngungen. In: AFZ-Der Wald **38**: S. 231–233.
- KLÄDKE, J. (2002): Wachstum großkroniger Buchen und waldbauliche Konsequenzen. In: Forstarchiv **73** (6): S. 211–217.
- KOHNLE, U., B. BÖSCH und F. BURGHARDT (2006): Einschätzung von Verjüngung auf Sturmflächen: stichproben-gestütztes Praxisverfahren zur Validierung gutächterlicher Schätzungen forstlicher Praktiker. In: Forstarchiv **77**: S. 43–57.

- KNOKE, T, S. KLEINLEIN und B. GANG (2021): Ökonomische Schäden in Fichtenbeständen. In: AFZ-Der Wald **(19)**: S. 12–15.
- KRAHL-URBAN, J. (1963): Untersuchungen über Verbandsweiten bei Buchenpflanzen. In: Forstarchiv **34** (6): S. 157–164.
- LEDER, B. und U. WEIHS (2000): Wachstum und qualitative Entwicklung eines 8 Jahre alten Buchen-Verbandsversuches unter Kiefer im Niederrheinischen Tiefland. In: Forst und Holz **55** (6): 172–176.
- Leonhardt, B. und S. Wagner (2006): Qualitative Entwicklung von Buchen-Voranbauten unter Fichtenschirm. In: Forst und Holz **61** (11): S. 454–457.
- LINNERT, M. (2009): Wachstum und Qualität junger Buchen in einem unterschiedlich aufgelichteten Fichtenbestand. Göttinger Forstwissenschaften. Göttingen.
- VON LÜPKE, B. (1973): Wasserhaushalt junger Fichten nach dem Verpflanzen. In: Forstwissenschaftliches Centralblatt **92**: S. 311–327.
- VON LÜPKE, B. (1986): Die Durchforstung, insbesondere Jungdurchforstung, von Buchenreinbeständen. In: Forst- und Holzwirt **(41)**: S. 54–61.
- VON LÜPKE, B. (1987): Einflüsse von Altholzüberschirmung und Bodenvegetation auf das Wachstum junger Buchen und Traubeneichen. In: Forstarchiv **58**: S. 18–23.
- VON LÜPKE, B. und E. RÖHRIG (1978): Versuche mit Fichten-Großpflanzen. In: Forst- u. Holzwirt **33** (8): S. 165–170.
- MATTHES, U. (1998): Waldökologische Analyse und Bewertung von Umbaumaßnahmen im bayerischen Staatswald als Beitrag für eine naturnahe Forstwirtschaft. Dissertation an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Ludwig-Maximilian Universität München. Herbert Utz Verlag, München.
- MERKER, K. (1998): Chancen und Risiken einer Strategie „Umstellung auf Naturgemäße Forstwirtschaft“. In: Forst und Holz **53** (16): S. 495–500.
- ML – NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2020): Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung forstwirtschaftlicher Maßnahmen im Land Niedersachsen. RdErl. d. ML v. 16.10. 2015–406-64030/1-2.6. Hannover.
- MOSANDL, R., H. EL KATEB und J. ECKER (1991): Untersuchungen zur Behandlung von jungen Eichenbeständen. In: Forstwissenschaftliches Centralblatt vereinigt mit Tharandter forstliches Jahrbuch **110** (1): S. 358–370.
- MUHLE, O. und I. KAPPICH (1979): Erste Ergebnisse eines Buchen-Provenienz- und Verbandsversuchs im Forstamt Bramwald. In: Forstarchiv **50** (4): S. 65–69.
- NAGEL, R.-V. und H. SPELLMANN (2008): Wachstum, Behandlung und Ertrag von Reinbeständen der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) in Nordwestdeutschland – Ergebnisse angewandter Forschung zur Rotbuche. In: Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, **3**, S. 221–265.
- OLESKOG, G. und M. LÖF (2005): Ökologische und waldbauliche Grundlagen für Buchenvoranbau unter Fichtenschirm. Results from the SUSTMAN Project. Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW). Wien.
- OTT, B. und B. VON LÜPKE (2006): Erfolg von Buchenpflanzungen auf Sturmwurfflächen von 1990 im hessischen Vogelsberg. In: Forstarchiv **77**: S. 119–126.
- PAMPE, A. (2000): Zur Konkurrenz von Buche und Fichte in der montanen Stufe des Harzes. In: Tagungsbericht der Sektion Waldbau. Dessau/Kliken: S. 95–105.
- PAMPE, A. (2001): Versuche zur Verwendung von Traubeneichen- und Buchen-Großpflanzen in Nordwestdeutschland. In: Forst und Holz (Germany) **56** (11): S. 331–337.
- PETERSEN, R. und S. WAGNER (1999): Erste Ergebnisse eines Voranbauversuches unter Kiefer im östlichen Niedersachsen. In: Forst und Holz **54** (20): S. 647–653.
- PINHEIRO, J. C., D. M. BATES, S. DEBROY, D. SARKAR und R CORE TEAM (2020): nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package. Internet: <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>.
- PRETZSCH, H. (2019): Grundlagen der Waldwachstumsforschung. Berlin, Heidelberg.
- ROTHKEGEL, W., O. RUPPERT, H. BLASCHKE und B. STIMM (2013): Sorgfaltskriterien für Buche und Douglasie. In: AFZ – Der Wald **20**: S. 4–7.
- RUMPF, H. und R. PETERSEN (2008): Waldumbau mit Buche unter Berücksichtigung ihrer ökologischen Ansprüche. In: (2008): Ergebnisse angewandter Forschung zur Buche, Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 3. Göttingen: S. 193–219.
- SAATY, T. L. (1980): The analytic hierarchy process. Planning, Priority Setting, Resource Allocation.
- SCHMIDT-VOGT, H. und P. GÜRTH (1977): Eigenschaften von Forstpflanzen und Kulturerfolg. In: Allg. Forst- u. J.-Ztg. **148** (8/9): S. 145–157.
- SCHÖNE, O., K. KIEFER, K. GILLE, A. PREUB und P. WANDEL (2021): Merkblatt Pflanzenqualität. Empfehlungen für die Bestellung, Abnahme und Behandlung forstlichen Pflanzgutes in den Niedersächsischen Landesforsten. In: Niedersächsische Landesforsten A.ö.R.. Braunschweig.
- SOUTH, D. B. und J. B. ZWOLINSKI (1996): Transplant stress index: a proposed method of quantifying planting check. In: New Forests **13**: S. 311–324.
- VDF (2011): Qualitätsfibel. Mindestanforderungen zur Qualitätsförderung bei Anzucht und Versand von Forstpflanzen. VDF e.V. Norderstedt.
- WEIDIG, J. (2016): Qualitätsentwicklung von Buchenvoranbauten (*Fagus sylvatica* L.) nach unplanmäßigem, sturmbedingtem Verlust des Fichtenschirms. Dresden. Internet: [http://tud.qucosa.de/landing-page/?tx_dlf\[id\]=http%3A%2F%2Ftud.qucosa.de%2Fapi%2Fqucosa%253A29666%2Fmets](http://tud.qucosa.de/landing-page/?tx_dlf[id]=http%3A%2F%2Ftud.qucosa.de%2Fapi%2Fqucosa%253A29666%2Fmets) (17.04.2019).
- WEIDIG, J., W. ARENHÖVEL, D. R. EISENHAEUER und S. WAGNER (2015): Buchen-Voranbau trotz instabilem Fichtenschirm? In: AFZ – Der Wald **(5)**: S. 41–42.
- WEIDIG, J. und S. WAGNER (2021): Growth response of advanced planted European beech (*Fagus sylvatica* L.) after storm-caused loss of shelterwood. In: European Journal of Forest Research. Internet: <https://link.springer.com/10.1007/s10342-021-01376-x> (19.04.2021).
- WEIHS, U. und K. KLAENE (2000): Wuchsdynamik und Qualität von Buchenvoranbauten unter Fichtenaltholz auf Basaltstandorten im Hessischen Forstamt Kassel. In: Forst und Holz **6** (55): S. 177–181.
- WIEDEMANN, E. (1943): Ertragstafel für die Baumart Kiefer. In: Ertragstafeln Wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, S. 104–121.

Anhang 1
Boniturschema zur Qualitätsansprache der Buche.
Scheme for the quality assessment of the beeches.

Aufnahmeparameter	Aufnahme- einheit	Kriterien
Höhe des ersten Grünastes	cm	Ansatzhöhe des ersten lebenden Astes vom Boden
Anzahl der Grünäste		Anzahl aller lebenden Äste bis 2 m Höhe
Anzahl der Trockenäste		Anzahl aller Trockenäste bis 2 m Höhe
Höhe des dicksten Astes	cm	Ansatzhöhe des dicksten Astes bis 2 m Höhe
Durchmesser des dicksten Astes	1/10 mm	Messung im Abstand von 1 cm parallel zur Stammachse
Stammform + Kronenform		Verbale Ansprache
	Gerade	Zweischnürig, wipfelschäftig
	Bogig	einschnürig
	knickig	Unschnürig, mehrfach geknickt
	verbuscht	Unschnürig, kein eindeutiger Leittrieb erkennbar
Zwiesel	Ja/Nein	Der schwächere Trieb hat min. 75 % der Stärke und Länge des stärkeren Triebes
Steilast	Ja/Nein	Der schwächere Trieb hat min. 50 % der Stärke und Länge des stärkeren Triebes und einen maximalen Abgangswinkel von 22,5°

Anhang 2
Model-Output zur Modellierung des Höhenwachstums.
Parameters and summary statistics of the height model.

AIC	BIC	logLikelihood			
3178,015	3343,89	1562,007			
Zufallseffekte					
Level: Block					
	Standardabweichung				
a (Intercept)	12,19423156				
c (Intercept)	0,04864774	-1			
Level: Baum					
c (Intercept)	0,1018566				
Feste Effekte					
Parameter	Wert	Standardfehler	Freiheitsgrade	t-Wert	p-Wert
a.(Intercept)	60,79147	13,412437	2930	4,532470	0,0000
a.behandFuchs_E	-30,22009	11,957377	2930	-2,527318	0,0115
a.behandFuchs_W	-26,20489	12,079429	2930	-2,169381	0,0301
a.behandHL	-28,40285	12,005315	2930	-2,365856	0,0181
a.behandLoBo	-22,44188	12,078112	2930	-1,858062	0,0633
a.behandOhne	-32,50035	11,954250	2930	-2,718727	0,0066
a.behandPflug	-26,45291	12,009474	2930	-2,202671	0,0277
b.(Intercept)	4,71462	0,273264	2930	17,253013	0,0000
b.behandFuchs_E	1,08223	0,402874	2930	2,686278	0,0073
b.behandFuchs_W	4,15007	0,666518	2930	6,226486	0,0000
b.behandHL	5,88106	0,605552	2930	9,711898	0,0000
b.behandLoBo	3,69809	0,442760	2930	8,352354	0,0000
b.behandOhne	7,94237	0,666810	2930	11,910997	0,0000
b.behandPflug	10,57377	0,871286	2930	12,135821	0,0000
c.(Intercept)	1,22,200	0,073492	2930	16,627770	0,0000
c.behandFuchs_E	0,15547	0,048068	2930	3,234390	0,0012
c.behandFuchs_W	0,26981	0,053041	2930	5,086955	0,0000
c.behandHL	0,39423	0,059261	2930	6,652553	0,0000
c.behandLoBo	0,30297	0,056057	2930	5,404706	0,0000
c.behandOhne	0,47019	0,058655	2930	8,016155	0,0000
c.behandPflug	0,50100	0,058713	2930	8,532954	0,0000
c.Starhöhe	0,12614	0,041920	2930	3,009024	0,0026