



Landesforst

Mecklenburg-Vorpommern

Wald schafft Zukunft



Vollmechanisierte Holzernteverfahren auf Nassstandorten

Projektbericht

Mecklenburg
Vorpommern



MV tut gut.

www.wald-mv.de

Vollmechanisierte Holzernteverfahren auf Nassstandorten

Projektbericht

- Projektleiter:** Dr. Peter Röhe, Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern (LU),
Referat 240 (Waldbau)
- Projektbearbeiter:** Jörg Sündermann, Landesforst Mecklenburg-Vorpommern,
Betriebsteil Forstplanung, Versuchswesen, Informationssysteme;
Fachgebiet Forstliches Versuchswesen
- Autoren:** Jörg Sündermann und Dr. Peter Röhe

Projektpartner:



- Herausgeber:** Landesforst Mecklenburg-Vorpommern
– Anstalt des öffentlichen Rechts –
Fritz-Reuter-Platz 9, 17139 Malchin

Schwerin, Juli 2014



Gefördert im Rahmen einer Zuwendung für Maßnahmen zur Verbesserung der Zusammenarbeit in der Forst und Holzwirtschaft nach der Richtlinie zur Förderung forstwirtschaftlicher Maßnahmen des Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (FöRiForst-ELER M-V).

Inhaltsverzeichnis

1	Zielstellung	5
2	Ausgangssituation	5
3	Grundlagen und Methodik	6
3.1	Darstellung der Holzernteverfahren an Funktiogrammen	6
3.2	Visuelle Ansprache von Bodenschäden	7
3.3	Beschreibung der Untersuchungsbestände und Kalkulationsgrundlagen	7
3.4	Untersuchte Holzernteverfahren im Überblick	8
4	Ergebnisse aus den Fallstudien	9
4.1	Fallstudie – Jungdurchforstung	9
4.2	Fallstudie – Durchforstung	13
4.3	Fallstudie – Endnutzung	17
4.4	Fallstudie – Kalamitätsnutzung	21
5	Schlussfolgerungen	26
6	Verzeichnisse	28
6.1	Abbildungsverzeichnis	28
6.2	Bildnachweis	29
6.3	Tabellenverzeichnis	30
6.4	Abkürzungsverzeichnis	30
6.5	Literaturverzeichnis	31
7	Anhang	32
7.1	Raupentechnik für Durchforstung	32
7.2	Raupentechnik für Altdurchforstung und Endnutzung	33
7.3	Sonstige Raupentechnik	34

1 Zielstellung

Ziel des Projektes ist die Erprobung und Weiterentwicklung bodenschonender Verfahren zur Holzernte auf befahrungsempfindlichen Nassstandorten unter Einsatz von Raupentechnologie. In Form von Praxistests sollen die Möglichkeiten und Grenzen dieser bislang wenig eingesetzten Spezialtechnik unter verschiedenen Rahmenbedingungen hinsichtlich Standort und Bestockung untersucht werden.

Kennzeichnendes Merkmal der Maschinen sind Kettenlaufwerke, die für ein Befahren von Moorböden und mineralischen Nassstandorten besonders geeignet sind. Durch die erhöhte Aufstandsfläche wird eine deutliche Verringerung des Bodendruckes erzielt. In der Kombination eines Raupenharvesters (Holzeinschlag und Aufarbeitung) mit einem zur Holzurückung eingesetzten Raupenforwarder (in einem Fall auch Radforwarder mit Moorbändern) soll ein vollmechanisiertes und zugleich bodenschonendes Ernteverfahren erprobt werden. Es werden somit Aspekte sowohl der forstwirtschaftlichen Nutzung als auch der Umweltverträglichkeit betrachtet.

Durch die Kooperation des Waldbesitzes (Landesforst MV und Waldbesitzerverband MV) mit forstwirtschaftlichen Dienstleistungsunternehmen soll das Projekt auch beispielgebend für eine intensivere Zusammenarbeit innerhalb der Wertschöpfungskette Forst und Holz sein. Im Mittelpunkt dabei steht die Absicht, bisher nicht zugängliche Holzreserven für die heimische Wirtschaft zu erschließen.

Die Erkenntnisse aus dem Projekt werden allen Interessierten aus der Forst- und Holzwirtschaft in geeigneter Weise (Fachbeiträge, Vorführungen u. a.) übermittelt, damit die erfolgreich erprobten Verfahren möglichst zügig und verbreitet zum Einsatz kommen.

2 Ausgangssituation

Mecklenburg-Vorpommern hat im Bundesvergleich einen auffallend hohen Anteil an Wäldern auf nassen Böden. Ursächlich dafür ist die eiszeitliche Prägung der Landschaft, in deren Folge viele nasse Standorte im Bereich von Flüssen und Seen entstanden. Etwa ein Viertel aller Wälder im Land wachsen auf nassen Standorten. Die heutige Baumartenverteilung spiegelt diese Situation wider. Allein die auf nassen Böden dominierenden Erlen nehmen eine Fläche von 44.000 ha ein (SÜNDERMANN 2009).

Wälder auf nassen Böden, so beispielweise Erlenbestände, zeigen überwiegend gute Wuchsleistungen (RÖHE U. SCHRÖDER 2010). Angesichts der zunehmenden Nachfrage nach Holz als nachwachsenden Rohstoff ist es daher naheliegend, dieses Potential möglichst weitreichend zu erschließen. Allein mit der Roterle lässt sich überschlägig in Mecklenburg-Vorpommern eine Holzmenge von jährlich mehr als 250.000 m³ nachhaltig produzieren und einer Wertschöpfung im Cluster Wald und Holz zuführen.

Gegenwärtig bereitet die Nutzung der vorhandenen Holzvorräte auf nassen Böden noch erhebliche Probleme. Vordergründig fehlt es an technisch ausgereifter und wirtschaftlich tragfähiger Holzerntetechnik. Demzufolge wurden die Nasswälder bisher oft nicht oder nur extensiv bewirtschaftet. Eine große Anzahl nicht gepflegter und/oder überalterter Bestände sind Beleg dafür. Der Erhalt einer nachhaltigen Betriebsklasse für Wälder nasser Standorte ist somit ernsthaft gefährdet.

3 Grundlagen und Methodik

3.1 Darstellung der Holzernteverfahren an Funktiogrammen

Ein Funktiogramm ist eine Form der graphischen Darstellung, die es dem Betrachter ermöglicht, die wichtigsten Arbeitsschritte und Rahmenbedingungen des jeweiligen Holzernteverfahrens auf einen Blick zu erfassen. Es beinhaltet die zwei Hauptfunktionen (Prozesse) der Holzernte mit Fertigen (senkrechte Achse) und Transportieren (waagerechte Achse) (ERLER U. DÖG 2009). Diese Prozesse werden durch Pfeile dargestellt. Das Fertigen geschieht in drei Arbeitsschritten: Fällen des Baumes, Entasten des Vollbaumes und Einschneiden des Rohschafes in Sortimente oder Vielfachlängen. Das Transportieren (Rücken) erfolgt in zwei Arbeitsschritten: Vorrücken aus dem Bestand auf die Gasse, Rücken von der Gasse zum Lagerort 1. Bilder (Piktogramme) symbolisieren die im Holzernteverfahren verwendeten Arbeitsmittel Harvester (Kranvollernter) und Forwarder (Tragschlepper). Sie sind dort in das Funktiogramm eingefügt, wo ihr Arbeitsort ist. Rahmenbedingungen eines Holzernteverfahrens wie Stärkeklasse (BHD), Baumartengruppe (Laub- und Nadelbaum) und Gassenabstand vervollständigen das Funktiogramm (SÜNDERMANN, SCHRÖDER, RÖHE 2013).

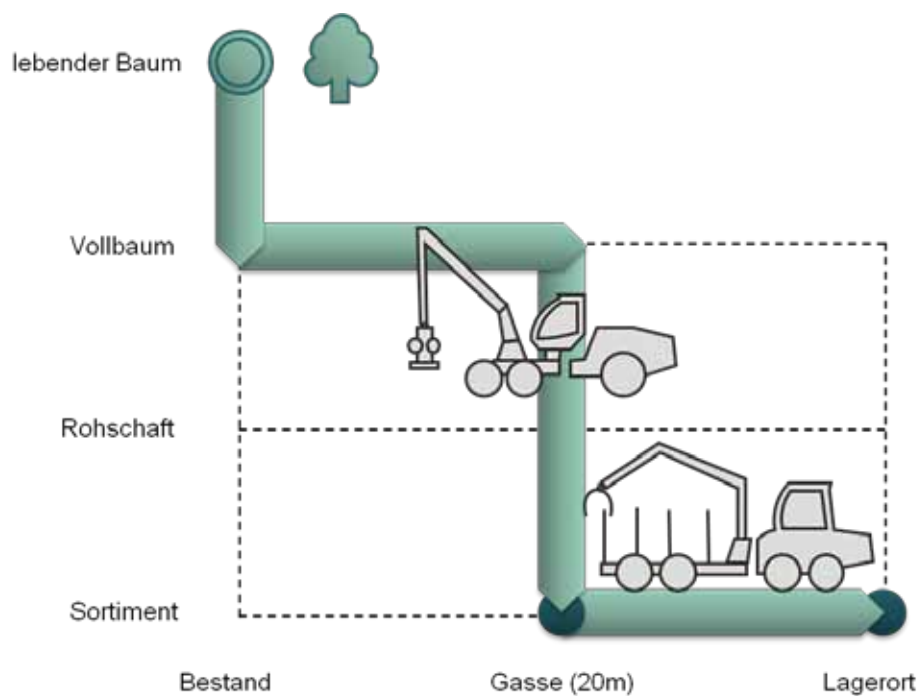


Abbildung 1: Beispielhaftes Funktiogramm für ein Holzernteverfahren „Harvester + Forwarder“.

Beispielgebend ist das in Abbildung 1 dargestellte Funktiogramm folgendermaßen zu interpretieren: Im Gassenabstand von 20 m werden zur Entnahme vorgesehene Bäume mittels Harvester gefällt und aus dem Bestand zur Gasse vorgerückt, dort entastet und abschließend sortengerecht eingeschnitten. Mit einem nachfolgenden Forwarder wird das an der Gasse liegende Holz aufgenommen und zum Lagerort (Abfuhrweg) gerückt. Die im Funktiogramm oben dargestellten Symbole kennzeichnen die relevante Stärkeklasse und Baumartengruppe. In diesem Fall wird mit der zweiringigen Baumscheibe (●) und dem stilisierten Laubbaum (🌿) eine Erntemaßnahme im mittelstarken Laubholz dargestellt (Entnahme von Bäumen mit BHD bis 35 cm). Eine Baumscheibe mit einem Ring symbolisiert die Entnahme von Bäumen mit BHD bis 20 cm, eine mit drei Ringen beschreibt die Entnahme von Bäumen mit BHD bis 50 cm.

3.2 Visuelle Ansprache von Bodenschäden

Ausgehend von bodenkundlichen Untersuchungen lassen sich Bodenschäden durch visuelle Ansprache der Fahrspuren typisieren und gutachtlich bewerten (siehe auch MEYER, LÜSCHER U. SCHULIN 2011). Beim Fahrspurtyp 1 ist die organische Auflage nur wenig tief eingewölbt (Abb. 2). Dieser Spurtyp stellt eine leichte Beeinträchtigung, aber noch keinen Schaden dar. Der Fahrspurtyp 2 weist stärkere Vertiefungen im Oberboden auf, die bis zu 10 cm tief reichen können (Abb. 3). Teilweise entstehen durch weggedrücktes Material bereits seitliche Aufwölbungen an den Fahrspurrändern. Auch dieser Spurtyp ist noch nicht als schwerwiegender Schaden einzustufen. Beim Fahrspurtyp 3 hingegen sind die Fahrspuren tiefer als 10 cm und die seitlichen Aufwölbungen sind stark ausgeprägt (Abb. 4). Das entscheidende Merkmal dieses Fahrspurstyps ist, dass die Fahrspursohle bis in den Unterboden reicht und in den seitlichen Aufwölbungen die Humusauflage mit dem Ober- und Unterboden durchmischt wird.



Abbildung 2: Fahrspurtyp 1: kaum eingewölbte Spuren beim Grundwasserstand von 60 cm unter Flur.



Abbildung 3: Fahrspurtyp 2: Vertiefungen bis 10 cm, teilweise seitliche Aufwölbungen beim Grundwasserstand von 30 cm unter Flur.



Abbildung 4: Fahrspurtyp 3: seitlich deutliche Aufwölbungen bis zum Bodenfließen bei flurgleichem Grundwasserstand.

3.3 Beschreibung der Untersuchungsbestände und Kalkulationsgrundlagen

Die Untersuchungsbestände werden hinsichtlich wesentlicher Bestandeskennwerte und Standortmerkmale beschrieben. Die Bestandesdaten in den Tabellen „Leistung und Kosten der Verfahren“ beziehen sich auf den ausscheidenden Bestand.

Als verfahrensbezogene Kalkulationsgrundlagen werden Zeitstudien und Leistungsparameter sowie Lohn- und Maschinenkosten herangezogen. Durch die Anwendung eines standardisierten Kalkulationsschemas wird ein überbetrieblicher Kostenvergleich der untersuchten Holzernteverfahren angestrebt. Die im Rahmen der Fallstudien ermittelten Maschinenkosten werden auf der Grundlage aktueller Kostensätze gemäß KURATORIUM FÜR WALDARBEIT UND FORSTTECHNIK E. V. (2013) und der Landesforst Mecklenburg-Vorpommern errechnet. Anschaffungskosten sind ohne Mehrwertsteuer in die Berechnung eingegangen. Beim Einsatz älterer Maschinen sind die Anschaffungskosten zum Zeitpunkt der KWF-Prüfung ohne Inflationsbereinigung zugrunde gelegt worden.

Die Darstellung der Fallstudien erfolgt einheitlich nach folgender Gliederung: Untersuchungsbestand (Lage und Bestockungszustand), Standort, waldbauliche Maßnahme, Verfahrensbeschreibung, technische Daten, Arbeitsvorbereitung und Witterung zum Zeitpunkt des Einsatzes sowie Leistung und Kosten des Verfahrens. Auf dieser Grundlage schließt sich eine knappe Verfahrensbeurteilung nach den Kriterien Arbeitssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit an. In Form eines Fazits werden die wichtigsten aus der Fallstudie gewonnenen Erkenntnisse zusammengefasst.

3.4 Untersuchte Holzernteverfahren im Überblick

Die im Rahmen des Projektes untersuchten Fallstudien sind in Tabelle 1 im Überblick dargestellt.

Tabelle 1: Vorrangiger Einsatzbereich und Verfahrensbeschreibung der im Rahmen von Fallstudien untersuchten Holzernteverfahren (DF = Durchforstung; EN = Endnutzung)

Fallstudie	Vorrangiger Einsatzbereich	Verfahrensbeschreibung
Jungdurchforstung	20 m Gassenabstand; DF; Kurzholz; Bodentragfähigkeit: gering	maschinelles Fällen und Aufarbeiten; Rücken durch Raupenforwarder
Durchforstung	20 m Gassenabstand; DF; Kurzholz; Bodentragfähigkeit: gering	maschinelles Fällen und Aufarbeiten; Rücken durch Raupenforwarder
Endnutzung (Saumhieb)	20 m Gassenabstand; DF und EN; Kurzholz; Bodentragfähigkeit: mittel	maschinelles Fällen und Aufarbeiten; Rücken durch Raupenforwarder
Kalamitätsnutzung	20-30 m Gassenabstand; DF und EN; Kurzholz; Bodentragfähigkeit: mittel	maschinelles Fällen und Aufarbeiten; Rücken durch Radforwarder mit Bändern

4 Ergebnisse aus den Fallstudien

4.1 Fallstudie – Jungdurchforstung



Abbildung 5: Der mittelgroße Raupenharvester vom Typ Neuson 9002HV wiegt 11 t und ist mit 600 mm Ketten (Dreistegketten) ausgerüstet.



Abbildung 6: Der kleine Raupenforwarder vom Typ Logbear FH 4000 wiegt 5 t und hat 490 mm breite Gummibänder mit Metallquerstegen.

Untersuchungsbestand

Forstamt Dargun, Revier Dargun, Abteilungen 3111 a3, a7 und 3114 b1, b7.

Bestockung

Den Mittelpunkt der Untersuchung bildet in Abteilung 3111 a7 ein 22-jähriger Roterlenreinbestand auf 1,76 ha; gedrängt bestockt (SG 1,2); starkes Stangenholz; mittlerer Bestandesdurchmesser (BHD) der Roterle = 19 cm.

Standort

Tabelle 2: Beschreibung des Standortes.

Wuchsgebiet	Ostholsteinisch-Westmecklenburger Jungmoränenland
Wuchsbezirk	Malchiner Peenetal
Jahresniederschlag	615 mm
Natürliche Waldgesellschaft	Iris-Sumpfpippau-Erlen-Eschen-Wald
Boden	Organischer Nassstandort (Moor) Feuchtestufe: Nass; Nährkraftstufe: Reich; (OR3 n. SEA 95)
Grundwasserspiegel	Im Mittel 30 cm unter Flur (zum Zeitpunkt der Ernte)

Waldbauliche Maßnahme

Gassenaufschluss, Z-Baum-orientierte Auslesedurchforstung mit 35 Fm/ha.

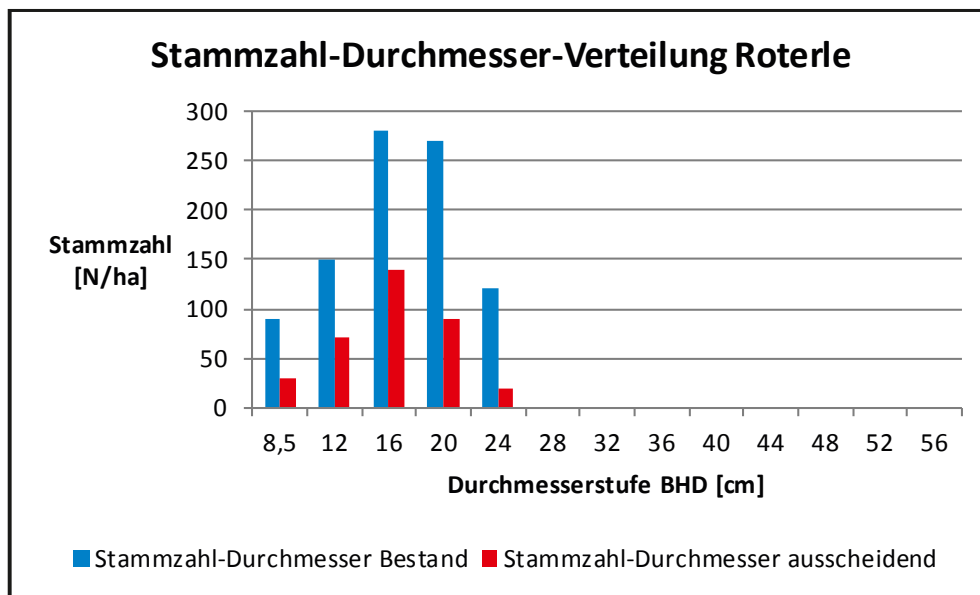


Abbildung 7: Die Entnahme konzentriert sich auf Z-Baum-Bedränger in den Durchmesserstufen 16 und 20 cm.

Verfahrensbeschreibung

Bei einem Gassenabstand von 20 m werden die zur Nutzung vorgesehenen Bäume vom Raupenharvester gefällt, als Kurzholzsortiment aufgearbeitet und an der Gasse abgelegt. Von dort wird das Sortiment mittels Raupenforwarder an den Lagerort gerückt und gepoltert. Nicht verwertbares Holz wird zur Erhöhung der Tragfähigkeit des Bodens auf der Gasse abgelegt.

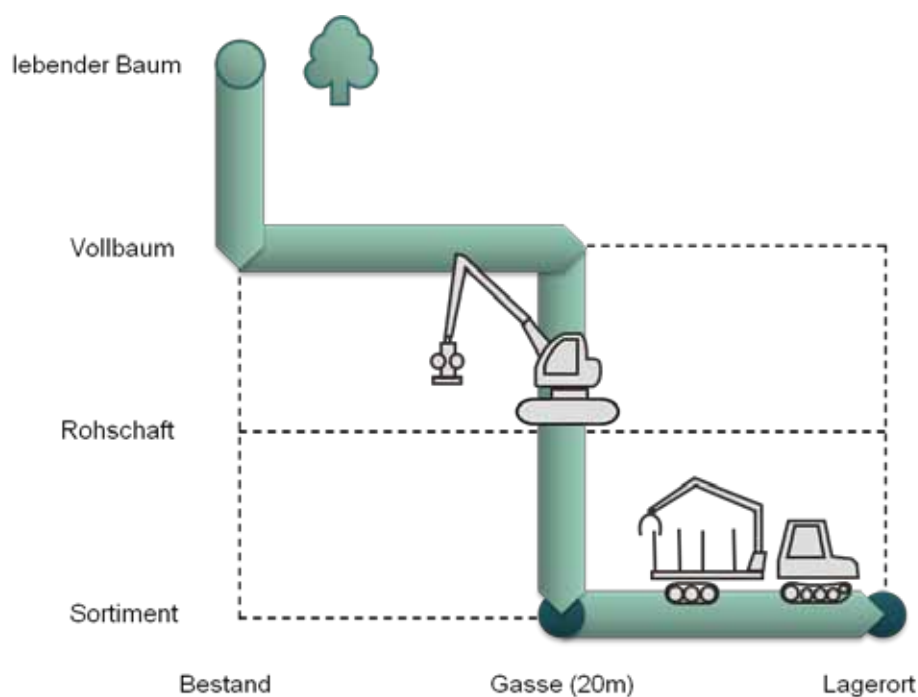


Abbildung 8: Funktiogramm zum Fallbeispiel Jungdurchforstung.

Technische Daten

Raupenharvester: Neuson 9002HV, Eigengewicht 11 t; 9,8 m Kranreichweite; Kettenbreite 600 mm; Aggregat Logmax 4000 mit Sammelfunktion; bis 50 cm Fälldurchmesser; Bodenfreiheit 42 cm; rechnerischer Bodendruck 0,27 kg/cm².

Raupenforwarder: Logbear FH 4000; Eigengewicht 5,0 t; 6,1 m Kranreichweite; Bodenfreiheit an Bogieachse 35 cm; Kettenbreite 490 mm; rechnerischer Bodendruck unbeladen 0,14 kg/cm².



Abbildung 9: Der Drehkranz verhilft dem Harvester zu einer sehr guten Wendigkeit und damit zugleich Pfléglichkeit des Eingriffes.



Abbildung 10: Die Gefahr des Einsinkens ist unter dem Rungenkorb am größten, da hier der rechnerische Bodendruck im beladenen Zustand 0,46 kg/cm² beträgt.

Arbeitsvorbereitung und Witterung

Die Arbeitsvorbereitung beinhaltet: Festlegen der Rückegassen und Polterplätze, Kennzeichnung des ausscheidenden Bestandes; Arbeitsauftrag mit u.a. Festlegung des auszuformenden Sortiments.

Zum Zeitpunkt des maschinellen Holzeinschlages Anfang Februar 2014 herrschte offenes Wetter mit auftauendem Oberboden und einem Grundwasserspiegel von ca. 30 cm unter Flur. Die Rückung ab Ende Februar 2014 erfolgte nach niederschlagsarmen Wochen bei ähnlichem Grundwasserstand.

Leistung und Kosten des Verfahrens

Tabelle 3: Übersicht der Leistungs- und Kostenwerte.

Ausscheidender Bestand		BHD [cm]	16
BHD: 9-24 cm		Fm (gesamt)	222
Anteile: Roterle 95 %, Esche 5 %		Fm/ha	35
Ø Rückentfernung 200 m			
Leistung	Raupenharvester	Fm/MAS	5,3
	Raupenforwarder	Fm/MAS	5,0
Kosten	Raupenharvester	€/Fm	19,81
	Raupenforwarder	€/Fm	15,00
	Gesamtkosten	€/Fm	34,81
Kostensätze			
Harvester: 105 €/MAS			
Raupenforwarder: 75 €/MAS			

Verfahrensbeurteilung

Arbeitssicherheit

Einschlag und Rückung erfolgen vollständig durch Maschinen mit schützender Kabine für den Fahrer, so dass eine hohe Arbeitssicherheit gegeben ist.

Bodenschutz

Die Fallstudie zeigte auf, dass bei einem Grundwasserspiegel von ca. 30 cm unter Flur die eingesetzten Maschinen wenig in den Moorkörper einsinken und somit kaum Bodenschäden verursachen. Da der Harvester mit einem starren Laufwerk (Balkenlaufwerk) ausgerüstet ist, liegt die Maschine im ebenen Gelände stets vollständig mit der Kette auf dem Moorboden auf. Dies führt zu einer guten Verteilung des Bodendruckes, so dass die Spurtiefen unter 10 cm bleiben. Ein bewegliches Laufwerk wie beim Forwarder führt zu einer größeren Beanspruchung der Rückegasse. Insbesondere bei häufigeren Überfahrten auf Sammelgassen mit wenig oder fehlendem Restholz treten tiefere Spuren auf, die nur noch bedingt akzeptabel sind (Spurtyp 2). Auf solchen Gassen sollte daher möglichst viel Restholz abgelegt werden. Stärkere Lenkbewegungen beim Harvester und Forwarder führen gelegentlich zu Aufwölbungen des Bodens, die aber insgesamt betrachtet noch vertretbar sind.



Abbildung 11: Gassenzustand (Spurtyp 1) nach dem Holzeinschlag beim Grundwasserstand von 30 cm unter Flur nach zweimaliger Überfahrt mit dem Harvester Neuson 9002HV.



Abbildung 12: Gassenzustand (Spurtyp 2) nach der Rückung beim Grundwasserstand von 30 cm unter Flur; 3 Leerfahrten und 2,5 Lastfahrten des Forwarders.

Wirtschaftlichkeit

Die festgestellten Holzerntekosten fallen hoch aus. Dazu tragen folgende Faktoren maßgeblich bei: Niedrige Stückmasse und geringer Holzanfall sowie viele bzw. lange Fahrwege durch Stichgassen und eine langgestreckte Hiebsfläche (insbesondere in Abt. 3111 a7). In Anbetracht dieser leistungsmindernden Umstände bietet das Verfahren eine rationelle Möglichkeit zur Pflege junger Bestände auf nassen Standorten.

Fazit

Mit dem praktizierten Holzernteverfahren lassen sich Jungbestände auf Moorstandorten rationell pflegen. Die eingesetzten Maschinen erlauben eine vollmechanisierte Ernte, die unter den standörtlichen Gegebenheiten auch bodenschonend ist. Es zeichnet sich allerdings ab, dass bei Grundwasserständen von weniger als ca. 30 cm unter Flur auch bei Einsatz kleiner Raupenfahrzeuge Bodenschäden zu erwarten sind.

4.2 Fallstudie – Durchforstung



Abbildung 13: Raupenharvester vom Typ Neuson 9002HV bei der Durchforstung eines Roterlenbestandes mit Wasserüberstau.



Abbildung 14: Der kleine Raupenforwarder vom Typ Terri 34 beim Rücken von Kurzholzsortimenten.

Untersuchungsbestand

Forstamt Billenhagen, Revier Altheide, Abteilung 109 a4.

Bestockung

71-jähriger Roterlenbestand mit geringer Beimischung aus Birke, Esche, Stieleiche und Rotbuche auf 5,07 ha; gedrängt bestockt (SG 1,5); geringes Baumholz; mittlerer Bestandesdurchmesser (BHD): Roterle = 23 cm, Birke = 22 cm, Esche = 20 cm, Stieleiche = 39 cm und Rotbuche = 39 cm.

Standort

Tabelle 4: Beschreibung des Standortes.

Wuchsgebiet	Ostholsteinisch-Westmecklenburger Jungmoränenland
Wuchsbezirk	Sanitz-Güstrower Grund-(Wellen-)moräne
Jahresniederschlag	647 mm
Natürliche Waldgesellschaft	Kohldistel-Erlen-Eschenwald
Boden	Mineralischer Nassstandort; Feuchtestufe Nass; Nährkraftstufe Kräftig; (NK1 n. SEA 95)
Grundwasserspiegel	zwischen ca. 20 cm unter Flur und Überstau wechselnd (zum Zeitpunkt der Ernte)

Waldbauliche Maßnahme

Gassenaufschluss und Durchforstung mit einer Entnahme von 25 % des Vorrates (73 Fm/ha).

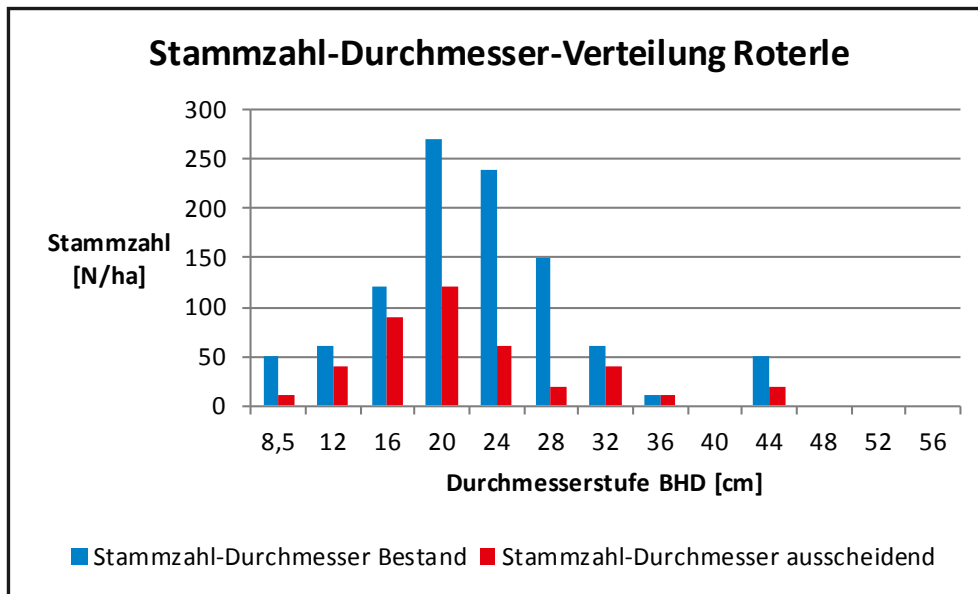


Abbildung 15: Sehr hohe Stammzahlhaltung und geringe Durchmesser kennzeichnen diesen durchgewachsenen (unbewirtschafteten) Erlenniederwald. Die Entnahme trägt den Schwerpunkt einer Niederdurchforstung.

Verfahrensbeschreibung

Ausgehend von einem Gassenabstand von 20 m werden die angewiesenen Bäume vom Raupenharvester gefällt, in Kurzholzsortimenten aufgearbeitet und an der Gasse sortengetrennt abgelegt. Das an der Gasse liegende Holz wird mit einem Raupenforwarder bis zum Abfuhrweg gerückt und gepoltert. Nicht verwertbares Holz wird zur Erhöhung der Tragfähigkeit des Bodens auf der Gasse abgelegt.

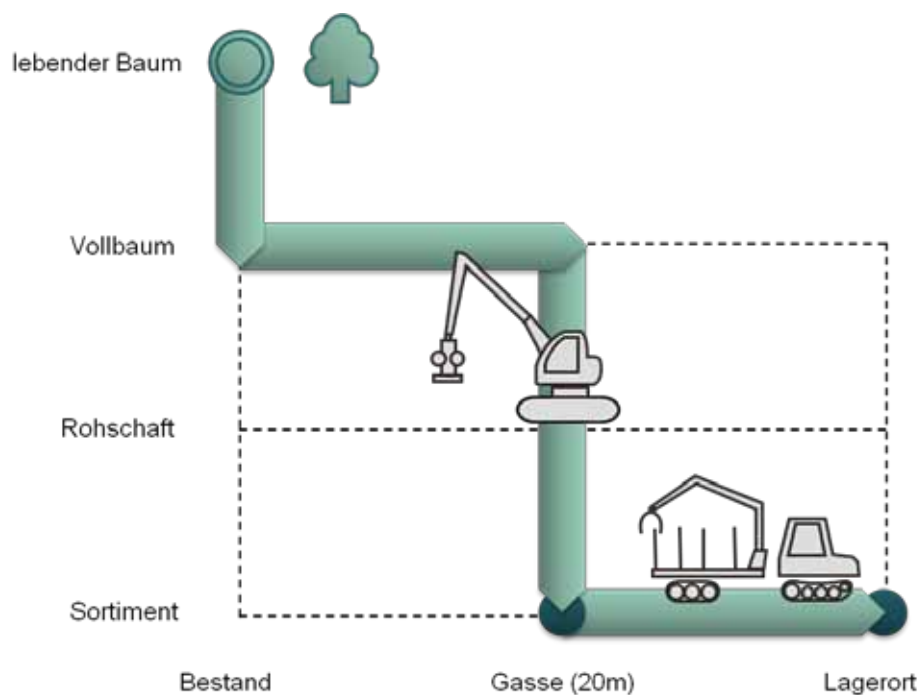


Abbildung 16: Funktiogramm zum Fallbeispiel Durchforstung.

Technische Daten

Raupenharvester: siehe 4.1 Technische Daten.

Raupenforwarder: Terri 34; Eigengewicht 4,5 t; 6 m Kranreichweite; Bodenfreiheit direkt an den hinteren Bogieachsen 25 cm; Kettenbreite 490 mm; rechnerischer Bodendruck unbeladen 0,11 kg/cm².



Abbildung 17: Eine ungünstige Abfolge von mehreren breiten Wurzelstöcken mit einer Höhe von 35 cm blockieren die Rückegasse für die Terri 34.



Abbildung 18: Gassenzustand (im Vordergrund Spurtyp 3, im Hintergrund Spurtyp 2) nach sechs vollen Lastfahrten mit der Terri 34 bei einem Grundwasserstand von 20 cm unter Flur.

Arbeitsvorbereitung und Witterung

Die Arbeitsvorbereitung beinhaltet: Festlegen der Polterplätze und Kennzeichnen der Rückegassen sowie des ausscheidenden Bestandes. Arbeitsauftrag mit u. a. Hinweisen zur Sortimentsaushaltung. Witterung: Zum Zeitpunkt des maschinellen Einschlages ab Mitte Januar 2014 herrschte Frost, der jedoch noch nicht zu einer Erhöhung der Tragfähigkeit des Moorbodens führte. Während der Rückung von Ende Januar bis Anfang Februar 2014 setzte sich zunächst der Dauerfrost fort. Dieser ließ das überstaute Wasser im zentralen Bereich des Bestandes gefrieren und den Oberboden an den Rändern der Fläche durchfrieren. Dadurch konnte der Raupenforwarder zeitweise auf dem Eis (Dicke 10 cm) fahren und das Holz rücken. Mit einsetzendem Tauwetter wurde die Rückung sehr schwierig.

Leistung und Kosten des Verfahrens

Tabelle 5: Übersicht der Leistungs- und Kostenwerte.

Ausscheidender Bestand BHD: 9-43 cm; Anteile: Roterle 61 %, Esche 17 %, Sandbirke 9 %, Rotbuche 9 %, Stieleiche 3 %; 100 % Industrieholz (3 m lang), 6 Sortimente; Ø Rückeentfernung 300 m		BHD [cm] Fm (gesamt) Fm/ha	20 371 73
Leistung	Raupenharvester	Fm/MAS	10,7
	Raupenforwarder	Fm/MAS	4,3
Kosten	Raupenharvester	€/Fm	9,81
	Raupenforwarder	€/Fm	17,44
	Gesamtkosten	€/Fm	27,25
Kostensätze: Harvester 105 €/MAS, Raupenforwarder 75 €/MAS			

Verfahrensbeurteilung

Arbeitssicherheit

Harvester und Forwarder verfügen über eine schützende Kabine, so dass das vollmechanisierte Verfahren eine hohe Arbeitssicherheit gewährleistet.

Bodenschutz

Unter den Bedingungen sehr hoher Grundwasserstände bis hin zu Überstauungen sinkt bereits der Raupenharvester häufiger etwa 10 bis 20 cm tief in den Boden ein. Ähnlich ist die Situation beim Forwarder, der trotz eines relativ geringen Gewichts bei Lastfahrt von bis zu 10 t immer wieder auch tiefere Spuren (Spurtyp 3) hinterlässt. Mit vorausschauend verstärkter Armierung der Gassen im Bereich besonders nasser Stellen lassen sich Bodenschäden reduzieren.

Wirtschaftlichkeit

Aufgrund der hohen Hiebsmenge erzielt der Raupenharvester eine ansprechende Produktivität. Diese verbunden mit einem relativ niedrigen Kostensatz führt zu vergleichsweise günstigen Einschlags- und Aufarbeitungskosten. Dem gegenüber ist die Rückeleistung des Forwarders gering, obwohl dieser das Holz vorkonzentriert an der Gasse aufnehmen kann. Ursache dafür sind vor allem die langen Rückedistanzen, sowie die Sortimentsvielfalt.

Fazit

Die Fallstudie bestätigt, dass bei einem Grundwasserspiegel wenig unter oder sogar über Flur auch Raupenfahrzeuge nur unter besonderen Umständen (z. B. bei tief gefrorenem Boden) bodenschonend einsetzbar sind. Es bleibt in der Regel nur die Empfehlung, Einschlag und Rückung in eine Zeit zu verlegen, in der die Grundwasserstände einen Tiefstand einnehmen. Liegt dieser tiefer als ca. 30 cm unter Flur, ist das hier praktizierte vollmechanisierte Ernteverfahren ohne Probleme für den Boden einsetzbar.

4.3 Fallstudie – Endnutzung



Abbildung 19: Der große Raupenharvester vom Typ Neuson 182HVT wiegt 20,5 t und ist ausgerüstet mit 700 mm breiten gekrüpfen Dreistegketten.



Abbildung 20: Bei voller Auslage des Ladekrans (6,1 m) können etwa 550 kg gehoben werden. Die Greiferöffnung des Ladekrans beträgt 1,04 m.

Untersuchungsbestand

Forstamt Dargun, Revier Dargun, Abteilung 3116 d.

Bestockung

61-jähriger Roterlenbestand (aus Stockausschlag) auf 2,38 ha; gedrängt bestockt (SG 1,3); geringes bis mittleres Baumholz; mittlerer Bestandesdurchmesser (BHD) der Roterle = 28 cm.

Standort

Tabelle 6: Beschreibung des Standortes.

Wuchsgebiet	Ostholsteinisch-Westmecklenburger Jungmoränenland
Wuchsbezirk	Malchiner Peenetal
Jahresniederschlag	615 mm
Natürliche Waldgesellschaft	Iris-Sumpfpippau-Erlen-Eschen-Wald
Boden	Organischer Nassstandort (Moor); Feuchtestufe Nass; Nährkraftstufe Reich; (OR3 n. SEA 95)
Grundwasserspiegel	Im Mittel 70 cm unter Flur (zum Zeitpunkt der Ernte)

Waldbauliche Maßnahme

Nahezu vollständige Nutzung des Roterlenoberstandes auf 0,90 ha. Belassen von einzelnen Überhältern. Wiederaufforstung mit Roterle in Ergänzung zum Stockausschlag.

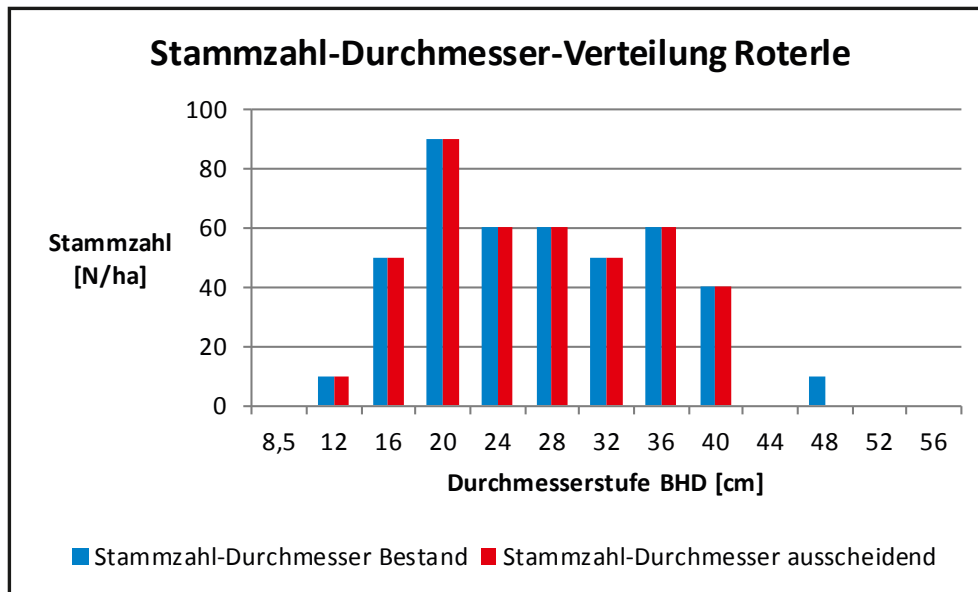


Abbildung 21: Es wird der gesamte aufstockende Bestand genutzt – nur einzelne Überhälter verbleiben auf der Fläche.

Verfahrensbeschreibung

Von festgelegten Gassen (Abstand 20 m) aus werden die zum Einschlag angewiesenen Bäume vom Raupenharvester gefällt, in Kurzholzsortimenten aufgearbeitet und an der Gasse abgelegt. Sämtliches nicht verwertbares Holz wird zur Erhöhung der Tragfähigkeit des Bodens auf den Gassen abgelegt. Das an der Gasse liegende Holz wird mit einem Raupenforwader bis zum Lagerort gerückt.

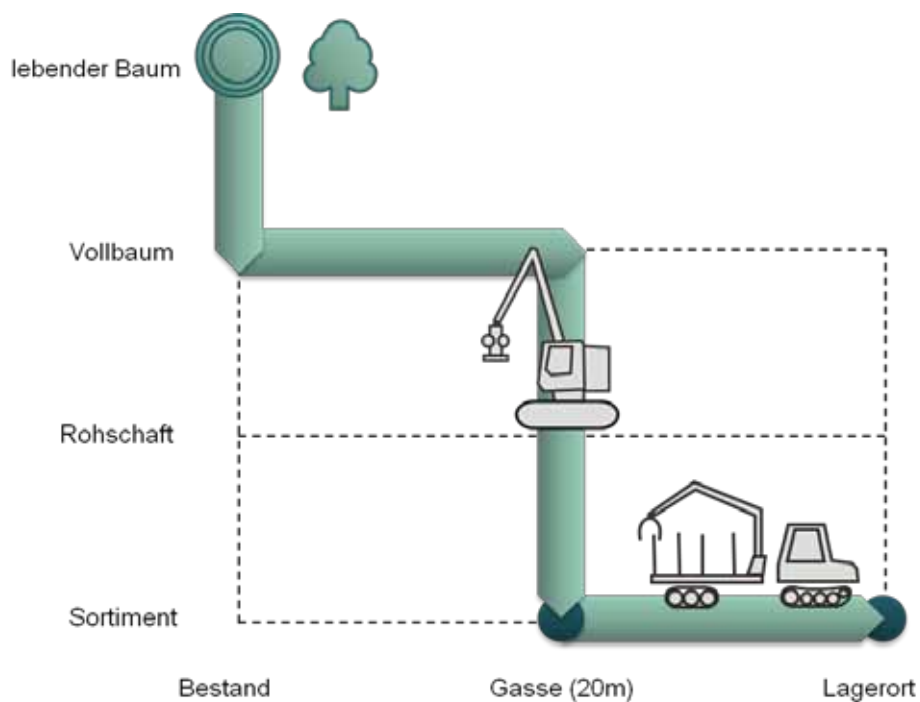


Abbildung 22: Funktiogramm zum Fallbeispiel Kulissenhieb.

Technische Daten

Raupenharvester: Neuson 182HVT; 10 m Kranreichweite; Aggregat Logmax 6000; bis 75 cm Fälldurchmesser; 50 cm Bodenfreiheit; rechnerischer Bodendruck 0,44 kg/cm²; der Harvester ist mit einer Seilwinde (Zugkraft 7 t) ausgerüstet.

Raupenforwarder: Technische Daten siehe 4.1.



Abbildung 23: Eine Wurzelstockhöhe von 35 cm ist für die Überfahrt unproblematisch, da die Zugmaschine eine Bodenfreiheit von 38,5 cm aufweist.



Abbildung 24: Gassenzustand (Spurtyp 2) nach zehn Lastfahrten bei einem Grundwasserstand von 70 cm und sehr viel Kronenholz auf der Rückegasse.

Arbeitsvorbereitung und Witterung

Die Arbeitsvorbereitung beinhaltet: Festlegen des Polterplatzes und Kennzeichnen der Rückegassen im Abstand von 20 m sowie zu belassender Überhälter; Arbeitsauftrag mit u.a. Festlegung der auszuformenden Sortimente.

Witterung: Zum Zeitpunkt des Einschlags Ende Januar 2014 herrschte leichter Frost, der den Moorboden bis zu 5 cm tief durchfrieren ließ. Zwischen Einschlag und Rückung und während der Rückung Mitte Februar 2014 herrschte offenes und trockenes Wetter mit frostfreiem Boden.

Leistung und Kosten

Tabelle 7: Übersicht der Leistungs- und Kostenwerte.

Ausscheidender Bestand BHD: 13-42 cm Anteile: Roterle 100 % 100 % Industrieholz (3 m lang), 3 Sortimente Ø Rückeentfernung <100 m		BHD [cm] Fm (gesamt) Fm/ha	28 293 333
Leistung	Raupenharvester	Fm/MAS	13,3
	Raupenforwarder	Fm/MAS	7,2
Kosten	Raupenharvester	€/Fm	12,41
	Raupenforwarder	€/Fm	10,42
	Gesamtkosten	€/Fm	22,83
Kostensätze Harvester: 165 €/MAS Raupenforwarder: 75 €/MAS			

Verfahrensbeurteilung:

Arbeitssicherheit

Durch den Schutz der Kabine von Harvester und Forwarder gewährleistet das vollmechanisierte Verfahren ein hohes Maß an Arbeitssicherheit.

Bodenschutz

Aufgrund der günstigen Witterung und insbesondere des ziemlich tiefen Grundwasserstandes hinterließen sowohl der Harvester als auch der Forwarder keine tiefen Fahrspuren. Das viele Kronenrestholz auf der Gasse trug ebenfalls zur Schonung des Bodens bei. Sichtbare Aufwölbungen des Oberbodens traten nur gelegentlich auf, so zum Beispiel beim Umfahren hoher Wurzelstöcke oder in Senken ohne Armierung.

Wirtschaftlichkeit

Die Leistung des großen Raupenharvesters ist hoch. Dazu trägt auch die Hiebsart mit konzentriert anfallender Nutzungsmenge bei. Wegen der kurzen Rückeentfernung ist die Leistung des Raupenforwarders ebenfalls ansprechend hoch. Demzufolge sind die Gesamtkosten des Verfahrens deutlich niedriger als bei den Verfahren der zuvor beschriebenen Fallstudien.

Fazit

Die Fallstudie - Endnutzung in Form eines Kulissenhiebes zeigt, dass auf Moorböden mit tieferem Wasserspiegel die Holzernte mit Raupenmaschinen uneingeschränkt bodenschonend durchführbar ist. Aufgrund des hohen Hiebsanfalls bei relativ günstigen Stückmassen konnte der eingesetzte große Harvester sein Leistungsvermögen optimal ausschöpfen und damit spürbar die Gesamtkosten senken.

4.4 Fallstudie – Kalamitätsnutzung



Abbildung 25: Der große Raupenharvester vom Typ Impex T 25 Moor wiegt 25 t und ist mit 1,30 m breiten Ketten ausgerüstet.



Abbildung 26: Der große Radforwarder HSM 208 F Moor lädt auch Stammholzabschnitte bis 6,5 m Länge.

Untersuchungsbestand

Forstamt Billenhagen, Revier Willershagen, Abteilung 1030 a3.

Bestockung

69-jähriger Eschenbestand auf 7,28 ha; locker bestockt (SG 0,7); geringes Baumholz; mittlerer Bestandesdurchmesser (BHD) der Esche = 28 cm.

116-jähriger Eschenreinbestand auf 0,95 ha; geschlossen bestockt (SG 0,9); mittleres Baumholz; mittlerer Bestandesdurchmesser (BHD) der Esche = 42 cm.

Standort

Tabelle 8: Beschreibung des Standortes.

Wuchsgebiet	Ostholsteinisch-Westmecklenburger Jungmoränenland
Wuchsbezirk	Sanitz-Güstrower Grund-(Wellen-)moräne
Jahresniederschlag	647 mm
Natürliche Waldgesellschaft	Rasenschmielen-Lungenkraut-Eschen-Buchen-Wald
Boden	Mineralischer Nassstandort; Feuchtestufe Feucht; Nährkraftstufe Reich; (NR2 n. SEA 95)
Stauwasser	Hohe Staunässe im Oberboden (zum Zeitpunkt der Ernte)

Waldbauliche Maßnahme

Entnahme absterbender Eschen bei Schonung des Rotbuchen-Unterstandes; Belassen von Gruppen vital erscheinender Esche, Übernahme der Naturverjüngung aus Rotbuche und Esche, Ergänzung mit Roterle.

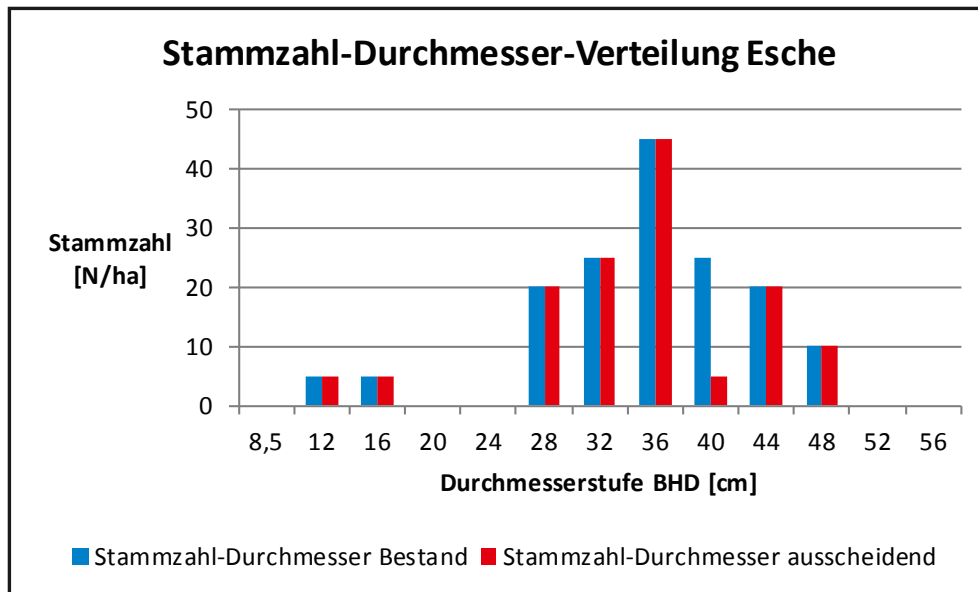


Abbildung 27: Nur wenige augenscheinlich vitale Eschen wurden belassen.

Verfahrensbeschreibung

Ausgehend von einem Gassenabstand von 20 m werden v. a. kranke oder bereits abgestorbene Eschen vom Raupenharvester gefällt, aufgearbeitet und an der Gasse sortengetrennt abgelegt. Nicht verwertbares Holz wird zur Erhöhung der Tragfähigkeit des Bodens auf der Gasse quer zur Fahrtrichtung abgelegt. Danach erfolgt die Rückung durch einen Radforwarder mit Moorbändern zum Abfuhrweg.

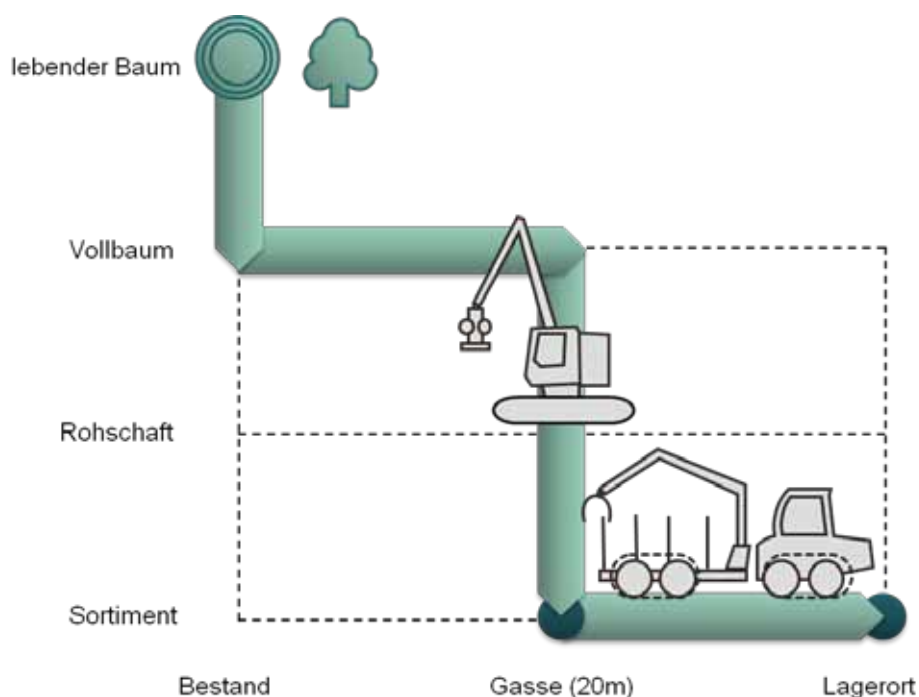


Abbildung 28: Funktiogramm zum Fallbeispiel Kalamitätsnutzung.

Technische Daten

Raupenharvester: Impex T 25 Moor auf Bagger-Grundmaschine; 25 t Eigengewicht; 16,5 m Kranreichweite; Aggregat LAKO VV 675; bis 70 cm Fälldurchmesser; Bodenfreiheit: 60 cm; 6 m Laufwerkslänge; variable Maschinenbreite von 3,10 m bis 4,50 m; rechnerischer Bodendruck 0,16 kg/cm².

Radforwarder: HSM 208 F Moor; 20 t Eigengewicht mit Moorbändern; Kranreichweite 10 m; Bänderbreite: vorne 1,34 m, hinten 1,40 m; modifizierte Moorbänder auf Basis Clark Typ Terra - X; Maschinenbreite mit Moorbändern 3,40 m; rechnerischer Bodendruck unbeladen 0,12 kg/cm²; Seilwinde Zugkraft von 7 t.



Abbildung 29: Die Aufstandsfläche des T 25 Moor beträgt 15,6 m². Die durchschnittliche Gassenbreite beträgt 4,5 m.



Abbildung 30: Der Radforwarder ist mit Moorbändern, die mit Metallplatten ergänzt wurden, ausgerüstet. Dies führt zu einer geraden und etwas größeren Aufstandsfläche.

Arbeitsvorbereitung und Witterung

Die Arbeitsvorbereitung beinhaltet: Festlegen der Rückegassen und der Polterplätze, Kennzeichnen des ausscheidenden Bestandes; Arbeitsauftrag u. a. mit Festlegung auszuformender Sortimente und Sicherheitsbelehrung zum Holzeinschlag in totholzreichen Beständen. Zum Zeitpunkt der Holzernte (Einschlag und Rückung) ab Anfang bis Ende Februar 2014 war zunächst der Boden bis in eine Tiefe von 5 cm gefroren, taute dann auf, so dass im Oberboden Staunässe auftrat.

Leistung und Kosten

Tabelle 9: Übersicht über die Leistungs- und Kostenwerte.

Ausscheidender Bestand BHD: 13-48 cm Anteile: Esche 76 %, Rotbuche 22 % 82 % Industrieholz (3 m lang), 6 Sortimente Ø Rückentfernung 350 m		BHD [cm] Fm (gesamt) Fm/ha	28 655 80
Leistung	Raupenharvester	Fm/MAS	12,0
	Radforwarder	Fm/MAS	9,1
Kosten	Raupenharvester	€/Fm	15,09
	Radforwarder	€/Fm	14,29
	Gesamtkosten	€/Fm	29,37
Kostensätze: Harvester 181,02 €/MAS, Forwarder; 130 €/MAS			

Verfahrensbeurteilung

Arbeitssicherheit

Die eingesetzten Maschinen verfügen über Kabinen, die für eine hohe Arbeitssicherheit sorgen.

Bodenschutz

Das Verfahren ist insgesamt betrachtet bei trockener Witterung auf Böden mit Grundwasserständen von mehr als ca. 60 cm unter Flur bodenschonend einsetzbar. Bei nassem Oberboden (Regen oder Auftauphase) verursacht speziell der Forwarder trotz der breiten Moorbänder tiefe Fahrspuren, die nicht mehr akzeptabel sind (Spurtyp 3). Gleiches kann auf Standorten erwartet werden, deren Wasserspiegel zum Zeitpunkt der Arbeiten höher als ca. 60 cm unter Flur ansteht. Der mit breiten Ketten ausgestattete Raupenharvester ist nach hiesigen Beobachtungen bereits bei Grundwasserständen ab 30 cm unter Flur bodenschonend einsetzbar.



Abbildung 31: Gassenzustand (Spurtyp 1) nach einmaliger Befahrung durch den Harvester bei einem nassem Oberboden Stauwasserstand von 20 cm unter Flur.



Abbildung 32: Gassenzustand (Spurtyp 3) nach mehrmaliger Befahrung durch den Radforwarder bei einem Stauwasserstand von 30 cm und mehrfachen Regenschauern.

Wirtschaftlichkeit

Das Verfahren erreicht trotz sehr weiter Ruckeentfernungen eine noch ansprechende Produktivität. Hohe Kosten des Gespanns bezogen auf die Maschinenarbeitsstunde und für Umsetzung belasten die Stückkosten spürbar. Daher werden zum Erreichen wirtschaftlich vertretbarer Gesamtkosten große Nutzungsmengen je Einsatzort benötigt.

Fazit

Das Holzernteverfahren ist eine gute Option im Fall kalamitätsbedingter Nutzungen oder auch bei Altdurchforstungen, sofern diese mit großen Hiebsmengen verbunden sind. Es ist unter diesen Gegebenheiten ausgesprochen schlagkräftig. Hinsichtlich des Bodenschutzes zeigt sich speziell der Forwarder bei hohen Grundwasserständen oder bei Nässe im Oberboden nur noch bedingt geeignet. Beide Maschinen überschreiten mit ihren sehr breiten Fahrwerken die normale Gassenbreite von 4 m.

Die vollmechanisierte und zugleich bodenschonende Holzernte auf Nassstandorten im mittelstarken und starken Laubholz bleibt eine Herausforderung für die Forsttechnik. Dies gilt besonders für geeignete Forwarder zur Holzurückung.

5 Schlussfolgerungen

Das Risiko befahrungsbedingter Bodenschäden hängt im Wesentlichen vom Bodendruck der Maschinen und von der Tragfähigkeit des Bodens ab. Der Bodendruck steigt mit höher werdender Auflast bzw. abnehmender Aufstandsfläche. Die Empfindlichkeit der Böden gegenüber einer Befahrung mit Maschinen wird maßgeblich von der Bodenart und der Bodenfeuchte bestimmt. Auf Nassstandorten ist die Höhe des Wasserspiegels im Boden entscheidend für deren Tragfähigkeit. Je höher das Wasser ansteht, desto größer ist das Risiko auftretender Bodenschäden bei Befahrung.

Raupenfahrzeuge sind mit ihren Kettenlaufwerken in der Lage, viele Nassstandorte zu befahren, ohne dabei tiefe Fahrspuren zu hinterlassen. Auch wenn sie diesbezüglich den Radfahrzeugen eindeutig überlegen sind, bestehen mit Blick auf den Bodenschutz auch für diese Maschinen Grenzen des Einsatzes. So konnten die Fallstudien aufzeigen, dass Standorte mit einem Grundwasserspiegel zum Zeitpunkt des Maschineneinsatzes von 0 bis ca. 30 cm unter Flur für Raupenfahrzeuge in der Regel nicht bodenschonend befahrbar sind. Dieses trifft vor allem für beladene Forwarder zu, auch wenn sie über ein nur geringes Eigengewicht verfügen. Im Bereich von Wasserständen ab 30 cm bis ca. 60 cm unter Flur treten beim Einsatz von Raupenfahrzeugen nur ausnahmsweise Bodenschäden auf, so beispielsweise in Bodensenken oder bei häufigen Überfahrten. Diese lassen sich meist durch eine gezielte Armierung der Fahrgassen mit Schlagabraum verhindern. Bei Grundwasserständen ab 60 cm unter Flur ist mit Kettenfahrzeugen in der Regel uneingeschränkt eine bodenschonende Holzernte gewährleistet.

Beim Einsatz von Raupenfahrzeugen auf Nassstandorten muss zur Vermeidung von Bodenschäden nicht nur der Grundwasserstand, sondern immer auch die Witterung beachtet werden. Bei nassem Oberboden verursachen Maschinen mit Ketten ebenso wie Radfahrzeuge regelmäßig Bodenschäden. Die überlegte Organisation des Erntezeitpunktes bleibt daher ein sehr wichtiges Steuerungsinstrument für eine bodenschonende Holzernte.

Oberirdische Schäden am verbleibenden Bestand (hier überwiegend Erlenbestände) durch die eingesetzten Kettenfahrzeuge wurden nur ausnahmsweise sichtbar.

Die Kostenspanne der vollmechanisierten Raupenverfahren liegt zwischen 23 €/Fm und 35 €/Fm. Großen Einfluss auf die Höhe der Gesamtkosten haben die Stückmasse und die im Bestand anfallende Nutzungsmenge. Durch eine möglichst gute Anpassung der eingesetzten Maschinen an die Einsatzbedingungen (Standort und Bestand) ergeben sich Möglichkeiten, die Kosten zu senken.

Das höhere Kostenniveau einer vollmechanisierten Ernte auf Nassstandorten mit Kettenfahrzeugen im Vergleich zu einer Ernte mit Radfahrzeugen auf unvernässten Böden lässt sich vordergründig auf folgende Ursachen zurückführen: Häufig größere Rückedistanzen wegen nur extensiver Erschließung nasser Standorte mit Wegen, geringere Ladekapazität bei den bewusst eingesetzten kleineren und damit leichteren Raupenforwardern, langsamere Fahrgeschwindigkeit und damit geringere Arbeitsleistung der Kettenfahrzeuge sowie erhöhter Aufwand bei der Umsetzung der Raupenmaschinen zu den Einsatzorten.

Nachfolgende Tabelle liefert einen Überblick über die vorrangigen Einsatzbereiche von Erntemaschinen zur Holzernte auf Nassstandorten. Dabei wurde neben der Stärke der anfallenden Holzsortimente die Höhe des Grundwasserspiegels als Kriterium berücksichtigt.

Tabelle 10: Einsatzschwerpunkte vollmechanisierter Holzernteverfahren in Laubholzbeständen auf Nassstandorten bei Gassenabstand von 20 m (der Grundwasserspiegel bezieht sich auf den Zeitpunkt der Ernte).

Durchmesser ca. BHD (Länge bis 5 m)	Bodentragfähigkeit in Abhängigkeit vom Grundwasserspiegel (...) unter Flur			
	sehr gering (0 bis 30 cm)	gering (>30 bis 60 cm)	mittel (>60 bis 90 cm)	hoch (>90 cm)
Stark: 36-50 cm	–	große Raupenharvester		große Radharvester
		große und mittelgroße Raupenforwarder		große Radforwarder
Mittel: 20-35 cm	–	mittelgroße Raupenharvester		große Radharvester
Schwach: <20 cm	–	kleine und mittelgroße Raupenforwarder		mittelgroße Radforwarder

Eine Übersicht über Raupenharvester und Raupenforwarder, die nicht in dieser Untersuchung zum Einsatz gekommen sind, findet sich im Anhang. Dort sind auch technische Details und Bilder zu den Maschinen aufgenommen.

Größenklassen Harvester und Forwarder in Anlehnung an NEMESTÓTHY (2009)

Harvester: kleine 4-8 t; mittelgroße 9-15 t; große >16 t

Forwarder: kleine 4-6 t; mittelgroße 7-10 t; große >11 t

6 Verzeichnisse

6.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Beispielhaftes Funktiogramm für ein Holzernteverfahren „Harvester + Forwarder“.	6
Abbildung 2:	Fahrspurtyp 1: kaum eingewölbte Spuren beim Grundwasserstand von 60 cm unter Flur.	7
Abbildung 3:	Fahrspurtyp 2: Vertiefungen bis 10 cm, teilweise seitliche Aufwölbungen beim Grundwasserstand von 30 cm unter Flur.	7
Abbildung 4:	Fahrspurtyp 3: seitlich deutliche Aufwölbungen bis zum Bodenfließen bei flurgleichem Grundwasserstand.	7
Abbildung 5:	Der mittelgroße Raupenharvester vom Typ Neuson 9002HV wiegt 11 t und ist mit 600 mm Ketten (Dreistegketten) ausgerüstet.	9
Abbildung 6:	Der kleine Raupenforwarder vom Typ Logbear FH 4000 wiegt 5 t und hat 490 mm breite Gummibänder mit Metallquerstegen.	9
Abbildung 7:	Die Entnahme konzentriert sich auf Z-Baum-Bedränger in den Durchmesserstufen 16 und 20 cm.	10
Abbildung 8:	Funktiogramm zum Fallbeispiel Jungdurchforstung.	10
Abbildung 9:	Der Drehkranz verhilft dem Harvester zu einer sehr guten Wendigkeit und damit zugleich Pfléglichkeit des Eingriffes.	11
Abbildung 10:	Die Gefahr des Einsinkens ist unter dem Rungenkorb am größten, da hier der rechnerische Bodendruck im beladenen Zustand 0,46 kg/cm ² beträgt.	11
Abbildung 11:	Gassenzustand (Spurtyp 1) nach dem Holzeinschlag beim Grundwasserstand von 30 cm unter Flur nach zweimaliger Überfahrt mit dem Harvester Neuson 9002HV.	12
Abbildung 12:	Gassenzustand (Spurtyp 2) nach der Rückung beim Grundwasserstand von 30 cm unter Flur; 3 Leerfahrten und 2,5 Lastfahrten des Forwarders.	12
Abbildung 13:	Raupenharvester vom Typ Neuson 9002HV bei der Durchforstung eines Roterlenbestandes mit Wasserüberstau.	13
Abbildung 14:	Der kleine Raupenforwarder vom Typ Terri 34 beim Rücken von Kurzholzsortimenten.	13
Abbildung 15:	Sehr hohe Stammzahlhaltung und geringe Durchmesser kennzeichnen diesen durchgewachsenen (unbewirtschafteten) Erlenniederwald. Die Entnahme trägt den Schwerpunkt einer Niederdurchforstung.	14
Abbildung 16:	Funktiogramm zum Fallbeispiel Durchforstung.	14
Abbildung 17:	Eine ungünstige Abfolge von mehreren breiten Wurzelstöcken mit einer Höhe von 35 cm blockieren die Rückegasse für die Terri 34.	15
Abbildung 18:	Gassenzustand (im Vordergrund Spurtyp 3, im Hintergrund Spurtyp 2) nach sechs vollen Lastfahrten mit der Terri 34 bei einem Grundwasserstand von 20 cm unter Flur.	15
Abbildung 19:	Der große Raupenharvester vom Typ Neuson 182HVT wiegt 20,5 t und ist ausgerüstet mit 700 mm breiten gekröpften Dreistegketten.	17
Abbildung 20:	Bei voller Auslage des Ladekrans (6,1 m) können etwa 550 kg gehoben werden. Die Greiferöffnung des Ladekrans beträgt 1,04 m.	17
Abbildung 21:	Es wird der gesamte aufstockende Bestand genutzt – nur einzelne Überhälter verbleiben auf der Fläche.	18
Abbildung 22:	Funktiogramm zum Fallbeispiel Kulissenhieb.	18
Abbildung 23:	Eine Wurzelstockhöhe von 35 cm ist für die Überfahrt unproblematisch, da die Zugmaschine eine Bodenfreiheit von 38,5 cm aufweist.	19
Abbildung 24:	Gassenzustand (Spurtyp 2) nach zehn Lastfahrten bei einem Grundwasserstand von 70 cm und sehr viel Kronenholz auf der Rückegasse.	19
Abbildung 25:	Der große Raupenharvester vom Typ Impex T 25 Moor wiegt 25 t und ist mit 1,30 m breiten Ketten ausgerüstet.	21
Abbildung 26:	Der große Radforwarder HSM 208 F Moor lädt auch Stammholzabschnitte bis 6,5 m Länge.	21
Abbildung 27:	Nur wenige augenscheinlich vitale Eschen wurden belassen.	22
Abbildung 28:	Funktiogramm zum Fallbeispiel Kalamitätsnutzung.	22

Abbildung 29:	Die Aufstandsfläche des T 25 Moor beträgt 15,6 m ² . Die durchschnittliche Gassenbreite beträgt 4,5 m.	23
Abbildung 30:	Der Radforwarder ist mit Moorbändern, die mit Metallplatten ergänzt wurden, ausgerüstet. Dies führt zu einer geraden und etwas größeren Aufstandsfläche.	23
Abbildung 31:	Gassenzustand (Spurtyp 1) nach einmaliger Befahrung durch den Harvester bei einem nassem Oberboden Stauwasserstand von 20 cm unter Flur.	24
Abbildung 32:	Gassenzustand (Spurtyp 3) nach mehrmaliger Befahrung durch den Radforwarder bei einem Stauwasserstand von 30 cm und mehrfachen Regenschauern.	24
Abbildung 33:	Der mittelgroße Raupenharvester vom Typ Neuson 132HVT wiegt 14,4 t und ist mit 60 cm breiten Dreistegketten ausgerüstet.	34
Abbildung 34:	Die mittelgroße Kombimaschine vom Typ Timbear Lightfoot C als Forwarderversion wiegt 12 t und ist mit 78 cm breiten Ketten ausgerüstet. Seit 2014 nicht mehr hergestellt.	34
Abbildung 35:	Der große Raupenharvester vom Typ Prosilva 910 wiegt 16 t und ist mit 80 cm breiten Metallketten ausgerüstet.	34
Abbildung 36:	Der große Raupenforwarder vom Typ Prosilva 15-4ST Boghopper wiegt 22 t und ist mit 100 cm breiten Ketten ausgerüstet.	34
Abbildung 37:	Der große Raupenharvester vom Typ T 18 (Minikönigstiger) wiegt 18 t und ist mit 105 cm breiten Dreistegplatten ausgerüstet.	35
Abbildung 38:	Der mittelgroße Raupenforwarder Farmi Trac 575 wiegt 8,9 t und ist mit 60 cm breiten Gummibändern mit Metallquerstegen ausgerüstet. Seit 2000 nicht mehr hergestellt.	35
Abbildung 39:	Der große Raupenharvester vom Typ Komatsu 911.5 X3M wiegt 24,2 t und ist mit 60 cm breiten Metallplatten mit Gummibeschichtung ausgerüstet.	35
Abbildung 40:	Der große Raupenforwarder von EMB Baumaschine Typ Elliator (Prototyp) wiegt je nach Ausstattung 23-30 t und ist mit 100 cm breiten gekröpften Dreistegplatten ausgerüstet.	35

6.2 Bildnachweis

SÜNDERMANN, J.	Bilder 2 – 6, 9 – 14, 17 – 20, 23 – 26, 29 – 32, 35 – 40
LICHTENSCHOPF, W.	Bild 33
KWF	Bild 34

6.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Vorrangiger Einsatzbereich und Verfahrensbeschreibung der im Rahmen von Fallstudien untersuchten Holzernteverfahren (DF = Durchforstung; EN = Endnutzung)	8
Tabelle 2:	Beschreibung des Standortes.	9
Tabelle 3:	Übersicht der Leistungs- und Kostenwerte.	11
Tabelle 4:	Beschreibung des Standortes.	13
Tabelle 5:	Übersicht der Leistungs- und Kostenwerte.	15
Tabelle 6:	Beschreibung des Standortes.	17
Tabelle 7:	Übersicht der Leistungs- und Kostenwerte.	20
Tabelle 8:	Beschreibung des Standortes.	21
Tabelle 9:	Übersicht über die Leistungs- und Kostenwerte.	24
Tabelle 10:	Einsatzschwerpunkte vollmechanisierter Holzernteverfahren in Laubholzbeständen.	27
Tabelle 11:	Abfrage Raupentechnik für Moor- und Nassstandorte.	32
Tabelle 12:	Abfrage zu geeigneter Raupentechnik für Nassflächen, Laubholz BHD 36.	33

6.4 Abkürzungsverzeichnis

BHD	Brusthöhendurchmesser
Fm	Festmeter
DF	Durchforstung
EN	Endnutzung
KWF	Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V.
MAS	Maschinenarbeitsstunden
RF	Raupenforwarder
RH	Raupenharvester
SEA 95	Anweisung für die forstliche Standortserkundung in den Wäldern des Landes Mecklenburg-Vorpommern
Z-Baum	Zukunftsbaum

6.5 Literaturverzeichnis

- ERLER, J.; WEISS, M. (2003): Netz-Darstellung von Arbeitsverfahren. Forsttechnische Informationen 54. S. 103-107.
- ERLER, J.; DÖG, M. (2009): Funktiogramme für Holzernteverfahren – Komplex und trotzdem gut verständlich. Forsttechnische Informationen 9+10. S. 14-17.
- MEYER, C.; LÜSCHER, P.; SCHULIN, R. (2011): Verdichteten Boden mit Schwarzerlen regenerieren? Wald Holz 92, 10, S. 40-43.
- NEMESTÓTHY, N. (2009): Boden unter Druck. Sind Bodenschutzziele und Holzernte vereinbar? Vortrag. BFW Forsttechnik. 32 S.
- KURATORIUM FÜR WALDARBEIT UND FORSTTECHNIK e. V. (2013): KWF-Merkblatt Nr. 17/2013. Forstmaschinen vorauskalkulieren, KWF-Richtwerte und Berechnungsbeispiele. S. 26-30.
- SÜNDERMANN, J.; SCHRÖDER, J.; RÖHE, P. (2013): Bodenschonende Holzernte in geschädigten Eschenbeständen auf Nassstandorten – Erkenntnisse und Empfehlungen aus Fallstudien in Mecklenburg-Vorpommern. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.). 39 S.
- RÖHE, P.; SCHRÖDER, J. (2010): Grundlagen und Empfehlungen für eine nachhaltige Bewirtschaftung der Roterle in Mecklenburg-Vorpommern. Waldbesitzerverband für Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.) 49 S.
- SÜNDERMANN, J. (2009): Abschlussbericht zum Projekt-Nr. I. 1.2-2009. Umweltgerechte Bewirtschaftung der Erle auf Nassstandorten und Förderung der Erlenverwendung. Unveröffentlicht. 47 S.

7 Anhang

7.1 Raupentechnik für Durchforstung

Tabelle 11: Abfrage Raupentechnik für Moor- und Nassstandorte, Laubholz, Pflege starker Stangenhölzer und Durchforstungen, BHD > 20 bis 35 cm.

Technik	Technische Eigenschaften	Ansprechpartner
RH Neuson 9002HV	Eigengewicht: 11 t Kranlänge: 9,80 m Aggregat: Logmax 4000 Kettenbreite: 60 cm Bodendruck: 0,27 kg/cm ² Bodenfreiheit: 42,5 cm	Herr Haas, Anbieter Bichl 11 83104 Tuntenhäuser Mobil: 0172 / 8218680 Telefon: 08065 / 906484
RH T18 Minikönigstiger	Eigengewicht: 18 t Kranlänge: 11,8 m Aggregat: Lako 43 Kettenbreite: 105 cm Bodendruck: k. A. Bodenfreiheit: 42,5 cm	Lightfoot Harvesting GmbH Stoltenhäger Str. 42-48 18507 Grimmen Herr Kleinfurher (Einsatzleiter) Mobil: 0157 / 37033490 Telefon: 03832 / 6304880
RH Timbear Lightfoot C Kombimaschine	Eigengewicht: 9,5 t Kranlänge: 7,8 m Aggregat: Logmax 928 Kettenbreite: 78 cm Bodendruck: k. A. Bodenfreiheit: 68 cm	Herr Engström Telefon: +46(0)705299638 keine Anbieter in Mitteleuropa bekannt
RH Terri 34	Eigengewicht: ca. 4,5 t Kranlänge: 6,2 m Aggregat: Keto Kettenbreite: 49 cm Bodendruck: k. A. Bodenfreiheit: 40 cm	Herr Funk, Anbieter und Vertreter Dorfstraße 13 17192 Schloen Mobil: 0174 / 9329332 Telefon: 039934 / 87831
RH Logbear FH 4000 Kombimaschine	Eigengewicht: 5,0 t Kranlänge: 6,1 m Aggregat: Keto Forst Kettenbreite: 49 cm Bodendruck: k. A. Bodenfreiheit: 38,5 cm	Herr Bauer, Anbieter und Vertreter Zwönitzer Str. 19b 09481 Elterlein Mobil: 0173 / 2964020 logbear.germany@gmail.com
RF Timbear Lightfoot C	Eigengewicht: 12 t Kranlänge: 7,8 m Kettenbreite: 78 cm Bodendruck: k. A. Bodenfreiheit: 68 cm	bisher keine Ansprechpartner in Mitteleuropa bekannt
RF Terri 34	Eigengewicht: 4,5 t Kranlänge: 6 m Kettenbreite: 49 cm Bodendruck: unbeladen: 0,11 kg/cm ² Bodenfreiheit: 40 cm	Herr Funk, Kontaktdaten siehe oben, Kooperationspartner im Projekt
RF Logbear FH 4000	Eigengewicht: 5,0 t Kranlänge: 6,1 m Kettenbreite: 51 cm Bodendruck: unbeladen: 0,14 kg/cm ² Bodenfreiheit: 38,5 cm	Herr Bauer, Kontaktdaten siehe oben
RF Farmi Trac 575	Eigengewicht: 8,9 t Kranlänge: ca. 8,5 m Kettenbreite: 60 cm Bodendruck: k. A. Bodenfreiheit: 53 cm	Herr Niemecek Dorfstraße 4 18528 Ralswiek Telefon: 0162 / 9792837

7.2 Raupentechnik für Altdurchforstung und Endnutzung

Tabelle 12: Abfrage zu geeigneter Raupentechnik für Nassflächen, Laubholz BHD 36 bis 50 cm.

Technik	Technische Eigenschaften	Ansprechpartner
RH Königstiger T25 Moor	Eigengewicht: 25 t Kranlänge: 16,50 m Aggregat: LAKO Impex VV 675 Kettenbreite: 130 cm, Laufwerkslänge: 6 m Bodendruck: 0,16 kg/cm ² Bodenfreiheit: 60 cm	Lightfoot Harvesting GmbH Stoltenhäger Str. 42-48 18507 Grimmen Herr Kleinfercher (Einsatzleiter) Mobil: 0157 / 37033490 Telefon: 03832 / 6304880
RH Komatsu 911.5 X3M	Eigengewicht: 24,2 t Kranlänge: 10 m Aggregat: Komatsu 360.2 Kettenbreite: 60 cm Bodendruck: 0,50 kg/cm ² Bodenfreiheit: k. A.	Fa. Mahn Holzfall- und Ruckeunternehmen Friedhofsweg 3 17237 Weisdin Herr Mahn Mobil: 0170 / 9332609 Telefon: 03981 / 204584
RH Prosilva 910	Eigengewicht: 16 t Kranlänge: 10 m Aggregat: Kesla 1610H Kettenbreite: 80 cm Bodendruck: 0,29 kg/cm ² Bodenfreiheit: k. A.	Herr Wellink, Händler aus den Niederlanden Mobil: 0031643762500 Telefon: 0031544769009 robert.wellink@wellink.biz
RH Neuson 182HVT	Eigengewicht: 20,5 t Kranlänge: 10 m Aggregat: Logmax 6000 Kettenbreite: 70 cm Bodendruck: 0,44 kg/cm ² Bodenfreiheit: k. A.	Herr Haas, Anbieter Bichl 11 83104 Tutenhausen Mobil: 0172 / 821868 Telefon: 08065 / 906484
Radforwarder HSM 208 F Moor	Eigengewicht: 14 t Kranlänge: 10 m Kettenbreite: 134 cm Bodendruck unbeladen: 0,12 kg/cm ² Bodenfreiheit: 65,4 cm	Lightfoot Harvesting GmbH Herr Kleinfercher Mobil: 0157 / 37033490
RF ProSilva 15-4ST Boghopper	Eigengewicht: 22 t Kranlänge: 8,5 m Kettenbreite: 100 cm Bodendruck unbeladen: vorne 0,27 kg/cm ² Bodenfreiheit: 59,7 cm	Herr Wellink, Händler aus den Niederlanden Mobil: 0031643762500 Telefon: 0031544769009 robert.wellink@wellink.biz

7.3 Sonstige Raupentechnik



Abbildung 33: Der mittelgroße Raupenharvester vom Typ Neuson 132HVT wiegt 14,4 t und ist mit 60 cm breiten Dreistegketten ausgerüstet.



Abbildung 34: Die mittelgroße Kombimaschine vom Typ Timbear Lightfoot C als Forwarderversion wiegt 12 t und ist mit 78 cm breiten Ketten ausgerüstet. Seit 2014 nicht mehr hergestellt.



Abbildung 35: Der große Raupenharvester vom Typ Prosilva 910 wiegt 16 t und ist mit 80 cm breiten Metallketten ausgerüstet.



Abbildung 36: Der große Raupenforwarder vom Typ Prosilva 15-4ST Boghopper wiegt 22 t und ist mit 100 cm breiten Ketten ausgerüstet.



Abbildung 37: Der große Raupenharvester vom Typ T 18 (Minikönigstiger) wiegt 18 t und ist mit 105 cm breiten Dreistegplatten ausgerüstet.



Abbildung 38: Der mittelgroße Raupenforwarder Farmi Trac 575 wiegt 8,9 t und ist mit 60 cm breiten Gummibändern mit Metallquerstegen ausgerüstet. Seit 2000 nicht mehr hergestellt.



Abbildung 39: Der große Raupenharvester vom Typ Komatsu 911.5 X3M wiegt 24,2 t und ist mit 60 cm breiten Metallplatten mit Gummibeschichtung ausgerüstet.



Abbildung 40: Der große Raupenforwarder von EMB Baumaschine Typ Elliator (Prototyp) wiegt je nach Ausstattung 23-30 t und ist mit 100 cm breiten gekröpften Dreistegplatten ausgerüstet.

