

## 4. Ernteschäden nach maschinellen Baumentnahmen

Berichtsteil Arbeitspaket AP 3

R. Unseld

Abschlussbericht Piowood

Nutzung von schnell wachsenden Pionierbaumarten auf Waldflächen zur Erhöhung des Biomasseaufkommens im Schwachholzsektor

Förderkennzeichen FKZ 2203 0211

## 4 Ernteschäden

---

### 4.1 Inhalt

4	Ernteschäden.....	98
4.1	Inhalt.....	98
4.2	Einleitung.....	99
4.3	Klassifizierung und Ansprache der Schäden.....	99
4.4	Häufigkeit von Schäden und Schadtypen.....	100
4.5	Einflussfaktoren auf die Schadhäufigkeit .....	102
4.5.1	Erntetechnik .....	102
4.5.2	Baumart und Baumdimension.....	103
4.5.3	Räumliche Position .....	103
4.5.4	Regressionsergebnisse und Schadmodell .....	104
4.6	Schäden an Z-Baumanwärlern und Z-Bäumen .....	107
4.7	Vergleichbarkeit der Untersuchung .....	109
4.8	Ursachen und Beurteilung der Ernteschäden .....	110
4.8.1	Baumart.....	110
4.8.2	Erntetechnik und räumliche Schadverteilung .....	110
4.8.3	Beurteilung der Ernteschäden hinsichtlich der Bestandesentwicklung.....	111
4.9	Zusammenfassung der Schadergebnisse und Schlussfolgerungen .....	112
4.10	Literatur.....	114
4.11	Anhang.....	115

## 4.2 Einleitung

Der Einsatz moderner Forsttechnik zur Behandlung junger Waldbestände kann eine Holznutzung ökonomisch vorteilhaft gestalten. Zudem sprechen Aspekte der Arbeitsergonomie und der Arbeitssicherheit für den Einsatz dieser Technik. Nachteile können sich bei einer zunehmenden Mechanisierung nicht nur durch langfristige Bodenschädigungen sondern auch durch gehäufte Ernteschäden am verbleibenden Bestand ergeben. Es muss befürchtet werden, dass Schäden an den jungen Bäumen neben direkten Wachstumseinschränkungen zugleich Eintrittspforten für Schaderreger darstellen, die in der Folgezeit zu einer Holzentwertung beispielsweise durch Fäulnis führen.

## 4.3 Klassifizierung und Ansprache der Schäden

Nach der maschinellen Bestandsbehandlung wurden an den verbliebenen Bäumen die Fällschäden aufgenommen. Die Datenaufnahme erfolgte in den bereits vorgestellten Versuchsflächen, Stichproben und Maschinentypen aus Kapitel 4. Die Schäden wurden in allen Stichproben mit Ausnahme der schmalsten Eingriffsvariante protokolliert<sup>1</sup>. Für die Stichproben waren die wichtigsten Bestandsgrößen durch Vollaufnahmen ab einer Kluppschwelle  $\geq 4$  cm bekannt. Insgesamt wurden in 61 Stichproben neben der Baumart und dem Brusthöhendurchmesser folgende Größen registriert:

<b>Schadart &amp; Ausprägung</b>	Rinden-schaden	a) Rindenverlust kleiner $\frac{1}{2}$ Stammumfang b) Rindenverlust größer $\frac{1}{2}$ Stammumfang
	Astverlust	a) Verlust Hauptast inkl. Rindenverletzung b) Verlust von min. $\frac{1}{3}$ der Grünäste
	Wipfelbruch	a) Verlust des letzten Jahrestriebes b) Bruch im oberen Stammdrittel c) Bruch in den unteren $\frac{2}{3}$ des Stammes
	Neigung	Abweichung des Baumes von der Senkrechten: a) gering b) mittel c) stark (vgl. KORTEN, 1999)
	Schnitt	Baum wurde durch Zwicker/Säge bei der Entnahme eines Nachbarbaumes angeschnitten
	Totalschaden	
	<b>Distanz zur Rückegasse</b>	in Meter
<b>Z-Baum-Anwärter / Z-Baum</b>	ja / nein	Schaden an einem geförderten Baum <sup>2</sup> , für den es in unmittelbarer Nachbarschaft keinen adäquaten Ersatz gibt. Suchradius um den geförderten Z-Baum/-Anwärter: 6 m; Z-Baum 4 m.

Tab.1: Aufnahmeparameter bei der Schadansprache. Die Einteilung in Schadart und Ausprägung erfolgte in Anhalt an KORTEN (1999).

<sup>1</sup> Die Stichproben mit Eingriffstiefen bis maximal 3 m wurden teilweise kurz nach der Beerntung auf maximale Kranlänge nachbearbeitet, so dass die Schäden nicht mehr korrekt dokumentiert werden konnten. Es wurden deshalb nur die breiteren Stichproben mit einer Eingriffstiefe ab Rückegassenrand von 6 m bzw. 9 m untersucht

<sup>2</sup> Kriterien eines Präferenzbaumes waren Baumart, Qualität und/oder Dimension.

## 4.4 Häufigkeit von Schäden und Schadtypen

Die Tabelle unten gibt die Anteile unbeschädigter und beschädigter Bäume am verbliebenen Bestand nach der Behandlung der Probeflächen wieder. Die Einteilung der Versuchsflächen erfolgte nach der bereits bekannten Bestands-/Alterseinteilung aus Kapitel 4<sup>3</sup>.

	LH 10 - 15		LH 15 - 20		NH 20 - 30		Gesamt	
	n/ha	%	n/ha	%	n/ha	%	n/ha	%
Unbeschädigt	520	76	661	74	1.873	89	836	86
Geschädigt	106	24	130	26	195	11	133	14
Verbliebene Bäume	626	100	791	100	2.068	100	969	100

Tab.2: Anteile unbeschädigter und geschädigter Bäume am verbliebenen Bestand.

Durchschnittlich verblieben auf den Flächen nach dem Eingriff ca. 800 Bäume pro Hektar. Im Mittel wurden 14 % (11 – 26 %) der Bäume durch die Erntetätigkeiten beschädigt. In den jüngeren, laubholzreichen Pionierbaumbeständen mit geringeren Dichten trat an jedem 5. Baum ein Schaden auf. Einige Bäume befanden sich dort allerdings unter der Kluppschwelle von BHD  $\geq$  4 cm. In den fichtenreichen Pionierbaumbeständen NH 20 - 30 war die Anzahl geschädigter Bäume pro Hektar am höchsten. Durch die hohe Zahl an verbliebenen Bäumen sank das Schadprozent im Vergleich zu den anderen Beständen jedoch ab, so dass nur jeder 10. Baum Schädigungen aufwies. Welche Schadarten in den Flächen hauptsächlich vorkamen, zeigt folgende Tabelle.

Schadart	LH 10 - 15	LH 15 - 20	NH 20 - 30	Gesamt
Rindenschaden	48 %	51 %	73 %	54 %
Astschaden	13 %	20 %	8 %	17 %
Wipfelbruch	11 %	13 %	11 %	12 %
Neigung	15 %	10 %	6 %	11 %
Schnitt	10 %	3 %	1 %	4 %
Totalschaden	3 %	3 %	1 %	3 %
Gesamt	100 %	100 %	100 %	100 %

Tab.3: Prozentuale Verteilung der Schadarten auf den Versuchsflächen.

Über die Hälfte der Schäden waren Rindenschäden, die vorwiegend am unteren Stammteil auftraten<sup>4</sup>. In den ältesten Flächen hatten Rindenschäden einen Anteil von mehr als 70 %. Die zweithäufigste Schadart waren Astabbrüche von Lebendästen mit Beeinträchtigung der Rinde<sup>5</sup>. Über 10 % der Bäume wurden umgedrückt oder hatten einen Wipfelbruch, der zumeist einen letalen Schaden für den Baum bedeutete. 4 % der Bäume wurden durch das Fällaggregat versehentlich angeschnitten. Diese Schadart trat zumeist bei Stockausschlagsvereinzlungen in den jüngsten Flächen auf.

<sup>3</sup> Wie dort beschrieben handelte es sich bei den jüngeren Beständen um laubholzreiche Pionierbaumflächen. Hier wurden die Maschinen „K“ und „KA“ (LH 10 - 15) bzw. KSA“ und „SA1“ (LH 15 - 20) eingesetzt. Die ältesten Bestände sind nadelholzreichere Pionierbaumflächen mit stellenweise dichtem Fichtenunterstand und wurden von der Maschine „SA2“ durchforstet (NH 20 - 30).

<sup>4</sup> Bei 95 % der Rindenschäden hatten die Bäume einen Rindenverlust geringer als der Hälfte des Stammumfangs. Je nach Baumart führt dies zu Fäulnis oder kann überwallt werden.

<sup>5</sup> 95 % der Astschäden waren Abbrüche eines Hauptastes mit Rindenverletzungen



Abb.1: Rindenschaden an einer Fichte nach Entnahme der benachbarten Birke

	LH 10 - 15		LH 15 - 20		NH 20 - 30		Gesamt	
	n/ha	%	n/ha	%	n/ha	%	n/ha	%
Geschädigte Bäume	106		130		195		133	
mit Mehrfachschäden	31	29	54	41	13	7	37	28
mit Letalschäden	14	13	24	18	30	15	21	16

Tab.4: Anteil mehrfach geschädigter Bäume und Bäume mit letalen Schäden.

Etwa 30 % der geschädigten Bäume wiesen nicht nur eine sondern zumindest zwei unterschiedliche Schadarten auf. Zumeist handelte es sich um Rindenverletzungen zusammen mit Astabbrüchen. Immerhin waren fast 20 % der Schäden so gravierend, dass eine Regeneration der Bäume ausgeschlossen werden konnte.

## 4.5 Einflussfaktoren auf die Schadhäufigkeit

Zur Beschreibung der Einflussfaktoren werden anhand der Erntetechnik, Baumart und -dimension sowie der räumlichen Position einfache statistische Analysen vorgenommen. Das Stichprobendesign ließ zudem eine regressionsanalytische Untersuchung zu. Damit konnten anschließend alle aufgenommenen Bestandsgrößen sowie die Maschinen auf ihren Einfluss auf das vorgefundene Schadausmaß überprüft werden. Aufgetretene Schäden an Z-Baumanwärtern und Z-Bäumen schließen das Kapitel ab.

### 4.5.1 Erntetechnik

Bei der Beerntung wurden verschiedene Maschinentypen eingesetzt, mit deren Fälltechnik möglicherweise unterschiedlich pfleglich gearbeitet werden konnte. Um einen ersten Eindruck zu bekommen, ob bereits bei einfachen Mittelwertvergleichen deutliche Unterschiede bei der eingesetzten Erntetechnik zu erkennen waren, wurden zuerst die Schadprozentage getrennt nach Maschinen verglichen:

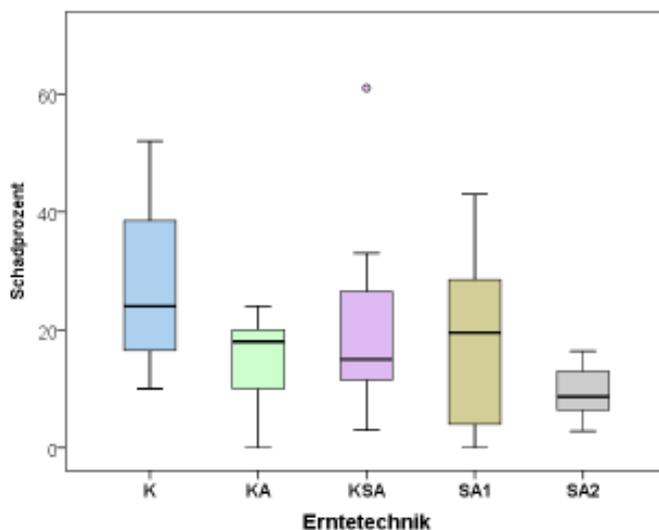


Abb.2: Anteil geschädigter Bäume am verbliebenen Bestand (Schadprozent) getrennt nach eingesetzter Maschinentchnik. Boxplots mit Streubalken: Median mit 25–75 % Perzentilen

Im Mittel wurden durch die Maschinen zwischen 9 – 28 % der verbliebenen Bäume beschädigt. Bei einer reinen Betrachtung der Mittelwerte zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Maschinen<sup>6</sup>. Die Maschine „SA2“ arbeitete in den nadelholzbetonten Beständen und es wurden trotz der schlechtesten Sichtbedingungen die geringsten Werte erzielt. Als Gründe dafür könnten die geringere Eingriffsstärke bei zugleich dichterem Ausgangsbestand mit folglich geringen Ausfallprozenten, die fehlende Energieholzaushaltung oder der unterschiedlicher Erntezeitraum (Dezember statt Sommerhalbjahr) in Frage kommen. Ein Einfluss der Fälltechnik von Maschine „SA2“ wurde eher ausgeschlossen. Der verwendete Fällkopf und Kran können als vergleichbar zu denjenigen der Maschinen „SA1“ eingestuft werden.

<sup>6</sup> Einfaktorielle ANOVA nach Kruskal-Wallis  $\alpha < 0,05$ . Auch in der Schadintensität, hier nicht dargestellt, waren keine Unterschiede zwischen den Maschinen zu erkennen.

#### 4.5.2 Baumart und Baumdimension

Weiterhin wurde getestet, ob Gruppen mit bestimmten Baumeigenschaften überproportional häufig geschädigt wurden. Dazu sind in der Tabelle die aus Kreuztabellen ermittelten Häufigkeiten für Baumarten- und Durchmessergruppen aufgeführt<sup>7</sup>.

Gruppierung	Schaden			Signifikanz
	Ja	nein	gesamt	
Birken	134	422	556	< 0,000
Andere Baumarten	158	855	1.013	
Bäume BHD > 10 cm	196	800	996	0,152
Bäume BHD < 10 cm	96	477	573	

Tab.4: Schadhäufigkeiten bei Birke im Vergleich zu den übrigen Baumarten sowie bei Bäumen mit BHD <10 cm im Vergleich zu Bäumen >10 cm

Birken wurden demnach signifikant häufiger geschädigt als die anderen Baumarten<sup>8</sup>. Dies lag vermutlich nicht unbedingt daran dass sie vorwüchsig waren und dadurch größere Dimensionen erreicht hatten. So zeigten die untersuchten Durchmessergruppen > 10 cm und < 10 cm keine signifikanten Häufigkeitsunterschiede beschädigter und unbeschädigter Bäume.

#### 4.5.3 Räumliche Position

Betrachtet man die Distanz von der Rückegasse, innerhalb der geschädigte Bäume in den Stichproben vorgefunden wurden, so ergab sich folgendes Bild:

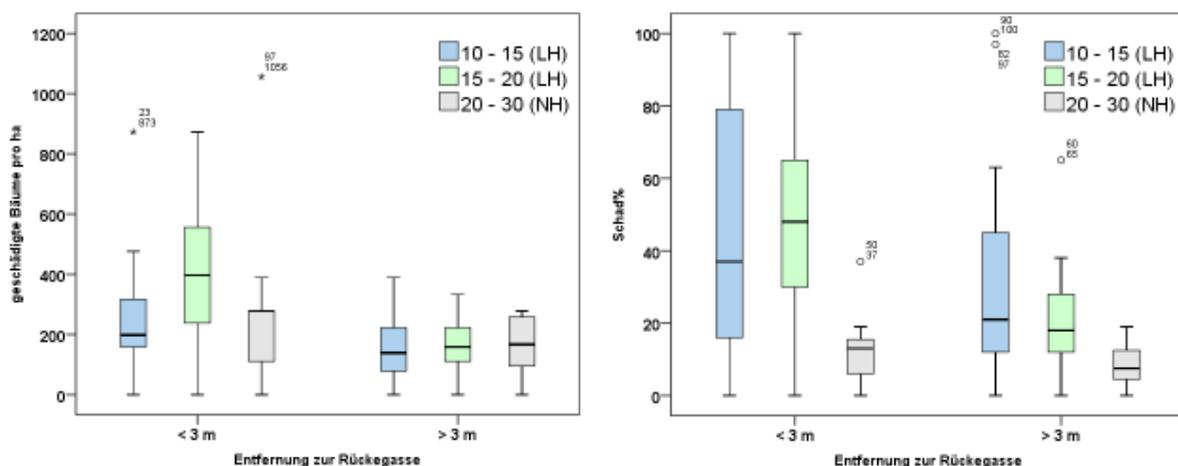


Abb.4: Anzahl geschädigter Bäume pro Hektar (links) und Schadprozent (rechts) in zwei Entfernungsbereichen zur Rückegasse: Boxplots mit Streubalken: Median mit 25–75 % Perzentile

Im Nahbereich der Rückegasse (< 3 m) wurden im Mittel 200 – 400 Bäume pro Hektar beschädigt, was in den stammzahlärmeren Beständen (LH 10-15; LH 15-20) einem Schadprozent 40 – 50 % und in den stammzahlreichen Beständen (NH 20-30) von 15 % entsprach. In einer Entfernung von mehr als 3

<sup>7</sup> Analyse hier nur in den laubholzreichen Beständen LH10-15 und LH15-20.

<sup>8</sup> Chi-Quadratetest Signifikanzniveau  $\alpha < 0,05$ .

Meter von der Rückegasse streuten die Werte deutlich geringer und es wurden weniger Bäume beschädigt. In den Laubholzbeständen nahm das Schadprozent mit zunehmender Distanz zur Rückegasse deutlich ab. Eine Überprüfung der Mittelwerte erbrachte für die jüngeren laubholzbetonten Bestände einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Entfernungsklassen<sup>9</sup>. In den nadelholzbetonten Beständen, in denen ausschließlich Industrieholz ausgehalten wurde, waren die Unterschiede zwischen den Entfernungsklassen dagegen nicht signifikant<sup>10</sup>. Der fehlende Unterschied könnte durch das Zopfen, dem Belassen der Kronen und schwächerer Bäume im Bestand verursacht worden sein, so dass in Rückegassennähe weniger Holzstücke manipuliert werden mussten.

#### 4.5.4 Regressionsergebnisse und Schadmodell

Um den Einfluss von Bestandsaufbau und Erntetechnik auf die Schadhäufigkeit weiter herauszuarbeiten, wurde die Erntetechnik regressionsanalytisch auf Erklärungsvariablen untersucht. Es wurden die absoluten Schadhäufigkeiten und die Schadprozente, also der Anteil geschädigter Bäume an den verbliebenen Bäumen, analysiert. Zudem wurde die häufigste Schadart „Rindenschäden“ nochmals separat davon beobachtet. Neben den signifikanten Prädiktoren ist das  $r^2$  als Gütemaß der Modelanpassung sowie der standardisierte Beta-Koeffizient angegeben.

Zu erklärende Größe	Prädiktoren	Regressionskoeffizient B	Sig.	Std.Koeff BETA	$r^2$ (korr. $r^2$ )
Schäden n/ha	Konstante	6,63			
	n/ha*BHD <sub>E</sub>	0,007	0,000	0,46	0,36 (0,34)
	n/ha <sub>verbleibend</sub>	0,030	0,045	0,23	
Rindenschäden n/ha	Konstante	-29,05	0,121		
	n/ha*BHD <sub>E</sub>	0,007	0,000	0,49	0,42 (0,40)
	n/ha <sub>verbleibend</sub>	0,029	0,017	0,26	
Schadprozent (log)	Konstante	2,82	0,000		
	n/ha*BHD <sub>E</sub>	0,000047	0,005	0,34	0,39 (0,37)
	n/ha <sub>verbleibend</sub>	-0,0008	0,000	-0,67	
Rindenschadprozent (log)	Konstante	1,36	0,000		
	n/ha*BHD	0,000062	0,000	0,438	
	n/ha <sub>verbleibend</sub>	0,0004	0,025	-0,325	0,43 (0,39)
	Birkenanteil verbleibend	0,0105	0,004	0,347	

Tab.5: Zu erklärende Schadgrößen am verbliebenen Bestand und deren signifikante Erklärungsvariablen

<sup>9</sup> T-Test verbunden.;  $\alpha < 0,05$ ;  $n = 21$  und  $26$  Wertepaare (Alter  $10 - 15$  und  $15 - 20$ )

<sup>10</sup> Wilcoxon  $\alpha < 0,05$   $n = 12$  Wertepaare (Alter  $20 - 30$ )

Es konnten für die aufgetretenen Schadhäufigkeiten und Schadprozent jeweils rund 40 % der Streuung durch die Prädiktoren erklärt werden. Für die absolute Häufigkeit von Schäden und speziell auch für Rindenschäden waren demnach drei Einflussgrößen maßgeblich: Die Anzahl der entnommenen Bäume in Interaktion mit deren Mittendurchmesser und mit etwas geringerer Bedeutung die Anzahl an Bäumen im verbliebenen Bestand.

Bei der Erklärung der relativen Häufigkeiten, also dem Schadprozent, traten dagegen mehr die Baumzahlen des verbliebenen Bestandes in den Vordergrund. Mit zunehmender Bestandesdichte nach der Beerntung sank demnach das Schadprozent deutlich ab. Dies ist insofern nicht verwunderlich, da sich in zunehmend dichteren Beständen ein konstant hoher absoluter Schaden auf mehr verbliebene Bäume verteilt und das Schadprozent somit sinkt. Bei den Rindenschadprozenten zeigt sich als erhöhender Faktor noch der Anteil der Birken am verbleibenden Bestand. Hier kommt die bereits in Tabelle 4 aufgezeigte erhöhte Schaddisposition der Birken zum Tragen, die sich in der Regressionsgleichung wiederum als signifikante Erklärungsvariable bemerkbar machte. Die eingesetzten Ernte-techniken wurden als Dummy-Variablen mitgetestet. Ein signifikanter Einfluss konnte nicht festgestellt werden<sup>11</sup>.

Zur besseren Interpretation der Ergebnisse wurden aus den signifikanten Prädiktoren zwei Modelle, links für die absolute, rechts für die relative Schadhäufigkeit, erstellt. Die x-Achse wird von der Anzahl der entnommenen Bäume gebildet. In je zwei Varianten wurden der mittlere Durchmesser der geernteten Bäume (7 und 11 cm) sowie die Anzahl der verbleibenden Bäume verändert (500 und 1.000 n/ha).

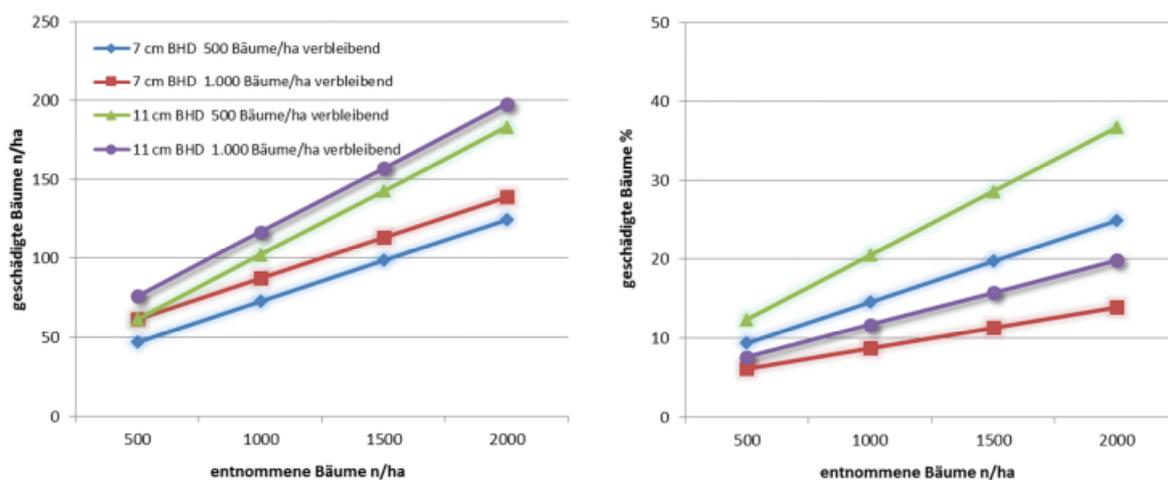


Abb.3: Anstieg der absoluten (links) und relativen Schadhäufigkeiten (rechts) mit zunehmender Anzahl an Erntebäumen variiert mit dem Mittendurchmesser des entnommenen Bestandes sowie der Baumzahl im verbliebenen Bestand.

<sup>11</sup> Mit der Codierung der Maschine „SA2“ wurde gleichzeitig die unterschiedliche Aushaltung mitgetestet. Lediglich diese Maschine hielt ausschließlich Industrieholz ohne eine Hackholznutzung aus.

Aus der Abbildung links mit den absoluten Schadzahlen pro Hektar ist zu entnehmen:

- Ein später und/oder starker Eingriff, also hohe Entnahmebaumzahlen und/oder hohe Mittendurchmesser des entnommenen Bestandes, führen zu einem deutlichen Anstieg an geschädigten Bäumen. Weniger Einfluss hat die Anzahl der Bäume im verbliebenen Bestand, hier erhöht sich die Anzahl der Schäden bei höheren verbleibenden Baumdichten nur geringfügig.

Ein etwas anderes Bild ergibt sich aus der Betrachtung der relativen Schäden.

- Wie bereits erläutert, ist das Schadprozent im verbliebenen Bestand bei hohen Baumzahlen fast „naturgemäß“ deutlich geringer als bei wenig verbliebenen Bäumen. Es nimmt ebenfalls mit zunehmendem Mittendurchmesser und Entnahmebaumzahl deutlich zu, wobei die Steigung bei hohen Durchmessern und wenig verbliebenen Bäumen am steilsten ist.
- Zwar kann der Abbildung nicht entnommen werden, welche Bäume geschädigt wurden, es muss aber angenommen werden, dass bei hohen Schadprozenten auch die Wahrscheinlichkeit einer Schädigung von Zukunftsbäumen bzw. Anwärtern zunimmt

**Anmerkung zum Zusammenhang von Schad- und Eingriffsprozent:**

Eine Überprüfung der Korrelationen zeigte, dass die Entnahmeprozente in der Regel stark mit den Schadprozenten korrelierten. In stammzahlarmen Ausgangsbeständen führten zahlenmäßig geringe Schäden und Baumentnahmen hier fast automatisch zu hohen Schad- und Entnahmeprozenten. In stammzahlreichen Beständen bestand die umgekehrte Situation: Es wurden zwar viele Bäume entnommen und geschädigt, das Entnahmeprozent und die Schadprozente bleiben aber bezogen auf den verbliebenen Bestand gering. Auf eine Einbeziehung des Eingriffsprozent wurde aufgrund dieser „Autokorrelation“ verzichtet.

## 4.6 Schäden an Z-Baumanwärttern und Z-Bäumen

Natürlicherweise oder aufgrund von Bedrängerentnahmen waren einige Z-Baumanwärter oder Z-Bäume in der unmittelbaren Nachbarschaft nicht mehr von gleichwertigen Bäumen umgeben. Bei einem Schaden an diesen Bäumen bestand somit ein erhöhtes Risiko, dass ein Wertverlust eventuell nicht ausreichend kompensiert werden könnte. In der nachfolgenden Abbildung sind dazu die an diesen Bäumen entstandenen Schäden, hier als Z-Baum-Anwärter und Z-Baum bezeichnet, aufgeführt<sup>12</sup>.

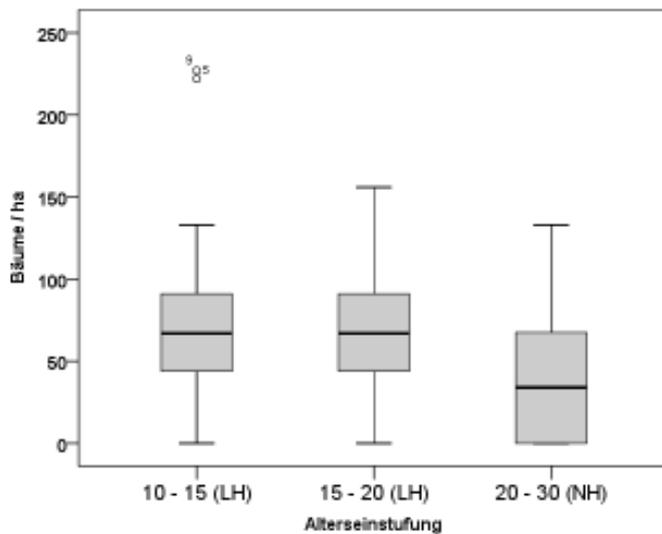


Abb.5: Anzahl an geschädigten Z-Baumanwärttern (LH 10-15 und LH 15-20) bzw. Z-Bäumen (NH 20-30)  
Boxplots mit Streubalken:  
Median mit 25–75 % Perzentilen

Im Mittel hatten nach den Eingriffen in den jüngeren Laubholzbeständen ca. 70 Z-Baum-Anwärter pro Hektar einen Fallschaden. In den älteren nadelholzbetonten Beständen wurden 40 Z-Bäume pro Hektar durch den Eingriff beschädigt. Geht man von einer geschätzten Zahl von 500 Anwärttern und 300 Z-Bäumen pro Hektar aus<sup>13</sup>, so kann die ermittelte Schadquote durchaus eine Rolle bei der zukünftigen Bestandesentwicklung spielen.

<sup>12</sup> Leichtere Astschäden (Kategorie 1) wurden hier nicht mit berücksichtigt.

<sup>13</sup> Im Rahmen der Untersuchungen wurden keine konkreten Anwärtter- und Z-Baumzahlen auf den Flächen erhoben.



*Abb.6: Typischer Rindenschaden an älterer Birke*



*Abb.7: Rindenschnittverletzung an einer Fichte*



*Abb.8: Rohbeige aus Birken-Industrieholz und Belassen der Krone im Bestand*



*Abb.9: Überwallungspotenzial der Birke nach einer Ringelung*

## 4.7 Vergleichbarkeit der Untersuchung

Ein Vergleich von verschiedenen Schaduntersuchungen ist oftmals nur eingeschränkt möglich. Unterschiedliche Bestandessituationen bedingen zumeist unterschiedliche Aufnahmeverfahren und Klassifizierungen. Bei der vorliegenden Arbeit wurde in Anhalt an die Einteilung nach KORTEN (1999) vorgegangen, der ein Aufnahmeverfahren für jüngere Bestandessschichten entwarf. Abweichend von KORTEN betrug die Durchmesseruntergrenze 4 cm und Schäden an sehr kleinen Bäumen blieben somit unberücksichtigt. Die meisten Schaduntersuchungen in zweischichtigen Beständen in Wäldern wurden mit deutlich älterem Überstand und damit großdimensionierten Entnahmebäumen mit dementsprechender Schadwirkung vorgenommen. Die Schadprozent am Unterstand bewegten sich dort bei konventioneller motormanueller oder mechanisierter Holzernte in diesen Beständen zwischen 30-60 % (FICKLIN, 1997; KORTEN, 1999; GLÖDE & SIKSTRÖM, 2000; STOKES et al. 2009). Damit lagen sie, vermutlich aus den oben genannten Gründen, Kluppschwelle und Baumdimension, deutlich höher als die Schadprozent der vorliegenden Untersuchung. Die Höhe der Schadprozent hängt folglich von der Messmethodik, aber auch vom Bestandesaufbau ab. Anhand der Versuchsflächenwerte konnte demonstriert werden, wie das Schadprozent in Abhängigkeit von der Baumdichte des verbleibenden Bestandes stark variiert, obwohl die absolute Zahl an Schäden relativ konstant blieb. Schadprozentangaben in jungen Beständen mit kleinflächig wechselnden Baumdichten sind hier besonders schwer zu interpretieren. Trotz der genannten Unsicherheiten bezüglich der Vergleichbarkeit von Schadprozenten werden nachfolgend einige Werte aus großräumigen Erhebungen aufgeführt.

In jüngeren, stammzahlreichen Zweischichtbeständen aus Birken und Fichten ermittelten NIEMISTÖ et al. (2012) die Ernteschäden. Der Anteil geschädigter oder zerstörter Fichten lag nach einer Beerntung der Birkenoberschicht zwischen 25 – 50 %. Trotz der hohen Schadprozent gefährdete dies laut NIEMISTÖ et al. aufgrund der hohen verbliebenen Baumdichte nicht die Etablierung des Folgebestandes.

NILL et al. (2014) werteten Inventurdaten von mehr als 40 Forstbetrieben in Baden-Württemberg aller Altersklassen aus. Sie bezifferten das Schadprozent bodennaher Rindenschäden dort im Mittel auf 19 %. Zusammen mit höherliegenden Schäden stieg das Schadprozent auf 28 % der Bäume an. Die Werte lagen damit in ähnlichen Größenbereichen wie bei der vorliegenden Untersuchung. Gemäß der nationalen Waldinventur waren dagegen in Österreich nur rund 8 % aller Bäume von Ernteschäden betroffen (PRSKAWETZ, 2011). In jüngeren Beständen wurden noch deutlich niedrigere Werte beobachtet. Mit Ergebnissen der deutschen Bundeswaldinventur ist ein Vergleich nicht möglich. Bei der Inventur werden unter „Stammschäden“ mehrere Schadursachen zusammengefasst wurden und Aussagen speziell zu Ernteschäden sind nicht möglich.

## 4.8 Ursachen und Beurteilung der Ernteschäden

Schäden bei einer maschinellen Beerntung können überwiegend beim Fällvorgang, durch Kranbewegungen beim Manipulieren der Bäume, sowie beim Vorliefern und Ablegen der Bäume an der Rückegasse entstehen. Als wichtigste Einflussfaktoren für das Ausmaß der Schäden in zweischichtigen Beständen wurden von verschiedenen Autoren neben der Eingriffsstärke die Baumhöhe und der Kronendurchmesser des Oberstandes, der Abstand zur Rückegasse, die Baumart und die Durchsichtigkeit der zweiten Schicht angegeben. Als wesentliche, kurzfristig beeinflussbare Größe wird die eingesetzte Arbeitstechnik genannt (FICKLIN, 1997; KORTEN, 1999; GLÖDE & SIKSTRÖM, 2000; STOKES et al. 2009). Gemäß den vorliegenden Ergebnissen spielt in den Jungbeständen mit Birkenüberstand die Erntebaumzahl kombiniert mit dem Bestandsdurchmesser für die absolute Anzahl an Schäden die bedeutendste Rolle. Eher geringfügig modifiziert wurde das Auftreten von Schäden durch die Baumdichte im verbleibenden Bestand, sie wirkt sich dagegen auf die Höhe der Schadprozent aus.

### 4.8.1 Baumart

Zu unterschiedlichen Dispositionen einzelner Baumarten gegenüber Rindenschäden liegen Ergebnisse einer Expertenbefragung vor, in der Fichte und Buche als besonders empfindlich und Baumarten mit dickerer Borke wie Douglasie, Lärche, Kiefer oder Eiche als eher unempfindlich eingeschätzt werden (KOHNLE & NAKOU, 2014). Aus der vorliegenden Untersuchung kann ein gewisser Einfluss der Baumart auf aufgetretene Schäden dahingehend konstatiert werden, als dass Birken signifikant häufiger geschädigt wurden als andere Baumarten. Hierfür dürfte weniger die Verletzlichkeit aufgrund des Rindentyps in Frage kommen, da es sich bei vielen der belassenen Birken um stärkere Exemplare handelte, die am unteren Stammende bereits eine dicke Borke ausgebildet hatten (vgl. Abb. 6). Es ist eher wahrscheinlich, dass für die höhere Schaddisposition der Birken zum einen die häufig mehrtriebige Aufwuchsform oder sehr nahestehenden Birkenstämme in überdichten Bereichen in Frage kam, was bei einer Ausdünnung mit einer Schädigung des verbliebenen Triebes oder Stammes verbunden war. Zum anderen musste angenommen werden, dass Baumarten wie Eiche, Buche und dem Nadelholz eine erhöhte Aufmerksamkeit beim Fäll- und Bringungsvorgang durch die Maschinenführer geschenkt wurde.

### 4.8.2 Erntetechnik und räumliche Schadverteilung

Ein Einfluss der eingesetzten Fäll- und Bringungstechniken auf die Schadhäufigkeit konnte nicht festgestellt werden. Es ist anzunehmen, dass die eingesetzten Arbeitsverfahren nicht unterschiedlich genug waren und andere Faktoren wie Eingriffsstärke und Mittendurchmesser potenzielle Maschinenunterschiede in den Hintergrund drängten. Die Bedeutung von Eingriffsstärke und Durchmesser im Vergleich zu den Maschinen wurde auch bei den Versuchen von BIGOT et al. (2012) deutlich. Sie testeten verschiedene leichte Harvester in Erstdurchforstungsbeständen bei eher geringen Eingriffs-

stärken und stellten fest, dass bei verschiedenen Maschinen nur rund 10 % der stärkeren Bäume Schäden aufwiesen. Bei schwächeren Bäumen lagen die Schadprozente noch weit darunter.

Einen Hinweis auf Verfahrensunterschiede konnte lediglich bei der räumlichen Verteilung beobachtet werden. Den Ergebnissen nach bewirkte offensichtlich eine Aushaltung von Industrieholz und Belassen der Kronen und schwacher Bäume im Bestand, dass sich die Schäden nicht wie bei der Vollbaumnutzung stark an der Rückegasse konzentrierten. Diese Beobachtung müsste durch weitere Untersuchungen in Jungbeständen bestätigt werden. Andere Untersuchungen beschreiben dagegen unabhängig von der Holzaushaltung eine Konzentration der Schäden an der Rückegasse. So identifizierten SAUTER & NAKOU (2014) in einer landesweiten Studie in unterschiedlichsten Beständen nach der Eingriffsstärke die „Nähe des Baumes zur Erschließungslinie“ als zweitbedeutendsten Einflussgröße. Auch bei NIEMISTÖ et al. (2012) lagen in birkenreichen Beständen bei Industrieaushaltung die Schadensschwerpunkte im Nahbereich der Rückegasse. Unterschiedlichste Arbeitsverfahren führten bei SAUTER & NAKOU (2014) offenbar dazu, dass sich der Faktor „Holzernteverfahren“ auch signifikant auf die Vorkommenswahrscheinlichkeit von Rindenschäden auswirkte.

Es ist zu vermuten, dass in den Jungbeständen der vorliegenden Untersuchung möglicherweise deutlich andere Arbeitsverfahren zur Schwachholzgewinnung, wie eine motormanuelle Pflege mit Kleinschlepper oder Pferd, ebenfalls klarere Unterschiede erbracht hätten als lediglich ein Vergleich zwischen den verwendeten Erntemaschinen. Bei WIRTH (2008) wurden beispielsweise beim Pferdeeinsatz nur 6 % und beim Schleppereinsatz nur 11 % der Bäume geschädigt. WEICH & UNSELD (2011) ermittelten in lichten, gepflanzten Pionierbaumbeständen bei einer Pferderückung an 15 % der unterständigen Eichen Rindenschäden und nach vollmechanisierter Ernte mit allerdings aufrechter Zuführung der Bäume zur Rückegasse noch 2 %. Sie führen Verfahrensunterschiede aber weitestgehend auf die unterschiedlichen Dimensionen der Erntebaumarten und weniger auf das Ernteverfahren zurück. Ein Vorliefern aus den Zwischenfeldern, wie es beispielsweise bei Rückegassenabständen von 40 m vorgenommen wird, kann die Intensität und räumliche Verteilung der Schäden ebenfalls verändern. WIRTH (2008) berichtet von einer deutlichen Abnahme der Schäden in Richtung der Zwischenfelder, während das Vorliefern in Rückegassennähe wiederum zu erhöhten Schäden führte.

#### **4.8.3 Beurteilung der Ernteschäden hinsichtlich der Bestandesentwicklung**

Ob in den Versuchsbeständen die Baumverletzungen zu einer dauerhaften Schädigung und letztendlich zu einer Minderung des Holzwertes in höherem Alter führt, konnte nicht beurteilt werden. Die mit Abstand häufigste Schadart waren Rindenschäden der Kategorie 1, was bedeutet, dass maximal die Hälfte des Stammumfangs geschädigt wurde. Zumeist war ein deutlich kleinerer Bereich am Stamm betroffen und eine Regeneration kann nicht ausgeschlossen werden. Hierbei bestehen offenkundig klare baumartenspezifische Unterschiede. Nach den Ergebnissen von KOHNLE et al. (2014)

können Tannen oder Buchen Verletzungszonen aus Rückeschäden an der Stammbasis offenbar wirksam abriegeln und Pilzinfektionen finden eher räumlich begrenzt statt. Wie KOHNLE (2014a) an Fichtenbeständen zeigen konnte, wirken sich die Schäden nur wenig auf den kurz- bis mittelfristigen Zuwachs aus. Der wirtschaftliche Hauptschaden besteht demnach im überdurchschnittlich hohen Risiko einer Holzentwertung (KOHNLE, 2014b). Erschwerend bei Eingriffen in jungen Beständen kommt hier der frühe Zeitpunkt einer Schädigung und einer potenziellen Entwertung über einen langen Zeitraum hinzu.

#### 4.9 Zusammenfassung der Schadergebnisse und Schlussfolgerungen

- Zu überdurchschnittlich hohen Schadbaumzahlen kommt es bei einer maschinellen Pflege in überdichten Beständen, in denen zur Erreichung des Betriebsziels viele Bäume entnommen werden müssen. Höhere Bestandesdurchmesser, was bei den Untersuchungen 11 – 13 cm bedeutete, erhöhen das Schädigungsrisiko ebenfalls signifikant. Das Alter der Bestände beim Eingriff und die Eingriffsstärke sind bei den betrachteten Fällmethoden offenbar die wichtigsten Stellschrauben zur Steuerung von Fällschäden.
- Durch die maschinelle Beerntung entstand in den laubholzbetonten Beständen im Mittel an jedem fünften verbliebenen Baum und in den stammzahlreicheren nadelholzreichen Beständen an jedem zehnten verbliebenen Baum ein Schaden. Ob dies im Vergleich zu anderen Verfahren als überdurchschnittlich hoch oder gering zu werten ist, kann wegen methodischer Unterschiede und Unterschiede im Bestandsaufbau nicht beantwortet werden.
- Das Schadausmaß wurde in den bearbeiteten Beständen offenbar nur geringfügig durch die verwendete Erntetechnik beeinflusst. Die meisten Schäden erfolgten, wie auch bei anderen Untersuchungen, typischerweise in Rückegassennähe. Den Ergebnissen nach geschieht dies bei einer ausschließlichen Industrieholzaushaltung (2 m Stücklänge) in geringerem Maße.
- Aufgrund der entstandenen Schäden kann in den jungen Beständen ein erhöhtes Risiko bestehen, dass in der Folgezeit in einigen Bestandsbereichen wertvolle Bäume fehlen.
- Als Bewertungsmaßstab bietet sich in den unhomogenen Beständen weniger die nur sehr beschränkt aussagekräftige Angabe von Schadprozenten an. Die Schäden sollten in diesem Stadium besser dahingehend evaluiert werden, ob das geplante Betriebsziel mit den unbeschädigten Bäumen noch problemlos erreicht werden kann.
- Eine Einschätzung der Bodenschäden durch die Befahrung mit den verschiedenen Maschinentypen wurde nicht durchgeführt und sollte bei weiterführenden Aufnahmen untersucht werden. Erste visuelle Eindrücke lassen hier spürbare Pfléglichkeitsvorteile bei der raupenbetriebenen Maschine „KSA“ bzw. bei der Verwendung von Bogiebändern wie bei Maschine „SA2“ vermuten.

Aus den Ergebnissen wurde für eine waldbauliche Behandlung pionierbaumreicher Jungbestände mit Erntemaschinen gefolgert:

- Eine wichtige vorbeugende Maßnahme ist die Vermeidung von Überdichten. Dies impliziert eine frühe und wiederkehrende Jungwuchs- und Jungbestandspflege mit anschließenden Jungdurchforstungen mit geringer Eingriffsstärke. Mit Blick auf eine Vornutzung von Pionierbäumen wären Erntebaumzahlen von maximal 500 -1.000 Bäumen pro Hektar vorteilhaft.
- Stärkere Entnahmen können in Beständen nötig werden, die länger nicht behandelt wurden, zusätzlich aufgekommene Stockausschläge einen stärkeren Eingriff nötig machen und/oder bestimmte Baumarten rasch eine stärkere Freistellung benötigen (z.B. Z-Bäume aus Birken, evtl. Douglasien oder Fichten). Mit zunehmender Eingriffsstärke und Erntebaumdimension nimmt allerdings die Wahrscheinlichkeit einer Schädigung von potenziellen Z-Bäumen zu.

Je nach Rahmenbedingungen wären bei überdichten Jungbeständen folgende Vorgehensweisen denkbar, die sofort oder zu einem späteren Zeitpunkt eine maschinelle Holznutzung ermöglichen und Schäden eingrenzen. Da die Untersuchungen nicht auf eine Ernte in den Zwischenfeldern ausgeweitet werden konnten, beziehen sich die Vorschläge ausschließlich auf den Kranbereich inklusive Rückegasse.

Rahmenbedingungen	Vorgehensweise bis Oberhöhe < 10 m	Anmerkung
- Qualifizierte Arbeitskräfte zur manuellen Pflege verfügbar - Pflegelinien zu Beginn der Arbeiten vorhanden	Insbesondere bei jüngeren Beständen Ringelung oder manuelles Umsägen mit Belassen des Holzes im Bestand	Maschineller Eingriff bei Durchforstungsstärke (ab ca. 14 m Oberhöhe) inkl. Rückegassenanlage: v.a. Industrieholznutzung
- Spezialmaschine zur Fällung schwacher Bäume vorhanden - Qualifizierte Arbeitskräfte zur manuellen Pflege <b>nicht</b> verfügbar	Rückegassenanlage und Entnahme der nötigsten Konkurrenten in Kranreichweite: Belassen im Bestand oder Hackholznutzung.	
- Qualifizierte Arbeitskräfte zur manuellen Pflege verfügbar - Spezialmaschine zur Fällung schwacher Bäume vorhanden	Motormanuelle Ausdünnung überdichter Bereiche <b>zeitgleich</b> mit einer maschinellen Bearbeitung (Motormanuelle Vor- oder Nachbearbeitung).	Optimale Vorgehensweise noch nicht untersucht.
- sehr dichte Bestände z.B. Fichtennaturverjüngung Spezialmaschine zur Fällung schwacher Bäume vorhanden	Maschinelle Schwerpunktfällungen z.B. entlang von Bearbeitungsschneisen („Kranlinien“)	vgl. EBERHARDINGER (2011)

Bei den späteren Eingriffen ab ca. 14 m Oberhöhe (Bestandesdurchmessern ab ca. 12 - 13 cm) ist die Aushaltung von Kurzholzsortimenten mit 2 m Länge vermutlich am vorteilhaftesten. Zur Untersuchung des Effektes auf die Schadhöhe inklusive dem Vergleich von Hackholz-/ Industrieholzaushaltung besteht allerdings noch Untersuchungsbedarf.

## 4.10 Literatur

- BIGOT, M.; RUCH, P.; CACOT, E.; BOUVET, A.; ULRICH, E.; PISCHEDDA, D. (2012): *Test of mechanized logging systems in first thinnings of oak and beech stands FORMEC 2012: Forest Engineering - Concern, Knowledge and Accountability in Today's Environment, October 8 – 12, 2012, Dubrovnik (Cavtat) – Croatia* 10 S.
- PRSKAWETZ, M. (2001): *Österreichs Wald: Stammschäden nehmen bedenkliches Ausmaß. In: Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft: Waldinventur 2007/2009* 32.S
- EBERHARDINGER, A. (2011): *Innovative Verfahrenstechnik bei der Bereitstellung von Waldhackgut zur thermischen Verwertung. Diss. TU München; 244 S.*
- FICKLIN, R.L.; Dwyer, J.P.; Cutter, B.E.; Draper, T. (1997): *Residual tree damage during selection cuts using two skidding systems in the Missouri Ozarks. In: Proceedings of the 11th central hardwood forest conference. St. Paul, MN: U.S: Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station; S.36-46.*
- GLÖDE, D., SIKSTRÖM, U. (2001): *Two felling methods in final cutting of shelterwood, single-grip harvester productivity and damage to the regeneration. Silva Fen. 35: 71–83*
- KOHNLE, U.(2014a): *Zuwachseinbußen durch Rindenschäden? AFZ-Der Wald 24/2014, S. 20-21*
- KOHNLE, U. (2014b): *Auswirkung von Rindenschäden auf Sortierung und Aushaltung. AFZ-Der Wald 24/2014, S.24-26*
- KOHNLE, U.; BRÜCHERT, F.; SCHMID, A. (2014): *Wie sich Rindenschäden auf den Splint auswirken. AFZ – Der Wald 24/2014, S.17-19*
- KOHNLE, U.; NAKOU, A. (2014): *Rindenschäden im Spiegel von Praxiseinschätzungen. AFZ – Der Wald 24/2014, S. 27-29.*
- KORTEN, S. (1999): *Art und Höhe von Fäll- und Rückeschäden an der Naturverjüngung eines naturgemäß bewirtschafteten Fichten-Tannen-Buchen-Bestandes im FA Griesbach. Diplomarbeit an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität München. 96 S.*
- LIGNÉ, D.; ELIASSON, L.; NORDFJELL, T. (2005): *Time consumption and damage to the remaining stock in mechanised and motor manual pre-commercial thinning. Silva Fennica 39(3); S.455-464.*
- NIEMISTÖ, P.; KORPUNEN, H.; LAURÉN, A.; SALOMÄKI, M.; UUSITALO, J. (2012): *Impact and productivity of harvesting while retaining young understorey spruces in final cutting of downy birch. Silva Fennica 46(1); S.81–97.*
- NILL, M., KOHNLE, U., SAUTER, U. (2014): *Nehmen die Schäden eher ab oder zu? AFZ - Der Wald 24/2014, S. 15-16*
- SAUTER, H.; NAKOU, A. (2014): *Mal mehr, mal weniger Schäden, warum? AFZ - Der Wald 24/2014, S. 12-14*
- STOKES, V; KERR, G.; IRELAND, D. (2009): *Seedling height and the impact of harvesting operations on advance regeneration of conifer species in upland Britain, Forestry (2009) 82 (2); S.185-198.*
- WEICH, T.; UNSELD, R. (2011): *Energie-Vorwälder in Südwestdeutschland – Erntetechniken im Energievorwald und Konsequenzen für den Waldbau. AFZ – Der Wald, Heft 5, S.20-23*
- WIRTH, J.(2008): *Pferde in der modernen Forstwirtschaft. Vergleich von Leistung und Pflughaltung zwischen Pferd und Seilschlepper beim Vorliefern von Fichten – Vollbäumen. Diplomarbeit an der Hochschule f. Forstwirtschaft Rottenburg. 134 S.*

## 4.11 Anhang

A1 - Schadhäufigkeiten

A2 - Matrix - Streudiagramme

A3 - Regressionsmodelle

A4 - Streudiagramme Vorhersagewert – tatsächlicher Wert

## A1 - Schadhäufigkeiten

**Bart \* Schaden Kreuztabelle**

Bart	Schaden	Schaden						Gesamt
		Astschaden	Neigung	Rindenschaden	Schnitt	Totalschaden	Wipfelfbruch	
ah	Anzahl	4	4	10	0	3	5	26
	Erwartete Anzahl	4,8	3,0	13,0	1,2	,8	3,2	26,0
bi	Anzahl	20	1	105	19	2	13	160
	Erwartete Anzahl	29,2	18,4	80,2	7,6	4,9	19,7	160,0
dgl	Anzahl	17	34	60	0	4	12	127
	Erwartete Anzahl	23,2	14,6	63,6	6,0	3,9	15,6	127,0
ee	Anzahl	1	0	4	0	0	4	9
	Erwartete Anzahl	1,6	1,0	4,5	,4	,3	1,1	9,0
ei	Anzahl	5	2	8	0	2	5	22
	Erwartete Anzahl	4,0	2,5	11,0	1,0	,7	2,7	22,0
er	Anzahl	22	1	19	0	0	9	51
	Erwartete Anzahl	9,3	5,9	25,6	2,4	1,6	6,3	51,0
f	Anzahl	4	10	18	2	1	1	36
	Erwartete Anzahl	6,6	4,1	18,0	1,7	1,1	4,4	36,0
kle	Anzahl	0	2	1	0	0	1	4
	Erwartete Anzahl	,7	,5	2,0	,2	,1	,5	4,0
kir	Anzahl	1	1	4	0	0	6	12
	Erwartete Anzahl	2,2	1,4	6,0	,6	,4	1,5	12,0
lze	Anzahl	13	0	7	1	0	3	24
	Erwartete Anzahl	4,4	2,8	12,0	1,1	,7	3,0	24,0
rbu	Anzahl	0	1	7	1	1	1	11
	Erwartete Anzahl	2,0	1,3	5,5	,5	,3	1,4	11,0
rei	Anzahl	2	0	0	0	0	0	2
	Erwartete Anzahl	,4	,2	1,0	,1	,1	,2	2,0
ta	Anzahl	0	0	0	0	2	0	2
	Erwartete Anzahl	,4	,2	1,0	,1	,1	,2	2,0
wep	Anzahl	0	0	1	0	0	0	1
	Erwartete Anzahl	,2	,1	,5	,0	,0	,1	1,0
Gesamt	Anzahl	89	56	244	23	15	60	487
	Erwartete Anzahl	89,0	56,0	244,0	23,0	15,0	60,0	487,0

Tab.A1: Beobachtete und erwartete Schadhäufigkeiten bei verschiedenen Baumarten in den laubholzbetonten Beständen

Schadhäufigkeit an Birken						
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)	
Chi-Quadrat nach Pearson	17,137 <sup>a</sup>	1	,000			
Exakter Test nach Fisher				,000	,000	
Anzahl der gültigen Fälle	1569					

<sup>a</sup> 0 Zellen (0,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 103,47;  $\alpha < 0,05$ : Es besteht ein Unterschied bei der Schadhäufigkeit

Schadhäufigkeit an dicken (BHD $\geq$ 10cm) und dünnen (BHD < 10 cm) Bäumen						
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)	
Chi-Quadrat nach Pearson	2,054 <sup>a</sup>	1	,152			
Exakter Test nach Fisher				,158	,085	
Anzahl der gültigen Fälle	1569					

<sup>a</sup> 0 Zellen (0,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 106,64;  $\alpha < 0,05$ : Es besteht kein Unterschied bei der Schadhäufigkeit.

Tab.A2: Überprüfung von Schadhäufigkeiten mit dem Chi-Quadrat-Test & Test nach Fisher in den laubholzbetonten Beständen.

## A2 - Matrix - Streudiagramme

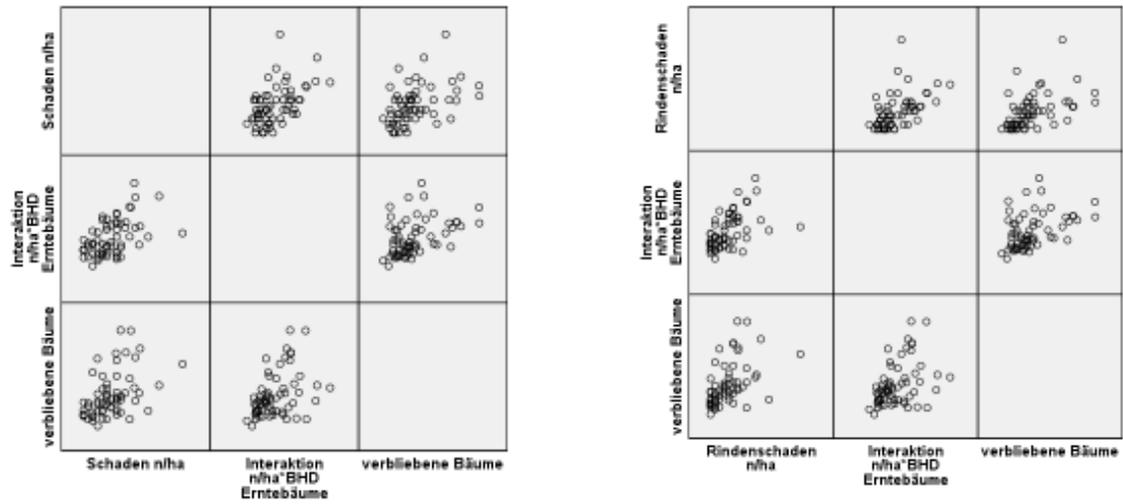


Abb.A1: Matrix-Streu-Diagramme aus der Anzahl geschädigter Bäume, Interaktionskoeffizienten aus der Anzahl entnommener Bäume und deren BHD sowie Anzahl der nach der Beerntung verbliebenen Bäume. Links: alle Schadarten, rechts: nur Rindenschäden).

# A3 - Regressionsmodelle

## Absolute Schadhöhe

**Modellzusammenfassung<sup>a</sup>**

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	,602 <sup>a</sup>	,363	,341	67,275

a. Einflussvariablen: (Konstante), verbliebene Bäume, Interaktion nha\*BHD Erntebäume  
 b. Abhängige Variable: Schaden nha

**ANOVA<sup>a</sup>**

Modell	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	
1	Regression	149444,121	2	74722,060	16,510	,000 <sup>b</sup>
	Nicht standardisierte Residuen	202500,863	58	4525,877		
	Gesamt	411944,984	60			

a. Abhängige Variable: Schaden nha  
 b. Einflussvariablen: (Konstante), verbliebene Bäume, Interaktion nha\*BHD Erntebäume

**Koeffizienten<sup>a</sup>**

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
		Regressionskoeffizient B	Standardfehler			
1	(Konstante)	6,629	22,836	,290	,773	
	Interaktion nha*BHD Erntebäume	,007	,002	,465	4,045	,000
	verbliebene Bäume	,030	,015	,236	2,049	,045

a. Abhängige Variable: Schaden nha

**Modellzusammenfassung<sup>b</sup>**

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	,649 <sup>a</sup>	,421	,401	54,324

a. Einflussvariablen: (Konstante), verbliebene Bäume, Interaktion nha\*BHD Erntebäume  
 b. Abhängige Variable: Rindenschaden nha

**ANOVA<sup>a</sup>**

Modell	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	
1	Regression	124673,240	2	62336,620	21,123	,000 <sup>b</sup>
	Nicht standardisierte Residuen	171161,809	58	2951,066		
	Gesamt	295835,049	60			

a. Abhängige Variable: Rindenschaden nha  
 b. Einflussvariablen: (Konstante), verbliebene Bäume, Interaktion nha\*BHD Erntebäume

**Koeffizienten<sup>a</sup>**

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
		Regressionskoeffizient B	Standardfehler			
1	(Konstante)	-20,051	18,440		-1,575	,121
	Interaktion nha*BHD Erntebäume	,007	,001	,491	4,476	,000
	verbliebene Bäume	,029	,012	,268	2,447	,017

a. Abhängige Variable: Rindenschaden nha

## Schadprozente

**Modellzusammenfassung<sup>a</sup>**

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	,620 <sup>a</sup>	,390	,367	,5895

a. Einflussvariablen: (Konstante), verbliebene Bäume, Interaktion nha\*BHD Erntebäume  
 b. Abhängige Variable: Schadprozente verbleibender Bestand

**ANOVA<sup>a</sup>**

Modell	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	
1	Regression	11,560	2	5,780	16,833	,000 <sup>b</sup>
	Nicht standardisierte Residuen	19,069	52	,347		
	Gesamt	29,629	54			

a. Abhängige Variable: Schadprozente verbleibender Bestand  
 b. Einflussvariablen: (Konstante), verbliebene Bäume, Interaktion nha\*BHD Erntebäume

**Koeffizienten<sup>a</sup>**

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
		Regressionskoeffizient B	Standardfehler			
1	(Konstante)	2,828	,212		13,321	,000
	Interaktion nha*BHD Erntebäume	4,727E-005	,000	,343	2,922	,005
	verbliebene Bäume	-,001	,000	-,872	-5,718	,000

a. Abhängige Variable: Schadprozente verbleibender Bestand

**Modellzusammenfassung<sup>b</sup>**

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	,654 <sup>a</sup>	,428	,391	,5960

a. Einflussvariablen: (Konstante), Bir\_A\_n\_v, Interaktion nha\*BHD Erntebäume, verbliebene Bäume  
 b. Abhängige Variable: Rindenschadprozente verbleibender Bestand

**ANOVA<sup>a</sup>**

Modell	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	
1	Regression	12,222	3	4,074	11,470	,000 <sup>b</sup>
	Nicht standardisierte Residuen	16,339	46	,355		
	Gesamt	28,561	49			

a. Abhängige Variable: Rindenschadprozente verbleibender Bestand  
 b. Einflussvariablen: (Konstante), Bir\_A\_n\_v, Interaktion nha\*BHD Erntebäume, verbliebene Bäume

**Koeffizienten<sup>a</sup>**

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
		Regressionskoeffizient B	Standardfehler			
1	(Konstante)	1,357	,305		4,449	,000
	Interaktion nha*BHD Erntebäume	6,218E-005	,000	,438	3,639	,001
	verbliebene Bäume	,000	,000	-,325	-2,314	,025
	Bir_A_n_v	,011	,004	,347	2,618	,012

a. Abhängige Variable: Rindenschadprozente verbleibender Bestand

Tab.A3: Signifikante Regressionskoeffizienten als Erklärungsvariablen für die Schadhäufigkeit (oben) und die Schadprozente (unten) für alle Schadarten (links) und ausschließlich für Rindenschäden (rechts)

## A4 - Streudiagramme Vorhersagewert – tatsächlicher Wert

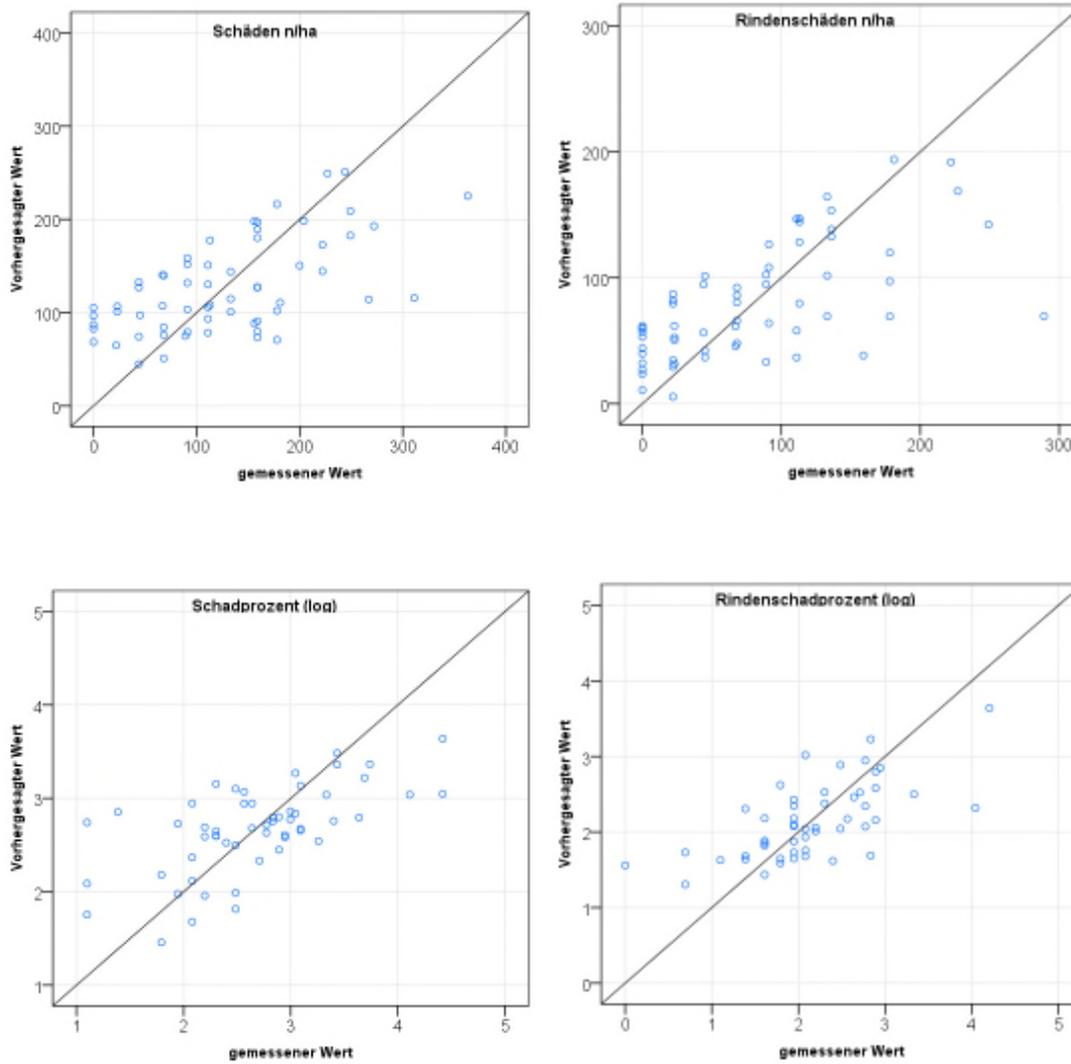


Abb.A2: Streudiagramme der vorhergesagten (x-Achse) und tatsächlichen Werte (y-Achse) der Regressionsmodelle zur Erklärung der Schadprozent.

## 5. Massenschätzung des Pionierbaumvorrats im Waldbestand

Berichtsteil Arbeitspaket AP 3

R. Unseld

Abschlussbericht Piowood

Nutzung von schnellwachsenden Pionierbaumarten auf Waldflächen zur Erhöhung des Biomasseaufkommens im Schwachholzsektor

Förderkennzeichen FKZ 2203 0211