

Förderung der Zusammenarbeit in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft (LFE)
Förderrichtlinie des Thüringer Ministeriums für Infrastruktur u. Landwirtschaft (TMIL)
Teil A Operationelle Gruppen (Europäische Innovationspartnerschaft)
Projekt-Nr.: 2020 LFE 0006

Abschlussbericht der operationellen Gruppe HARVARD 21

Verfahrensentwicklung für den Harvard zur Rohholzbereitstellung auf parzellierten Flächen

Laufzeit: 01.10.2020 – 31.12.2021

Gliederung	Seite
1. Abbildungs- und Tabellenverzeichnisse	2
2. Einleitung	4
3. Ziele und Partner des Projektes Harvard 21	5
4. Umsetzung der Arbeitspakete im Projekt Harvard 21	6
5. Ergebnisse des Projektes Harvard 21	9
6. Diskussion	25
7. Schlussfolgerungen und Ausblick	31



Abbildung 1 Harvander Highlander mit Traktionswinde und Rungenkorb

Telefon +49 (0)3677/201813
Mobil +49 (0)171/6540517

Email findeisen.erik@gmx.de
web www.forsttechnik-beratung.de

Steuernummer 154/153/37407

Bankverbindung
Deutsche Kreditbank AG
BLZ 120 300 00
Konto 17606914
IBAN DE42 1203 0000 0017606914
BIC BYLADEM 1001

1. Abbildungs- und Tabellenverzeichnisse

1.1 Abbildungsverzeichnis	Seite
Abbildung 1 Harvarder Highlander mit Traktionswinde und Rungenkorb	1
Abbildung 2 Operationelle Gruppe Harvard 21 – Kooperationspartner	5
Abbildung 3 Kopf der Datenerfassungstabelle des Maschinenführers Harvarder	7
Abbildung 4 Aufnahmeformular für leistungsbeeinflussende Faktoren	7
Abbildung 5 Highlander HL20-1 mit Traktionswinde und Rungenkorb	11
Abbildung 6 Verfahrenssystematik Highlander HL20-1 mit Sonderausstattung	13
Abbildung 7 Technogramm HARVARD 21	15
Abbildung 8 Vergleich der Maschinenarbeitsstunden	17
Abbildung 9 Vergleich des Kraftstoffverbrauches der Maschinensysteme	18
Abbildung 10 Vergleich der Verfahrenskosten	19
Abbildung 11 Funktiogramm HV-20m	22
Abbildung 12 Technogramm HV-20m	22
Abbildung 13 Funktiogramm MS-HV-40m	22
Abbildung 14 Technogramm MS-HV-40m	22
Abbildung 15 Funktiogramm HV _{TW} -20m	23
Abbildung 16 Technogramm HV _{TW} -20m	23
Abbildung 17 Funktiogramm MS-HV _{TW} -40m	23
Abbildung 18 Technogramm MS-HV _{TW} -40m	23
Abbildung 19 Seiten 1 und 2 der Oberfläche der Smartphone-APP „Harvard21“	24
Abbildung 20 Poster zu Harvard21	24
Abbildung 21 Rollup zu Harvard21	25
Abbildung 22 Merkblatt zur Gewinnung von Versuchsflächen im Projekt Harvard21	26
Abbildung 23 Weiterentwicklung eines Harvarders auf Basis des Highlander	31

1.2 Tabellenverzeichnis		Seite
Tabelle 1	Arbeitspakete im Projekt Harvard 21	6
Tabelle 2	Ablaufabschnitte (RAZ) eines Zyklus Harvard 21	14
Tabelle 3	Vergleich von Dieserverbrauch und CO ₂ -Ausstoß	18
Tabelle 4	Vergleich der Holzerntekosten	19
Tabelle 5	Einsparpotential Harvarder – Einflussgrößen 1 Fläche im schwach geneigten Hang 5%, Rückung bergauf ohne Traktionshilfswinde, Abfuhrweg am Oberhang	29
Tabelle 6	Einsparpotential Harvarder – Einflussgrößen 2 Fläche im schwach geneigten Hang 5%, Rückung bergauf ohne Traktionshilfswinde, Abfuhrweg am Oberhang	29
Tabelle 7	Einsparpotential Harvarder – Einflussgrößen 3 Fläche im schwach geneigten Hang 5%, Rückung bergauf ohne Traktionshilfswinde, Abfuhrweg am Oberhang	29
Tabelle 8	Einsparpotential Harvarder – Einflussgrößen 4 Fläche am Hang 40%, Rückung bergauf mit Traktionshilfswinde, Abfuhrweg am Oberhang	29

2. Einleitung

Für die umfassend und langfristig nachhaltige Forstwirtschaft in Nordeuropa zeichnen sich durch die Folgen des Klimawandels mit Trockenheit, Sturmereignissen und nachfolgenden Kalamitäten starke Veränderungen ab, wenn die Multifunktionalität der Wälder gewährleistet bleiben und die Holzverwendung die Klimaschutzwirkung des Waldes maximieren soll. Vor allem im Kleinprivatwald und in Flächen mit geringen Holzentnahmemengen, insbesondere in den Mittelgebirgsregionen, bedarf es innovativer Holzernteverfahren, um Boden- und Bestandspfleglichkeit mit langfristiger Wirtschaftlichkeit und sozialer Verträglichkeit verbinden zu können.

Vor etwa dreißig Jahren entwickelten skandinavische Produzenten von Forstspezialmaschinen (Timberjack, Valmet, Pika) für Flächen mit geringem Hiebsanfall sogenannte **Harvard** - Kombinationsmaschinen aus **Harvester** (Holzernte) und **Forwarder** (Holztransport). In den 2000er Jahren wurden erste Dual-Rückezüge auf den Markt gebracht. Das sind Forwarder, die sich in kurzer Zeit durch Austausch des Aggregats zum Harvester umrüsten lassen, einsetzbar vor allem auch für die Pflegeeingriffe in jüngeren Beständen. Führend bei dieser Entwicklung war der finnische Hersteller Ponsse.

In der Praxis haben sich Harvard und Dual-Systeme jedoch kaum durchgesetzt, da sie bisher in ihrer Leistung weder mit reinen Harvestern noch mit reinen Forwardern mithalten konnten. Nachteilig ist vor allem, dass in der Zeit, in welcher der Harvard rückt, kein weiteres Holz eingeschlagen und prozessiert werden kann. Verständlich ist, dass sich der Einsatz von Harvardern gegenüber Zweimaschinensystemen nur bei kurzen Rückedistanzen, kleineren Entnahmemengen sowie zerstreutem Hiebsanfall behaupten kann. Dementsprechend wird von sämtlichen Forstmaschinenherstellern wenig an der Weiterentwicklung von Harvardern gearbeitet.

Durch die seit den letzten Jahren häufiger auftretenden Käferkalamitäten hat sich die Situation geändert. Diese Umstände eröffnen Arbeitssystemen mit Harvardern neue Möglichkeiten. Die Sanierung kleiner und räumlich zerstreut liegender „Käfernester“ mit einem Harvardersystem kann gegenüber dem Zweimaschinensystem effizienter sein. Zudem geht man in der Forstwirtschaft zu kürzeren Durchforstungsintervallen mit geringeren Entnahmemengen über, Hauptgrund ist die Vermeidung einer Destabilisierung der Bestände durch intensive Eingriffe.

Von dem Thüringer Forstunternehmer Dietmar Lohse wurde in Zusammenarbeit mit dem Forsttechnikhersteller Josef Konrad (KONRAD Forsttechnik GmbH) ein 6-Rad-Harvester Highlander HL20-1 mit einem speziell konstruierten Rungenkorb ausgerüstet, sodass das Holz nicht nur gefällt und prozessiert, sondern auch gerückt und gepoltet werden kann.

Für dieses Maschinensystem wurden im Projekt mögliche Arbeitsverfahren untersucht. Die Ergebnisse sollen Waldbesitzern, Forstbediensteten und in Ausbildung befindlichen Personen zur Kenntnis gebracht werden.

3. Ziele und Partner des Projektes Harvard 21

In dem Projekt Harvard 21 - Verfahrensentwicklung für den Harvard zur Rohholzbereitstellung auf parzellierten Flächen – wurde das Ziel formuliert, sinnvolle Einsatzbedingungen des Systems in der hochmechanisierten Holzernte zu untersuchen und ein Instrument für die Information der Waldbesitzer, Bewirtschafter, aber auch der forstlichen Auszubildende und Studierenden zu entwickeln. Die Technologie soll die Pfléglichkeit und Wirtschaftlichkeit der Rohholzbereitstellung erhöhen und zur Akzeptanz moderner Verfahren in der Wertschöpfungskette Wald – Holz – Gesellschaft beitragen.

Folgende Partner schlossen sich mit einer entsprechenden vertraglichen Vereinbarung zur operationellen Gruppe Harvard 21 zusammen, dabei waren wesentliche Kompetenzen vertreten (siehe **Abbildung 2**).

Operationelle Gruppe Harvard 21																	
Kooperationspartner	Kompetenzen												Assoziierte Kooperationspartner				
	WB	BE	FT	FE	BI	HV	ZE	DL	WB	BE	FT	FE		BI	HV	ZE	DL
Forsttechnisches Ingenieur- und Sachverständigenbüro Findeisen & Partner (Ilmenau)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Thüringen Forst AÖR Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum, Thüringer Forstämter, Maschinenstützpunkte (Erfurt, Gotha, Gehren, Hohenebra)
Forstunternehmen Lohse (Ilmenau, OT Frauenwald)	x		x	x				x									
Erlebniswelt Waldarbeit Olaf Jörss (Ilmenau)			x	x		x	x						x				Technische Universität Ilmenau Fakultät Maschinenbau (Ilmenau)
Forstbetrieb Roy Dörnfeld (Großbreitenbach)	x		x			x	x										
Forstbetrieb Eschenbach Michael Wolfram (Schwarzatal)	x					x											

Legende

- WB Waldbesitzer / Waldbewirtschaftung
- BE Beratung von Waldbesitzern
- FT Forsttechnik
- FE Forschungs und Entwicklung
- BI Aus- und Weiterbildung
- HV Holzverarbeitung
- ZE Forstliche Zertifizierung
- DL Forstlicher Dienstleister

Abbildung 2 Operationelle Gruppe Harvard 21 - Kooperationspartner

Folgende konkrete Ziele wurden für die Zusammenarbeit vereinbart:

- Erarbeitung praktisch nutzbarer Technologiedokumentationen mit Entscheidungshilfe bezüglich der Einsatzgrenzen und Wirksamkeitsbereiche
- Erstellung eines Mediums für durchzuführende Schulungen von Waldbesitzern und forstlichen Lohnunternehmen sowie als Lehrmittel für Ausbildung/Studium
- Veröffentlichung eines Leitartikels in Fachzeitschriften (AfZ Der Wald; Forst&Technik)
- Messeauftritte der Firma „Forstunternehmen Lohse“ mit der Präsentation des Verfahrens (KWF – Tagung 2021)

4. Umsetzung der Arbeitspakete im Projekt Harvard 21

Das Konzept der operationellen Gruppe Harvard 21 umfasste die in Tabelle 1 ersichtlichen Arbeitspakete. Die Realisierung der Arbeitspakete erfolgte entsprechend einer vorab vereinbarten Aufgabenverteilung in Abhängigkeit der jeweiligen Kernkompetenzen. Die Zwischenergebnisse wurden diskutiert und notwendige Anpassungen operativ vorgenommen. Die Partner arbeiteten zur Umsetzung in vielen Fällen in speziell gebildeten Teams zusammen. So wurden gemeinsam potentielle Einsatzflächen besichtigt und hinsichtlich der technologischen und Bestandesparameter aufgenommen. Auch bei den Arbeitsstudien wirkten ausgewählte Partner gemeinsam mit. Besondere Unterstützung bei der Flächenauswahl und Verfahrensbegutachtung leisteten Mitwirkende der Thüringen Forst AöR.

Tabelle 1 – Arbeitspakete im Projekt Harvard 21

1	Gesamtkonzeption der Verfahrensentwicklung für den Harvard
1.1	Feststellung Bedarfe und Zuständigkeiten
1.2	Eruierung der geeigneten Flächen
1.3	Festlegung Arbeitsinhalte
1.4	Auszeichnung der Entnahmemenge
2	Erstellung von Arbeitszeit- und Prozessstudien
2.1	Entwicklung eines Versuchsdesign zur Verfahrensbeschreibung
2.2	Durchführung der Holzerntemaßnahme auf den vorbereiteten Flächen entsprechend des Versuchsdesigns
2.3	Erstellung von Arbeitszeit- und Prozessstudien während des Harvardereinsatzes im Gelände
2.4	Anweisung, Einweisung und Begleitung eines Kamerateams zur Erstellung der Schulungs-DVD
3	Auswertung der Prozessstudien und Aufbereitung der Daten für ein neues Arbeitsverfahren
3.1	Auswertung der Arbeitszeitstudien
3.2	Fertigstellung der Schulungs-DVD/APP nach Nutzwertanalyse
3.3	Anfertigung des Abschlussberichts
3.4	Veröffentlichung der Ergebnisse in Fachzeitschriften

Die zeitliche Abfolge der einzelnen Arbeitsschritte in den Arbeitspaketen musste insbesondere auch der Auftragslage des Forstlichen Dienstleisters, der Firma Lohse, untergeordnet werden.

Leistungsuntersuchungen des Maschinensystems wurden auf der Grundlage eines Erfassungsblattes durch den Maschinenführer der Firma Lohse realisiert. Dazu wurde dem Maschinenführer ein eigens entwickeltes Stundenerfassungsblatt (siehe **Abbildung 3**) ausgehändigt.

Maschinenbezeichnung:					Maschinenführer:					Forstamt:					Revier/Auftragsnummer:								
Datum	Arbeitszeit vor Ort		Stand Bh-Zähler		Summe Stunden	MAS Holzente	MAS Seilarbeit	MAS Rückung Seil	MAS Rückung Klemmbank	MAS Rückung Rungenkorb	Wartung	Reparatur	Umsetzung	Stillstand	Sonstiges	Festmeter geerntet	Fahrtstrecke Rückung Meter	Anzahl gerückter Stämme	Anzahl Führen	Traktorschwingeinsatz (ankreuzen)	Zweitrecken (ankreuzen)	Festmeter gerückt	Bemerkungen
	Schicht	Schicht	Schicht	Schicht																			kurze Erklärungen zu den Stunden für Reparatur, Umsetzung, Stillstand und Sonstiges Bitte je Rückart (Seilwinde, Klemmbank, Rungenkorb) nur eine Zeile verwenden.
	Anfang	Ende	Anfang	Ende																			

Abbildung 3 Kopf der Datenerfassungstabelle des Maschinenführers Harvard

In diesem Formular wurden vom Maschinenführer nach abgeschlossenen Arbeitstagen mit dem Highlander Arbeitszeiten, Maschinenarbeitsstunden, sonstige anfallende Zeitaufwendungen, geerntete und gerückte Festmeter sowie Details zum angewendeten Arbeitsverfahren eingetragen. Des Weiteren wurden für jede Maßnahme leistungsbeeinflussende Parameter entsprechend der üblichen forstlichen Methoden erhoben. Zur systematischen Erhebung wurde ein spezielles Aufnahmeformular entwickelt (siehe **Abbildung 4**).

Forschungsprojekt HARVARD21 - Aufnahmeformular für die verfahrensbeeinflussenden Parameter Datum: _____

Forstamt: _____ Abt., Uabt., Tfl., Best.: _____ Fläche ausgezeichnet? ja nein
(bei bestandsübergreifender Hiebmaßnahme Mehrfachnennung) (Zutreffendes ankreuzen)

Revier: _____

Flächenbezogene Merkmale														
Flächen- größe [ha]	Kardinalpunkte (Vorhandensein)		Hangneigung [%]		Gassenabstand (m, Gassenmitte - Gassenmitte)		Gassenlänge [m]		Rück- richtung (bergauf/ bergab)	Distanz Gassenende- Pötkerplatz [m; Zweitreckung]		Anker- bäume (Vorhand anzahl)	Befahrbarkeit (Zutreffendes ankreuzen)	Bemerkungen
	negativ	positiv	Ø	max.	Ø	max.	Ø	max.		Ø	max.			
													<input type="checkbox"/> unproblematisch <input type="checkbox"/> eingewickelt <input type="checkbox"/> Gräben <input type="checkbox"/> Blocküberlag. <input type="checkbox"/> Staunässe <input type="checkbox"/> Bodentragfähig. <input type="checkbox"/> Hangneigung	

Hiebsbezogene Merkmale																				
Ausseh. Baum- arten	Anteil ausseh. Baum- arten [%]	BHD [cm]		Höhe [m]		Kalkulation mit ausseh. Bestand [BHD ² ·h·0,5] Efm	Schätzung Erntemenge Efm/ha	Efm/ges.	Bemerkungen zu Wuchserform und Holzqualität des aussehenden Bestandes	Zustandserfassung										
		Ø	max.	Ø	max.					Ø	Anteil an Gesamt- fläche [%]	Ø	Anteil an Gesamt- fläche [%]	Ø	Anteil an Gesamt- fläche [%]					

Auswahl Arbeitsverfahren

HARVARD (20 m) ohne Zweitrecken
 HARVARD (20 m) mit Zweitrecken
 HARVARD.TW (20 m) ohne Zweitrecken
 HARVARD.TW (20 m) mit Zweitrecken
 MS-HARVARD (30 m) ohne Zweitrecken
 MS-HARVARD (30 m) mit Zweitrecken
 MS-HARVARD.TW (30 m) ohne Zweitrecken
 MS-HARVARD.TW (30 m) mit Zweitrecken
 MS-HARVARD (40 m) ohne Zweitrecken
 MS-HARVARD (40 m) mit Zweitrecken
 MS-HARVARD.TW (40 m) ohne Zweitrecken
 MS-HARVARD.TW (40 m) mit Zweitrecken

*Fotos zur Dokumentation notwendig

Abbildung 4 Aufnahmeformular für leistungsbeeinflussende Faktoren

Die Datenerhebung erfolgte, wie oben beschrieben, durch die Projektverantwortlichen vor Ort. Sofern das Gelände den Einsatz der Traktionswinde erforderlich machte, wurde geprüft, ob an den oberen Gassenenden in Verlängerung zur Gassenmitte Bäume stocken, die in ihrer Beschaffenheit als Ankerbaum zum Anbringen des Traktionsseils genutzt werden können. Dabei wurden weit mehr Flächen aufgenommen, als tatsächlich infolge der besonderen Situation der Schadholzaufarbeitung (Käferholzentfernung) und der damit verbundenen Abordnung der Maschine durch die Waldbesitzer, abgearbeitet werden konnten.

Anhand der aufgenommenen Flächen- und Bestandesmerkmale konnte das Holzernteverfahren nach der erarbeiteten Verfahrenssystematik abgeleitet werden. Die Verfahren wurden danach eingeteilt, ob ein Traktionswindeneinsatz, ein Zweitrücken nach dem Transport des Holzes aus der Rückegasse oder ein motormanuelles Zufällen infolge der weiteren Gassenabstände und dadurch entstehenden breiteren Arbeitsfelder erforderlich ist. Jedes dieser Verfahren wurde beschrieben und in einem Technogramm dargestellt.

Um das Harvardersystem mit dem Harvester-Forwarder-System vergleichen zu können, wurden von jeder erfolgten Holzerntemaßnahme die benötigten MAS im Zweimaschinensystem und die MAS für motormanuelles Fällen und Zweitrücken im Harvardersystem mit der frei verfügbaren Anwendung „Holzernte-Produktivitätsmodelle HeProMo“ (Eidg. Forschungsanstalt WSL 2020) kalkuliert. Datengrundlage waren die auf den Flächen erhobenen hiebs- und bestandesbezogenen Merkmale. Die ermittelten MAS je Maschinensystem wurden in MS-Excel eingepflegt und miteinander verglichen.

Anhand der MAS konnte der Dieserverbrauch jedes Arbeitsverfahrens berechnet werden. Dazu wurden die MAS jeder Maschine mit dem spezifischen Dieserverbrauch in Litern je MAS multipliziert. Beim Harvarder wurde nach Information vom Forstunternehmen Lohse mit einem Verbrauch von 15 l/MAS gerechnet. Beim Harvester wurde nach dem Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik mit einem Verbrauch von 16 l/MAS gerechnet, beim Forwarder mit einem Verbrauch von 9 l/MAS. Mit den Werten des Dieserverbrauchs konnte die freigesetzte Masse an CO₂ in Kilogramm berechnet werden. Dazu wurde folgende Formel (vgl. Fisch & Fischl o. J.) für die Berechnungen genutzt:

$$\text{Masse freigesetztes CO}_2 \text{ [kg]} = \text{verbrauchte Liter Diesel} \times 2,64$$

Außerdem sind unter Zuhilfenahme der Excel-Kalkulationstabellen aus dem internen „Waldarbeitskompendium Thüringen“ die Kosten der Holzerntemaßnahmen im Harvester-Forwarder-System sowie diejenigen für die Arbeitsschritte des motormanuellen Fällens und Zweitrückens mit Forwarder im Harvardersystem kalkuliert worden. Der Vergleich des Harvardersystems mit dem System Harvester und Forwarder stellt die wesentliche Frage der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dar.

Die Koordination und Abrechnung des gesamten Projektes erfolgte durch den damit beauftragten Projektpartner, das Forsttechnische Ingenieur- und Sachverständigenbüro Findeisen & Partner. Ebenso erfolgte die Vergabe eines Unterauftrages zur Ausführung folgender Aufgaben mit Bezug auf die zu entwickelnde Dokumentation:

1. Vorbereitung und Durchführung von Workshops sowie Projektbegleitung
2. Erstellung und Aktualisierung eines Projektplanes
3. Erstellung eines Lastenheftes im Ergebnis der Workshops
4. Entwicklung eines Design- und Bedienkonzeptes
5. Entwicklung einer APP (oder alternativ)
6. Übernahme von Inhalten aus der DVD Holzernte in Hanglagen
7. Erstellung einer technischen Dokumentation zur APP
8. Gestaltung eines Messe - Displays zur Messepräsentation (Roll up)
9. Foto- und Filmaufnahmen im Wald

Diese Aufgaben wurden entsprechend des Ergebnisses einer Vergabe durch die in Jena ansässige e-Networkers GmbH erfüllt.

In Vorbereitung der Dokumentation wurde eine Befragung von potentiellen Nutzergruppen durchgeführt, um für eine parametergestützte Holzernteverfahrensauswahl ein geeignetes Medium finden zu können. Für die Dokumentation mussten geeignete Tools zur Verfahrensauswahl erstellt werden.

5. Ergebnisse des Projektes Harvard 21

5.1 Maschinensystem

Bei der untersuchten Maschine handelt es sich um den 6-Rad-Harvester Highlander HL20-1. Das Besondere an diesem Highlander ist der über ein Schnellwechselsystem auf dem Fahrgestell montierbare Rungenkorb. Die Entwicklungsidee stammt vom Geschäftsführer des Forstunternehmens, Herrn Dietmar Lohse. Umgesetzt wurde sie vom Forstmaschinenhersteller Konrad Forsttechnik GmbH. In dieser Form wird der Highlander beim Forstunternehmen Lohse seit März 2020 eingesetzt. Durch die technische Aufwertung des Highlanders mit einem Rungenkorb wird das Fällen, Prozessieren und anschließende Rücken der aufgearbeiteten Sortimente mit nur einer Maschine ermöglicht.

Der Rungenkorb kann dank eines Schnellwechselsystems innerhalb einer halben Minute auf- bzw. abgesetzt werden. Im Rungenkorb können Sortimente bis zu einer maximalen Länge von 5,10 m transportiert werden. Die Ladungskapazität des Rungenkorbs beträgt dabei etwa 6 fm. Zusammen mit dem Greifer können so insgesamt ca. 7 fm gerückt werden.

Durch die endlos drehbare, nivellierbare Kran-Kabineneinheit wird dem Maschinenführer ein bequemes Verfolgen der Kranbewegungen und damit ergonomisches Arbeiten garantiert. Der Kran mit innenliegenden Hydraulikschläuchen hat eine Reichweite von 10,5 m, sodass beim gängigen Rückegassenabstand von 24 m, gemessen von Gassenmitte zu Gassenmitte, alle Entnahmebäume erreicht werden können.

Am Kran befindet sich ein Kombiaggregat, Modell Woody-61. Dieses kann Stammstücke bis zu einer Stärke von 60 cm einschneiden. Damit kann ein ausscheidender Bestand mit einem Brusthöhendurchmesser von 20 bis 55 cm bearbeitet werden. Zusätzlich ist im Aggregat eine Zopfsäge verbaut, welche das Entzopfen der Stammstücke im Bereich niedrigerer Stärkeklassen ermöglicht. Die Besonderheit des Kombiaggregats ist, dass Kapp- und Vorschubeinheiten abgeklappt werden können, sodass die Entastungsmesser zusätzlich als Greifer verwendbar sind. Am Highlander ist außerdem eine funkgesteuerte Traktionshilfsseilwinde verbaut. Das Stahlseil hat einen Durchmesser von 14 mm und eine Gesamtlänge von etwa 300m.

Eine erhöhte Bodenschonung sowie optimale Traktion wird durch die Verwendung von Breitreifen inklusive Bogiebändern an den beiden Vorderrad-Paaren und Gleitschutzketten an den Hinterrädern erreicht. Teleskopierbare Ausschubfüße, automatischer Niveaueausgleich, Portal-Tandemachse, Knicklenkung an ebendieser und Einzelradlenkung am Schreit- bzw. Schubfahrwerk ermöglichen beim Highlander eine besondere Geländegängigkeit. Insgesamt hat der Highlander ein Betriebsgewicht von etwa 24 t bei einer Gesamtlänge von knapp 12 m und einer Breite von knapp 3 m. Der Highlander zeichnet sich durch seine besondere Geländegängigkeit aus. Wird die Traktionshilfsseilwinde nicht verwendet, kann die Forstmaschine unter optimalen Bodenbedingungen bis zu einer Hangneigung von 35 % eingesetzt werden. Zu beachten ist hierbei, dass Lastfahrten hangaufwärts nur bis zu einer Neigung von etwa 25 % möglich sind, insofern die Trag- und Scherfestigkeit des Bodens gegeben ist. Übersteigt die Hangneigung 25 %, können Fahrten mit Beladung auf Gassen nur noch hangabwärts oder über flachere Aufstiegsgassen bzw. Maschinenwege hangaufwärts erfolgen.

Wird die Traktionshilfsseilwinde des Highlanders verwendet, können Hänge bei gegebener Tragfähigkeit des Bodens mit einem Anstieg von bis zu 60 % befahren werden. Lastfahrten können hierbei sowohl hangauf- als auch -abwärts erfolgen. Die Traktionswinde sollte auch in Beständen verwendet werden, in denen der Untergrund eingeschränkt tragfähig ist, beispielsweise auf anmoorigen sowie staunassen Böden. Voraussetzung für den Einsatz der Traktionshilfsseilwinde ist das Vorhandensein von Ankerbäumen an der Hangoberseite in Verlängerung zur befahrenen Gassenmitte. Durch die teleskopierbaren Ausschubfüße hat der Highlander eine bessere Geländegängigkeit als herkömmliche Harvester und kann so auch steilere Bodenwellen und Böschungskanten überwinden.

Für das Harvardersystem ist eine Arbeitsfeldbreite von 20 m optimal, da so alle Bäume in Kranreichweite stehen. Der Einsatz des Highlanders ist auch in Beständen mit größeren Arbeitsfeldbreiten möglich. Hierbei ist aber ein erhöhter Aufwand durch das motormanuelle Zufällen bzw. Vorfällen und Vorrücken in den Kranzwischenzonen nötig.

Das Kombiaggregat Woody 61 kann Bäume ab einem Brusthöhendurchmesser von 20 cm fällen und prozessieren. Im Laubholz sollte der Brusthöhendurchmesser 35 cm, im Nadelholz 55 cm nicht überschreiten. Der maximale Schnittflächendurchmesser beträgt beim verbauten Aggregat 60 cm.

Der Rungenkorb des Highlanders kann Sortimenten mit einer Länge von bis zu 5,10 m fassen.



Abbildung 5 Highlander HL20-1 mit Traktionswinde und Rungenkorb

5.2 Holzernteverfahren

Um die potentiell durchführbaren Arbeitsverfahren des Highlanders mit Rungenkorb (Harvard) zu bestimmen, wurden nach Analyse der Maschinenteknik die verfahrensbeeinflussenden Parameter erörtert. Zu diesen gehören baum- und bestandesbezogene Merkmale sowie die technologischen Parameter.

Für die Systematisierung der möglichen Holzernteverfahren müssen folgende Parameter näher betrachtet werden:

- Arbeitsfeldbreite
- mittlere Hangneigung
- maximale Gassenlänge
- mittlere Rückedistanz

Insgesamt lassen sich mit dem Harvardersystem zwölf verschiedene Arbeitsverfahren ableiten und durchführen (siehe **Abbildung 6**).

Eine Beschreibung aller Verfahren kann beim Projektleiter angefordert werden. Grundsätzlich haben die Verfahren einen festen Ablauf bezüglich der Ablaufabschnitte, der in der **Tabelle 2** wiedergegeben ist.

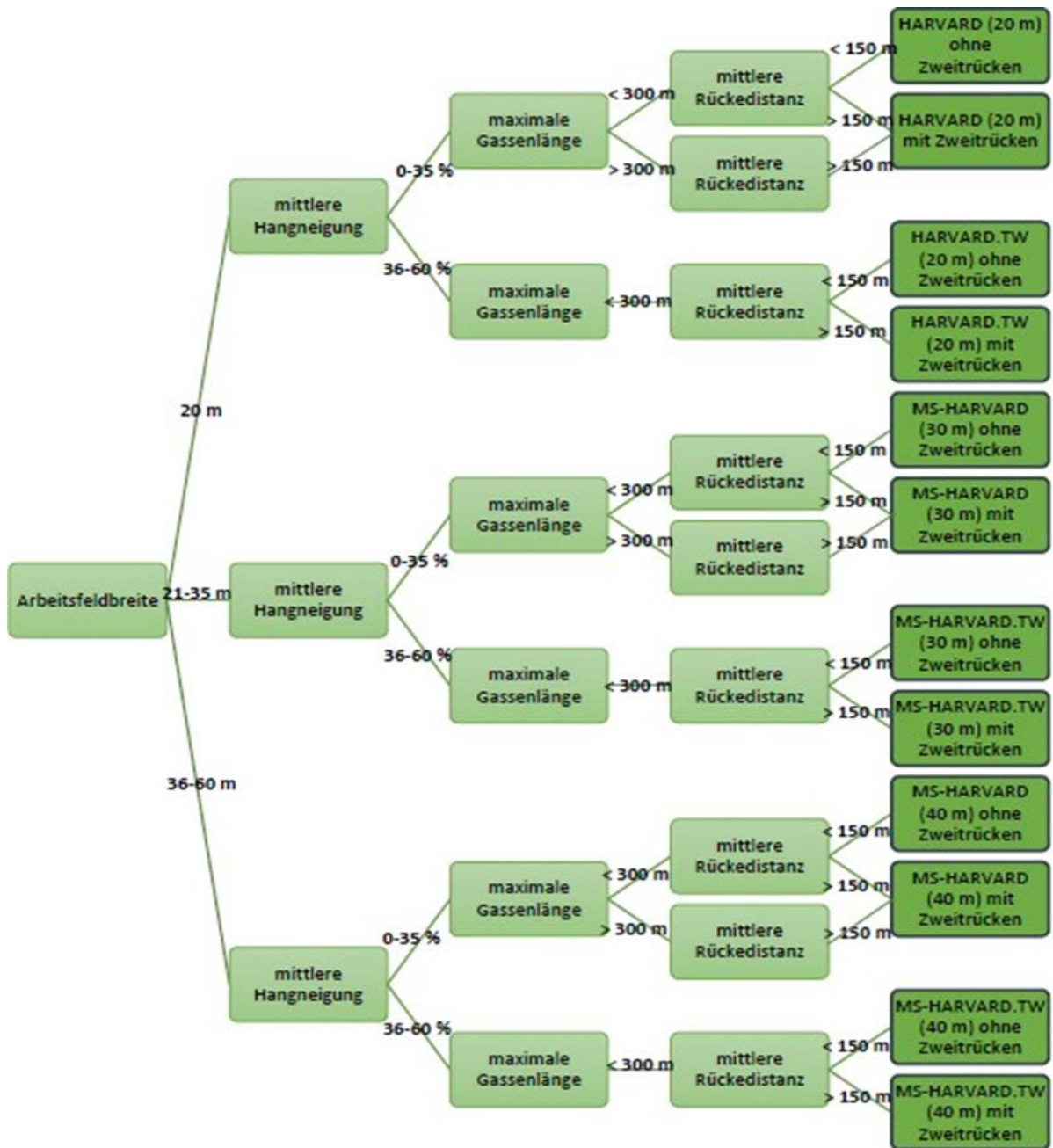


Abbildung 6 Verfahrenssystematik Highlander HL20-1 mit Sonderausstattung

Tabelle 2 – Ablaufabschnitte (RAZ) eines Zyklus Harvard 21

Ablaufabschnitt	Beginn des Ablaufabschnitts	Ende des Ablaufabschnitts	Bezug
Leerfahrt Abfuhrweg	Highlander fährt an	Highlander steht oder Einfahrt in Rückegasse	- Strecke [m]
Leerfahrt Rückegasse	Einfahrt in Rückegasse oder Highlander fährt an	Highlander steht, Kran setzt sich in Bewegung	- Strecke [m] - mittl. Hangneigung [%] - bergauf/bergab - extr. Hangneigung der Gasseneinfahrt ja/nein [%] - Traktionswinde ja/nein
Fällen und Prozessieren eines Baumes	Kran setzt sich zum Fällen eines Baumes in Bewegung	Gipfelstück fällt aus dem Aggregat	- Anzahl Bäume [N] - Baumart - BHD [cm] - Zufällen ja/nein [%, N]
Beladen des Rungenkorbs	Gipfelstück liegt, Kran setzt sich in Bewegung	Highlander fährt an	- Sortimente - Stückzahl [N] - Anzahl Greiferspiele [N]
Lastfahrt auf Rückegasse	Highlander fährt an	Highlander steht, Kran setzt sich in Bewegung oder Einfahrt auf Abfuhrweg	- Strecke [m] - mittl. Hangneigung [%] - bergauf/bergab - extr. Hangneigung der Gasseneinfahrt ja/nein [%] - Traktionswinde ja/nein
Lastfahrt auf Abfuhrweg	Einfahrt auf Abfuhrweg	Highlander steht, Kran setzt sich in Bewegung	- Strecke [m]
Entladen des Rungenkorbs	Highlander steht, Kran setzt sich in Bewegung	Letztes Stammstück gepoltet, Highlander fährt an	- Sortimente - Stückzahl - Anzahl Greiferspiele [N] - Menge [Efm]

Nachfolgend wird beispielhaft die Beschreibung des Verfahrens „HARVARD (20m)“ wiedergegeben.

5.3 Beschreibung des Verfahrens HARVARD (20m)

Das Verfahren wird entsprechend der in **Tabelle 2** angegebenen Ablaufabschnitte durchgeführt. Die durchschnittliche Hangneigung beim Verfahren „HARVARD (20 m)“ darf nicht höher als 35 % sein. Lastfahrten hangaufwärts sind je nach Geländebedingungen bis zu einer Hangneigung von 25 % möglich. Bei größeren Hangneigungen oder für die Befahrung ungünstiger Bodenbedingungen sollten dementsprechend spezielle Aufstiegsgassen genutzt werden oder die Rückung ausschließlich hangabwärts erfolgen.

Der durchschnittliche Abstand der Rückegassen darf von Gassenmitte zu Gassenmitte nicht größer als 24 m sein, da nur so unter optimalen Einsatzbedingungen alle Entnahmebäume mit dem Kran des Harvarders erreicht werden können.

Um ein möglichst wirtschaftliches Endergebnis der Holzernte zu erreichen, sollte die maximale Gassenlänge nicht länger als 300 m bzw. die durchschnittliche Rückedistanz nicht länger als 150 m sein. Liegt die durchschnittliche Rückedistanz bei über 150 m, sollte aus wirtschaftlichen Gründen zusätzlich zum Highlander ein Forwarder für die Zweitrückung eingesetzt werden.

„HARVARD (20 m)“ (Technogramm siehe **Abbildung 7**) beschreibt ein vollmechanisiertes Sortimentsverfahren mit Vorfällen, Vorrücken, Aufarbeiten und Rücken mittels Highlander mit Rungenkorb bei einer Arbeitsfeldbreite von etwa 20 m. Bei Rückedistanzen über 150 m erfolgt eine Zweitrückung vom Zwischenlagerort zum endgültigen Polterplatz am Abfuhrweg mit Forwarder.

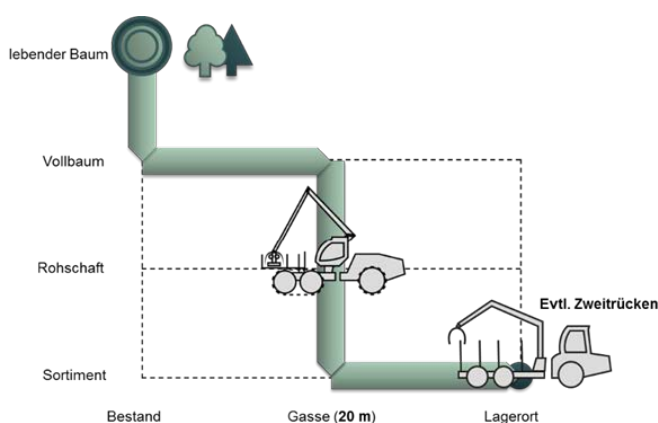


Abbildung 7 Technogramm HARVARD 21

Die physische Belastung beim Arbeitsverfahren „HARVARD (20 m)“ ist aufgrund der vollmechanisierten Aufarbeitung und Rückung als gering einzustufen. Sämtliche Arbeitsschritte können vom Maschinenführer aus der klimatisierten, lärm- und vibrationsarmen Kabine mit ergonomisch ausgelegten Bedienelementen ausgeführt werden. Dem entgegen steht für den Maschinenführer eine psycho-mentale Belastung durch die vollmechanisierten Arbeitsprozesse sowie eine einseitige Belastung des Rückens durch die sitzende Arbeitsausführung. Durch vollständige Mechanisierung der Arbeitsprozesse ist die Unfallgefahr sehr gering, insofern die Einsatzgrenzen des Arbeitsverfahrens beachtet werden. Bei Missachtung der Einsatzgrenzen ist ein Gefährdungspotential durch Absturz der Forstmaschine gegeben. Außerdem kann es beim Ein- und Aussteigen des Maschinenführers zu Unfällen kommen.

Aus ökologischer Sicht lässt sich das Arbeitsverfahren kritisch betrachten, da bei einem mittleren Gassenabstand (gemessen von Gassenmitte zu Gassenmitte) von 24 m der Anteil der zu befahrenen Bestandesfläche mit rund 20 % relativ hoch ist. Die Wirkung auf den befahrenen Boden ist stark vom Standort und der während der Maßnahme auftretenden

Witterung abhängig. Mit zunehmender Hangneigung erhöht sich die Gefahr von Bodenausfräsungen. Durch den Einsatz von Bogiebändern sowie der Anlage von Reismatten auf den zu befahrenden Gassen lässt sich die Bodenbelastung senken. Letzteres verursacht einen erhöhten Arbeits- und damit Kostenaufwand. Dementsprechend sollte zuvor nach Alternativen zur Erhöhung der Bodenschonung gesucht werden, beispielsweise dem Einsatz der Traktionshilfsseilwinde. Bei ungünstigen Witterungsverhältnissen durch Regen oder bei fehlendem Frost auf feuchten Standorten sollte die Hiebsmaßnahme gegebenenfalls unterbrochen werden. Für das Harvardersystem spricht, dass eine Senkung der Befahrungsintensität im Vergleich zum Zweimaschinensystem mit Harvester und Forwarder erreicht werden kann. Hinsichtlich des Kraftstoffverbrauchs lässt das Einmaschinensystem mit Harvarder bei sinngemäßem Einsatz gegenüber dem Zweimaschinensystem eine Kraftstoffeinsparung erwarten.

Die Bestandespflughigkeit des Arbeitsverfahrens hängt von der Bestockungssituation sowie den Fähigkeiten des Maschinenführers ab. Mit dem Kombiaggregat lassen sich Bäume gezielt zu Fall bringen, sodass sich Schäden am verbleibenden Bestand minimieren lassen. Nichtsdestotrotz kann es vor allem bei hohen Bestockungsgraden zu Fällschäden kommen. Aus diesem Grund sollten Z-Bäume für die Maschinenführer gut sichtbar markiert werden, um zumindest an diesen Schäden zu vermeiden. Kommt dichte Naturverjüngung oder Unterbau vor, sollte dies in der Maßnahmenplanung beachtet und Fällrichtungen vorgegeben werden.

Die Produktivität kann bei eingearbeiteten Maschinenführern durch die volle Mechanisierung des Verfahrens als sehr hoch eingestuft werden. Vorteilhaft ist zudem, dass sowohl Fällung und Rückung aus dem Bestand heraus durch einen Maschinenführer ausgeführt werden können. Durch direkte Rückung ist der Arbeitsablauf ungebrochen und es können keine Raubeigen im Wald übersehen werden. Vorteilhaft ist die schnelle Rückung vor allem bei empfindlichen Holzarten, z. B. bläueempfindlicher Kiefer, oder bevorstehenden für die Rückung ungünstigen Witterungsbedingungen.

Mit zunehmender Rückedistanz steigen auch die Holzerntekosten. Da beim Harvardersystem mit Highlander während der Rückung kein weiteres Holz gefällt bzw. aufgearbeitet werden kann, ist das System vor allem bei kleineren Hiebsmengen sowie zerstreutem Hiebsanfall wirtschaftlicher als das Zweimaschinensystem mit Harvester und Forwarder, auch weil die Umsetzkosten bei einer Maschine geringer sind. Ab einer mittleren Rückedistanz von über 150 m sollte für ein möglichst wirtschaftliches Endergebnis dennoch ein Forwarder für die Zweitrückung eingesetzt werden.

5.4 Darstellung ausgewählter Ergebnisse der Verfahrensvergleiche

Nachfolgend werden für durchgeführte Holzerntemaßnahmen anhand der erhobenen Daten des Harvardersystems mit nachkalkulierten Daten des Harvester-Forwarder-Systems verglichen. In **Abbildung 8** sind je Holzerntemaßnahme die benötigten Maschinenarbeitsstunden des Harvardersystems dem Harvester-Forwarder-System

gegenübergestellt. Es sei erwähnt, dass die MAS für motormanuelles Fällen, Harvester, traktionswindengestützten Forwarder und Forwarder im Nachhinein kalkuliert wurden. Dementsprechend sind bei den Arbeitsverfahren des Harvarders mit motormanuellem Fällen und Zweitrückung mittels Forwarder die dafür benötigten Zeitaufwendungen gleich denen des Harvester-Forwarder-Systems.

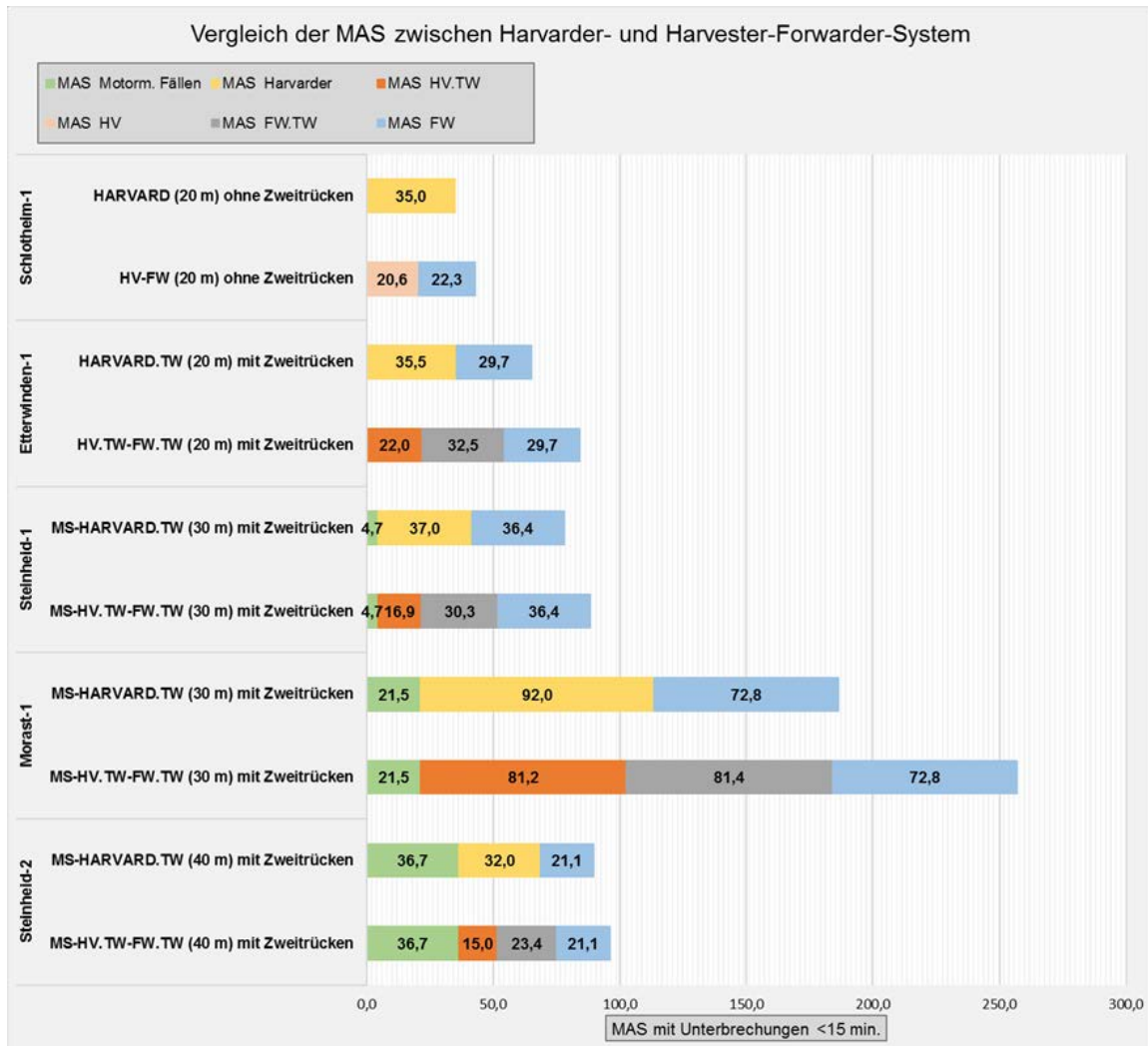


Abbildung 8 Vergleich der Maschinenarbeitsstunden

Aus **Abbildung 8** geht hervor, dass bei jeder Holzerntemaßnahme die MAS des Harvardersystems geringer gegenüber denen des Harvester-Forwarder-Systems sind. Betrachtet man nur die Arbeitsschritte, die vom Harvarder bzw. im Zweimaschinensystem vom Harvester und (traktionswindengestützten) Forwarder ausgeführt werden, ergibt sich für das Harvardersystem durchschnittlich eine Zeiteinsparung gegenüber dem Zweimaschinensystem von rund 27 %. Werden je Holzerntemaßnahme die gesamt

benötigten MAS je Arbeitssystem miteinander verglichen, ergibt sich eine Zeiteinsparung des Harvardersystems von etwa 18 %. Anhand der Maschinenarbeitsstunden kann der Kraftstoffverbrauch errechnet werden. Im nachfolgenden Diagramm in **Abbildung 9** ist der Dieserverbrauch in Litern (absolut) je Hiebsmaßnahme und jeweiligem Arbeitssystem dargestellt.

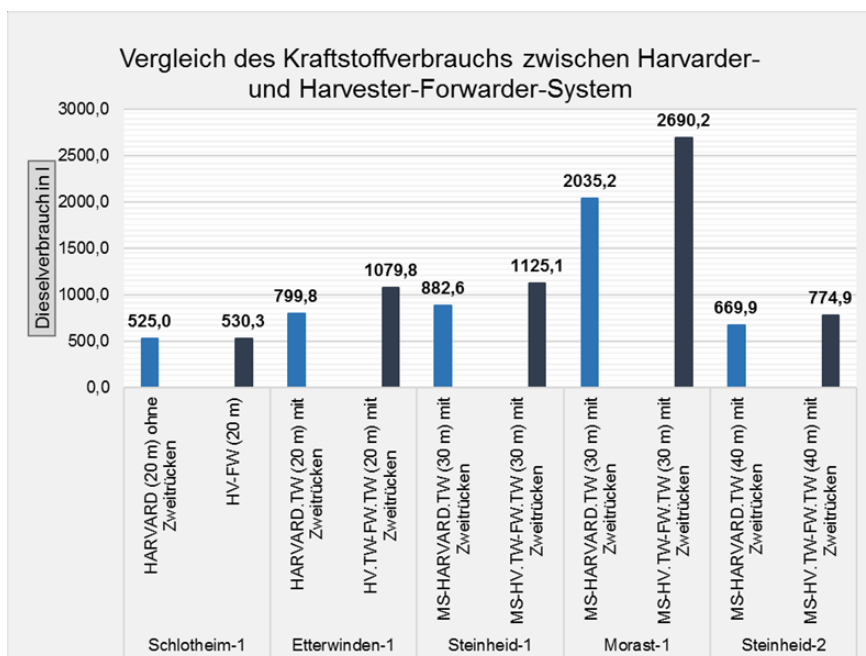


Abbildung 9 Vergleich des Kraftstoffverbrauches der Maschinensysteme

Es wird ersichtlich, dass der Kraftstoffverbrauch im Harvardersystem immer geringer ist als im Harvester-Forwarder-System. Durchschnittlich ist der Kraftstoffverbrauch im Harvardersystem um rund 21 % geringer als im Zweimaschinensystem.

Dementsprechend ist auch der CO₂-Ausstoß im Harvardersystem um 21 % geringer. In **Tabelle 3** sind die genauen Werte zum Dieserverbrauch in Litern und CO₂-Ausstoß in Kilogramm je Hiebsmaßnahme und Arbeitsverfahren angegeben.

Tabelle 3 – Vergleich von Dieserverbrauch und CO₂-Ausstoß

Hiebsmaßnahme	Arbeitsverfahren	Dieselverbrauch [l]	CO ₂ -Ausstoß [kg]
Schlotheim-1	HARVARD (20 m) ohne Zweitrücken	525,0	1386,0
	HV-FW (20 m)	530,3	1400,0
Etterwinden-1	HARVARD.TW (20 m) mit Zweitrücken	799,8	2111,5
	HV.TW-FW.TW (20 m) mit Zweitrücken	1079,8	2850,7
Steinheid-1	MS-HARVARD.TW (30 m) mit Zweitrücken	882,6	2330,1
	MS-HV.TW-FW.TW (30 m) mit Zweitrücken	1125,1	2970,3
Morast-1	MS-HARVARD.TW (30 m) mit Zweitrücken	2035,2	5372,9
	MS-HV.TW-FW.TW (30 m) mit Zweitrücken	2690,2	7102,1
Steinheid-2	MS-HARVARD.TW (40 m) mit Zweitrücken	669,9	1768,5
	MS-HV.TW-FW.TW (40 m) mit Zweitrücken	774,9	2045,7

In **Tabelle 4** sind die Kosten je Hiebsmaßnahme im Harvardersystem dem Harvester-Forwarder-System gegenübergestellt. Die Maschinenkosten des Highlanders werden aktuell mit 201,72 €/MAS kalkuliert. Geht man von einer durchschnittlichen Leistung von 10,94 fm/MAS aus, ergeben sich Kosten von 18,44 €/Fm.

Tabelle 4 – Vergleich der Holzerntekosten

Hiebsmaßnahme	Arbeitsverfahren	Umsetzung	Motorm. Fällen	Kosten [€]				Kosten gesamt [€]	Kosten je fm [€/fm]
				Harvarder	HV.TW	HV	FW.TW		
Schlotheim-1	HARVARD (20 m) ohne Zweitrücken	300,00		7060,20				7360,20	30,67
	HV-FW (20 m)	600,00				2795,01	1680,00	5075,01	21,15
Etterwinden-1	HARVARD.TW (20 m) mit Zweitrücken	600,00		7161,06			2339,10	10100,16	20,40
	HV.TW-FW.TW (20 m) mit Zweitrücken	900,00			5692,50		3954,15	12885,75	26,03
Steinheid-1	MS-HARVARD.TW (30 m) mit Zweitrücken	600,00	164,50	7463,64			2396,40	10624,54	27,60
	MS-HV.TW-FW.TW (30 m) mit Zweitrücken	900,00	164,50		5113,28		3087,45	11661,63	30,29
Morast-1	MS-HARVARD.TW (30 m) mit Zweitrücken	600,00	752,50	18558,24			5504,40	25415,14	21,82
	MS-HV.TW-FW.TW (30 m) mit Zweitrücken	900,00	752,50		15239,66		9305,10	31701,66	27,21
Steinheid-2	MS-HARVARD.TW (40 m) mit Zweitrücken	600,00	1284,50	6455,04			1810,80	10150,34	29,00
	MS-HV.TW-FW.TW (40 m) mit Zweitrücken	900,00	1284,50		4980,94		2952,45	11928,69	34,08

In der nachfolgenden **Abbildung 10** sind die Kosten in €/Fm je Hiebsmaßnahme und Arbeitssystem dargestellt. Aus **Tabelle 4** und **Abbildung 10** geht hervor, dass die Holzerntekosten bei vier der fünf durchgeführten Maßnahmen im Harvardersystem geringer sind als im entsprechenden Harvester-Forwarder-System. Im Mittel sind die Holzerntekosten im Harvardersystem um 1,86 €/Fm günstiger als im Zweimaschinensystem. Prozentual entspricht das einer Einsparung von rund 5 %.

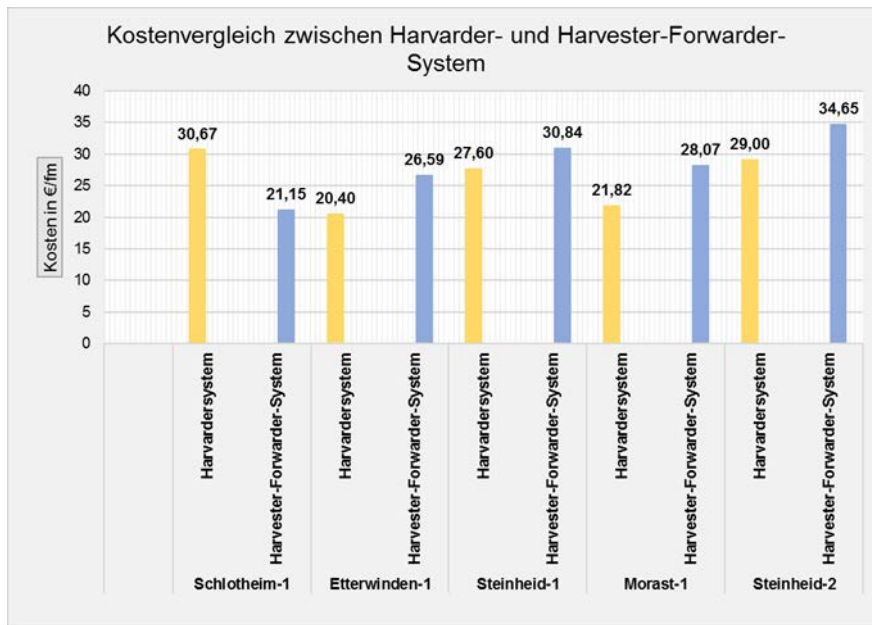


Abbildung 10 - Vergleich der Verfahrenskosten

Begründen lassen sich die geringeren Holzerntekosten des Harvardersystems bei den Hiebsmaßnahmen „Etterwinden-1“, „Steinheid-1“, „Morast-1“ und „Steinheid-2“ durch die Einsparung eines zusätzlichen traktionswindengestützten Forwarders. Dadurch sind sowohl die Umsetzkosten als auch die Gesamtkosten niedriger als im entsprechenden Harvester-Forwarder-System. Die Hiebsmaßnahme „Schlotheim-1“ stellt eine Ausnahme dar. Die Holzerntekosten des Harvardersystems übersteigen die des Zweimaschinensystems. Ursache dafür kann die eher geringe Leistung von 6,9 Fm/MAS sein, sodass das Harvardersystem dem Zweimaschinensystem unterliegt. Die geringe Leistung im Harvardersystem ergibt sich aus der vollständigen Rückung mittels Harvarder. Speziell das Poltern ist mit dem Kombiaggregat des Highlanders nach Erfahrungen der Firma Lohse schwieriger und damit zeitaufwendiger als mit einem herkömmlichen Forwarderaggregat.

5.5 Dokumentation der Verfahrensauswahl in einer APP

Im Ergebnis der Befragung potentieller Nutzergruppen erwies sich die Erstellung einer mit einem Smartphone nutzbaren APP als praktikable Lösung. An der Umfrage haben insgesamt 42 Personen teilgenommen. Davon waren 33 Privatwaldbesitzer, 5 Forstunternehmer, 11 Forstdienstleister, 10 Förster*innen, 5 Studierende, 2 Landwirte mit Forst im Nebengewerbe und 4 Sonstige. Schwerpunkt des befragten Personenkreises liegt bei den Privatwaldbesitzern, welche auch die Hauptnutzer der APP darstellen. Privatwaldbesitzer nehmen eine Unterstützung bei der Bewirtschaftung ihres Waldes gerne in Anspruch. Aber auch Forststudierende zeigten großes Interesse an der APP. Mehr als zwei Drittel aller Befragten würde die APP im Alltag nutzen. Der Bedarf bei professionellen Fachleuten ist geringer als bei den o.g. Nutzergruppen. Hier ist fachliches Wissen bereits verfügbar. Neben einer speziellen Information zu neuen Verfahren interessiert vor allem eine Übersicht bezüglich regional ansässiger Firmen mit spezieller Technik. Wünschenswert sind Informationen zum Hauptsitz der Firma und das verfügbare Maschineninventar. sind Informationen, die daraufhin bereitgestellt werden sollten. Eine Anwendung der APP für einen konkreten Bestand steht nach der Technologieinformation auf Platz 2, gefolgt von der allgemein möglichen Recherche zu modernen Holzernteverfahren. Die meisten Nutzer würden die APP zu Hause nutzen, knapp über der Hälfte der Befragten kann sich aber auch eine Verwendung vor Ort im Bestand vorstellen. Daraus ließ sich schließen, dass die Informationen in der APP nicht zu gering bemessen sein dürfen, aber auch übersichtlich genug, um bei Anwendung im Wald den Überblick nicht zu verlieren. Die Befragten äußerten als wesentliches Informationsinteresse den wirtschaftlichen Vergleich von Verfahren. Anhand der Maschinen- und Arbeitskosten erlangen die Nutzer einen ungefähren Eindruck in welchem Kostensegment sich das ausgewählte Holzernteverfahren befindet. Auf Rang 2 steht die Bodenschonung. Maßnahmen zur Bodenschonung im Bestand und der Vergleich mit den anderen Verfahren ist von besonderem Interesse. Nur knapp dahinter steht direkt an dritter Stelle die Arbeitssicherheit. Der Verfahrensablauf positioniert sich auf Rang 4, gefolgt von Informationen zu maschinentechnischen Angaben. Genaue Informationen zu den einzelnen Maschinen und deren Funktionsweise können jederzeit im Internet recherchiert werden und müssen nicht in der APP beschrieben werden. Anhand dieser Rangliste steht

fest, dass die Beurteilung der Holzernteverfahren das größte Interesse darstellt und mit aufgenommen werden muss. 55% der Befragten wünschen sich zum Einstieg in die Verfahrensauswahl einen Filter mit Eingabe konkreter Flächen- und Bestandesdaten. Die Nutzung ähnlicher Apps wurde bis auf eine Person verneint. Zur Frage welche APP genutzt wird, wurde die APP Timberpolis genannt. Diese wird zur Aufnahme der Holzpolter genutzt und stellt keinen Vergleich zu der zu entwickelnden APP „Harvard21“ dar. Für die Programmierung ist die Frage nach der Gerätenutzung wichtig, denn die Gerätekompatibilität einer APP für verschiedene Endnutzungstools muss ebenfalls speziell programmiert werden. An erster Stelle mit deutlicher Mehrheit steht das Smartphone, welches von den meisten Personen zur Informationsrecherche genutzt wird – vor einem Tablet oder einem Computer. Die geäußerten Wünsche an die APP sind vielfältig. Informationen über aktuelle Förderungen und Holzpreise, Datenfestsetzungen von Flächen und Besitzern, Karten von Wegen, Rettungspunkten und Topografie, Informationen über die Anlage von Rückewegen in Hanglagen, Links zu Forstunternehmen und weiteren Recherchemöglichkeiten, Risikobewertungen, Verfahrensleistungen und diverse Diagramme sind zusätzliche Daten, die gewünscht werden. Diese Vorstellungen übersteigen jedoch deutlich die Möglichkeiten im Projekt Harvard 21. Folglich wurde mit der beauftragten e-networker GmbH Jena ein Vorgehen abgestimmt, damit die APP die wesentlichen Nutzerinteressen berücksichtigt.

Zweck der APP „Harvard21“ ist die Auswahl des Holzernte - Arbeitsbestverfahrens für einen konkreten Bestand. In mehreren Team-Meetings diskutierten die Projektpartner die von den Entwicklern der e-networker GmbH entworfenen Designs des Seitenaufbaus. Die Startseite zeigt zunächst das Logo und den Untertitel „APP zur Auswahl von Holzernteverfahren“. Über einen „Pfeil“-Button gelangt man dann zur nächsten Seite „Home“. Die Seite „Home“ beschreibt die Ziele, Entstehung und Anwendung der APP. Zur nächsten Seite gelangt man wieder über einen „Pfeil“-Button oder die Menüleiste, welche oben rechts auf dem Bildschirm zu sehen ist. Klickt man auf den „Pfeil“-Button gelangt man ins Hauptmenü der APP. Das Hauptmenü ist aufgebaut aus den Reitern „Home“, „Holzernteverfahren auswählen“, „Holzernteverfahren ansehen“, „Glossar“, „Links & Quellen“ und dem „Impressum“. Der Reiter „Holzernteverfahren auswählen“ führt zu dem Filter mit flächen- und bestandesbezogenen Parametern. Wenn alle zutreffenden Parameter angeklickt wurden, gelangt man wieder über ein „Pfeil“-Button zu den möglichen Holzernteverfahren. Diese sind untereinander aufgelistet und in der Kopfzeile sind alle Filtereingaben nochmals zu sehen. Die Namen der Arbeitsverfahren sind in der Hauptzeile ausgeschrieben und im Untertitel nochmals mit der Abkürzung versehen. Über einen Klick auf das jeweilige Verfahren kommt man zu den Verfahrensdetails. Der Reiter eines Verfahrens ist in drei Seitenlayern aufgebaut. Immer in der Kopfzeile zu sehen sind die Abkürzung des Verfahrens und der „Menü“-Button. Der erste Layer beschreibt den Verfahrenseinsatz. Hinterlegt ist dieser mit einem Button, wo ein Baum abgebildet ist. Untergliedert ist er in „Beschreibung“, welches die allgemeine Verfahrensbeschreibung beinhaltet, „Einsatzspektrum“, welches die Einsatzgrenzen aufzeigt, und „Verfahrensablauf“, welches kurz den Ablauf ausweist. Der zweite Layer beinhaltet die Anforderungen an das Verfahren und ist hinterlegt mit einem Button mit graphischen Linien und Pfeil. Hierbei wird besonders auf die Anforderungen an

die Erschließung eingegangen. Die Beurteilung stellt den dritten Layer dar, welche mit einem Button mit einem Balkendiagramm hinterlegt ist. Der „Beurteilung“-s-Layer unterteilt sich in drei Themenbereiche; Ergonomie, Ökologie und Ökonomie. Über einen „Pfeil zurück“-Button gelangt man zurück zu den Holzernverfahren. Von dieser Seite aus gelangt man jederzeit über den „Filter“-Button zum Filter. Gekennzeichnet ist dieser mit einem Zeilendiagramm.

Wählt man im Menü den Reiter „Holzernverfahren ansehen“ aus, kommt man direkt zur Übersicht der Holzernverfahren. Zur Übersichtlichkeit sind die Verfahren in drei Hangneigungsbereiche aufgeteilt und mit einem Akkordion-Layer hinterlegt. Auf Klick auf einen kleinen Pfeil neben dem Hangneigungsbereich öffnen sich alle dazugehörigen Arbeitsverfahren. Es werden ausgewählte Arbeitsverfahren angezeigt, die sich aus vier neuen Verfahren unter Einbeziehung des Harvarders sowie weitere Verfahren, die der bekannten DVD „Holzernverfahren in Hanglagen „ entstammen, zusammensetzen. In den folgenden **Abbildungen 11 – 18** werden die aktualisierten Darstellungen für die vier zur Aufnahme in die APP ausgewählten Holzernverfahren (Harvard) wiedergegeben.

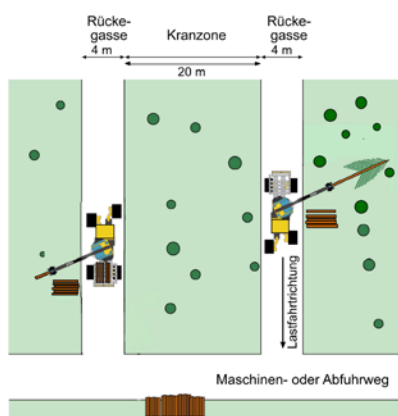


Abbildung 11 – Funktigramm HV-20m
(für Abb.11/12: Harvarder bei Arbeitsfeldbreite von 20m)

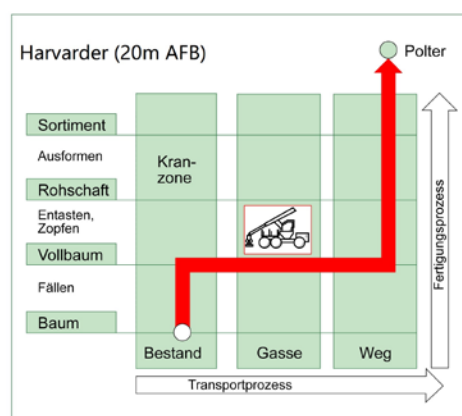


Abbildung 12 – Technogramm HV-20

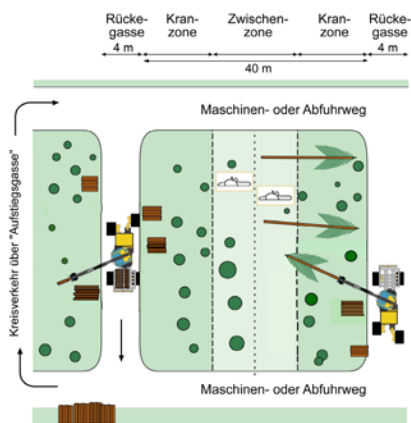


Abbildung 13 – Funktigramm MS-HV-40m
(für Abb.13/14: Harvarder mit motormanuellem Zufällen bei Arbeitsfeldbreite bis 40m)

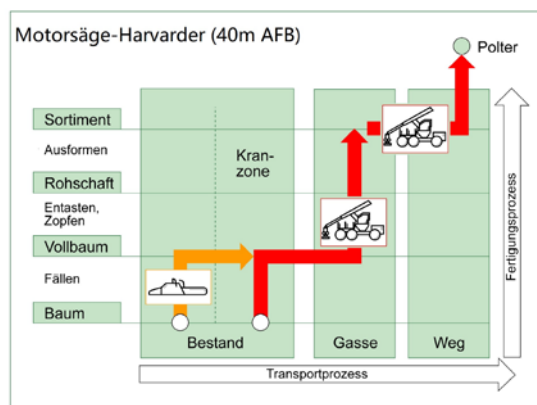


Abbildung 14 – Technogramm MS-HV-40

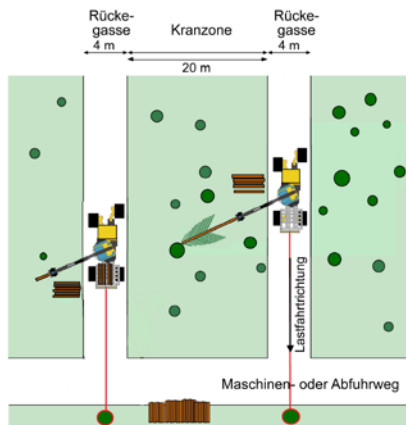


Abbildung 15 – Funktiogramm HV_{TW}-20m

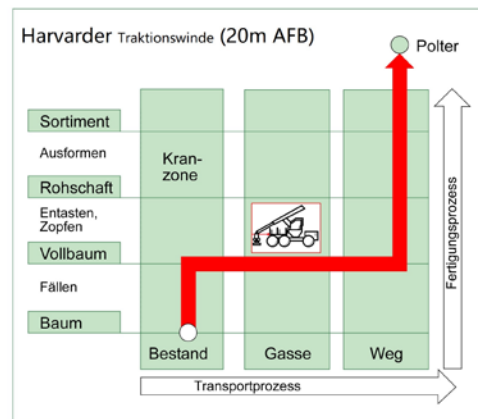


Abbildung 16 – Technogramm HV_{TW}-20m

(für Abb.15/16: Harvarder mit Traktionswinde bei Arbeitsfeldbreite von 20m)

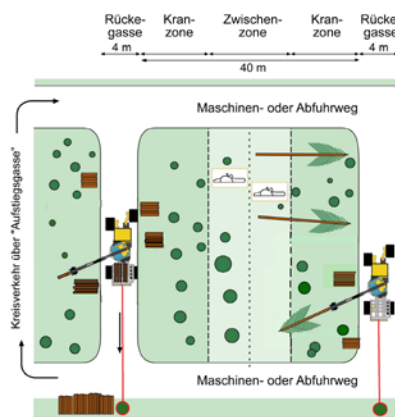


Abbildung 17 – Funktiogramm MS-HV_{TW}-40m

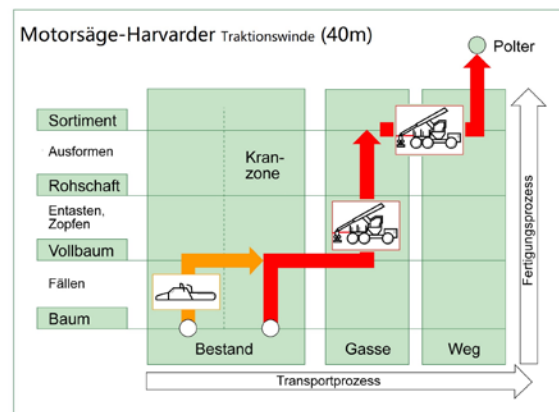


Abbildung 18 – Technogramm MS-HV_{TW}-40m

(für Abb.17/18: Harvarder mit Traktionswinde und motormanuellem Zufällen bei Arbeitsfeldbreite bis 40m)

Erforderliche Foto- und Filmaufnahmen der Harvarderverfahren wurden für die APP durch die beauftragte Agentur in Absprache mit den Projektpartnern im Wald realisiert. Der aktuelle Entwicklungsstand der SMARTPHONE - APP „Harvard21“ ist als Wireframe vorhanden und zeigt das in **Abbildung 19** ersichtliche Menü (Seiten 1 und 2). Hinterlegt ist ein Auswahlfilter in der oben beschriebenen Art.

Klärungsbedarf besteht derzeit noch bezüglich des fachlichen Erweiterungsbedarfes und der zweckmäßigen Lokalisierung der APP. Dazu finden sich weiterführende Angaben im Kapitel Zusammenfassung und Ausblick.

Für die Zwecke der Veröffentlichung der Projektergebnisse wurde zudem ein Poster (siehe **Abbildung 20**), ein Rollup (siehe **Abbildung 21**) sowie eine Flyervorlage entworfen, die den jeweiligen Veranstaltungszecken angepasst werden können.

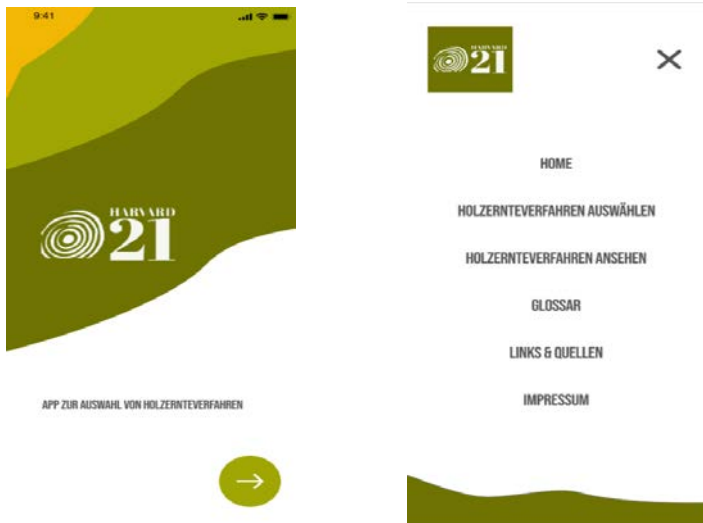


Abbildung 19 – Seiten 1 und 2 der Oberfläche der Smartphone-APP „Harvard21“

Freistaat
Thüringen

Operationelle Gruppe HARVARD 21

Thema

Für die umfassend und langfristig nachhaltige Forstwirtschaft in Nordeuropa zeichnen sich durch die Folgen des Klimawandels mit Trockenheit, Sturmereignissen und nachfolgenden Kalamitäten starke Veränderungen ab, wenn die Multifunktionalität der Wälder gewährleistet bleiben und die Holzverwendung die Klimaschutzwirkung maximieren soll. Vor allem im Kleinprivatwald und in Flächen mit geringen Holznahmehmengen, insbesondere in den Mittelgebirgsregionen, bedarf es innovativer Holzerteilungsverfahren, um Boden- und Bestandespfleglichkeit mit langfristiger Wirtschaftlichkeit und sozialer Verträglichkeit verbinden zu können.

Projektziele

Im Projekt HARVARD21 wurden für eine spezielle Technologie sinnvolle Einsatzbedingungen in der hochmechanisierten Holzerteilung untersucht und ein Instrument für die Information der Waldbesitzer, Bewirtschaftler, aber auch der forstlichen Auszubildende und Studierenden entwickelt. Statt Harvester und Forwarder wird nur eine Maschine eingesetzt, der Holzerteilung übernimmt. Die Technologie soll zur Akzeptanz moderner Verfahren in der Wertschöpfungskette Wald – Holz – Gesellschaft beitragen.



Abbildung 1: Harvester Highlander mit Rungenkorb und Traktionsseilwinde © Prof. Erik Findelsen

Projektdurchführung/ Projektergebnisse

Über mehrere Monate wurde der Einsatz des Harvards des Forstunternehmens Lohse in Thüringen begleitet und mittels diverser Arbeitsstudien untersucht. Zur Dokumentation wurde eine APP entwickelt, in der die Holzerteilungsverfahren nach ausgewählten Einsatzkriterien – den technologischen Parametern – ausgewählt werden können. Das Standardverfahren in Hanglagen bei einem Abstand der Rückgassen von 24m ist in der Abbildungen 2 dargestellt.



Abbildung 2: Fiktogramm Harvester Highlander mit Rungenkorb und Traktionsseilwinde © Jacqueline Konradi

Einsatzbedingungen (Optimum)

- Nadelholz/Laubholz mit Brusthöhendurchmesser von 25 - 55cm
- Sortimentslänge 2 bis 5,10m
- Arbeitsfeldbreite 20m – sonst Zufällen / Vorfällen und Vorrücken bei Kostenerhöhung
- Hangneigung bis 50%: Bergauf- und Bergabdeckung durch Traktionswindeneinsatz möglich
- Gassenlänge für Traktionswindeneinsatz bis 250m
- für geringe Entnahmemengen besonders geeignet (bis 25 Festmeter je Hektar)
- kurze Hänge mit geringer Entnahmemenge (bis 0,05 Festmeter je Laufmeter Gasse)
- Rückentfernungen über 250m: Zweirückung auf Wegen durch einfachen Forwarder

Vorteile Harvester „Highlander HV21“ gegenüber Harvester/Forwarder

- Klimaschutz (CO₂-Emission): Senkung des Dieselverbrauches um bis zu 21%
- Umsatzkosten: Einsparung bis zu 50% (nur eine Maschine)
- Investitionskosten: Beschaffung einer Maschine (mit Traktionswinde)
- Bodenschutz: Verringerung der Überfahrten
- Zeitbedarf: Verringerung der Maßnahmendauer um bis zu 18%
- Holzerteilungskosten: Senkung um bis zu 10%
- Flexibilität: Einsatz auch als Harvester und Klemmbankschlepper

Die Eignung der Technologie für Waldbesitzer wurde in mehreren Arbeitsverfahren festgestellt.

Projektziele

Verfahrensentwicklung für den Harvester zur Rohholzbereitstellung auf parzellierten Flächen

Projektlaufzeit

01.10.2020 – 31.12.2021

Vertreter der Operationellen Gruppe

Koordinator
Prof. Erik Findelsen
E-Mail: erik.findelsen@forsttechnik-beratung.de
Mobil 0049 171 6540517
www.forsttechnik-beratung.de

Operationelle Gruppe

Erlebniswelt Waldarbeit Olaf Jörss
Forstbetrieb Michael Wolfram
Forsttechnisches Ingenieur- und Sachverständigenbüro Findelsen & Partner
Forstunternehmen Dietmar Lohse
Forstwirtschaftliche Dienstleistungen
Ray Dörffeld

**Assoziierter
Wissenschaftspartner**

Technische Universität Ilmenau
Thüringen Forst ADR



Abbildung 20 – Poster zu Harvard21

HARVARD 21 HOLZERTE IN KLEINPARZELLIERTEN FLÄCHEN HOLZERTE UND -RÜCKUNG MIT HARVESTER HIGHLANDER MIT RUNGENKORB

Einsatzbereiche

Holzernte und -rückung in einem Prozess in folgenden Waldbeständen:
kleine Flächen und Flächen mit geringen Entnahmemengen (Festmeter)
Nadelholz/Laubholz mit Brusthöhendurchmessern von 25 - 55cm
kurze Sortimentslängen von 2 bis 5 m
Hangneigungen bis 50% - bergauf und bergab
Feinerschließung durch Rückegassen

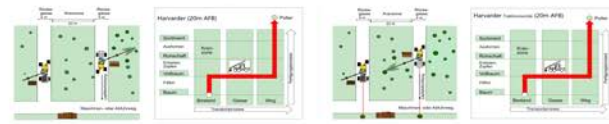
Vorteile

Klimaschutz	Senkung des Dieselvebrauches um bis zu 21%
Umsetzungskosten	Einsparung bis 50% (nur eine Maschine)
Investitionskosten	Beschaffung einer Maschine (mit Traktionswinde)
Bodenschutz	Verringerung der Überfahrten
Zeitbedarf	Verringerung um bis zu 18%
Holzernkosten	Senkung um bis zu 10%
Flexibilität	Einsatz auch als Harvester und Klemmbankschlepper



Technik und Holzerteverfahren

6-Rad-Harvester „Highlander“ mit Schubfahrwerk, Traktionsseilwinde, Beizugwinde, Berggäuze, Klemmbank, dreh- und tilgbarer Einheit Kabine/Kran mit prozessierfähigem Harvesterkopf Woody 61, schnell wechselbarer Rungenkorb
Hersteller Fa. Konrad Forsttechnik GmbH Österreich; Konstruktion des speziellen Rungenkorbes mit einer Ladekapazität von 6m³ nach Vorgaben des Maschineneigners Dietmar Lohse



Piktogramm HV 20m Harvester bei 20m Arbeitsfeldbreite in der Ebene Technogramm HV 20m

Piktogramm HV 20m Harvester bei 20m Arbeitsfeldbreite in Hanglagen Technogramm HV 20m

Im Verbundprojekt [Projektnummer 2020 LFE 0006 Kooperation Harvard21 „Verfahrensentwicklung für den Harvester zur Rohholzbereitstellung auf parzellierten Flächen“] wurde das Maschinensystem 2020/2021 in Thüringen bezüglich der Leistungen, technologischen Einsatzparameter und Verfahrensvoraussetzungen erprobt. Vor allem in kleinparzellierten oder/und Flächen mit geringem Anfall an Holzermengem sowie in kurzen Hängen entfaltet sich ein erhebliches Einsparpotential ressourcenschonender Holzerteverfahren durch Einsparung von Befahrungintensität und Maschinenkapazität. Die wissenschaftliche Projektdurchführung wurde durch das Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft unter Verwendung von Mitteln aus dem Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER) gefördert.

Kontakte

Maschinentechnik und Holzerte
Armin Lohse [Forstunternehmen am Rennsteig, Ilmenau OT Frauenwald, Mobiltelefon 0170 – 9120544, E-Mail forstunternehmenamrennsteig@gmx.de]
Forschungsprojekt und APP
Prof. Erik Findeisen [Forsttechnisches Ingenieur- und Sachverständigenbüro Findeisen & Partner, Ilmenau, Mobiltelefon 0171 – 6540517, E-Mail findeisen.erik@gmx.de]

Projektpartner

- Erlebniswelt Waldarbeit Olaf Jörss (Ilmenau)
- Forstbetrieb Michael Wolfram (Eschenbach)
- Forsttechnisches Ingenieur- und Sachverständigenbüro Findeisen & Partner (Ilmenau)
- Forstunternehmen Dietmar Lohse (Frauenwald)
- Forstwirtschaftliche Dienstleistungen Roy Dörmfeld (Wildenspring)
- Technische Universität Ilmenau (Ilmenau)
- Thüringen Forst A&R (Erfurt)

Abbildung 21 – Rollup zu Harvard21

6. Diskussion

6.1 Untersuchungen zu den Holzernteverfahren unter Beteiligung des Harvardersystems sowie zu den technologisch relevanten Einsatzparametern

Zu Beginn der Untersuchungen wurden 12 verschiedene Holzernteverfahren beschrieben, in denen das Harvardersystem HARVARD21 zum Einsatz kommen kann. Für diese Verfahren wurden anschließend Einsatzflächen in geplanten Holzerntemaßnahmen gesucht. Dafür wurden für den Landeswald als auch für den Privatwald Merkblätter entwickelt (siehe **Abbildung 22**) und an zu beteiligende Thüringer Forstämter sowie Privatwaldbesitzer (über eine Anfrage des Waldbesitzerverbandes Thüringen) verteilt.

Forschungsprojekt HARVARD 21 – Verfahrensentwicklung

Traktionswindengestützte Holzernte mittels Highlander mit Rungenkorb

Bis September 2021 werden in dem Verbundprojekt mehrerer Partner potentielle Holzernteverfahren mit Einsatz des neuen Harvardersystems der Firma Lohse, bestehend aus dem 6-Rad-Highlander mit Rungenkorb und Traktionshilfswinde, bezüglich der Leistungen, technologischen Einsatzparameter und Verfahrensvoraussetzungen untersucht. Ziel des Projektes ist die Definition optimaler Einsatzbereiche für ein ressourcenschonendes Holzernteverfahren durch Einsparung von Befahrungintensität und Maschinenkapazität. Es werden Einsatzflächen gesucht, deren Abarbeitung im Zeitraum April – September 2021 geplant ist und die einen sinnvollen Einsatz des Systems erwarten lassen. Nachfolgende Daten sollen einen Überblick über technische Einsatzmöglichkeiten geben. Die wissenschaftliche Projektdurchführung wird durch das Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft unter Verwendung von Mitteln aus dem Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER) gefördert.

Maschinensystem

6 – Rad – Harvester Highlander mit Schubfahrwerk, Kombiaggregat Woody 61 Traktionswinde und Rungenkorb (Transportkapazität ca. 7 fm)



Abbildung 1 (Quelle: Erik Findeisen)

Einsatzbedingungen

- ⇒ BHD ausscheidender Bestand maximal 55 cm, minimal 20 cm
- ⇒ Sortimentslänge max. 5,10 m
- ⇒ Arbeitsfeldbreite optimal 20 m (sonst Zufällen/Vorfällen/Vorrücken)
- ⇒ Hangneigung bis 60% - bei Traktionswindeneinsatz maximale Hanglänge 300 m
- ⇒ Traktionswindeneinsatz im Hang und bei eingeschränkt tragfähigen Böden sinnvoll (Vorhandensein von Ankerbäumen für die Befestigung des Windenseiles vorausgesetzt)
- ⇒ Forwarder für eventuell notwendiges Zweitrücken wird bereitgestellt
- ⇒ Tagesleistung Holzernte/Holzrückung je nach Einsatzbedingungen 80 – 120 fm



Abbildung 2 (Quelle: Erik Findeisen)



Abbildung 3 (Quelle: Erik Findeisen)

Technogramm

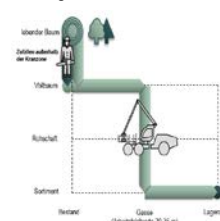


Abbildung 4 Technogramm Highlander mit Rungenkorb

(Quelle: Walter Boss nach Vorlagen der TU Dresden 2009)

Arbeitsbestverfahren

- ⇒ Hochmechanisierte Holzernte mit direkter Beladung auf den Rungenkorb (Zufällen bzw. Vorfällen und –rücken bei Arbeitsfeldbreiten über 20 m möglich)
- ⇒ Rückung der Sortimente auf der Rückegasse bis zum Abfuhrweg
- ⇒ Anlage sortimentsreiner Poller
- ⇒ eventuell Zweitrücken mit Forwarder
 1. Herstellen der Mindestpollergröße für die Abfuhr bzw. Optimierung für Holzvermessung
 2. Rücken über Rückegasse/Maschinenweg zum Abfuhrweg bei Arbeit mit der Traktionswinde im Hang oder eingeschränkt tragfähigen Gelände oder bei Rückentfernungen über 300 m

Einsatzschwerpunkte

- ⇒ Holzerntemaßnahmen mit Traktionswindenbedarf
 - Rückung auf eingeschränkt tragfähigen Böden (z.B. Staunässe)
 - Rückung bergauf in Gassen mit Längsneigung ab 20%
 - Rückung bergab in Gassen mit Längsneigung über 35%
 - Rückung in Gassen mit steilen Böschungen
- ⇒ Holzerntemaßnahmen mit geringen Entnahmemengen je Hektar (Einzelfall)

Ablauf der Maßnahmenrealisierung

- ⇒ Meldung potentieller Maßnahmen formlos per E-Mail an erik.findeisen@fh-erfurt.de (Forstamtsbereich/Revier bzw. Waldbesitzer/Kontaktaten/voraussichtliche Holzerntemenge/geplante Abarbeitungszeit)
- ⇒ kurzfristige Aufnahme der Maßnahmenflächen mit dem Projektteam vor Ort
- ⇒ Abstimmung der Planungen im Projektablauf und gemeinsame Holzerntepreisfestlegung
- ⇒ Erstellung des Arbeitsauftrages durch den Waldbesitzer
- ⇒ Zusage der Leistungserbringung und Konkretisierung des Ablaufplanes
- ⇒ Realisierung der Maßnahme mit Datenerhebung (Datenschutz wird zugesichert)

Besten Dank für eine konstruktive Unterstützung des Forschungsprojektes!

Kontakt für Rückfragen: Projektleiter Prof. Erik Findeisen Mobil: 0171 – 6540517

Abbildung 22 – Merkblatt zur Gewinnung von Versuchsflächen im Projekt Harvard21

Der Rücklauf zeigte ein großes Interesse an dem Maschinensystem und die Projektpartner erhoben mit erheblichem Zeitaufwand auf geplanten Maßnahmenflächen im eigenen Privatwald, im Privatwald diverser Waldbesitzer und im Landeswald des Freistaates Thüringen erforderliche technologische und Bestandesdaten. Bevor es jedoch zur Abarbeitung kam, hatte sich innerhalb der Projektlaufzeit die forstsanitäre und Holzmarktsituation in Thüringen – und insbesondere in den durch die Baumart Fichte geprägten Einsatzbereichen – derart drastisch entwickelt, dass die Waldbesitzer vom Frischholzeinschlag zurücktreten und alle verfügbaren Holzeinschlags- und Rückekapazitäten der Bereitstellung von Käferbefallenem und Schadh Holz zuführen mussten. Damit fiel der Großteil der geplanten Maßnahmen weg. Es ist vor allem dem Projektpartner Thüringen Forst AöR zu verdanken, dass die forstsanitären Holzerntemaßnahmen in einem ausreichenden Umfang mit den Zielen des Projektes Harvard 21 verbunden werden und erforderliche Datenerhebungen stattfinden konnten. In diesem Punkte konnte der im Konzept eigentlich geplante Umfang an Hiebsmaßnahmen leider nicht realisiert werden. Zudem zeigte sich, dass innerhalb der Maßnahmenflächen oftmals nicht nur eines der Verfahren anwendbar war, vielmehr stellte sich die optionale Flexibilität des Einsatzes als Harvester und als Harvardter als wesentlicher Vorteil gegenüber fixen Zweimaschinensystemen heraus.

Bei den Aufnahmen der technologischen Parameter durch die Projektpartner, die auch parallel zu den in Umsetzung befindlichen Maßnahmen und der laufenden Auswertung erfolgten, wurde ein konsistentes Verständnis von geeigneten Einsatzbedingungen entwickelt. Zunächst gibt es technische Grundvoraussetzungen, die nicht überschritten werden dürfen, ohne die Arbeitssicherheit und wirtschaftliche Sinnhaftigkeit zu gefährden:

→ Bestände mit einem für den Harvester geeigneten **Brusthöhendurchmesser (BHD)**
 Nadelholz 25 – 55cm
 Laubholz 25 – 35cm

→ **Hangneigung** zwischen 0 – 50% (mittlere Hangneigung)
 0 – 10% keine Einschränkungen des Rückegassenverlaufes
 11 – 20% Rückegassen verlaufen in Fallrichtung des Hanges, Bergab- und Bergaufrückung möglich
 21 – 35% Rückegassen verlaufen in Fallrichtung des Hanges, Bergabrückung möglich, Bergaufrückung nur mit Traktionsseilwinde möglich
 36 – 50% Rückegassen verlaufen in Fallrichtung des Hanges, Bergauf- und Bergabrückung nur mit Traktionsseilwinde möglich

→ **Hanglänge** bei Einsatz der Traktionswinde maximal 250m, Vorhandensein von Ankerbäumen ist Voraussetzung für Anwendbarkeit (sonst externe Traktionswinde erforderlich)

Optimal für die Ausschöpfung des Effizienzpotentials des Harvardters ist die Einsparung einer zweiten Maschine im Vergleich zum Zweimaschinensystem Harvester/Forwarder. Dieses ist dann möglich, wenn die Einsatzbedingungen und die Entnahmemenge zur Folge haben, dass der Harvardter für Holzernte und Rückung die Fläche nur einmal befahren muss (hohes Einsparpotential). Ein mittleres Einsparpotential liegt vor, wenn der Harvardter die Gasse zwei Mal befahren muss – hier würde ein Zweimaschinensystem ebenfalls zwei Befahrungen

zur Folge haben. Muss der Harvard der die Gasse infolge einer höheren Entnahmemenge mindestens drei Mal befahren, ist hinsichtlich der Befahrung ein Zweimaschinensystem überlegen. Hier spielt es dann eine Rolle, wie groß die Gesamtmenge an zu erntendem Holz ist, d.h. ob sich die Umsetzung des Forwarders zusätzlich zum Harvester lohnt.

In den nachfolgenden Tabellen 5 – 8 sind vier Fälle dargestellt, die für die Praxis typisch sind.

In **Tabelle 5** spiegelt sich ein Szenario der Bereitstellung von Bäumen, die vom Käfer befallen sind, wider. Die Entnahmemengen je Hektar sind sehr gering, es handelt sich nur um einige Bäume. In Abhängigkeit von deren Stückmasse sind vom Hektar vielleicht nur 5 bis 10 Bäume zu ernten, aufzuarbeiten und aus dem Bestand zu transportieren. Hier wurde für eine maximale Rückeentfernung von 500m in einer fast ebenen Fläche berechnet, bis zu welcher Entnahmemenge bei unterschiedlichen mittleren Gassenabständen das Einsparpotential des Harvardersystems in hohem oder mittlerem Maße gehoben werden kann. Vorteilhaft ist vor allem, dass der Maschinenführer die aus den Käferbäumen ausgehaltenen Sortimente sofort aufladen und abtransportieren kann, damit die Gefahr des „Vergessens“ von Bäumen/Sortimenten aufgrund mangelnder Abstimmung zwischen Harvester- und Forwarderfahrern bzw. wegen unübersichtlichen Situationen im Bestand nicht mehr gegeben ist. Bei einmaliger Befahrung ist auch sichergestellt, dass die Bereitstellungskosten frei Waldstraße geringer als beim Zweimaschinenverfahren sind.

In **Tabelle 6** wird beispielhaft aufgezeigt, wie sich bei einer Entnahmemenge von 15 Erntefestmetern pro Hektar und unterschiedlichen Gassenlängen/Rückeentfernungen die Ausnutzung des Effizienzpotentials des Harvarders entwickelt. Es wird deutlich, daß dieses generell durch höhere mittlere Gassenabstände steigt, wegen des notwendigen Zufällens oder im Extremfall sogar Vorfällens und Vorrückens erhöhen sich ebenfalls die Kosten und die Gefahr von Bestandesschäden, zudem wird eine höhere Unfallgefährdung in Kauf genommen. Eine Verdoppelung der Entnahmemenge bei sonst gleichen Verhältnissen hat zur Folge, dass nur noch bei geringeren Rückeentfernungen/Gassenlängen und einer technisch optimalen Feinerschließung (mittlerer Gassenabstand 24m) das Einsparpotential des Harvarders genutzt werden kann (siehe **Tabelle 7**).

Tabelle 8 zeigt die Grenzwerte für die Nutzung der Einsparpotentiale des Harvarders beim Arbeiten bei einer mittleren Hangneigung von 40%, wenn am Oberhang ein Abfuhrweg mit Poltermöglichkeit sowie geeignete Ankerbäume vorhanden sind. Hier ist die Seillänge der Traktionshilfswinde der begrenzende Faktor. Einfluss haben erneut die Entnahmemenge in Erntefestmeter je Hektar und die mittleren Gassenabstände der Feinerschließung.

Generell kann festgestellt werden, dass das Harvardersystem „Harvard21“ überall dort dem Zweimaschinensystem aus Harvester/Forwarder in allen drei Nachhaltigkeitsbereichen – Ökonomie, Ökologie und Soziales - überlegen ist, wo mit einer Überfahrt Holzernte und Holzurückung möglich ist. Ebenso kann davon ausgegangen werden, dass dieses auch bei zwei erforderlichen Überfahrten und geringen Gesamt Mengen der Entnahme (Wirtschaftlichkeit der Umsetzung eines Forwarders) oder stark verstreutem Hiebsanfall zutrifft.

Tabelle 5 - Fläche im schwach geneigten Hang 5%, Rückung bergauf ohne Traktionshilfswinde, Abfuhrweg am Oberhang

Entnahmemenge fm/ha	Gassenlänge lfm	Gassenabstand lfm	Arbeitsfläche ha	Entnahmemenge fm/Gasse	Entnahmemenge fm/lfm Gasse	Harvard N Fahren
7,0	500,0	24,0	1,0	7,0	0,01	1,0
14,0	500,0	24,0	1,0	14,0	0,03	2,0
5,5	500,0	30,0	1,3	7,2	0,01	1,0
11,0	500,0	30,0	1,3	14,3	0,03	2,0
4,0	500,0	40,0	1,8	7,2	0,01	1,0
8,0	500,0	40,0	1,8	14,4	0,03	2,1

Tabelle 6 - Fläche im schwach geneigten Hang 5%, Rückung bergauf ohne Traktionshilfswinde, Abfuhrweg am Oberhang

Entnahmemenge fm/ha	Gassenlänge lfm	Gassenabstand lfm	Arbeitsfläche ha	Entnahmemenge fm/Gasse	Entnahmemenge fm/lfm Gasse	Harvard N Fahren
15,0	300,0	24,0	0,6	9,0	0,03	1,3
15,0	250,0	24,0	0,5	7,5	0,03	1,1
15,0	130,0	24,0	0,3	3,9	0,03	0,6
15,0	300,0	30,0	0,8	11,7	0,04	1,7
15,0	250,0	30,0	0,7	9,8	0,04	1,4
15,0	130,0	30,0	0,3	5,1	0,04	0,7
15,0	300,0	40,0	1,1	16,2	0,05	2,3
15,0	250,0	40,0	0,9	13,5	0,05	1,9
15,0	130,0	40,0	0,5	7,0	0,05	1,0

Tabelle 7 - Fläche im schwach geneigten Hang 5%, Rückung bergauf ohne Traktionshilfswinde, Abfuhrweg am Oberhang

Entnahmemenge fm/ha	Gassenlänge lfm	Gassenabstand lfm	Arbeitsfläche ha	Entnahmemenge fm/Gasse	Entnahmemenge fm/lfm Gasse	Harvard N Fahren
30,0	300,0	24,0	0,6	18,0	0,06	2,6
30,0	250,0	24,0	0,5	15,0	0,06	2,1
30,0	130,0	24,0	0,3	7,8	0,06	1,1
30,0	300,0	30,0	0,8	23,4	0,08	3,3
30,0	250,0	30,0	0,7	19,5	0,08	2,8
30,0	130,0	30,0	0,3	10,1	0,08	1,4
30,0	300,0	40,0	1,1	32,4	0,11	4,6
30,0	250,0	40,0	0,9	27,0	0,11	3,9
30,0	130,0	40,0	0,5	14,0	0,11	2,0

Tabelle 8 - Fläche am Hang 40%, Rückung bergauf mit Traktionshilfswinde, Abfuhrweg am Oberhang

Entnahmemenge fm/ha	Gassenlänge lfm	Gassenabstand lfm	Arbeitsfläche ha	Entnahmemenge fm/Gasse	Entnahmemenge fm/lfm Gasse	Harvard N Fahren
28,0	250,0	24,0	0,5	14,0	0,06	2,0
28,0	120,0	24,0	0,2	6,7	0,06	1,0
28,0	80,0	24,0	0,2	4,5	0,06	0,6
28,0	250,0	30,0	0,7	18,2	0,07	2,6
28,0	120,0	30,0	0,3	8,7	0,07	1,2
28,0	80,0	30,0	0,2	5,8	0,07	0,8
28,0	250,0	40,0	0,9	25,2	0,10	3,6
28,0	120,0	40,0	0,4	12,1	0,10	1,7
28,0	80,0	40,0	0,3	8,1	0,10	1,2

Legende:

	hohes Einsparpotential - Harvard befährt Rückegasse nur ein Mal
	mittleres Einsparpotential - Harvard befährt Gasse zwei Mal
	geringes Einsparpotential - Summe der Überfahrten ist bei Harvester/Forwarder geringer

Mit der Excel-Kalkulationstabelle, mit der die Beispiele in den Tabellen 5 – 8 berechnet wurden, kann im Rahmen der Produktionsvorbereitung für jeden konkreten Fall ermittelt werden, in welchem Umfang die Einsparpotentiale des Harvardersystems genutzt werden können. Als Eingangsparameter dienen die Masse des zu entnehmenden Holzes in Erntefestmeter, der durchschnittliche Gassenabstand sowie die mittlere Rückeentfernung oder bei Traktionswindeneinsatz die durchschnittliche Gassenlänge in Laufmeter. Beim Einsatz der Traktionswinde ist vorauszusetzen, dass an der Waldstraße gepoltet werden kann.

Bei geringen Entnahmemengen je Hektar bzw. je Gasse besteht meistens das Problem, dass keine Abfuhrrelevanten Mengen je Sortiment bereitgestellt werden können. Hier ist zu prüfen, ob durch Verlängerung der Rückeentfernung eine Konzentration der Sortimente erreicht werden kann, ohne die Möglichkeit der Vermeidung einer zusätzlichen Maschine zu gefährden. Eventuell ist auch ein Zuschlag für das Holzabfuhrunternehmen (Spediteur) zu erwägen, damit diese in mehreren Halten ihre Last aufnehmen. Alternativ muss ein zweiter Forwarder bereitgestellt werden, der den positiven Effekt des Harvarders in den Fällen, wo eine Holzbringung ohne Traktionswinde möglich ist, schnell in Frage stellt. Bei Einsatz des Harvarders mit Traktionswinde wird zumindest der Einsatz eines Forwarders mit Traktionswinde vermieden. Das wirkt sich positiv auf die Verfahrenskosten aus. Zudem zeigte sich, dass in manchen Aufträgen mit Traktionswindeneinsatz ein zusätzlicher Forwardereinsatz vonnöten war, um das Holz für die optische Holzvermessung passend zu poltern. Hier ist zu überlegen, unter Verzicht auf die Ersparnis der teilautomatisierten Holzvermessung (ca. 1 – 2 €/fm) besser die zusätzlichen Rückekosten (ca. 3 – 5 €/fm) zu vermeiden und für den Verkauf bzw. als Kontrollmaß ausnahmsweise ein alternatives Maß zu vereinbaren.

An der optimalen Darstellung der komplexen Fragen bei der Arbeitsvorbereitung sowie einer für das vorbereitende Personal praktisch leicht handhabbaren Kalkulationshilfe muss im weiteren Verlauf noch gearbeitet werden, dass war im Rahmen des Projektes Harvard 21 nicht möglich. Jedoch konnten wichtige Ausgangsgrößen bestimmt werden. Ebenso wird im Ergebnis des Projektes mittels spezifischer Arbeitszeitstudien untersucht, in welchem Bereich eine Optimierung der Harvarderverfahren möglich sein kann. Hier arbeitet die operationelle Gruppe Harvard 21 über die Laufzeit des Projektes hinaus gemeinsam weiter.

6.2 Erstellung von Handlungsempfehlungen für Waldbesitzer

Wie im Kapitel 5.1 erwähnt, wird die bereits vorhandene Handlungsempfehlung für Waldbesitzer weiterentwickelt und präzisiert. Nach dem Ende der CORONA-Pandemie, die einige der in der Projektlaufzeit geplanten Aktionen im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit unmöglich gemacht hat, ist die Vorstellung der Harvarderverfahren im Rahmen einer mit dem Thüringer Waldbesitzerverband organisierten Praxisveranstaltung geplant. Bereits jetzt gibt es Anfragen von Waldbesitzern, die im Rahmen der Befragung mit der Thematik und den Einsparpotentialen bekannt gemacht wurden. Nach Möglichkeit soll die Veranstaltung vor Beginn der Einschlagssaison 2022/2023 durchgeführt werden. Für 2022 ist zudem die

geplante Veröffentlichung der Projektergebnisse in einer forstlichen Fachzeitschrift sowie eine Vorstellung auf den Grünen Tagen Thüringen sowie auf der Interforst-Messe vorgesehen.

6.3 Integration der Verfahren in eine zu entwickelnde APP

Die APP Harvard21 ist gemäß des Projektplanes fertig konzipiert und umgesetzt. Es wird gegenwärtig seitens der Projektpartner und der umsetzenden Agentur erwogen, ein weiterführendes Projekt zu beantragen, um der APP im Bereich bodenschonender Arbeitsverfahren – insbesondere auch im Bereich staunasser/wechselfeuchter Standorte - und interaktiver Kalkulationshilfen zusätzliche Nutzungsmöglichkeiten zu eröffnen. Dieser Bedarf wurde seitens der Nutzer häufig formuliert und gewann infolge der intensiv auftretenden Auswirkungen des Klimawandels zunehmend an Bedeutung. Im Rahmen der im Projekt Harvard 21 verfügbaren finanziellen Mittel war das jedoch nur bedingt umzusetzen. An dieser Thematik soll durch die operationelle Gruppe weitergearbeitet werden.

6.4 Sonstiges

Die positiven Projektergebnisse im Projekt Harvard 21 bestätigten den Maschinenhersteller Josef Konrad (Firma Konrad Forsttechnik GmbH) in seiner Entwicklungsarbeit. So wird gegenwärtig eine weiterentwickelte Maschinenvariante erprobt, die sich wegen des drehbaren Rungenkorbes vor allem für Freiflächen eignet und durch eine zusätzliche Achse in ihrer Nutzlast erhöht wurde (siehe **Abbildung 23**). Derzeit werden Gespräche geführt, die neue Maschine einem wissenschaftlichen Praxisvergleich mit der Maschine der Firma Lohse zu unterziehen.



Abbildung 23 – Weiterentwicklung eines Harvarders auf Basis des Highlander (Quelle: Fa. Konrad Forsttechnik GmbH)

7. Schlussfolgerungen und Ausblick

Trotz der widrigen Bedingungen infolge der CORONA-Pandemie und der massiven Veränderungen im Bereich der Rohholzbereitstellung und des Holzmarktes in der Projektlaufzeit konnte das Projekt Harvard 21 durch die gleichnamige operationelle Gruppe erfolgreich umgesetzt werden. Das ist insbesondere sehr hoch zu bewerten, da in dem Bündnis auch Fachleute mit reichhaltiger praktischer Erfahrung, aber wenig Erfahrung bezüglich wissenschaftlicher Erfordernisse mitwirkten. Hier fand ein sehr konstruktiver Prozess statt, in dem alle beteiligten Seiten mit den jeweiligen Belangen der Projektpartner vertraut gemacht wurden. Gleichzeitig ermöglichten die verwaltungstechnisch fundierten, operativ flexiblen und sich an konstruktiven Problemlösungen aktiv beteiligenden Vertreter*innen des Fördermittelgebers an die besonderen Situationen angepasste Verfahrensweisen. Das Projekt entwickelte sich somit zu einem sehr positiven Beispiel für eine interdisziplinäre Innovationspartnerschaft im forstlichen Bereich in Thüringen, gleichwohl unterstützt durch assoziierte Partner in Thüringen sowie im fachlichen Austausch mit internationalen Partnern. Sehr positiv ist auch die im Projekt erfolgte Heranführung junger forstlicher Fachleute an die in der Praxis anstehenden Forschungs- und Entwicklungsaufgaben zu bewerten.

Im Projekt Harvard 21 konnten wesentliche Einsatzbedingungen und Leistungen für verschiedene Holzernteverfahren unter Einsatz des Maschinensystems Highlander mit Traktionswinde und schnell wechselbarem Rungenkorb (Hersteller Forsttechnik Konrad GmbH) festgestellt werden, so dass für die forstliche Praxis - insbesondere Privatwaldbesitzer mit kleinen Maßnahmeflächen und geringen Holzerntemengen – nutzbringende Empfehlungen für wirtschaftlich sinnvolle und pflegliche Arbeitsverfahren gegeben werden können.

Die Mitglieder des operationellen Bündnisses HARVARD21 sind sich darüber einig, die Zusammenarbeit zur Bewältigung der in den vorstehenden Kapiteln beschriebenen weiterführenden Aufgaben fortzusetzen. Dabei sollen weitere Partner einbezogen und die Fördermöglichkeiten genutzt werden. Hierbei geht es vor allem um die Weiterentwicklung und Publizierung der Harvarderbasierten Holzernteverfahren, aber auch um die Verfahrensentwicklung für die nachhaltige Holzernte auf Standorten mit geringen Tragfähigkeiten. Die Firma Lohse ist auch hier Innovationstreiber und wird ab September 2022 einen Raupenharvester KDH40-1 zum Einsatz bringen. Die Maschine wird vor allem im Thüringer Holzland benötigt, zunehmend sind alle staunassen und wechselfeuchten Standorte in Thüringen betroffen. Derzeit laufen die Planungen für ein gemeinsames Forschungsprojekt.

Partner des operationellen Bündnisses planen aber auch Forschungsvorhaben in anderen Bereichen der Forstwirtschaft. So zum Beispiel zur Dedektion von entstehenden Waldbränden – ein Thema mit wachsender Brisanz auch in Thüringen.