

Schlussbericht

zum Verbundvorhaben

Thema:

Entwicklung und Bewertung von Best-Practice-Verfahren zur Holzernte in Wäldern mit hoher naturschutzfachlicher Bedeutung

Zuwendungsempfänger:

Teilvorhaben 1: Projektleitung und Holzernteverfahren (KWF)

Teilvorhaben 2: Versuchsdesign und Arbeitsverfahren (LWF)

Teilvorhaben 3: Naturschutz & Datenaufnahme und -analyse (unique)

Förderkennzeichen:

Teilvorhaben 1: 22000917

Teilvorhaben 2: 22025217

Teilvorhaben 3: 22025117

Laufzeit:

01.09.2018 bis 28.02.2022

Monat der Erstellung:

02/2022

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Schlussbericht

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	II
Tabellenverzeichnis.....	IV
I. Einleitung.....	6
1. Hintergrund.....	6
2. Ziele.....	6
3. Aufgabenstellung.....	7
4. Stand der Technik.....	8
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	15
6. Störungen bei der Vorhabendurchführung.....	15
7. Danksagung.....	16
II. Methodik.....	17
1. Analyse naturschutzfachlicher Auswirkungen auf die Holzernte und -bringung.....	18
2. Methodik zur standardisierten Verfahrensbeschreibung.....	18
3. Befragung von Expertinnen und Experten.....	19
4. Workshop.....	22
5. Fallstudien.....	22
III. Ergebnisse.....	30
1. Erzielte Ergebnisse.....	30
2. Verwertung.....	88
3. Erkenntnisse von Dritten.....	89
4. Veröffentlichungen.....	91
Literaturverzeichnis.....	92
ANHANG.....	96
Teilvorhaben 1: Projektleitung & Holzernteverfahren (KWF).....	96
Teilvorhaben 2: Versuchsdesign und Arbeitsverfahren (LWF).....	98
Teilvorhaben 3: Naturschutz & Datenaufnahme und -analyse (Unique).....	100
Anhang zu den Inhalten des Berichts.....	101

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gesamtüberblick Methodik.....	17
Abbildung 2: Beispielhafte Verfahrensbeschreibung nach RePlan.....	19
Abbildung 3: AD Laubholz.....	20
Abbildung 4: AD Nadelholz.....	20
Abbildung 5: JD Nadelholz.....	20
Abbildung 6: Sichtbehindernde Naturverjüngung Stufe 2, Versuchsdesign 1.....	23
Abbildung 7: Funktiogramm vollmechanisierte Holzernte.....	31
Abbildung 8: Mechanischer Fällkeil Forstreich TR300 - Foto: C. Winter, LWF.....	33
Abbildung 9: Seilunterstütztes Vorrücken mittels Raupe - Foto: S. Waas, LWF.....	34
Abbildung 10: Sichtbehindernde Verjüngung - Foto: C. Winter, LWF.....	35
Abbildung 11: Funktiogramm Thüringer Schiefergebirge.....	39
Abbildung 12: Verteilung der Zeit auf verschiedene Arbeitsschritte.....	41
Abbildung 13: Funktiogramm Fränkische Platte.....	42
Abbildung 14: Verteilung der entnommenen Bäume in der Fränkischen Platte nach Baumarten auf Durchmesserstufen.....	43
Abbildung 15: Die Verteilung der Arbeitszeit der Forstwirte auf verschiedene Arbeitsschritte.....	44
Abbildung 16: Die Verteilung der Arbeitszeit des Schleppers auf verschiedene Arbeitsschritte.....	45
Abbildung 17: Funktiogramm Nordspessart.....	46
Abbildung 18: Die Verteilung der Arbeitszeit der Forstwirte in der Fallstudie Nordspessart auf verschiedene Arbeitsschritte.....	48
Abbildung 19: Die Verteilung der Arbeitszeit des Schleppers in der Fallstudie Nordspessart auf verschiedene Arbeitsschritte.....	48
Abbildung 20: Funktiogramm Mittelschwaben – Teilfläche 1.....	49
Abbildung 21: Abstände der jeweils vom Harvester, vom Forstwirt oder gemeinsam gefällten Bäume zur Rückegasse.....	52
Abbildung 22: Die Verteilung der Zeiten des Forstwirts auf verschiedene Arbeitsschritte in der Fallstudie Mittelschwaben, Teilfläche 1 (mit Verjüngung).....	53
Abbildung 23: Funktiogramm Mittelschwaben – stehender Baum – Teilfläche 2.....	54
Abbildung 24: Vergleich der Arbeitszeiten der maschinellen Aufarbeitung auf Teilfläche 1 (mit Verjüngung und motormanueller Zufällung) und Teilfläche 2 (ohne Verjüngung und ohne motormanuelle Zufällung) bei der Fallstudie in Mittelschwaben.....	56
Abbildung 25: Funktiogramm Südlicher Steigerwald.....	57
Abbildung 26: Verteilung der entnommenen Bäume nach Baumarten und Durchmesserstufen.....	58
Abbildung 27: Verteilung der Arbeitszeit auf verschiedene Arbeitsschritte.....	60
Abbildung 28: Funktiogramm Rhön.....	61
Abbildung 29: Die Verteilung der entnommenen Bäume in der Rhön nach Baumarten auf Durchmesserstufen.....	62
Abbildung 30: Die Verteilung der Arbeitszeit auf die einzelnen Arbeitsschritte.....	64
Abbildung 31: Funktiogramm Nördlicher Steigerwald.....	65
Abbildung 32: Die Verteilung der Arbeitszeiten in der Fallstudie im nördlichen Steigerwald auf Arbeitsschritte.....	68
Abbildung 33: Funktiogramm Altmühltal.....	69
Abbildung 34: Abstände der jeweils vom Harvester und vom Forstwirt gefällten Bäume zur Rückegasse.....	72
Abbildung 35: Die mit Hilfe des logistischen Regressionsmodells geschätzte Wahrscheinlichkeit, ob ein Baum motormanuell gefällt wird oder nicht.....	73

Abbildung 36: Die Verteilung der Arbeitszeiten der Forstwirte in der Fallstudie Altmühltal auf Arbeitsschritte	73
Abbildung 37: Zeitbedarf des Harvesters in der Fallstudie Altmühltal getrennt nach der Art der Fällung	74
Abbildung 38: Funktiogramm Nördliche Schwäbische Alb	75
Abbildung 39: Die Verteilung der Arbeitszeiten der Forstwirte auf die verschiedenen Arbeitsschritte in der Fallstudie Nördliche Schwäbische Alb	77
Abbildung 40: Die Verteilung der Arbeitszeiten des Harvesters auf die verschiedenen Arbeitsschritte in der Fallstudie Nördliche Schwäbische Alb	78
Abbildung 41: Funktiogramm Südliche Schwäbische Alb	79
Abbildung 42: Die Verteilung der Arbeitszeiten der Forstwirte auf die verschiedenen Arbeitsschritte in der Fallstudie Südliche Schwäbische Alb	83
Abbildung 43: Die Verteilung der Arbeitszeiten der Rücker auf die verschiedenen Arbeitsschritte in der Fallstudie Südliche Schwäbische Alb	83

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Arbeitspakete und Zuständigkeiten	8
Tabelle 2: Übersicht befragte Personen	19
Tabelle 3: Bestandesbeschreibung der den Interviews zugrunde gelegten Bestände	20
Tabelle 4: Teilnehmende Workshops	22
Tabelle 5: Übersicht Versuchsdesigns Variablen	24
Tabelle 6: Zuordnung Fallstudie zu Versuchsdesign	24
Tabelle 7: Definition der Arbeitsablaufabschnitte für den motormanuellen Holzeinschlag durch Forstwirt oder Forstwirtin	26
Tabelle 8: Definition der Arbeitsablaufschritte für den maschinellen Holzeinschlag	27
Tabelle 9: Definition der Arbeitsablaufschritte für das Rücken	28
Tabelle 10: Angelehnt aus standardisierter Verfahrensbeschreibung	31
Tabelle 11: Auswahl der zu untersuchenden Holzernteverfahren im Projekt BestHarvest, nach Rückegassenabständen	37
Tabelle 12: Naturaldaten, Erschließung und Hiebsdurchführung Thüringer Schiefergebirge	39
Tabelle 13: Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs des Harvesters insgesamt und für einzelne Arbeitsschritte in der Fallstudie Thüringer Schiefergebirge	40
Tabelle 14: Naturaldaten, Erschließung und Hiebsdurchführung Fränkische Platte	42
Tabelle 15: Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs der Forstwirte insgesamt und für einzelne Arbeitsschritte in der Fallstudie Fränkische Platte	43
Tabelle 16: Naturaldaten, Erschließung und Hiebsdurchführung Nordspessart	46
Tabelle 17: Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs der Forstwirte insgesamt und für einzelne Arbeitsschritte in der Fallstudie Nordspessart	47
Tabelle 18: Naturaldaten, Erschließung und Hiebsdurchführung Mittelschwaben – Teilfläche 1	49
Tabelle 19: Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs der Forstwirte insgesamt und für einzelne Arbeitsschritte in der Fallstudie Mittelschwaben Teilfläche 1	50
Tabelle 20: Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs des Harvesters insgesamt und für einzelne Arbeitsschritte in der Fallstudie Mittelschwaben Teilfläche 1	51
Tabelle 21: Logistische Regression zur Fällung eines Baumes durch Forstwirt/Forstwirtin oder Harvester bei der Fallstudie Mittelschwaben Teilfläche 1	51
Tabelle 22: Naturaldaten, Erschließung und Hiebsdurchführung Mittelschwaben – Teilfläche 2	54
Tabelle 23: Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs des Harvesters insgesamt und für einzelne Arbeitsschritte in der Fallstudie Mittelschwaben Teilfläche 2	55
Tabelle 24: Naturaldaten, Erschließung und Hiebsdurchführung Südlicher Steigerwald	57
Tabelle 25: Häufigkeit des Vorkommens von Merkmalen im 10 m-Umkreis um die Bäume	58
Tabelle 26: Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs der Forstwirte insgesamt und für einzelne Arbeitsschritte in der Fallstudie südlicher Steigerwald	59
Tabelle 27: Naturaldaten, Erschließung und Hiebsdurchführung Rhön	61
Tabelle 28: Häufigkeit des Vorkommens von Merkmalen im 10 m- Umkreis um die entnommenen Bäume ..	62
Tabelle 29: Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs der Forstwirte insgesamt und für einzelne Arbeitsschritte in der Fallstudie Rhön	63
Tabelle 30: Naturaldaten, Erschließung und Hiebsdurchführung Nördlicher Steigerwald	65
Tabelle 31: Die Zusammensetzung nach Baumarten und die Durchmesser der entnommenen Bäume, für die Zeiten vorliegen	66
Tabelle 32: Häufigkeit des Vorkommens von Merkmalen im 10 m- Umkreis um die entnommenen Bäume ..	66
Tabelle 33: Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs der Forstwirte insgesamt und für einzelne Arbeitsschritte in der Fallstudie nördlicher Steigerwald	67

Tabelle 34: Naturaldaten, Erschließung und Hiebsdurchführung Altmühltal	69
Tabelle 35: Häufigkeit des Vorkommens von Merkmalen im 10 m- Umkreis um die entnommenen Bäume..	70
Tabelle 36: Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs der Forstwirte insgesamt und für einzelne Arbeitsschritte in der Fallstudie Altmühltal.....	70
Tabelle 37: Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs des Harvesters insgesamt und für einzelne Arbeitsschritte in der Fallstudie Altmühltal.....	71
Tabelle 38: Maximum-Likelihood-Schätzung der Parameter einer logistischen Regression zur Erklärung, ob ein Baum maschinell oder motormanuell gefällt wird	72
Tabelle 39: Naturaldaten, Erschließung und Hiebsdurchführung Nördliche Schwäbische Alb	75
Tabelle 40: Durchschnittlicher Zeitbedarf in Minuten pro Baum der Arbeitsschritte beim Auszeichnen durch den Forstwirt/die Forstwirtin.....	76
Tabelle 41: Häufigkeit des Vorkommens von Merkmalen im 10 m- Umkreis um die entnommenen Bäume..	76
Tabelle 42: Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs des Harvesters insgesamt und für einzelne Arbeitsschritte in der Fallstudie Nördliche Schwäbische Alb.....	77
Tabelle 43: Naturaldaten, Erschließung und Hiebsdurchführung Südliche Schwäbische Alb	80
Tabelle 44: Durchschnittlicher Zeitbedarf in Minuten der Arbeitsschritte pro Baum beim Auszeichnen der Fallstudie südliche Schwäbische Alb.....	81
Tabelle 45: Häufigkeit des Vorkommens von Merkmalen im 10 m-Umkreis um die entnommenen Bäume ...	81
Tabelle 46: Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs der Forstwirte insgesamt und für einzelne Arbeitsschritte in der Fallstudie südliche Schwäbische Alb.....	82
Tabelle 47: Hilfstabellen Hubkraft (Franz, 2020)	90
Tabelle 48: Übersicht über die Strukturmerkmale der untersuchten Fallstudien	103

I. Einleitung

1. Hintergrund

Der Wald in Deutschland unterliegt vielen Einflüssen, vom Klimawandel (IPCC 2019), über natürliche Schädereignisse (Schelhaas et al. 2003), anthropogene Waldbewirtschaftung, bis hin zur Einwanderung von Pflanzen (Langmaier und Lapin 2020). Gleichzeitig ist er Ziel vieler Anforderungen, als Kapitalanlage, Erholungsort, Bewahrer der Biodiversität (BMUB 2015), Arbeitgeber im ländlichen Raum (BMEL 2018), natürlicher Wasser- und Erosionsschutz (Germann & Weingartner 2003). Und gleichzeitig ist er Hoffnungsträger im Kampf gegen den Klimawandel (Bastin et al. 2019). Waldbesitzende müssen daher diverse Faktoren bei der Bewirtschaftung ihrer Wälder beachten, die sich vielfach aus gesetzlichen und naturschutzfachlichen Anforderungen (BMUB (2015), BNatSchG (2009), EWG (1992), EWG (2009)) ergeben oder aus selbst auferlegten Richtlinien wie FSC (2018) und PEFC (2020), und in ihren Auswirkungen bis zur Nicht-Bewirtschaftung reichen können. Verschärft wird die Situation durch konträr laufende Betrachtungsweisen des Waldes in der Gesellschaft. Einerseits werden Wälder romantisiert und als Sehnsuchtsort begriffen (Kirchhoff 2017) und andererseits als heimischer Rohstofflieferant und Vehikel zur Verbesserung der staatlichen CO₂-Bilanz verstanden (IPCC (2019), Rüter et al. (2011), BMEL (2018)). Großflächig betrachtet stehen sich im Extrem dadurch bereits jetzt einerseits andauernde Bestrebungen zur Ausweisung von Nationalparks (Greenpeace 2020) und bewirtschafteten Referenzflächen (FSC 2018) und ein boomender Immobilienbau im In- und Ausland, der zu einer akuten Holzknappeit in Deutschland führt, wie unter anderem die Tagesschau (Jakob 2021) berichtete, gegenüber. Waldbaulich betrachtet, ändern sich mit Fokus auf naturnaher Waldwirtschaft die Struktur der deutschen Wälder kleinflächig, hin zu einem Dauerwaldcharakter mit Mischungen bezüglich Baumarten, -durchmessern und -höhen, sowie Alters- und Verfallsstufen.

Die starke Strukturierung der Wälder und die Vielfältigkeit der Ansprüche, unter Hinzunahme der klimabedingten Risiken, stellen Waldbesitzende vor enorme Herausforderungen bezüglich ihrer Maßnahmenplanungen (Kölling (2007), Litschel und Schramm (2010)). Abgesehen von den Waldgebieten, in denen zweifelsfrei eine Bewirtschaftung untersagt ist, gilt es weitere Anforderungen naturschutzfachlicher, arbeitsschutzrechtlicher oder ökonomischer Art zu beachten, die zu einer de facto Nicht-Bewirtschaftung führen können.

2. Ziele

Das Gesamtziel des Vorhabens (Titel "Entwicklung und Bewertung von Best-Practice-Verfahren zur Holzernte in Wäldern mit hoher naturschutzfachlicher Bedeutung", Akronym „BestHarvest“) ist die Entwicklung, Evaluierung und Bewertung von Best-Practice-Verfahren zur Holzernte in Waldbeständen, bei denen naturschutzbedingte Restriktionen, wie z.B. Biotopbäume und Totholz oder komplexe vertikale Strukturen, die Holzerntoperationen prägen und Forstbetriebe sowie Forstunternehmen vor neue technische und wirtschaftliche Herausforderungen stellen.

Dabei sollen die Verfahren den Ansprüchen an eine ressourceneffiziente, technisch und ergonomisch optimierte, sicherere und naturschutzfachlich angepasste Holznutzung in diesen Waldbeständen genügen. Gleichzeitig sollen etwaige zusätzliche Kosten durch diese Anpassungsmaßnahmen in der Holzernte quantifiziert werden.

Die Teilziele können in die folgenden wissenschaftlichen und technischen Arbeitsziele untergliedert werden:

- Klassifizierung naturschutzfachlicher Restriktionen
- Identifizierung naturschutzfachlich wertvoller Untersuchungsräume unter Berücksichtigung vorhandener Naturschutzplanungen
- Entwicklung einer Anleitung für die einheitliche Beschreibung von Arbeitsverfahren sowie verfahrensrelevanter Bestandes- und Standortgegebenheiten
- Erhebung von in der Praxis bereits realisierten Anpassungen bei Holzernteverfahren an naturschutzbedingte Restriktionen
- Konzeption von Best-Practice-Verfahren zur Holzernte unter Berücksichtigung von Naturschutz-, Bestandes-, Standorts- und Erschließungssituation
- Test und Optimierung der Best-Practice-Verfahren zur Entwicklung von Praxisverfahren
- zur effizienten Holznutzung in Wäldern mit komplexen Strukturen und hoher naturschutzfachlicher Bedeutung
- Bewertung der Best-Practice-Verfahren unter wirtschaftlichen, ökologischen und sicherheitstechnischen Aspekten. Vergleich der Holzerntekosten der Best-Practice-Verfahren mit den Kosten der Verfahren ohne naturschutzfachlich bedingte Erschwernisse
- Erstellung von Musterarbeitsaufträgen und Mustergefährdungsanalysen für die o.g. Verfahren und Bestandes-/Standortgegebenheiten

3. Aufgabenstellung

3.1 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse

Ergebnisse der Analyse naturschutzfachlicher Anforderungen aus Schutzgebietskulissen und freiwilligen, betrieblichen Zielsetzungen auf die Holzernte und -bringung

Als Ergebnis zu den auf gesetzlichen Regelungen basierenden Schutzgebietskulissen lassen sich drei wesentliche, wenn auch vereinfachte, Erkenntnisse ziehen: Erstens schließen Kulissen mit einem sehr hohen Schutzstatus (Kerngebiet Biosphäre, Kernzone Nationalpark, Bannwald [Baden-Württemberg]) eine forstliche Nutzung nahezu vollständig aus. Eine Betrachtung der Einschränkung bei der Holzernte entfällt daher. Sonderaspekte, wie z.B. Randbereiche, temporäre Nutzung in sog. Entwicklungsnationalparks sind flächenmäßig unbedeutend. Zweitens sind für großflächige Schutzgebietskulissen (Naturparks, Landschaftsschutzgebiete) keine Restriktionen erkennbar. Wenn diese existieren, dann sind sie zumeist auf Überlagerungen durch andere Kulissen (z.B. Naturschutzgebiete) zurückzuführen. Drittens gibt es Kulissen, die im Einzelfall und basierend auf ihrer naturschutzfachlichen Besonderheit, Auswirkungen auf die Holzernte haben können. Dies trifft speziell auf Naturschutzgebiete (Befahrbarkeitseinschränkung feuchtegeprägter Naturschutzgebiete) oder in Managementplänen von Natura 2000-Flächen festgehaltene Bewirtschaftungseinschränkungen zu. Besonders ist, dass diese Auflagen nicht generell an die Kulisse, sondern an lokale und kulissenbezogene Besonderheiten geknüpft sind. Eine Verallgemeinerung und damit flächenmäßige Abschätzung von deren Größe ist nicht möglich. Ebenfalls eine Besonderheit stellen die freiwilligen betrieblichen Verpflichtungen mit Wirkung auf die Holzernte dar. Hier wirkt die Zertifizierung als Selbstverpflichtung mit sehr starken Wirkungen auf die Holzernte. Zu nennen sind insbesondere Aspekte der Feinerschließung (Rückegassenabstand, Befahrbarkeit von Rückegassen) sowie waldbauliche Aspekte (Biotopbäume, Naturentwicklungsflächen und indirekt die Regelungen zum Pflanzenschutzmitteleinsatz). Aus der Analyse lässt sich daher ableiten, dass aus den Betriebszielen resultierende Selbstverpflichtungen stärker in die Holzernteplanung und -durchführung eingreifen als dies, insbesondere in den großflächigen Kulissengebieten, der Fall ist.

Ergebnisse der standardisierten Verfahrensbeschreibung für die geeigneten Holzernteverfahren

Als Referenz mit der geringsten Verfahrenskomplexität diene die vollmechanisierte Holzernte sowohl in Beständen ohne naturschutzfachliche Strukturmerkmale als auch mit den definierten Strukturmerkmalen (erweiterte Rückegassenabstände, Biotopbäume, sichtbehindernde Verjüngung, liegendes Totholz). Die veränderten Umstände, wie erweiterte Rückegassenabstände, Sichtbehinderung, Gehbehinderung durch Bewuchs, Biotopbäume und Totholz, wurden nach und nach genannt und die erforderlichen Veränderungen im Holzernteverfahren erfragt. Aufgrund von Expertiseinterviews wurden abgewandelte Holzernteverfahren ausgewählt und diese untersucht.

Ergebnisse der Interviews

Aus den Interviews ergab sich ein einheitliches Bild über die zu untersuchenden Holzernteverfahren, abhängig von den Strukturmerkmalen: Die vollmechanisierte Holzernte als Referenzverfahren stellt die mit Abstand sicherste Variante für die Fachkräfte auf der Fläche aller Holzernteverfahren dar. Bei einer Erweiterung der Rückegassenabstände um rund zehn Meter ist bereits der Einsatz von motormanuell arbeitenden Forstwirten und Forstwirtinnen zum Zufällen in die Kranzone notwendig. Die deutliche Reduktion der Arbeitssicherheit für am Verfahren beteiligtes Personal fällt zwar nicht unmittelbar ökonomisch, jedoch bei weiteren Abwägungen ins Gewicht. Dabei ist zu beachten, dass die ohnehin gefährliche Tätigkeit der motormanuellen Holzfällung und Entastung durch die naturschutzfachlichen Strukturmerkmale wie sichtbehindernde Naturverjüngung, liegendes Totholz und stehenden Habitatbäume, noch einmal verschärft wird, so die Interviewten. Die Auswirkungen dieser Strukturen auf die Holzernte wurden beschrieben. Nach Ansicht der befragten Experten sollte der Anteil von maschineller Holzernte erhöht werden, um die Zahl der im Freien arbeitenden Forstwirte auf der Fläche zu reduzieren. Ist der motormanuelle Einschlag dennoch notwendig, sind technische Fällhilfen, etwa mechanische oder hydraulische fernbedienbare Keile, aber auch Maschinen zum seilunterstützten Fällen in diesen Beständen unumgänglich. Weitere mögliche Maßnahmen zur Verbesserung der Holzernte in diesen Beständen wären laut der Befragten, klare betriebliche Naturschutzkonzepte und Arbeitsanweisungen für den Umgang mit solchen Strukturen, die Gruppierung der Biotopbäume anstatt der Einzelstellung, gut erkennbare Biotopbaummarkierungen und nicht zuletzt eine Priorisierung des Arbeitsschutzes gegenüber dem Naturschutz.

Ergebnisse aus den Fallstudien

Die vollmechanisierte Holzernte ist zweifellos das sicherste Arbeitsverfahren. Die Mechanisierung stößt jedoch schnell durch die genannten Strukturmerkmale an ihre Grenzen. Hier sind vor allem der Rückegassenabstand und dichte, sichtbehindernde Verjüngung sowie liegendes Totholz ausschlaggebend. Auch an zu großen Baumdimensionen kann eine maschinelle Fällung durch Harvester scheitern. Die motormanuelle Fällung kann mit Seilunterstützung und durch Verwendung fernbedienbarer Fällkeile sicherer durchgeführt werden. Gleichwohl bleibt die Gefahr durch von Biotopbäumen herabfallende Totäste bestehen. Die beobachtete beschleunigte Aufarbeitung gefällter Bäume im Bereich von Biotopbäumen könnte auf die Angst von Forstwirtinnen und Forstwirten zurückzuführen sein, die den Aufenthalt im Gefahrenbereich möglichst kurzhalten wollen. Sicht-

behindernde Verjüngung im Umfeld von Entnahmebäumen war mehrfach mit einem signifikant größeren Zeitbedarf beim Freiräumen vor der Fällung und bei der Aufarbeitung verbunden. Bedenklich ist es, wenn die Rückweiche beim Umfallen der Bäume aufgrund dichter Verjüngung gemieden wird. In einem Fall wurde sie komplett weggelassen, in zwei weiteren Fallstudien war die Zeitdauer in der Rückweiche kürzer, wenn behindernde Verjüngung vorhanden war. Bei einer Fallstudie war die Zeitdauer in der Rückweiche ebenfalls kürzer, wenn Bewuchs im Umfeld der Bäume war, der zwar nicht die Sicht, aber das Gehen behinderte.

Wir empfehlen im Hinblick auf die Arbeitssicherheit den Holzeinschlag, soweit es möglich ist, maschinell durchzuführen. Dazu können Rückegassenabstände beitragen, die so gewählt sind, dass alle Bäume in Kranreichweite sind. Um die Sichtbehinderung bei der maschinellen Fällung durch Vegetation zu überwinden, empfehlen wir technische Entwicklungen wie etwa eine Kameraunterstützung oder die Teilautomation des Greif- und Fällvorgangs. Die Ziele bezüglich der Baumdimensionen sollten auf Dimensionen beschränkt werden, die von konventionellen Harvestern bewältigt werden können. Den Anforderungen des Naturschutzes an Alt- und Totholz sollte durch eine kleinflächige Trennung von bewirtschafteten Zonen ohne und nicht bewirtschafteten mit Alt- und Totholz entsprochen werden. Wo eine motormanuelle Fällung unvermeidlich ist, sollte diese mit Seilunterstützung und Einsatz von fernbedienbaren Fällkeilen durchgeführt werden. In kombinierten Arbeitsverfahren sollte ein zeitgleiches Arbeiten von Forstwirtinnen und Forstwirten bei der motormanuellen Arbeit und des Harvesters vermieden werden. Der Grund ist nicht allein das Risiko, dass sich die Personen im Freien im Gefahrenbereich der Maschine aufhalten könnten. Es gibt technische Lösungen, die helfen können, dies zu vermeiden. Entscheiden ist vielmehr, bei den Forstwirtinnen und Forstwirten den Zeitdruck zu vermeiden, der durch das Warten einer teuren Maschine entfaltet werden kann. Dieser Zeitdruck kann dazu führen, dass Vorgaben zur Arbeitssicherheit, wie das Aufsuchen der Rückweiche beim Umfallen der Bäume, missachtet werden.

3.2 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Arbeit gliederte sich in fünf Arbeitspakete. Das KWF übernahm die Gesamtkoordination, die nach der Projektverlängerung von der LWF übernommen wurde. Die Mitarbeitenden von KWF und LWF waren gemeinsam verantwortlich für die Arbeitspakete 1, 3 und 4 und 5. Die Mitarbeitenden von UNIQUE waren verantwortlich für das Arbeitspaket 2. Arbeitspaket 5 diente der Veröffentlichung und Verbreitung der Projektergebnisse. Einen Überblick über die fünf Arbeitspakete gibt Tabelle 1.

Tabelle 1: Arbeitspakete und Zuständigkeiten

Arbeitspaket	Titel	Verantwortlich	Mitarbeit
AP 1	Projektinitiierung und Detailplanung	KWF	LWF, Unique
AP 2	Klassifizierung der Restriktionen und Identifizierung geeigneter Untersuchungsräume	Unique	KWF, LWF
AP 3	Festlegung des Versuchsdesigns	KWF	LWF, Unique
AP 4	Umsetzung der Maßnahmen und Auswertung		
	AP 4.1 Durchführung Holzerntemaßnahmen	KWF/LWF	Unique
	AP 4.2 Datenanalyse	LWF	KWF, Unique
AP 5	Praxistransfer und Projektmanagement		
	AP 5.1 Praxistransfer	KWF	LWF, Unique
	AP 5.2 Projektmanagement	KWF	LWF, Unique

4. Stand der Technik

4.1 Produktivität und Kosten verschiedener Holzernteverfahren

4.1.1 Holzernteverfahren mit motormanueller Fällung und Aufarbeitung

In ihrer Dissertation stellte Bacher-Winterhalter (2004) über Befragungen von Experten und Expertinnen in Baden-Württemberg unter anderem die Leistungen und Kosten motormanuell arbeitender Forstwirte und Forstwirtinnen in Altersklassenwäldern, Übergangswäldern und Dauerwäldern zusammen. Auf der Basis von 86 ausgewerteten Hieben mit einer Gesamterntemenge von 65.050 Efm konnte sie Folgendes feststellen: Die Leistungen der Forstwirte beim motormanuellen Einschlaglagen in den Altersklassenwäldern im Mittel bei 2,3 Efm/Std, mindestens bei 1,0 und maximal bei 3,4 Efm/Std, die Leistung der Endrückung in diesen Beständen bei 7,7 Efm/Std (4,5 - 18,0 Efm/Std). In den Übergangsbestände lag die Leistung für die motormanuellen Arbeiten bei 2,5 Efm/Std (1,3 - 12,0 Efm/Std) und für die Endrückung bei 7,0 Efm/Std (1,8 - 13,0 Efm/Std). In Dauerwäldern erreichten die Forstwirte eine Leistung im Mittel von 2,7 Efm/Std (2,0 - 3,3 Efm/Std), während

die Leistung der Endrückung bei 8,3 Efm/Std (6,0 - 10,0 Efm/Std) lag. Die Autorin erklärt die steigenden Leistungen sowohl des motormanuellen Einschlags sowie der Endrückung (von den Altersklassenwäldern zu den Dauerwäldern) mit der steigenden Stückmasse der Bäume. Die Strukturierung im Dauerwald führt hingegen nur zu einer geringen Steigerung der Leistungen.

Für die Kosten gibt Bacher-Winterhalter (2004) in derselben Dissertation für Altersklassenwälder 8,23 €/Efm (5,54 - 19,23 €/Efm), für Übergangswälder 9,41 €/Efm (4,35 - 18,36€/Efm) und für Dauerwälder 6,27 €/Efm (4,11 - 9,05 €/Efm) an. Die höheren Kosten für Aufarbeitung und Rückung in den Übergangsbeständen erklären sich dadurch, dass knapp 80 % der Hiebe in Hanglagen durchgeführt wurden.

In einer Vergleichsstudie in Baden-Württemberg untersuchten Brieger et al. (2018) das Königsbronner Starkholzverfahren und verglichen dieses mit einem motormanuellen Holzernteverfahren (Schlaglinienverfahren). Die Versuche wurden in reinen Fichtenständen über starker Fichtenverjüngung durchgeführt, mit einem Eingriffsvolumen von jeweils rund 500 Efm pro Verfahren. Die Autoren geben bei Baumvolumina von 2,4 - 2,9 Efm eine Leistung der Forstwirte von 4,8 Efm/Std und eine Rückeleistung von 21,0 Efm/Std an.

4.1.2 Vollmechanisierte Holzernteverfahren

Für die Produktivität des Harvesters sind mehrere Faktoren wichtig. So steigt die Produktivität mit der Anzahl der Entnahmebäume pro Hektar, weshalb sie in Kahlschlägen am höchsten ist (Eliasson et al. 1999 und Hånell, Nordfjell und Eliasson 2000). Auch die Intensität der Durchforstung hat einen Effekt (Lageson 1997). Ebenso hat der Durchmesser des entnommenen Baumes einen Einfluss auf die Produktivität durch das Stückmasse-Gesetz, was z.B. Holzleitner et al. (2019) oder Spinelli, Magagnotti und Labelle (2020) betonen, Bacher-Winterhalter (2004) sieht in ihrer Arbeit hingegen nur eine geringe Korrelation. Frej (1991) zählt zudem noch die relative Höhe von Laub- zu Nadelholz (siehe auch Wippel et al. 2015), Belaubungszustand, Verteilung der Bäume im Gelände (Spinelli und Magagnotti 2013), Geländebedingungen, die Erfahrung des Maschinenpersonals (siehe auch Purfürst 2010) und die Klarheit der Arbeitsanweisung mit auf.

Wippel et al. (2015) führten eine Studie über 48 Holzerntemaßnahmen im Landesgebiet von Baden-Württemberg durch. Dabei verglichen sie letztlich drei unterschiedliche Holzernteverfahren, 1. die vollmechanisierte Holzernte (9 Bestände); 2. Holzernte mit motormanuellem Zufällen der Bäume, gegebenenfalls Vorrücken mit einem Seilschlepper, und Aufarbeitung mit einem Harvester, Endrückung mit einem Forwarder (17 Bestände). Als drittes Verfahren wurde motormanuelles Fällen angewandt, Vorrücken mit einem Kranschlepper und anschließendes Prozessieren mit dem Harvester mit anschließendem Endrücken durch den Forwarder (4 Bestände). Die untersuchten Bestände waren fast ausschließlich von Nadelholz dominiert und befanden sich auf überwiegend ebenen (Hangneigung <30%) oder zumindest befahrbaren (Hangneigung 30-50 %) Hanglagen.

Für die vollmechanisierte Holzernte kamen die Autoren im Schnitt auf eine Leistung von 10,3 Efm/Std, mit Mindestleistungen von 2,6 Efm/Std und Maximalleistungen von 19,4 Efm/Std, wobei die Mindestleistung „[...] auf sehr schwach dimensioniertes Holz und auf eine ungünstige Sonneneinstrahlung [...]“ zurückzuführen war (Wippel et al. 2015). Für die Endrückung ergaben sich Leistungen von 11,5 Efm/Std (4,6 - 29,1 Efm/Std). Für die Kosten legten sie Angaben des KWF zugrunde, die für den Harvester 188,04 €/MAS vorsahen, für die Vorliefermannschaft 101,8 €/Std und für den Forwarder 119,16 €/MAS. Dadurch ergaben sich Kosten für das Verfahren von 23,16 €/Efm (9,12 - 62,65 €/Efm) für den Harvester und 12,57 €/Efm (3,58 - 23,31 €/Efm) für den Forwarder. Der auffällig hohe Wert des Harvesters ergibt sich laut Angabe der Autoren durch „[...] sehr ungünstige Hiebsbedingungen und schwache Dimensionen [...]“ (Wippel et al. 2015). Die Kosten für das Gesamtverfahren belaufen sich demnach auf 35,73 €/Efm.

In einer vergleichenden Studie zur Auswirkung erweiterter Rückegassenabstände von 24 auf 48 m zur Analyse des Mehraufwandes durch die FSC Zertifizierung gegenüber der PEFC Zertifizierung untersuchte Findeisen (2017) die Kosten, den zeitlichen Mehraufwand, die Auswirkungen auf den verbleibenden Bestand und den Boden sowie die Arbeitsergonomie. Untersucht wurden Hiebe in Nadel- und Laubmischwäldern sowie in einem Fichtenreinbestand, getrennt nach Stark- und Schwachholz. Für das vollmechanisierte Holzernteverfahren auf den PEFC-Flächen stellte er Kosten in Höhe von 16,24 €/Efm im Laubmischbestand, 10,61 €/Efm im Nadelmischbestand, 31,33 €/Efm im schwachen Nadelholz-Reinbestand und 14,27 €/Efm im starken Nadelholz-Reinbestand fest. Die Bestandesschäden liegen, bezogen auf die Anzahl der Entnahmebäume auf allen PEFC-Flächen, bei rund 0,3 Schäden pro Entnahmebaum.

Breinig, Sycheva und Labelle (2018) untersuchten in vier Fallstudien in Süddeutschland die Leistungen unterschiedlicher Harvester in Laubholzbeständen mit naturnahen Waldstrukturen. Untersucht wurden Maßnahmen, in denen ein Radharvester mit 8 m Kranreichweite und einem Aggregat für bis zu 80 cm Durchmesser, ein Radharvester mit 10 m Kranreichweite und einem Aggregat für bis zu 75 cm Durchmesser, ein Bagger-Harvester mit 15 m Kranreichweite und einem Aggregat für bis zu 110 cm Durchmesser und ein Bagger-Harvester mit 14,5 m Kranreichweite und einem Aggregat für bis zu 80 cm Durchmesser zum Einsatz kamen. In zwei Fällen (erste und dritte Maschine) wurde teilweise motormanuell zugefällt. Es wurden fast ausschließlich Buchen sowie einige Eichen mit einem durchschnittlichen BHD von 36 - 47 cm, maximal 60 cm, gefällt. Bei vollmechanisierter Fällung und Aufarbeitung ermittelten die Autoren Leistungen von 43 Efm/Std, 29 Efm/Std, ebenfalls 43 Efm/Std und 34 Efm/Std. Durch das Zufällen kamen die Maschinen auf Leistungen von 50 Efm/Std und 39 Efm/Std.

Für zwei Bagger-Harvester und einen Forwarder bei der Einzelbaumentnahme im Laubholz geben Wang, LeDoux und Li (2005) hingegen Leistungen von 8,3 Efm/Std und 14,8 Efm/Std für die Bagger-Harvester bzw. für den Forwarder 15,7 Efm/Std an. Dies liegt deutlich unter den Angaben von Breinig, Sycheva und Labelle (2018).

Eliasson et. al (1999) geben für Harvester eine Leistung von 64 Efm/Std im Kahlschlag und 54 bzw. 41 Efm/Std in Überhälterbeständen an. Niemistö et. al (2012) weisen jedoch 15 - 29 Efm/Std in Birken-Kahlschlägen aus und 14-24 Efm/Std in Birken-Beständen, bei denen nicht auf den Unterstand geachtet wird, bzw. 13-21 Efm/Std, wenn in diesen Beständen auf die Verjüngung geachtet wird. Die Rücksichtnahme auf den Unterstand hat den Autoren zufolge nur wenig Einfluss auf die Leistung der Harvester. Nurminen, Korpunen und Uusitalo (2006) kamen in vergleichbaren Beständen auf eine Leistung von 11-28 Efm/Std Hanell, Nordfjell und Eliasson (2000) verglichen die Produktivität eines Kahlschlages in Fichte mit einer Reduktion der Fichten von 170 auf 100 pro ha, einer Reduktion von 200 auf 90 Fichten, einer Reduktion von 280 auf 160 Fichten und einer Reduktion von 480-620 auf 300 Fichten pro ha. Sie kamen respektive auf Leistungen von 42,2 Efm/Std, 36,2 Efm/Std, 34,2 Efm/Std, 32,6 Efm/Std, 25,4 Efm/Stunde. Je dichter der verbleibende Bestand ist, desto geringer fällt demnach die Leistung des Harvesters aus, da weniger Raum zur Manipulation der gefälltten Bäume bleibt (ebenda).

Es zeigt sich daher, dass der Dichtstand der im Bestand verbleibenden Bäume und der Naturverjüngung die Zeitdauer beim Holzeinschlag aufgrund von zunehmenden Maschinen- und Harvesteraggregat-Bewegungen erhöht (Ovaskainen, Uusitalo und Väätäinen (2004), Ovaskainen, Uusitalo und Sassi (2006)). Die Auswirkungen dichter Unterstände, insbesondere durch Nadelbäume, auf die Produktivität der Holzernte wurden somit in verschiedenen praktischen Studien erkannt, beispielsweise durch Niemistö et al. (2012). Sie wiesen einen Produktivitätsrückgang gegenüber Kahlschlägen um 10 - 17 % aus in bereits durchforsteten Beständen (600 Bäume/ha) und um 21 - 30 % in undurchforsteten Beständen (1200 Bäume/ha). Wohingegen Eliasson et al. (1999) eine Minderung der Produktivität um 15-36 % (abhängig von der Baumanzahl der Bestände: 259/ha und 381/ha respektive) und Hanell, Nordfjell und Eliasson (2000) um 35 % in Überhälterbeständen gegenüber Kahlschlägen fanden. Ireland und Kerr (2008) geben in ihrem internen Projektbericht etwa 3 % Produktivitätsverlust an, der durch das Wegschneiden der um den Entnahmebaum stehenden Naturverjüngung entsteht, um diesen mit dem Aggregat greifen zu können.

Daneben stellten Niemistö et al. (2012) bei ihren Untersuchungen einer vollmechanisierten Holzernte von Birken mit Fichten-Unterstand fest, dass 14 bis 24 % der verbleibenden Fichten zerstört wurden, wenn das Ziel der Erhalt einer nachfolgenden Generation war, wohingegen 25 bis 44 % der Fichten zerstört wurden, wenn auf diese keine Rücksicht genommen wurde. Auf rund 3 bis 7 % beschädigter Bäume im gleich alten verbleibenden Bestand kamen hingegen Holzleitner et al. (2019) während einer Studie zur Auswirkung von Markierungen an Entnahmebäumen auf die Produktivität bei vollmechanisierter Holzernte. Wobei in den Plots mit Markierungen lediglich 3 % der umstehenden Bäume beschädigt wurden aber 7 %, wenn der Maschinenführer selbst über die zu entnehmenden Bäume entschied. Gleichzeitig stellten sie fest, dass die vorherige Markierung der Entnahmebäume keinen Effekt auf die Produktivität des Harvesters hatte. Eine vergleichbare Studie führte Bort (2005) durch, mit ähnlichen Ergebnissen, von 1,8 % beschädigter Bäume im vorbereiteten Bestand, gegenüber 10,7 % beschädigter Bäume bei Auswahl der Entnahmebäume durch Maschinenführern. Auch Limbeck-Lilienau (2003) kam auf 3 bis 6 % Baumschäden in den Wintermonaten und immerhin 12 bis 15 % geschädigter Bäume in den Sommermonaten, was zusätzlich die Empfindlichkeit der verbleibenden Bäume in den Monaten des Saftflusses verdeutlicht. Weitaus höhere Schadensanteile fanden hingegen Han und Kellogg (1997) mit durchschnittlich rund 40 % in Douglasien-Beständen. Vergleichbar waren die Ergebnisse von Bettinger und Kellogg (1993) mit ebenfalls rund 40 % Beschädigungen am verbleibenden Bestand.

Die Produktivität des Forwarders hängt von der Holzeinschlagsmethode, Durchforstung oder Kahlschlag, den durchschnittlichen Transportentfernungen, der Holzmenge an der Rückegasse und dem Lastvolumen ab sowie der Hangneigung (Eriksson und Lindroos (2014), Kuitto, et al. (1994), McNeel und Rutherford (1994), Gullberg (1997), Brunberg (1997), Nurminen, Korpunen und Uusitalo (2006), Holzfeind (2017)). Es wurde auch berichtet, dass die mittlere Poltergröße, die Lage der Polter und die persönlichen Qualitäten des Maschinenführers im Harvester einen Einfluss auf den Zeitverbrauch der Forwarder haben (Väätäinen et al. (2006), Nurminen, Korpunen und Uusitalo (2006)).

Die Produktivität des Forwarders ging im Versuch von Niemistö et al. (2012) bei naturnah bewirtschafteten Wäldern um 7 bis 14 % zurück, wobei lediglich das Beladen in den Beständen länger dauerte, in denen der Unterstand geschont werden sollte, während es auf der Referenzfläche ohne Unterstand und auf der Fläche, bei der dem Unterstand keine Beachtung galt, gleich blieb. Spinelli und Magagnotti (2013) geben gemäß ihren Untersuchungen zum Einfluss der Entnahmebaumverteilung eine Produktivität von 15 bis 20 Efm/Std an, Holzfeind (2017) kam in seiner Untersuchung eines Forwarders mit Traktionshilfswinde im Steilhang auf eine Leistung von 13,73 Efm/Stunde. Er vergleicht in derselben Arbeit zudem mehrere Untersuchungen und Leistungsangaben für Forwarder und kommt zu dem Schluss „In Abhängigkeit von bestimmten Faktoren können Produktivitäten von 7,8 Efm/Std bis zu 26,6 Efm/Std erreicht werden. Hervorzuheben ist, dass konventionelle Forwarder im steileren Gelände hinsichtlich Produktivität mit Seilforwardern nicht mithalten können.“ Bacher-Winterhalter (2004) fand für verschiedene Forwarder im ebenen Gelände Leistungen von 17,3 Efm/Std,

19,7 Efm/Std (beide Untersuchungen mit Laub- und Nadelholz), 25,5 Efm/Std und 26,6 Efm/Std (beide Untersuchungen nur im Nadelholz).

4.1.3 Kombinierte und integrierte Holzernteverfahren

Die Auswahl an kombinierten und integrierten Holzernteverfahren ist sehr groß und die Abläufe sowie die eingesetzten Personen und Maschinen variieren teilweise stark. Bedingt dadurch ergeben sich Differenzen bezüglich Leistungen und Kosten der kombinierten Holzernteverfahren gegenüber den vollmechanisierten Verfahren. Der Unterschied zwischen kombinierten und integrierten Verfahren liegt darin, dass bei kombinierten Verfahren unterschiedliche Verfahren – Harvestereinsatz, motormanueller Zufäller, Kranschlepper, etc. – nacheinander auftreten und damit zeitgleich mehr oder weniger entkoppelt sind. Dahingegen sehen integrierte Holzernteverfahren eine Verflechtung der einzelnen Verfahrenskomponenten vor.

4.1.3.1 Motormanuelles Zufällen, Fällen und Aufarbeiten mit dem Harvester und Endrückung mit dem Forwarder

Bacher-Winterhalter (2004) untersuchte in ihrer Dissertation unter anderem kombinierte Holzernteverfahren in nadelholzdominierten Beständen mit Überführungs- oder Dauerwaldstrukturen bei 40 m Gassenabständen. Kombiniert wurde motormanuelles Zufällen mit mechanischer Ernte durch Raupen-Harvestern in fünf Versuchen bzw. einem Rad-Harvester in einem Versuch.

Die Autorin weist darin auf die große Streuung des Zeitbedarfs beim motormanuellen Zufällen (Fällvorgang, Aufarbeitung, Fortbewegung) der Bäume hin, was den Ergebnissen eine gewisse Unschärfe hinzufügt. Dementsprechend liegt der mittlere Zeitbedarf zum Zufällen der Bäume bei etwa 14,5 min/Baum, für ein durchschnittliches Baumvolumen von 2,30 Efm beim Nadelholz sowie 0,28 Efm beim Laubholz, und reicht in den Extrema von 1,6 min/Baum bis zu 57,2 min/Baum. Sie stellte durch die statistische Analyse der Einflussfaktoren fest, dass insbesondere das Baumvolumen einen signifikanten Einfluss auf den Zeitbedarf beim Fällen hatte, wohingegen die Baumart keinen Unterschied machte und Hiebsanfall sowie Verjüngung sich zumindest nicht signifikant auf den Zeitaufwand der Fällung auswirkten. Auf die Fortbewegung gab es keine signifikanten Auswirkungen durch die Faktoren Hiebsanfall, Verjüngung oder Baumvolumen. Sie verglich auch den Zeitbedarf zur Fortbewegung zwischen den Überführungsbeständen und den Dauerwaldbeständen, wobei diese bei respektive 0,8 min/Baum bzw. 3,9 min/Baum lagen, bedingt durch die unterschiedlichen Bestandesstrukturen und insbesondere die Übersichtlichkeit der Hiebsflächen.

Mit den eingesetzten Harvestern wurden im Mittel über alle Versuchsflächen Baumvolumina von 1,22 Efm gefällt, mit einem mittleren Zeitbedarf von 3,4 min/Baum. Allerdings stellte Bacher-Winterhalter einen starken Einfluss durch die Dauerwaldstrukturen auf die Leistung der Harvester fest. Sie lag bei einfachen Waldstrukturen bei 1,8 min/Baum und stieg in den Dauerwaldstrukturen auf im Mittel 3,6 min/Baum mit hoher Streuung. In einer statistischen Analyse der Daten stellte sie dann auch fest, dass die Verjüngung einen größeren Einfluss auf das Greifen und Fällen hatte als das Baumvolumen.

In seiner vergleichenden Studie der erweiterten Rückegassenabstände kam Findeisen (2017) auf FSC-Flächen mit Gassenabständen von 48 m auf erhöhte Verfahrenskosten. Durch den Einsatz von Forstwirten lag der Unterschied im Nadelmischwald bei etwa 0,96 €/Efm und damit um rund 9 % höher. Im Nadelstarkholz waren es 1,6 €/Efm, was etwa 11 % Mehrkosten entspricht. Die Bestandesschäden je Entnahmebaum wurden durch die Erweiterung der Rückegassenabstände nicht mehr. Die Spurtiefen auf den Rückegassen zeigten ein unterschiedliches Verhalten. Während sie auf den erweiterten Rückegassen im Nadelmischwald um rund 3 cm tiefer waren als auf den enger liegenden Rückegassen, kehrte sich das Verhältnis im Nadelstarkholz um. Findeisen (2017) nahm daher an, dass das Wetter einen größeren Einfluss auf die Spurtiefe hatte als der Rückegassenabstand, wobei die Zahlen noch ausgewertet werden mussten.

4.1.3.2 Königsbronner Starkholzverfahren (KSV)

Brieger et al. (2018) haben das Königsbronner Starkholzverfahren untersucht, bei dem Nadelstarkholz motormanuell auf die Rückegasse vorgefällt und anschließend vom Harvester aufgearbeitet wird. Sie fanden in einem Fichtenreinbestand bei hohen Naturverjüngungsanteilen und einem mittleren Baumvolumen von 2,4 - 2,9 Efm eine Leistung von 48 Efm/Std für den eingesetzten Harvester und von 6,9 Efm/Std für die Forstwirte. Einschließlich Rückung kommen die Autoren für eine Entnahme von rund 500 Efm auf einen Zeitbedarf von 63 Stunden mit dem Verfahren. Darüber hinaus haben sie die Schäden am verbleibenden Bestand aufgenommen und weisen für das KSV und für das Vergleichsverfahren (Schlaglinienverfahren) das gleiche Schadprozent von rund 6 bis 12 % an den Gassenbäumen aus.

Eine Präsentation mit Daten von Kieser (2018) bestätigt diese Leistungen. Die Bedingungen waren vergleichbar, also ein Fichtenreinbestand über hoher und dichter Fichtenverjüngung. Entnommen wurden 2.500 Efm bei einer Stückmasse von 2,1 - 2,9 Efm/Baum. Dabei kommt Kieser auf Leistungen von rund 4,5 - 6 Efm/Std für die Forstwirte, 40 - 50 Efm/Std für den Harvester und 35 - 40 Efm/Std für den Forstspezienschlepper mit Klemmbank. Die Kosten gibt er mit respektive 6,5 - 8,5 €/Efm, 3,4 - 4,0 €/Efm und 2,6 - 2,8 €/Efm an.

4.1.3.3 Königsbronner Harvesterverfahren (KHV)

Kieser (2002) stellte in einer Präsentation das Königsbronner Harvesterverfahren vor. Dabei fällen zwei Forstwirte die Bäume zur Rückegasse, entasten teilweise vor, markieren die Stellen für die Trennschnitte und vermessen den Baum. In einem späteren Einsatz nimmt ein Harvester die Bäume am dünnen Ende und arbeitet

diese auf. Ein Forwarder rückt die Abschnitte dann zur Waldstraße und poltert sie dort. Für dieses Verfahren gibt er eine Leistung von 8 - 10 Bäumen/Person/Std an. Zudem 20 - 25 Bäume/Std für den Harvester und 15 Efm/Std für den Forwarder. Unter einfachen Verhältnissen seien bei einem BHD von 26 cm etwa 6 Efm/Std pro Person möglich und etwa 15 Efm/Std pro Person bei einem BHD von 35 cm. Bei schwierigen Verhältnissen sind es respektive etwa 5 Efm/Std pro Person, bzw. 10 Efm/Std pro Person.

4.1.3.4 Motormanuelles Zufällen, Vorrücken mit dem Seilschlepper, Fällung und Aufarbeitung mit dem Harvester und Endrückung mit dem Forwarder

In der bereits angesprochenen umfangreichen Studie von Wippel et al. (2015) wurden auch kombinierte Verfahren untersucht. Eines davon sah das Zufällen von Bäumen außerhalb der Kranzone durch motormanuell arbeitende Forstwirte vor. Das Holz wurde anschließend bei Bedarf mit einem Seilschlepper vorgerückt und mit dem Harvester aufgearbeitet oder die Bäume wurden direkt mit dem Harvester gefällt und aufgearbeitet. Die Endrückung erfolgte mit dem Forwarder. Für dieses Vorgehen kamen die Autoren auf Leistungen von 14,3 Efm/Std (6,9 - 26,9 Efm/Std) für den Harvester und 4,3 Efm/Std (1,0 - 12,0 Efm/Std) für die motormanuellen Arbeiten samt Vorrücken. Die Leistung bei der Endrückung betrug 10,7 Efm/Std (4,5 - 19,8 Efm/Std). Mit den angesetzten Kostensätzen von 188,04 €/Std für den Harvester, 119,16 €/Std für den Forwarder und 101,8 €/Std für die Vorliefermannschaft, ergeben sich Fäll- und Aufarbeitungskosten (Harvester und Vorliefermannschaft) von 21,28 €/Efm und Endrückungskosten von 11,88 €/Efm im Mittel. Die Kosten für dieses Verfahren können im Mittel also etwa auf 33,16 €/Efm geschätzt werden.

4.1.3.5 Motormanuelles Zufällen, Vorrücken mit dem Kranseilschlepper oder Pferd, Fällung und Aufarbeitung mit dem Harvester und Endrückung mit dem Forwarder

Findeisen (2017) kam im Laubmischwald unter Verwendung eines Kranseilschleppers auf Mehrkosten von 7,04 €/Efm (43 %) verglichen mit der vollmechanisierten Holzernte auf der gleichen Fläche bei geringerem Rückegassenabstand (24 m). Im Fichtenschwachholz setzte er hingegen Pferde zum Vorrücken bei den erweiterten Rückegassenabständen (48 m) ein und kam auf einen Kostenunterschied von 12,71 €/Efm (41 %). Die Bestandesschäden pro Entnahmebaum lagen unter Verwendung des Kranrückeschleppers wie bei den vollmechanisierten Holzernteverfahren bei 0,3 geschädigten Bäumen je Entnahmebaum. Lediglich im Verfahren mit dem Pferd stiegen die Schäden auf 0,4 geschädigte Bäume pro Entnahmebaum.

4.1.3.6 Motormanuelles Fällen, Vorrücken mit dem Kranschlepper, Prozessieren mit dem Harvester und Endrückung mit dem Forwarder

Ein weiterer Verfahrenskomplex in der Studie (Wippel et al. 2015) sieht Fällen der Bäume durch motormanuelles Zufällen vor, das Vorrücken mit dem Kranschlepper und das Prozessieren durch einen Harvester mit anschließendem Endrücken durch einen Forwarder. Hierbei liegen die Leistungen bei 13,3 Efm/Std (7,7 - 17,7 Efm/Std) für den Harvester, 0,6 Efm/Std (0,4 - 1,1 Efm/Std) für das Vorrücken und 11,1 Efm/Std (5,9 - 13,8 Efm/Std) beim Forwarder. Auf der Grundlage ergeben sich Kosten von respektive 14,38 €/Efm (9,16 - 22,05 €/Efm), 7,76 €/Efm (4,08 - 12,85 €/Efm) und 11,78 €/Efm (8,39 - 20,25 €/Efm). Damit ergeben sich Verfahrenskosten von rund 33,92 €/Efm.

4.1.3.7 Integrierte Holzernteverfahren mit Vorrückeraupen

Eine Übersicht über Einsatzgebiet und Einsatzgrenzen der Rückeraupe geben Lelek et al. (2015) auf der Grundlage ihrer Versuche und praktischen Erfahrungen in den Landesforstbetrieben Baden-Württemberg, Saarland und Rheinland-Pfalz. Sie geben an, dass aufgrund der angebrachten Seilwinden das Vorrücken von Vollbäumen, Rohschäften oder Kurzholzsortimenten das klare Einsatzspektrum dieser forstlichen Kleinmaschinen ausmacht, insbesondere bei Rückegassenabständen über 40 m. Der Vorteil gegenüber den Forstschleppern liege in der größeren Wendigkeit und den geringeren Gewichten und damit verbunden dem geringeren Kontaktflächendruck der Rückeraupen und infolgedessen weniger Spurbildung auf den Rückegassen. Auf empfindlichen Nassstandorten soll sie daher zur bodenschonenden Holzernte beitragen. Weitere Vorteile sind Arbeiten im Hangübergangsgelände, Alternative zum UVV-Schlepper, allgemein erhöhte Bodenschonung, auch auf noch nicht armierten Rückegassen, Vorkonzentrieren für Seilkraneinsätze. Nicht geeignet sei sie hingegen bei längeren Vorrücke-Distanzen, Lasten über einem Festmeter, Vorrücken von Langholz. Die Autoren geben eine Leistung von 10 Bäumen/Std an, bei einem Stückvolumen von 0,5 Efm/Baum, was 5 Efm/Std entspricht. Bei angesetzten Lohnkosten des Personals (zwei Personen) von zusammen 60 €/Std, 28 €/h Maschinenkosten und rund 5 €/Std für die Motorsägen, ermitteln sie Systemkosten von 93 €/Std. Setzt man 5 Efm/Std an, ergebe das 18,6 €/Efm. Ergebnisse eines Projektes von Schweier, Berendt und Klein (2020) ergaben Systemkosten in Höhe von 12-22,4 €/Efm bei Einsatz einer Rückeraupe.

4.2 Auswirkungen forstlicher Großmaschinen auf den Boden und den Waldbestand

Eine aktuelle Übersicht über den Einfluss forstlicher Großmaschinen auf den Boden gibt die Broschüre „Bodenschutz im Wald“ der FNR und darin das Kapitel „Bodenschäden durch Befahrung – Auswirkungen auf Wurzelentwicklung und Baumwachstum“ (Schäffer und Gaertig 2021). Dieses wird hier zusammengefasst wiedergegeben.

Der Boden befindet sich, bedingt durch biogene Aktivitäten und physikalische Prozesse, in einem gewissen Gleichgewicht von Neuschaffung und Verlust von Poren, das typisch für den jeweiligen Standort ist. Durch die

Charakteristika Anzahl der Poren, Anteil von kleinen, mittleren und großen Poren sowie die Verbindung zwischen den Poren werden der Wasser- und der Lufthaushalt des Bodens entscheidend bestimmt. Das Baumwachstum ist von diesen Haushalten direkt abhängig.

Durch die Befahrung des Bodens mit Forstmaschinen wird häufig die Eigenstabilität des Bodens überschritten, was dazu führt, dass die Poren im Boden verdichtet und die Wasser- und Luftdurchlässigkeit in den übrigen Poren verringert wird. In der Folge des gestörten Gas- und Wasseraustausches an der Bodenoberfläche nimmt die Eignung des Bodens als Lebensraum für Bodenlebewesen und Wurzeln stark ab, was letztlich die Vitalität der Waldbäume negativ beeinflusst (Gaertig, Schack-Kirchner und Hildebrand 2001). Die durch Forstmaschinen hervorgerufenen Stabilitätsüberschreitungen des Bodens können zudem so weit gehen, dass es zur Fahrspur- oder Gleisbildung kommt, wodurch die technische Befahrbarkeit des Bodens verloren geht.

In den 80er Jahren untersuchte Hildebrand (1987) bereits die Auswirkungen der Bodenverdichtung auf das Wurzelwachstum, da man das Ausbleiben der Naturverjüngung auf befahrenen Lehmböden feststellte. Es zeigte sich in Topfversuchen, dass die Eindringung von Keimlingswurzeln der Buche in den verdichteten Boden nicht mehr möglich war. Zudem sinkt die Neubildung an Wurzelbiomasse in verformten Böden und die Feinwurzeln konzentrieren sich auf die besser belüfteten Porenbereiche.

Mehrere Untersuchungen konnten bereits zeigen, dass eine Beeinträchtigung der Luftaustauschfähigkeit der Bodenoberfläche die Versorgung der Wurzeln mit Sauerstoff stört und zu einer Anreicherung von CO₂ im Boden führt. Diese Auswirkungen von verringerten Gasdurchlässigkeiten nahe der Bodenoberfläche reichten in untersuchten Eichenbeständen bis zu Bodentiefen von 80 cm hinab und wirkten sich nachweislich auf die Feinwurzelwurzeln der Eichen aus (Gaertig, Schack-Kirchner und Hildebrand 2001). Ein umgekehrter Versuch von Murach et al. (1993) zeigte ein gesteigertes Feinwurzelwachstum von Fichten in künstlich Sauerstoff angereicherten Mineralböden.

Eine gestörte Durchwurzelung konnte auch sechs Jahre nach einer Befahrung noch nachgewiesen werden. Schäffer (2005) fand in dieser Untersuchung nicht nur, dass die Feinwurzelwurzeln unter den Fahrspuren am geringsten waren, sondern konnte auch nachweisen, dass die Wurzelraumerschließung unter der Verformungszone der Rückegasse teilweise gänzlich aussetzte und sich das eingeschränkte Wurzelwachstum bis zu einem Meter über die Fahrspurränder hinaus auswirkte. Diese Beeinträchtigung kann für die gesamte Länge der Fahrtrasse angenommen werden (Schäffer und Gaertig 2021).

Die negativen Auswirkungen der Bodenverdichtungen auf das Baumwachstum kann jedoch weniger gut nachgewiesen werden als auf die Durchwurzelung. Durch das erweiterte Lichttraumprofil an den Rückegassen, können Gassenrandbäume sogar ein angeregteres Baumwachstum zeigen, verglichen mit Bäumen im Bestandesinneren, und somit die negativen Effekte durch die Bodenstrukturstörung überkompensieren. An Einzelbäumen im Freiland konnte allerdings auch nachgewiesen werden, dass Bäume auf unverdichteten Böden um drei Meter höher wuchsen und einen um 25 cm höheren Stammumfang in einem Meter Höhe verfügten, verglichen mit gleich alten Bäumen auf verdichteten Böden (Gaertig und Schönemann 2015).

Die Vitalität und Stabilität des Waldes sinkt in Folge von befahrungsbedingten Bodenstrukturveränderung in jedem Fall. Gerade durch längere Trocken- oder Nässephasen muss auf diesen Böden mit einer erhöhten Schadensdisposition gerechnet werden. Dieses zeigt sich durch gesteigerte Ausfallraten und längere Phasen der Regeneration.

4.3 Arbeitsbelastung und Unfallzahlen bei der Holzernte

Die Waldarbeit wird im Allgemeinen als schwere körperliche Arbeit oder Schwerstarbeit eingestuft, wenn man den Energieumsatz der Personen bei den gängigen Tätigkeiten betrachtet (Kukkonen und Rauramaa 1984). Untersuchungen von Stampfer et al. (1997) und Böltz (1988) ergaben zudem, dass die Dauerleistungsgrenze in konventionellen Holzertesystemen mit motormanueller Fällung teils deutlich überschritten wird.

Die motormanuelle Holzernte und damit der energieintensivste Tätigkeitsbereich der Forstwirte und Forstwirtinnen macht in einer Studie von Gröger und Lewark (2002) etwa 40 bis 50 % ihrer Arbeitszeit aus, damit ist auch der Anteil der gebeugten Körperhaltung bei den EST-Arbeitsverfahren gemäß Peters (1991) mit 70 bis 89 % an den untersuchten Gesamtverfahren sehr hoch. Die motormanuelle Holzernte macht die Waldarbeit auch zu einem der gefährlichsten Berufe in Deutschland, trotz vieler Bemühungen die Arbeitssicherheit zu verbessern. Zudem müssen viele Forstwirte und Forstwirtinnen aufgrund hohen Verschleißes ihres Bewegungs- und Stützapparates, insbesondere der Wirbelsäule, frühzeitig aus der Waldarbeit ausscheiden (Gröger und Lewark (2002)). Ebenfalls nicht zu unterschätzen ist eine erhöhte Gefährdung mit möglichen Todesfolgen durch von Tieren auf Menschen übertragbare Krankheiten wie Borreliose, FSME, Tollwut und Echinokokkose. Lewark und Härle (1991) stellten in einer Untersuchung der Waldarbeitenden im Bezirk Darmstadt fest, dass im Zeitraum von 1983 bis 1990 rund 45 % der ausgeschiedenen Mitarbeitenden berufs- oder erwerbsunfähig waren und lediglich 14 % aus Altersgründen. Immerhin 35 % der untersuchten ausgeschiedenen Mitarbeitenden schafften einen Wechsel in andere Berufe, 4 % schieden durch Tod aus, und 2 % aus sonstigen Gründen.

Aber auch neuere Zahlen aus einer Sondererhebung von Klugmann, Löwer und Sarferaz (2020) verdeutlichen die Gefahren des Berufsbildes eines Forstwirtes anhand der Zahlen der Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (SVLFG). Demnach machten die tödlichen Unfälle bei Forst- und Waldarbeiten rund

20 % aller tödlichen Unfälle im Versichertenbereich der SVLFG in den Jahren 2014 bis 2018 aus. Rund drei Viertel der tödlichen Unfälle bei Forst- und Waldarbeiten entfielen auf die Tätigkeit der Fällung. Es wird in dieser Sondererhebung festgestellt, dass nicht ungeeignete Schutzausrüstung oder Werkzeug für die Unfälle verantwortlich sind, sondern unkontrolliert bewegte Baumteile, wie fallende Bäume (abrutschender, herum-schlagender, zurückschlagender Stamm) oder abgebrochene Totholzäste oder Kronenteile. In rund 57 % der Unfälle ist die betroffene Person weniger als 3 m vom zu fallenden Baum entfernt gewesen. Bereits in einem erweiterten Radius von 3-6 m sind nur noch rund 20 % aller Unfälle verortet, was die Bedeutung eines möglichst großen Abstandes zum fallenden Baum verdeutlicht.

Dem gegenüber ist die Arbeit auf den Maschinen durch geringe Arbeitspulse und eher statische Belastungen geprägt (Stampfer 1996). Durch die langanhaltende sitzende Tätigkeit kommt es zu einer Schwächung des Stütz- und Haltungsapparates mit teilweise irreversiblen Haltungsschäden, Bandscheibenschäden bis hin zu Knochen- und Gelenkdeformationen (Gröger und Lewark (2002), Gellerstedt (2000)). Neben einer veränderten Form der physischen Belastung tritt insbesondere die psychische Belastung der Maschinenführenden in den Vordergrund (Berger (2003), Grzywiński und Hołota (2006), Grzywiński (2007), Sullman und Gellerstedt (1997), Szewczyk, Sowa und Grzebieniowski (2014), Szewczyk und Sowa (2017), Szewczyk et al. (2020)). Hierbei sind Stress, Hektik, Monotonie und Einsamkeit am Arbeitsplatz vordringlichste Belastungen (Gellerstedt (2000)). Schmid-Vielgut (1985) hat die gesteigerten psychischen Belastungen untersucht und auf eine daraus folgende starke Ermüdung und sowie auf einen Leistungsabfall, verglichen mit Arbeit an der Motorsäge, hingewiesen.

Hartfiel (1998) thematisierte bereits die Auswirkungen naturnaher Waldbewirtschaftung auf die Arbeitssicherheit und dabei insbesondere die Herausforderungen durch Sichtbehinderung und Totholz sowie die eingeschränkte Bewegungsfreiheit, die Gefahren für Dritte und die Bedeutung der Ruf- und Sichtbehinderung. Hieraus ergeben sich teils starke mentale Belastungen für im Wald arbeitendes Personal. Stadler und Ruppert (1994) weisen insbesondere drei Faktoren aus, die tendenziell zu einer Überforderung der Arbeitskräfte führen:

1. Das Fällen der Bäume stellt sehr hohe Anforderungen dar, da die Aufmerksamkeit zeitgleich auf die Spitze des Baumes, das Arbeits- und Gefahrenumfeld am Stammfuß und mögliche Rückweich- und Fluchtwege gerichtet sein muss.
2. Die Beschaffenheit der zu fallenden Bäume erfordert von den Waldarbeitenden genaue Inspektionen, da sonst – auch bedingt durch Fäule – unvorhergesehene Risiken entstehen. Zudem müssen die Lage der umstehenden Bäume und Qualitätsanforderungen an die Unversehrtheit des verbleibenden Bestandes sowie Unterholz und Rücksichtnahme auf Naturverjüngung mit einbezogen werden. Bei unsachgemäßer Beurteilung des Baumes bestehen Gefahren, dass der Forstwirt oder die Forstwirtin dem fallenden Baum nicht ausweichen kann, sich der Baum in anderen Bäumen verfängt oder der Forstwirt, die Forstwirtin von herabfallenden Ästen, auch anderer Bäume, getroffen wird.
3. Der Arbeitsort ist weder klar abgegrenzt noch übersichtlich und wechselt ständig nach jedem Fällen und Entasten. Somit wirken sich Unterholz, Äste und Zweige in Augenhöhe, Unebenheiten des Bodens und herumliegende Äste und Zweige als Hindernisse und Gefahrenquellen aus.

4.3.1 Ferngesteuerte und Funk-Ferngesteuerte Fällhilfen

In der Bachelorarbeit von Schnaitter (2019) wurden Zeitbedarfe und physiologische Belastungen beim Einsatz mechanischer Fällkeile untersucht. Verglichen wurden ein Aluminiumkeil, der mit einer Axt eingetrieben werden musste, ein TR 30 mit Kurbelantrieb, ein TR30-AQ mit einem Akkuschauber-Antrieb und ein TR300 mit einem funk-ferngesteuerten Antrieb. Der Autor stellte dabei eine verringerte Korrelation zwischen der Stärke des Rückhanges des Baumes und der Keildauer, verglichen mit einem Aluminiumkeil fest. Während bei einem Baum ohne Rückhang mit dem Aluminiumkeil etwa 55 Sekunden benötigt wurden, um den Baum zu Fall zu bringen, waren es mit dem TR30-AQ und dem TR300 lediglich etwa 28 Sekunden. Bei schwach rückhängenden Bäumen (0,5 - 1 m) wurden mit dem TR30 165 Sekunden bzw. 45 Sekunden gemessen und bei stark rückhängenden Bäumen 268 Sekunden mit dem Aluminiumkeil bzw. 74 Sekunden mit dem TR300, der TR30-AQ lag leicht darüber. Der Kurbelbetriebene TR30 benötigte für starke Rückhänger immerhin 200 Sekunden. Dies verdeutlicht bereits den zeitlichen Vorteil bei der Verwendung mechanischer Fällkeile und insbesondere elektrisch angetriebener Varianten. Während bei der Verwendung eines Aluminium-Keiles allerdings das Zurückweichen zeitgleich mit dem Umfallen des Baumes erfolgt, was mit dem funk-ferngesteuerten ein getrennter Arbeitsschritt ist, fällt der zeitliche Vorteil jedoch in der Anwendung nicht ins Gewicht. Bedeutender sind allerdings der ergonomische und der Arbeitssicherheits Aspekt. Der mittlere Puls sinkt bei den untersuchten Keilen (Aluminiumkeil, TR30, TR30-AQ, TR300) in gleicher Reihenfolge von 152 bpm, über etwa 135 bpm, 125 bpm, bis zu 118 bpm. Während die Personen sich zum manuellen Keilen direkt am zu fallenden Stamm befanden und damit direkt in der Gefahrenzone (vgl. Klugmann, Löwer und Sarferaz 2020), konnten die Personen beim Einsatz von Keilen mit Funk-Fernsteuerungen in Ruhe in die Rückweiche gehen, den Gefahrenbereich beobachten, einen Warnruf abgeben und dann das Keilen ferngesteuert einleiten.

4.3.2 Arbeitsbelastungen in forstlichen Großmaschinen

Eine Arbeit von Spinelli, Magagnotti und Labelle (2020) hat sich explizit mit der gesteigerten Arbeitsbelastung von Maschinenführenden durch naturnahe Waldstrukturen befasst und dabei festgestellt, dass mentale Belastung und Frustration der Versuchspersonen um 75 % bei Holzernten im Mischbestand gegenüber Holzernte im Reinbestand anstiegen.

Harvester und Forwarder sind nichtsdestotrotz seit den neunziger Jahren, gerade aus Gründen der Arbeitssicherheit und Ergonomie, aus der Forstwirtschaft nicht mehr weg zu denken. Da die maschinenführenden Personen fast ausschließlich in einer nach GS-BAU-23 (2017) sicherheitsgeprüften, klimatisierten und ergonomisch günstigen Kabine ihre Arbeit verrichten, sind die Zahlen der Arbeitsunfälle zudem deutlich geringer. Klugmann, Löwer und Sarferaz (2020) schätzen im Rahmen ihrer Sondererhebung, dass Arbeitsunfälle etwa alle 100.000 Efm bei vollmechanisierten Verfahren auftreten, wohingegen sich bei motormanueller Arbeit etwa alle 5.000 bis 6.000 Efm ein meldepflichtiger Unfall ereignet. Darüber hinaus ist eine etwa um den Faktor zehn erhöhte Arbeitsleistung gegenüber motormanuell arbeitenden Personen.

4.4 Zusammenfassung

1. Vielzahl von Verfahrensoptimierungen, oftmals regional bestimmt, befinden sich in der Umsetzungs- und Weiterentwicklung
2. Technische Erweiterungen (funkferngesteuerte Fällkeile, selbstfahrende Raupen) sind Anlass für Untersuchungen und führen zur Neubewertung/Modifikation von Verfahren, insbesondere vor dem Hintergrund von Arbeitssicherheit.
3. Eine Vielzahl der Untersuchungen spricht hochmechanisierte/kombinierte Verfahren mit tendenziell komplexeren Abläufen an, insbesondere vor dem Hintergrund der Bestandespfleglichkeit und der Arbeitsproduktivität/Kosteneffizienz.
4. Befahrung und Bodenschäden gehen Hand in Hand. Wirtschaftliche Beurteilungen dazu liegen, im Gegensatz zu den Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen der verschiedenen Verfahren, v.a. in qualitativer Form vor.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Verbundvorhaben BestHarvest (Entwicklung und Bewertung von Best-Practice-Verfahren zur Holzernte in Wäldern mit hoher naturschutzfachlicher Bedeutung) ist ein mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft gefördertes Projekt.

Zur fachlichen Beratung der Projektpartner und zur Umsetzung des Projektes wurde ein Projektbeirat gegründet. Folgende Organisationen waren im Projektbeirat oder in anderer Form am Projekt beteiligt:

- PEFC
- FSC
- Komatsu Forest
- SVLFG
- DGUV
- HSM-Forest
- BfN
- IGBAU
- BDF
- StMELF
- ForstBW
- ThüringenForst
- FVA-BW

6. Störungen bei der Vorhabendurchführung

Das vorliegende Verbundvorhaben wurde von zwei relevanten Ereignissen beeinflusst:

- Durch den Ausbruch des SARS-CoV-2 Virus verzögerte sich die Durchführung der Zeitstudien in den Betrieben.
- Die Hitze- und Dürrejahre 2018 bis 2020 in Verbindung mit dem hohen Schadholzaufkommen machten reguläre Holzerntemaßnahmen in den Forstbetrieben in weiten Teilen unmöglich. Daher musste teilweise auf (unter Aspekten des Versuchsaufbaus) weniger geeignete Standorte ausgewichen werden.

Letztlich konnte das Vorhaben trotz dieser Einschränkungen, jedoch mit einer Zeitverzögerung und unter Verzicht auf eine Live-Darstellung bei der KWF-Tagung, durchgeführt werden

7. Danksagung

Die Projektpartner bedanken sehr herzlich sich bei allen Personen und Organisationen, die das Vorhaben unterstützt und so die Durchführung möglich gemacht haben. Insbesondere gilt der Dank den Landesforstbetrieben in Baden-Württemberg und Thüringen, ForstBW und ThüringenForst, sowie den beteiligten privaten und kommunalen Waldbesitzenden in Bayern. Ebenso bedanken wir uns bei den Forstunternehmen in den Ländern Baden-Württemberg, Bayern und Thüringen sowie bei allen Personen, die während des Projektes für Interviews und Workshops uns mit ihren Erfahrungen zur Verfügung standen. Ein Dank gilt auch an alle studentischen Hilfskräfte, Praktikantinnen und Praktikanten, die uns vor allem bei den Videoauswertungen unterstützt haben. Ebenso möchten wir uns bei den Mitarbeitenden der FNR für die gute Zusammenarbeit bei administrativen Fragen zum Projekt bedanken.

II. Methodik

Als Untersuchungsgebiet dienten die Bundesländer Thüringen, Bayern und Baden-Württemberg. Der Ablauf der Methodik ist in Abbildung 1 dargestellt.

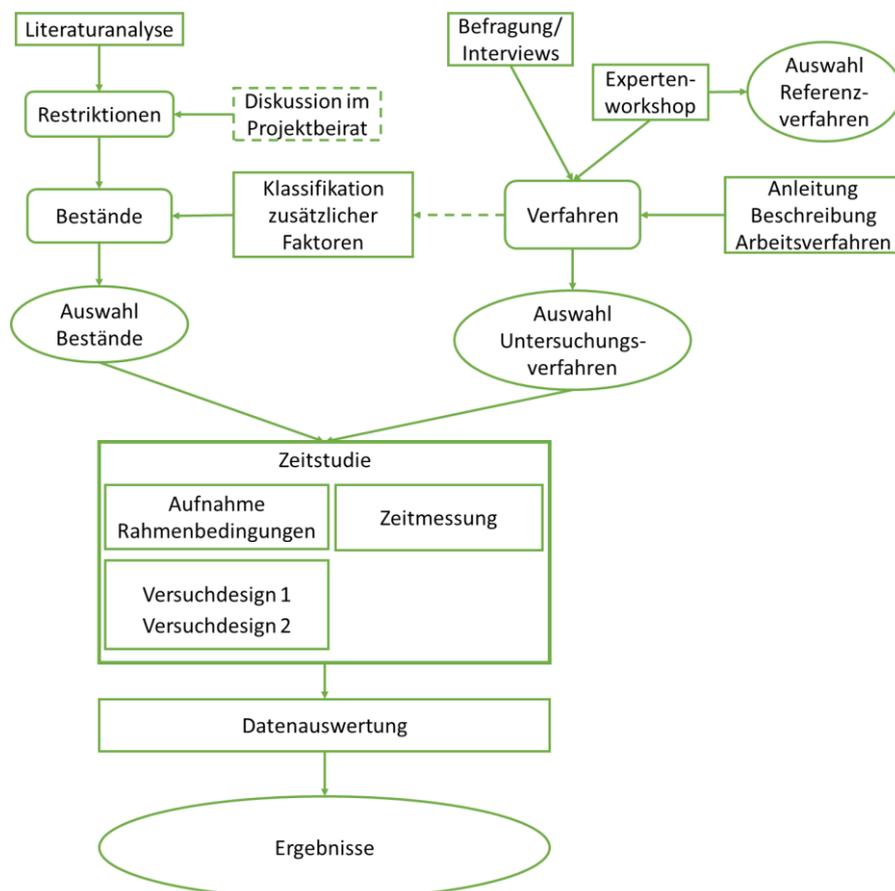


Abbildung 1: Gesamtüberblick Methodik

Zunächst wurde eine Literaturanalyse zur Ermittlung von Bewirtschaftungsrestriktionen durchgeführt. Die daraus resultierenden Bewirtschaftungsrestriktionen wurden mit ausgewählten Expertinnen und Experten sowie Personen aus der Praxis (Projektbeirat) diskutiert und Auswahlkriterien für die Untersuchungsbestände festgelegt.

Daraufhin wurden verschiedene Expertinnen und Experten des Untersuchungsgebietes aus Landesforstbetrieben, aus privaten und kommunalen Forstbetrieben, aber auch diverser forstlicher Dienstleistungsunternehmen, bezüglich ihrer Erfahrungen und ihrem Umgang mit Wäldern mit hoher naturschutzfachlicher Bedeutung befragt. Die Interviews ergaben eine große Auswahl an möglichen Verfahren in strukturreichen Beständen, die mittels Verfahrensbeschreibung standardisiert dargestellt wurden. Diese wurden anschließend in Workshops noch einmal mit den befragten Personen und weiteren Expertinnen und Experten analysiert, sodass die Belange der im Wald arbeitenden Personen maßgeblich in die Verfahrensbetrachtung einfließen und das Referenzverfahren festgelegt wurde.

In Abstimmung mit dem Projektbeirat wurde beschlossen, welche Aspekte naturschutzfachlicher Anforderungen nach ihrem Zusammenhang zur Holzernte untersucht werden sollen. Das sind (1) Rückegassenabstände, die weiter als die Kranreichweiten sind, (2) Biotopbäume und stehendes Totholz, (3) sichtbehindernde Verjüngung und (4) liegendes Totholz. Im Verlauf der Untersuchung wurde noch Bewuchs, der zwar nicht die Sicht, aber das Gehen behindert, in die Betrachtung einbezogen.

Anschließend wurden 10 Holzernteverfahren in unterschiedlichen Beständen mittels Zeitstudie hinsichtlich Kosten und Leistung sowie Pflughigkeit untersucht und miteinander verglichen. Dazu wurden die Rahmenbedingung nach zwei unterschiedlichen Versuchsdesigns erhoben und die Zeitmessung mittels Actioncameras durchgeführt. Die gewonnenen Daten wurden anschließend statistisch ausgewertet.

Die Ergebnisse der Zeitstudien wurden in einer abschließenden Diskussion miteinander verglichen. Hierzu wurden die Prüfparameter Leistung, Kosten, Pflughigkeit gegenüber dem verbleibenden Bestand und gegenüber dem Boden so aufbereitet, dass die Auswahl eines optimalen Verfahrens in Abhängigkeit der naturschutzfachlich begründeten Strukturmerkmale ermöglicht wird.

Auf Grundlage der neuen Erkenntnisse wurden Empfehlungen formuliert, die sich an die Ausführenden von Holzerntemaßnahmen, an den Waldbau und an die Entwickler von Forsttechnik richten.

1. Analyse naturschutzfachlicher Auswirkungen auf die Holzernte und -bringung

Im Rahmen von zunehmenden naturschutzfachlichen Anforderungen an die Bewirtschaftung von Wäldern in Deutschland ändern sich die eingesetzten Holzernte- und bringungsverfahren. Um die Veränderung der Verfahren aufgrund von naturschutzfachlichen Anforderungen bewerten zu können, müssen zunächst die entsprechenden Anforderungen aus den rechtlichen Vorgaben wie auch aus den freiwilligen betrieblichen Zielsetzungen ermittelt werden.

Mit Hilfe einer Literaturrecherche wurden entlang der verschiedenen gesetzlichen und freiwilligen Schutzgebietskulissen deren Auswirkungen auf die Holzernte herausgearbeitet. Die Schutzgebietskategorien wurden nach der regionalen Anwendbarkeit und der Intensität des Schutzstatus eingeteilt, beginnend mit weltweit vorhandenen Schutzgebietstypen, gefolgt von europäischen und nationalen Kategorien.

Aus den Vorgaben zu den einzelnen Schutzgebietskulissen wurden die möglichen Einschränkungen für die Bewirtschaftung, insbesondere der Holzernte, abgeleitet und diese in Bezug zu der operationalen Umsetzung des jeweiligen Waldbausystems gesetzt. Mit Hilfe der durchgeführten Zeitstudien in den Untersuchungsgebieten der jeweiligen Bundesländer ergaben sich Daten zur Bewertung der Performance der durchgeführten Holzerntemaßnahmen.

2. Methodik zur standardisierten Verfahrensbeschreibung

Für den Vergleich und die Beschreibung von Arbeitsverfahren ist eine Standardisierung von Inhalten und Definitionen Grundvoraussetzung. Aus diesem Grund wurde für die Datenbank *Datenbasis Waldarbeit und Forsttechnik*, die im Rahmen des RePlan-Projektes entstand, eine einheitliche Struktur forstlicher Verfahrensbeschreibungen geschaffen. Die Verfahrensbeschreibungen im vorliegenden Projekt orientieren sich an dieser.

Die Beschreibung der Arbeitsverfahren ist wie folgt strukturiert.

- Name des Verfahrens
- Funktiogramm/Piktogramm
- Ziel der Maßnahme mit verbaler Beschreibung
- Einsatzbedingungen gegliedert nach primären/sekundären Einflussgrößen
- Eingesetzte Betriebsmittel
- Eingesetzte Arbeitskräfte
- Arbeitsvorbereitung
- Ablauf des Verfahrens
- Grafische Darstellung/Foto
- Beurteilung des Verfahrens (Erfolgskontrolle, Waldschutz, Arbeitsschutz, Umweltverträglichkeit, Durchführungsempfehlungen)
- Literatur

Eine beispielhafte Darstellung zur Veranschaulichung der zweiseitigen Verfahrensbeschreibung findet sich in Abbildung 2.

HOLZERNTEN:

Vollmechanisierte Holzerte

Ziel der Maßnahme

Der Holzeinschlag erfolgt mit Harvester, die mehrere Arbeitsablaufabschnitte (Fällen, Entasten, Einschnneiden, Vorrücken) verrichten. Fällen und Einschnneiden erfolgen grundsätzlich von der Rückegasse aus.

Der Forwarder rückt das Holz schließlich von den Raubeugen an der Rückegasse bis zum Lagerort an der Waldstraße.

Einsatzbedingungen

Baumarten-gruppe	BHD ausschheidender Bestand	Gelände-neigung	Störender Bewuchs	Gassen-abstände	Mittlere Rückeeentfernung
Laubholz	≤ 20 m m. R.	≤ 35 %	Vorhanden	≤ 20 m	≤ 300 m
Fichte	20 – 35 m m. R.	36 – 50 %	Nicht vorhanden	> 20 m	> 300 m
Kiefer	36 – 50 m m. R.	> 50 %			
	≥ 50 m m. R.				

Betriebsmittel

- Harvester, für den entsprechenden Durchmesserbereich und die entsprechende Geländeneigung geeignet
- Forwarder

Arbeitskräfte

- Qualifizierte Maschinenführer mit durchschnittlichem Übungsgrad

Arbeitsvorbereitung

- Deutliche Markierung der Entnahmebäume (evtl. wertvoller Zuwechsträger)
- In Raubeugen abgelegte Sortimente an der Rückegasse
- Ausweisen geeigneter Holzlagerplätze an der Waldstraße

Verfahrensablauf

- Fällen, Entasten und Aufarbeiten der ausgezeichneten stehenden Bäume
- Ablage der Sortimente an der Rückegasse

- Sortimentsweises Rücken des an der Rückegasse abgelegten Holzes

- Poltern an zugewiesenen Holzlagerplätzen

Beurteilung des Verfahrens

- **Waldschutz**
 - Erhöhte Bestandesschäden durch Vollbaummanipulation bei Harvesteraufarbeitung möglich
 - Einsatz des Harvesters wird durch Stärke des Holzes beschränkt
 - Geringe Forstschutzrisiken durch Harvesteraufarbeitung
 - Reisigarmierung auf der Gasse
 - Durch die Reisigarmierung auf der Rückegasse bleibt die technische Befahrbarkeit weitgehend erhalten
- **Arbeitsschutz**
 - Der Maschinenführer verrichtet seine Arbeit in einer klimatisierten, lärm- und vibrationsarmen Kabine mit luftgefedertem Fahrersitz und ergonomisch ausgelegten Bedienungselementen. Dieser Arbeitsplatz ist weitgehend witterungsunabhängig. Leistungsfähige Arbeitsbeleuchtung ermöglicht den Einsatz unabhängig vom Tageslichtangebot.
 - Erhöhte psycho-mentale Belastung durch Ein-Mann-Arbeit.
- **Umweltverträglichkeit**
 - Da sowohl der Kranvollerter als auch der Forwarder ausschließlich auf der Rückegasse arbeitet, werden Bodenschäden reduziert und die technische Befahrbarkeit der Rückegasse durch die beim Entasten vor der Maschine entstehende Reisigmatte erhöht.
 - Umweltverträglich bei Verwendung biologisch abbaubarer Hydraulikflüssigkeiten
- **Optimaler Einsatzbereich**
 - Dieses Arbeitsverfahren ist in einem breiten Spektrum einsetzbar, am besten geeignet sind Bestände in ebenen Lagen.
 - Die Begrenzung des Einsatzbereiches durch BHD und Aststärke bestimmt die Leistungsklasse des Harvesters.
- **Zertifizierung**

Anmerkung: Zertifiziert wird ein Verfahren erst nach vollständiger Beschreibung durch die Zertifizierungsstelle.

Literatur

MORAT, J., FORBRIG, A., GRAUPNER, J., (1998): Holzerteverfahren –Vergleichende Erhebung und Beurteilung der Holzerteverfahren in der Bundesrepublik Deutschland. KWF-Bericht 25/1998

Abbildung 2: Beispielhafte Verfahrensbeschreibung nach RePlan

3. Befragung von Expertinnen und Experten

Ziel der Expertiseinterviews war es, die für das Praxispersonal entscheidenden Arten der Anpassung von Holzerteverfahren an die starke Strukturierung der Waldbestände und andere Herausforderungen naturschutzfachlich wertvoller Waldbestände herauszuarbeiten. Ebenso sollten Anpassungsstrategien auf Verfahrensebene und auf technischer Ebene analysiert werden, um mögliche Best-Practice-Verfahren für spezifische oder allgemeine erhöhte Anforderungen benennen zu können.

Dazu wurden im Zeitraum von März bis April 2019 in den Untersuchungsgebieten Bayern und Baden-Württemberg insgesamt 20 Personen im Rahmen von 20 Expertiseinterviews befragt (s. Tabelle 2). Die interviewten Personen können in Thüringen der Unternehmerschaft und dem Landesforstbetrieb zugerechnet werden. In Bayern wurden vornehmlich Personen aus dem Spektrum des Kommunalwaldes, forstlicher Zusammenschlüsse und forstlicher Dienstleister befragt. Ein Großteil der Befragten ist überwiegend im Nadelholzeinschlag tätig. Nur wenige haben den Schwerpunkt ihrer Einschlüge im Laubholz. Viele der Befragten führten Holzerte im Staatswald durch, besonders in Thüringen und Baden-Württemberg, was auch durch die berufliche Herkunft der Interviewpartner (Landesforstbetriebe, Maschinenstützpunkte, forstliche Dienstleister) erklärt werden kann.

Tabelle 2: Übersicht befragte Personen

Untersuchungsgebiet	Rolle der interviewten Person	Anzahl
Thüringen	Forstunternehmer	5
	Mitarbeitende Landesforstbetrieb	3
Bayern	Mitarbeitende Staatsforstbetrieb	2
	Forstdienstleister	3
	Mitarbeitende Forstbetriebsgemeinschaft	1
	Mitarbeitende Kommunalwald	5
	Mitarbeitende Privatwald	1

3.1 Ablauf der Experteninterviews

In Bayern und Thüringen wurden die Interviews mit den Expertinnen und Experten im Vorfeld der Workshops geführt, in Baden-Württemberg wurden gegebenenfalls ergänzende Interviews im Anschluss daran geführt. Sie fanden vor Ort bei den befragten Personen statt. Bei den Expertiseinterviews handelte es sich um semi-strukturierte Interviews. Dabei wurde als Richtschnur zur Durchführung der Interviews ein Leitfaden verwendet, die ansonsten einem freien Gesprächsverlauf folgen sollten. Die sechs Leitfäden ergaben sich einerseits durch die explizite Betrachtung einer Bestandesform, wie „Altdurchforstung Laubholz (Buche)“, „Altdurchforstung Nadelholz (Fichte)“ und „Jungdurchforstung Nadelholz (Fichte)“, andererseits aus der Anpassung der Fragebogeninhalte an Forstbetriebe oder Forstunternehmen. Der grobe Leitfadenaufbau ist im nachfolgenden Kapitel 3.2 Aufbau Leitfaden beschrieben. Die einzelnen Leitfäden sind im Anhang zu den Inhalten des Berichts unter 1. Interviewleitfäden zu finden.

Zu Beginn des Interviews wurden den Interviewten Bestandesbeschreibungen (s. Abbildung 3, Abbildung 4 und Abbildung 5 sowie Tabelle 3) vorgelegt. Hierdurch sollte eine direkte gedankliche Verortung in einen im weiteren Befragungsverlauf zugrunde gelegten Bestand stattfinden, sodass Fragende und Befragte auf der gleichen Basis argumentieren konnten. Diese Bestandesbeschreibungen wurden als Referenz verwendet, um unbeeinflusste Hiebsvorbereitungen oder Holzernteverfahren definieren zu können. Im fortlaufenden Interview wurden sukzessive Strukturmerkmale (Habitatbäume oder -gruppen, liegendes Totholz, sichtbehindernde Naturverjüngung, erweiterte Rückegassenabstände über 20 m) gedanklich hinzugefügt und miteinander kombiniert, um herauszufinden, welche Änderung in der Bestandesstruktur welche Anpassung im Verfahren und der verwendeten Technik hervorrufen.



Abbildung 3: AD Laubholz



Abbildung 4: AD Nadelholz



Abbildung 5: JD Nadelholz

Tabelle 3: Bestandesbeschreibung der den Interviews zugrunde gelegten Bestände.

	D Laubholz (Buche)	AD Nadelholz (Fichte)	JD Nadelholz (Fichte)
Mischungsanteile	Laubholzdominiert Mischbestand einzelne Nadelbäume	Nadelholzdominiert Mischbestand einzelne Laubbäume	Nadelholzdominiert Mischbestand einzelne Laubbäume
BHD	25-50 cm	25-50 cm	15-25 cm
Boden	Befahrungsunempfindlich flach	Befahrungsunempfindlich flach	Befahrungsunempfindlich flach
Ziel der Maßnahme	Förderung der Zukunftsbäume (inkl. Mischbaumarten).	Förderung der Zukunftsbäume (inkl. Mischbaumarten).	Förderung der Zukunftsbäume (inkl. Mischbaumarten).
Rückegassenabstand	20 m	20 m	20 m
Verjüngung	Keine vorhanden	Keine vorhanden	Keine vorhanden
Biotopbäume	Keine vorhanden	Keine vorhanden	Keine vorhanden

Die Interviews wurden handschriftlich protokolliert.

3.2 Aufbau Leitfaden

In Kapitel 1 des Leitfadens wurden Fragen gestellt, die zur Beschreibung des Forstbetriebes dienen. Der Name des Betriebes und der befragten Person wurden aus datenschutzrechtlichen Gründen zu keiner Zeit veröffentlicht, sondern dienen lediglich der internen Verarbeitung und Referenzieren der Interviewauswertungen. Die

übrigen Fragen zum Forstbetrieb bzw. dem Forstunternehmen sollten Möglichkeiten schaffen, die Interviewergebnisse miteinander vergleichen zu können oder anhand einzelner Aspekte zu filtern. Darüber hinaus halfen Fragen zur Forstbetriebsgröße, den vorhandenen und geplanten Rückegassenabständen, oder die Anwendung eines eigenen Naturschutzkonzeptes im Forstbetrieb, die Aussagen der Befragten mit ihrer betrieblichen Ausrichtung zu verknüpfen. Für Forstunternehmen ging es in den ersten zehn Fragen um eine Einordnung anhand von Waldbesitzarten in der Kundschaft, Verteilung von Laub- zu Nadelholzbeständen und durchschnittliche Bestandesgrößen sowie die angebotenen Dienstleistungen und den vorhandenen Fuhrpark. Frage 1.10 zur speziellen Anpassung der im Besitz befindlichen Maschinen sollte eine erste Annäherung an technische Anpassungen mit Blick auf naturschutzfachliche Anforderungen bieten.

Die Fragen in Kapitel 2 betrachteten die Hiebsvorbereitungen für eine der oben beschriebenen Bestandesbeschreibungen. Diese umfassten Fragen zur einfachen Arbeitsverteilung und zur Arbeitsdurchführung. Bedingt durch erhöhte naturschutzfachliche Anforderungen könnten gewisse Vorbereitungsschritte an höherqualifiziertes Personal übergeben werden oder besondere Tätigkeiten ausgeführt und spezielle Technik angewandt werden, um den Herausforderungen bei der Hiebsvorbereitung zu begegnen.

Im dritten Kapitel sollten die Befragten eingesetzte Arbeitsmittel und den Ablauf der Fällung beschreiben. Hierzu wurde ihnen eine Auswahl an Maschinentypen und Arbeitsmitteln zur Verfügung gestellt und die Möglichkeit, diese als einzelne Anwendung oder in Kombination zu definieren.

In Kapitel 4 wurden Fertigungsschritte wie Zopfen, Entasten und Ablängen und deren Ausführungsort (Bestand, auf der Gasse, Lagerort) abgefragt.

Im darauffolgenden Kapitel 5 sollten die Befragten das Vor- und Endrücken, mithilfe einer Auswahltabelle von Arbeitsmitteln, darstellen sowie in welchem Produktzustand (Vollbaum, Rohschaft, Langholz oder Kurzholz) das Holz vor- bzw. endgerückt wird. Die Kapitel 3 bis 5 zielen auf eine Beschreibung der angewandten Holzernverfahren ab.

Im Kapitel 6 wurden die Auswirkungen von Habitatbäumen und -baumgruppen auf die Wahl der Sortimente, auf den Fäll-, Vorrücke- und Endrückeprozess erfragt. Nach dem gleichen Prinzip wurden im Kapitel 7 die sichtbehindernde Naturverjüngung und im Kapitel 8 verteilt liegendes Totholz gedanklich in den Bestand eingefügt und deren Auswirkungen erfragt, sofern es welche gab. Mittels dieses Fragenkomplexes wurden die einzelnen Auswirkungen der naturschutzfachlich begründeten Strukturmerkmale auf den Holzernprozess herausgearbeitet.

Mit Kapitel 9 und der Frage der Auswirkungen erweiterter Rückegassenabstände von 40 m wurde die Möglichkeit gegeben, das gesamte Verfahren neu zu beschreiben. Nun wurden ein Mittelblock und eine Kranzone sowohl für die Fällung als auch für das Vor- und Endrücken relevant, da die alleinige Verwendung von Harvestern und Forwardern ausgeschlossen wurden.

In Kapitel 10 wurden mehrere Strukturmerkmale gedanklich kombiniert. Hierdurch sollte herausgefunden werden, ob eines der Strukturmerkmale vorrangigen Einfluss auf das Holzernverfahren hat oder ob eine Kombination der Strukturmerkmale das Holzernverfahren in besonderer Weise beeinflusst. Des Weiteren kam die Betrachtung von Hangneigungen von zuerst 40 % und dann 65 % und deren Auswirkungen auf das Holzernverfahren, auch in Kombination mit den Strukturmerkmalen hinzu. Zuletzt wurde ein befahrungsempfindlicher Boden angenommen.

In Kapitel 11 wurde explizit auf den Bodenschutz eingegangen und die daraus resultierende die Frage, ob Forstbetriebe gewisse Maßnahmen fordern, um dem Bodenschutz in ihren Beständen gerecht zu werden. Eine Auswahl verschiedener bekannter Maßnahmen und Ausrüstungen für forstliche Großmaschinen wurde den Befragten angeboten. Auch hiermit sollten mögliche finanzielle Mehraufwendungen oder Verzögerungen bei der Verfahrensdurchführung quantifiziert werden können.

An die forstlichen Unternehmer wurden in Kapitel 12 Fragen bezüglich der Anzahl der Beschäftigten und deren Ausbildungsgrad gestellt. Zum Abschluss konnten in Kapitel 13 noch weitere Anforderungen frei angegeben werden, die in der Praxis relevant sind. Der Leitfaden wurde damit für die Unternehmer abgeschlossen.

Für die Forstbetriebe ging es in Kapitel 12 hingegen um die Holzvermessung und Aufnahme. Die Hiebsbeurteilung wurde in Kapitel 13 abgefragt und ging auf die zur Beurteilung beachteten Parameter ein und den Umgang mit notwendigen Beanstandungen oder sogar Belohnungssystemen bei besonders guter Hiebsdurchführung. Kapitel 14 enthielt die Frage zum Abziehen oder Säubern der Forststraße nach einer Hiebsmaßnahme und welche Person dies mit welchem Gerät durchführt. In Kapitel 15 wurden alle sonstigen Fragen, wie der Bezug besonderer Förderungen für erschwerte Holzern, Naturschutz- oder Waldumbaumaßnahmen o. Ä. zusammengefasst. Ebenso wurde der Anteil des eigenen und fremden Personals erfragt.

Für die Jungdurchforstung wurden die Fragen gleichermaßen gestellt, lediglich das Kapitel zur sichtbehindernden Naturverjüngung wurde hier ausgelassen, da es in diesen Beständen nicht relevant ist.

3.3 Auswertung der Experteninterviews

Die Interviews wurden qualitativ zur Vorbereitung der Workshops analysiert. Es wurden dabei die naturschutzfachlichen Hauptanforderungen anhand ihrer Flächenwirksamkeit und Einflussnahme auf forstwirtschaftliches Handeln analysiert und in die folgenden Kategorien eingeteilt:

1. Erweiterte Rückegassenabstände
2. Sichtbehindernde Verjüngung
3. Biotopbäume
4. Stehendes und liegendes Totholz
5. Allgemeines

Basierend auf diesen Ergebnissen und denen der Workshops wurden die Untersuchungsverfahren ausgewählt.

4. Workshop

Einige Wochen nach den Interviews wurden im Zeitraum April bis Juni 2019 die Interviewpartner sowie weitere Vertreterinnen und Vertreter aus Wissenschaft und Praxis jeweils zu insgesamt 4 Expertiseworkshops eingeladen. Die Teilnehmenden sind in Tabelle 4 aufgelistet. Dort wurden die Interviewergebnisse vorgestellt. Zuerst wurden die naturschutzfachlichen Anforderungen erläutert. Danach wurden konkrete Handlungsmöglichkeiten und die angewandten Holzernteverfahren präsentiert. Im Anschluss wurde mit der „Worldcafe-Methode“ in Kleingruppen über progressive Ansätze im weiteren Umgang mit den Anforderungen diskutiert. Ebenso wurde das vollmechanisierte Holzernteverfahren als Referenzverfahren festgelegt. Im Anschluss daran wurden die Untersuchungsverfahren ausgewählt.

Tabelle 4: Teilnehmende Workshops

Workshop	Funktion der Interviewten	Anzahl
Baden-Württemberg 1	Mitarbeitende Regierungspräsidium	1
	Mitarbeitende ForstBW (Hauptstützpunkte)	4
	Mitarbeitende ForstBW (Forstliches Bildungszentrum)	1
Baden-Württemberg 2	Mitarbeitende Regierungspräsidium	1
	Mitarbeitende ForstBW (Hauptstützpunkt/Stützpunkt)	4
Bayern	Forstunternehmer	4
	Mitarbeitende BaySF	2
	Mitarbeitende Kommunalforstbetrieb	2
	Mitarbeitende Privatwald	2
	Versicherung	1
	Wissenschaftliches Personal	1
Thüringen	Forstunternehmer	2
	Mitarbeitende ThüringenForst	6
	Wissenschaftliches Personal	1
	Zertifizierende	1

5. Fallstudien

Im Zeitraum von 2019 bis 2021 wurden insgesamt zehn Fallstudien in zehn verschiedenen Beständen und zu zehn verschiedenen Holzernteverfahren durchgeführt. Ziel war es, herauszufinden, wie sich die verschiedenen Strukturvariablen auf den Zeitbedarf der Ernte eines Einzelbaumes auswirken.

Vor Beginn des ersten Hiebzeitraumes im Winter 2019/20 wurde ein Versuchsdesign für die Erhebung der Rahmenbedingungen ausgearbeitet, mit welchem die ersten vier Feldstudien durchgeführt wurden. Jedoch ergab sich aus der Auswertung der Daten die Notwendigkeit einer Anpassung dieses Versuchsdesigns. Die sechs weiteren Feldstudien der zweiten Hiebssaison im Winter 2020/21 sowie im Herbst 2021 wurden mit der angepassten Version durchgeführt. Im Folgenden wird beschrieben, wie die Feldstudien durchgeführt wurden und worin sich die beiden Versuchsdesigns unterscheiden.

5.1 Ausführung Versuchsdesign

Vor jeder Feldstudie wurde die Fläche zusammen mit den zuständigen Revierleitenden besichtigt und beurteilt, ob die zu untersuchenden Variablen in ausreichender Form vorhanden sind. Zudem wurden die Bestandesgrenzen erfasst und Besonderheiten notiert. Bei den in Bayern durchgeführten Feldstudien wurden bei diesem Bestandesbegang die Rückegassen mit einem GPS-Gerät (SatMap Active 10 mit Topographischer Karte Bayern 1:50.000) vermerkt.

5.1.1 Bestandesbeschreibung

Um die Bestände einheitlich zu charakterisieren, wurde zu jeder Feldstudie eine Bestandesbeschreibung angefertigt. Diese enthält neben Bestandesdaten auch naturräumliche Informationen und gibt Auskunft zur Erschließungssituation der Fläche.

Im Versuchsdesign 1 wurde die Baumartenzusammensetzung des Bestandes gutachterlich erfasst. Lediglich für die Vorratsermittlung wurden drei Winkelzählproben mit dem Dendrometer (Zählbreite 4) durchgeführt. Die Baumhöhen wurden mit einem Vertex IV (Fa. Haglöfs) gemessen.

Im Versuchsdesign 2 wurden für jede Feldstudie 3 bis 5 Winkelzählproben mit dem Dendrometer durchgeführt. Um genauere Ergebnisse zu erhalten, sollten in jeder Winkelzählprobe 5 -15 Bäume erfasst werden. Daher wurde die Zählbreite 2 gewählt. Die Baumhöhen wurden ebenfalls mit einem Vertex IV (Fa. Haglöfs) gemessen.

5.1.2 Entnahmebäume

Zu Beginn einer Baumaufnahme wurde der zu entnehmende Baum von zwei Seiten nummeriert. Diese Nummerierung war notwendig, um die Merkmale eines jeden Einzelbaumes erfassen und später vergleichen zu können. Anschließend wurde der Brusthöhendurchmesser (BHD_{1,3}) des Baumes mit einer Forstkluppe (60 cm) gemessen. Waren die Bäume dicker, kam ein Durchmessermaßband zum Einsatz.

Um zu untersuchen, ob sich die Entfernung des Baumes zur Rückegasse auf den Zeitbedarf bei der Holzernte auswirkt, wurde diese Distanz mit einem Vertex IV (Fa. Haglöfs) gemessen. Dazu positionierte sich die schriftführende Person auf der Mitte der Rückegasse. Die Aufgabe der zweiten Person war es dann, den Vertex-Transponder auf der zur Rückegasse gewandten Seite in einer Höhe von 1,3 m am Entnahmebaum zu positionieren, damit anschließend eine Distanzmessung durchgeführt werden konnte.

5.1.3 Aufnahme der Variablen

Erweiterte Rückegassenabstände:

Die (zeitlichen) Unterschiede der Holzernteverfahren, die auf Grund unterschiedlicher Rückegassenabstände auftreten können, wurden durch einen Vergleich von gleichen Verfahren in unterschiedlichen Beständen mit unterschiedlichen Rückegassensystemen erfasst. Der Rückegassenabstand wird als der Abstand von der Mitte der einen Rückegasse bis zur Mitte der nächsten Rückegasse definiert. In Thüringen betrug der Rückegassenabstand 20 m, in Bayern je nach Betrieb 30 - 40 m und in Baden-Württemberg im Landeswald, auf Grund der FSC-Zertifizierung, 40 m. Die genannten Werte entsprechen der Vorgabe des jeweiligen Betriebes. Allerdings wird darauf hingewiesen, dass diese Rückegassenabstände nur in der Theorie einem einheitlichen Schema entsprachen und demnach die tatsächlichen Abstände auf der Fläche zum Teil deutlich variierten.

Weitere Variablen:

Die Daten der weiteren Variablen wurden direkt am Einzelbaum erfasst. Im ersten Versuchsdesign gab es für die Variable „sichtbehindernde Naturverjüngung“ fünf Stufen, bei welchen die Dichte der Verjüngung immer mehr zunahm, inklusive einer Kategorie „ohne Verjüngung“ (s. Beispiel Abbildung 6).



Abbildung 6: Sichtbehindernde Naturverjüngung Stufe 2, Versuchsdesign 1

Biotopbäume und stehendes Totholz wurden erfasst, wenn die Bäume innerhalb der Baumlänge des Entnahmebaumes lagen. Zudem wurden der BHD_{1,3} und die Höhe des Biotopbaumes gemessen sowie der Abstand

zum Entnahmebaum. Als Biotopbäume wurden solche mit großen Faulstellen, Pilzkonsolen, Höhlen, Quartierspalten, Horsten sowie mit viel Kronentotholz erfasst.

Für das liegende Totholz wurden im Vorfeld drei Stufen ausgewiesen, in die das Totholz je nach Menge und Durchmesser eingeteilt wurde, zudem gab es noch die Kategorie „ohne liegendes Totholz“, die die Referenz darstellte. Um die Datenaufnahme effizient durchführen zu können, wurden die Kategorien „sichtbehindernde Naturverjüngung“ und „liegendes Totholz“ gutachterlich eingeschätzt.

Im Versuchsdesign 2 wurde um den Baum ein Kreis mit einem Radius von 10 m gezogen und in vier Segmente eingeteilt. Die Ausprägung der Variablen wurde daraus abgeleitet, in wie vielen Segmenten eine der Variablen vorhanden war. Beim Vorkommen von Biotopbäumen wurde zusätzlich festgehalten, ob von ihnen Gefahren durch herabfallende Äste ausgehen und ob sie markiert sind. Zusätzlich wurde die Variable „Bewuchs“ aufgenommen. Als solche wurde Vegetation bezeichnet, die zwar nicht die Sicht, aber das Gehen im Bestand behindert. Deren Vorkommen wurde ebenfalls in den vier Segmenten um den Baum herum erfasst.

Tabelle 5 zeigt die Unterschiede zwischen des Versuchsdesigns auf.

Tabelle 6 gibt einen Überblick darüber, welche Fallstudien nach welchem Versuchsdesign aufgenommen wurde.

Tabelle 5: Übersicht Versuchsdesigns Variablen

Variable	Versuchsdesign 1	Versuchsdesign 2
Sichtbehindernde Naturverjüngung	Einteilung in 5 Stufen, bei welchen die Dichte der Verjüngung immer mehr zunimmt, inklusive Stufe „ohne Verjüngung“, subjektive Zuordnung zu den Stufen	Kreis mit Radius 10m um den Entnahmebaum Einteilung dessen in 4 Segmente Ausprägung Variable ergibt sich aus deren Vorkommen in den 4 Segmenten
Biotopbäume	Erfassung, wenn innerhalb der Baumlänge des Entnahmebaums Erfassung von BHD _{1,3} und Höhe	Wie oben
Liegendes Totholz	3 Stufen je nach Menge und Durchmesser des Totholzes, subjektive Zuordnung zu den Stufen Zusätzliche Stufe „ohne liegendes Totholz“ als Referenz	Wie oben
Bewuchs	nicht erfasst	Wie oben

Tabelle 6: Zuordnung Fallstudie zu Versuchsdesign

Fallstudie	Versuchsdesign
Fränkische Platte	1
Thüringer Schiefergebirge	1
Nordspessart	1
Mittelschwaben	1
Südlicher Steigerwald	2
Rhön	2
Nördlicher Steigerwald	2
Altmühltal	2
Nördliche Schwäbische Alb	2
Südliche Schwäbische Alb	2

5.1.4 Baumartenzusammensetzung und Bestandesvorrat

Mit den Daten aus der Winkelzählprobe wurde zuerst die Baumartenzusammensetzung des Bestandes berechnet. Dazu wurde in Microsoft Excel eine Maske erstellt, mit der die Anzahl pro Baumart ins Verhältnis zur gesamten Baumanzahl gesetzt wird.

Zudem wird das Bestandesvolumen wie folgt berechnet.

$$V = N * Zf * FH$$

V = Volumen

N = Anzahl der gezählten Bäume pro WZP

Zf = Zählfaktor

FH = Formhöhentarif

5.2 Zeitmessung

Die Arbeitsabläufe wurden mittels Actionkameras (GoProHero 7 Black, GoProHero3+) aufgezeichnet. Bei kombinierten Holzernteverfahren wurde eine der Kameras mittels einer Saugfußhalterung in der Kabine des Harvesters angebracht. Dabei wurde darauf geachtet, diese möglichst weit oben in der Kabine zu platzieren, um das Sichtfeld des Fahrers nicht einzuschränken. Außerdem war dadurch auch das Aggregat besser zu sehen, was für die Videoauswertung von Vorteil war. Bei manuellen Tätigkeiten wurde die Kamera mit einem Brustgurt auf der Brust des Forstwirts fixiert, sodass die Arbeitsabläufe stets gut zu sehen waren, auch wenn die Probanden ihre Haltung änderten.

Datenaufbereitung:

Später wurden die Kameras ausgelesen und die Videos nach Region, Tag und Proband sortiert. In Microsoft Excel wurden die Videos samt den Informationen, wie Erstzeitpunkt und Videodauer, gelistet. Um Zeitlücken zwischen den Videos zu erfassen, wurde der Endzeitpunkt der Videos berechnet und anschließend vom Anfangszeitpunkt des folgenden Videos subtrahiert. Diese Lücken entstanden, wenn die Probanden die Aufzeichnung kurzzeitig pausierten, beispielsweise für Toilettengänge oder die Mittagspause.

Für die Videoanalyse war es notwendig die einzelnen Videosequenzen tageweise zusammenzufügen. Das lag daran, da die Kameras standardmäßig so programmiert sind, dass ein Video lediglich 17 Minuten lang wird. Der Zweck dieser Programmierung liegt darin, dass Fehler beim Speichern und Übertragen der Videos verhindert werden. Zudem konnten zwischen die Videosequenzen die Zeitlücken eingearbeitet werden. Dieser Arbeitsschritt erfolgte mit der freiverfügbaren Software „Lightworks“ und „Shotcut“.

5.3 Videoauswertung

Zur Durchführung der Zeitstudien wurden Arbeitsablaufabschnitte (AAA) definiert, die sich in zwei Kategorien einordnen lassen. Eine der Kategorien ist die „Reine Arbeitszeit“ (RAZ). Die Arbeitsablaufabschnitte dieser Kategorie lassen sich direkt einem Baum zuordnen. So ist es möglich die Einflüsse der untersuchten Strukturen auf der Einzelbaumbene zu untersuchen. Die übrigen Arbeitsablaufabschnitte werden als „Allgemeine Zeiten“ (AZ) bezeichnet und sind Arbeiten, die unregelmäßig auftreten und daher nicht einem Einzelbaum zugeordnet werden können. Oft wird die AZ als prozentuale Zuschläge auf die RAZ verwendet. Die Summe aus RAZ und AZ bildet die „Gesamtarbeitszeit“ (GAZ).

In Tabelle 7, Tabelle 8 und Tabelle 9 wird beschrieben, wie die einzelnen Arbeitsablaufabschnitte für den motormanuellen und den maschinellen Holzeinschlag sowie das Rücken definiert sind, welchen Zeiten sie zugehörig sind und wie deren Beginn und Ende festgelegt sind.

Tabelle 7: Definition der Arbeitsablaufabschnitte für den motormanuellen Holzeinschlag durch Forstwirt oder Forstwirtin

Motormanueller Holzeinschlag			Beginn AAA	Ende AAA
AZ	Rüsten	Vorbereitende Tätigkeiten zur Holzernte (Motorsäge vorbereiten, Nachschärfen, Kette spannen, Tanken)		
RAZ	Baum aufsuchen	Weg vom vorherigen Arbeitsablaufabschnitt (z.B. Rüsten, Fällung/ Aufarbeitung des vorherigen Baumes)	Loslaufen des Forstwirts zum nächsten Baum	Der Forstwirt beginnt mit der Motorsäge zu arbeiten
RAZ	Freiräumen	Freischneiden der Fläche um den Entnahmebaum und ggf. schneiden der Rückweiche)	Der Forstwirt beginnt störenden Bewuchs um den Baum herum zu entfernen	Der Forstwirt beendet das Freiräumen des Entnahmebaumes
RAZ	Fällung	Fällung des Baumes (inkl. Schneiden des Fällkerbs)	Der Forstwirt beginnt mit der Motorsägenarbeit am Entnahmebaum	Der Entnahmebaum beginnt zu fallen oder ist bereit gekeilt zu werden
RAZ	Rückweiche	Zeit in der Rückweiche (inkl. Wegstrecke)	Der Forstwirt bewegt sich vom fallenden oder umzukeilenden Baum weg.	Der Forstwirt hat sich zurück zum Baum bewegt und beginnt mit der Aufarbeitung
RAZ	Aufarbeiten	Arbeiten am liegenden Baum (Ablängen, Entasten usw.)	Der Forstwirt legt die Säge am liegenden Baum an	Der Forstwirt hat den Baum gezopft oder das Entfernen der Äste beendet
AZ	Ergo-Pause	Aktivpause mit gymnastischen Übungen zur Lockerung der Muskeln		
AZ	Verteilzeit_mechanisch	Arbeiten an der Maschine		
AZ	Verteilzeit_persönlich	Arbeiten, die privaten Zwecken dienen z.B. Private Telefonate		
AZ	Verteilzeit_organisatorisch	Arbeiten, die der Arbeitsorganisation zugehören		
AZ	Warten	Warten z.B. auf den Harvester oder den Seilschlepper		
AZ	Pause	Pause zur Erholung z.B. Brotzeit, Mittagspause usw.		
AZ	Unbekannte Zeitlücke	Tätigkeit unklar		

Tabelle 8: Definition der Arbeitsablaufschritte für den maschinellen Holzeinschlag

	Maschinelle Holzernte (Harvester)		Von	Bis
AZ	Leerfahrt	Fahrt z.B. zum Bestand		
RAZ	Baum anfahren	Fahrt zum Baum	Harvester bewegt sich in Richtung Entnahmebaum	Aggregat wurde am Baum angesetzt und geschlossen
RAZ	Fällung	Fällung des Baumes	Aggregat wurde am Baum angesetzt und geschlossen	Baum wurde bis an den Gassenrand vorgerückt
RAZ	Aufarbeiten	Arbeiten am gefällten Baum (Entasten, Ablängen usw.)	Baum befindet sich am Gassenrand, Vorschub beginnt	Der Baum ist aufgearbeitet, Aggregat in senkrechter Arbeitsposition
AZ	Manipulieren	Arbeiten zum Schutz der Rückegasse, Astmaterial wird auf der Gasse abgelegt		
AZ	Tanken	Tanken		
AZ	Verteilzeit_mechanisch	Arbeiten an der Maschine		
AZ	Verteilzeit_persönlich	Arbeiten, die privaten Zwecken dienen z.B. Private Telefonate		
AZ	Verteilzeit_organisatorisch	Arbeiten, die der Arbeitsorganisation zugehören		
AZ	Warten	Warten z.B. auf den Harvester oder den Seilschlepper		
AZ	Pause	Pause zur Erholung z.B. Brotzeit, Mittagspause usw.		
AZ	Unbekannte Zeitlücke	Tätigkeit unklar		

Tabelle 9: Definition der Arbeitsablaufschritte für das Rücken

	Rücken		Von	Bis
AZ	Rüsten	Vorbereitende Tätigkeiten zur eigentlichen Arbeit		
AZ	Leerfahrt	Fahrt z.B. zum Bestand		
AZ	Freiräumen	Freischieben der Gasse von störendem Astmaterial		
RAZ	Positionieren	Positionieren des Schleppers	Ankunft an der Stelle, von wo aus geseilt werden soll, Beginn des Rangierens	Rangieren beendet und Seilwinde abge- senkt
RAZ	Seil ausziehen	Seil wird von der Winde zum Stamm gezogen	Greifen des Seils	Ankunft am Stamm
RAZ	Seil anbringen	Seil wird um den Stamm gelegt	Ankunft am Stamm	Seil ist am Stamm be- festigt
RAZ	Vorrücken	Stamm wird aus dem Bestand zur Rückegasse gezogen	Stamm wird zur Gasse gezogen	Stamm liegt an der Gasse
RAZ	Poltern	Starkholz wird mit dem Schlep- per direkt zur Forststraße ge- rückt	Schlepperfahrt startet	Stamm abgehängt
AZ	Verteilzeit_ mechanisch	Arbeiten an der Maschine		
AZ	Verteilzeit_ persönlich	Arbeiten, die privaten Zwecken dienen z.B. Private Telefonate		
AZ	Verteilzeit_ organisatorisch	Arbeiten, die der Arbeitsorgani- sation zugehören		
AZ	Warten	Warten z.B. auf den Harvester oder den Seilschlepper		
AZ	Pause	Pause zur Erholung z.B. Brot- zeit, Mittagspause usw.		
AZ	Unbekannte Zeitlücke	Tätigkeit unklar		

Die Zeitstudien wurden nach dem Fortschrittszeitverfahren durchgeführt. Die Auswertung der Videos erfolgte mit dem VLC Mediaplayer. Dazu wurde bei jedem Wechsel eines Arbeitsablaufabschnittes das Video kurz gestoppt und der Endzeitpunkt des einen Arbeitsablaufabschnittes sowie der Anfangszeitpunkt des darauffol- genden Arbeitsablaufabschnittes in eine Excelliste übertragen. Zusätzlich wurde die Baumnummer erfasst, sobald diese genannt wurde oder im Video sichtbar war. Zur schnelleren Analyse der Videos wurden die Ab- spielgeschwindigkeiten variiert, diese bei den Berechnungen dann aber berücksichtigt.

Durch Subtrahieren von Endzeitpunkt und Anfangszeitpunkt wurde die Dauer eines Arbeitsablaufabschnittes berechnet. Im Anschluss wurden die Werte von doppelt vorhandenen Bäumen zusammengefasst, sodass jeder Baum nur noch einmal in der Liste vorhanden war.

5.4 Aufnahme Bestandesschäden

Der Zustand der Rückegassen wurde vor und nach der Holzerntemaßnahme gutachterlich erfasst. Die Be- standesschäden wurden in Rücke- und Fällschäden unterschieden. Im Versuchsdesign 1 wurden diese mittels Stichprobenkreisen von je 500 m² erfasst. Die Probenkreise wurden systematisch über die Fläche verteilt, wobei die Rückegassen einbezogen waren. Es wurde von allen Bäumen oberhalb der Derbholzgrenze in den Probekreisen der BHD und die Anzahl der Fäll- und Rückeschäden erhoben. Außerdem wurde die Deckung mit Verjüngung und der Anteil von Schäden an der Verjüngung geschätzt. Im Versuchsdesign 2 wurden die Fäll- und Rückeschäden flächendeckend erfasst und auf Streifen von 4 m Breite parallel zu den Rückegassen

die Anzahl der Bäume gezählt. Über die Fläche dieser Trackte wurde auf die Stammzahl pro Hektar hochgerechnet.

5.5 Statistische Datenauswertung

Die vier Fragestellungen für die statistische Datenauswertung lauteten:

- Haben verschiedene Faktoren Einfluss auf den Zeitbedarf der Waldarbeiter/des Harvesters?
- Kann erklärt werden, welche Bäume zugefällt werden müssen?
- Was sind die Kosten für das Verfahren?
- Wie schneiden die verschiedenen Verfahren im Vergleich der Leistung zueinander ab?

Die Exceltabellen aus den Zeitstudien und die Entnahmebaumtabellen wurden anschließend so aufbereitet, dass sie in das Statistikprogramm SAS eingelesen werden konnten. Nicht immer konnte gewährleistet werden, dass alle Arbeitszeiten an einem Baum erfasst wurden. Darauf deutet z. B. hin, wenn für den Arbeitsschritt „Fällung“ oder „Aufarbeiten“ keine Zeiten angegeben sind. Es wurden deshalb für die Zusammenhänge zwischen dem BHD und den Zeiten für die Arbeitsschritte Fällen und Aufarbeiten Quantil-Regressionen berechnet und die Bäume, deren Zeiten unterhalb des 10 %-Quantils lag als Ausreißer ausgeschlossen. Für jede Fallstudie wurde für jedes Verfahren mittels eines allgemeinen linearen Modells (GLM) der Einfluss der verschiedenen Variablen (BHD, Abstand zur Rückegasse, sichtbehindernde Verjüngung, Bewuchs, Biotopbäume und liegendes Totholz) auf den Zeitbedarf des Waldarbeiters/des Harvesters für die Gesamtarbeitszeit pro Baum, aber auch auf die einzelnen Arbeitsschritte (Waldarbeiter: Rüsten, Baum suchen, Freiräumen, Fällen, Zeit in der Rückweiche, Aufarbeiten/ Harvester: Leerfahrt, Baum anfahren, Fällen, Aufarbeiten) getestet. Da die Testvoraussetzungen der Normalverteilung der Residuen und ihrer Homoskedastizität oft nicht erfüllt sind, wurde die Signifikanz der erklärenden Variablen zusätzlich mit dem Verfahren Bootstrapping überprüft. Dieses Verfahren kommt ohne Rückgriff auf irgendeine angenommene konkrete Verteilung aus und erlaubt bessere und robustere Schätzungen für die Streuung der Parameter, womit auch die Signifikanztests zuverlässiger sind. Speziell wurde das BCa-Verfahren der Statistik-Software SPSS verwendet. Die Abkürzung steht für „Bias-corrected and accelerated.“ Die statistischen Ergebnisse bezüglich der einzelnen Arbeitsschritte werden nur zur Orientierung angegeben. Da die Zeitbedarfe zwischen den Arbeitsschritten oft korrelieren, müssen sie mit Vorsicht interpretiert und deren Interdependenz beachtet werden. Bei den kombinierten Holzernteverfahren wurde mittels einer logistischen Regression getestet, welche Bäume motormanuell und welche maschinell gefällt wurden.

Die Zeiten des Rückers wurden aufgrund der oft nicht ersichtlichen Baumnummern nur deskriptiv ausgewertet.

Die Auswertung der Bestandesschäden erfolgte nach Fäll-, Rücke- und Gesamtschäden pro Hektar.

Bei der Berechnung der Produktivität wurde das Erntevolumen bei der motormanuellen Arbeit der Forstwirte auf die aufgewendete Arbeitszeit bezogen (WPH = work personal hour). Zeiten, in denen die Forstwirte die Kamera ausgeschaltet hatten, wurden zur Arbeitszeit hinzugerechnet. Die Pausenzeiten umfassten fast immer mehr Zeit, als die gesetzlich vorgegebenen Pausen ausmachten. Die Pausenzeiten, welche die gesetzlich vorgeschriebenen Pausen überschritten, wurden als Erholzeiten gewertet und bei der Arbeitszeit mitberücksichtigt. Beim Einsatz von Maschinen wurde das Erntevolumen auf die produktiven Maschinenarbeitsstunden einschließlich von Unterbrechungen bis 15 Minuten Dauer (PMH15 = productive machine hour) bezogen.

Für die Kostenkalkulation der Maschinen wurde die Methode von Ackermann et al. (2014) verwendet. Ein Unternehmensgewinn ist in die Maschinenkosten nicht eingerechnet. Als Arbeitskosten für Forstwirtinnen und Forstwirte wurde pauschal der deutsche Durchschnitt an Arbeitskosten im Jahr 2020 von 36,70 Euro/Stunde veranschlagt (Stat. Bundesamt 2021). Für die Motorsägenlaufzeiten wurden beim motormanuellen Holzeinschlag pauschal 70 % der Zeit für das Freiräumen, 90 % der Fällzeit und 100 % der Aufarbeitungszeit kalkuliert. Als Motorsägenentschädigung wurde der tariflich gültige Satz von 5,07 Euro/ Stunde verwendet (TdL und IGBAU 2021).

III. Ergebnisse

1. Erzielte Ergebnisse

1.1 Ergebnisse der Analyse naturschutzfachlicher Anforderungen aus Schutzgebietskulissen und freiwilligen, betrieblichen Zielsetzungen auf die Holzernte und -bringung

Ziel der Untersuchung der naturschutzfachlichen Anforderungen ist es, Restriktionen für die Holzernte auf Grund bestehender Schutzgebietskulissen zu bewerten. Neben internationalen, nationalen und bundesländer-spezifischen Schutzkulissen, wurden auch aus der betrieblichen Zielsetzung heraus freiwillige Verpflichtungen mit in die Analyse aufgenommen.

Die Ergebnisse basieren im Wesentlichen auf einer Literatur- und Dokumentenstudie. Fallweise wurden Interviews mit Fachbehörden und weiterem Fachpersonal geführt. Bei der Analyse wurde darauf geachtet, dass insbesondere die Dokumente zu den konkreten Schutzgebietskulissen für die Versuchsflächen in den drei Bundesländern Bayern, Baden-Württemberg und Thüringen herangezogen wurden. Für eine Veranschaulichung der Kulissen wurde eine WebGIS-Anwendung entwickelt. Dieses als Prototyp entwickelte Tool erlaubt es, die Kulissen der Versuchsflächen zu visualisieren, Überlagerungen zu erkennen und bietet zudem Editierfunktion an.

Als Ergebnis zu den auf gesetzlichen Regelungen basierenden Schutzgebietskulissen lassen sich drei wesentliche, wenn auch vereinfachte, Erkenntnisse ziehen: Erstens schließen Kulissen mit einem sehr hohen Schutzstatus (Kerngebiet Biosphäre, Kernzone Nationalpark, Bannwald [Baden-Württemberg]) eine forstliche Nutzung nahezu vollständig aus. Eine Betrachtung der Einschränkung bei der Holzernte entfällt daher. Sonderaspekte, wie z.B. Randbereiche, temporäre Nutzung in sog. Entwicklungsnationalparks sind flächenmäßig unbedeutend. Zweitens sind für großflächige Schutzgebietskulissen (Naturparks, Landschaftsschutzgebiete) keine Restriktionen erkennbar. Wenn diese existieren, dann sind sie zumeist auf Überlagerungen durch andere Kulissen (z.B. Naturschutzgebiete) zurückzuführen. Drittens gibt es Kulissen, die im Einzelfall und basierend auf ihrer naturschutzfachlichen Besonderheit, Auswirkungen auf die Holzernte haben können. Dies trifft speziell auf Naturschutzgebiete (Befahrbarkeitseinschränkung feuchtegeprägter Naturschutzgebiete) oder in Managementplänen von Natura 2000-Flächen festgehaltene Bewirtschaftungseinschränkungen zu. Besonders ist, dass diese Auflagen nicht generell an die Kulisse, sondern an lokale und kulissenbezogene Besonderheiten geknüpft sind. Eine Verallgemeinerung und damit flächenmäßige Abschätzung von deren Größe ist nicht möglich.

Ebenfalls eine Besonderheit stellen die freiwilligen betrieblichen Verpflichtungen mit Wirkung auf die Holzernte dar. Hier wirkt die Zertifizierung als Selbstverpflichtung mit sehr starken Wirkungen auf die Holzernte. Zu nennen sind insbesondere Aspekte der Feinerschließung (Rückegassenabstand, Befahrbarkeit von Rückegassen) sowie waldbauliche Aspekte (Biotopbäume, Naturentwicklungsflächen und indirekt die Regelungen zum Pflanzenschutzmitteleinsatz). Interessant ist die Verflechtung von Zertifizierung als Maßnahmenbündel bei externer Evaluation mit intern gesetzten Regelungen zur Selbstverpflichtung, insbesondere im Staatswald. So finden sich bspw. Regelungen zur Feinerschließung zwar in der Zertifizierung wieder, wurden jedoch bereits vor einer Zertifizierung als Feinerschließungsrichtlinie im Rahmen einer vorbildlichen Staatswaldbewirtschaftung eingeführt.

Aus der Analyse lässt sich daher ableiten, dass aus den Betriebszielen resultierende Selbstverpflichtungen stärker in die Holzernteplanung und -durchführung eingreifen als dies, insbesondere in den großflächigen Kulissengebieten, der Fall ist.

Die Analyse der Lage von Schutzgebietskulissen zeigt eine oftmals bestehende Mehrfachüberlagerung von Kulissen. Kulissen-Hotspots können vielfache Kulissenüberlappungen aufweisen. Auch wenn oftmals nur eine Kulisse (oder sehr wenige) Relevanz für die Holzernte haben, kann für die Planung von Holzernte der Blick auf die „Kulissenvielfalt“ vorteilhaft sein.

Die ökonomischen Folgen, die durch einen Mehraufwand oder durch Mindererlöse entstehen, tragen zunächst die Waldbesitzenden. Fallweise werden diese aus Programmen der Länder (pauschal oder aufwandsbezogen) entschädigt. Eine Kompensation von Mehraufwänden und Mindererlösen erfolgt durch pauschale Förderangebote und spezifischer greifenden Vertragsnaturschutzförderungen. Der Weg zu einem fairen gesellschaftlichen Ausgleich ist somit eingeschlagen. Verbesserungen liegen in einer den spezifischen Einzelfall, bei ausreichender und anreizstiftender Höhe berücksichtigenden Kompensation. Gleichzeitig sollte dies mit vertretbarem Verwaltungsaufwand umsetzbar sein.

Eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse einschließlich der Darstellung des Prototypen eines WebGIS-Tools findet sich in einem getrennten Ergebnisdokument („Analyse naturschutzfachlicher Anforderungen aus Schutzgebietskulissen sowie freiwilligen, betrieblichen Zielsetzungen auf Holzernte und -bringung“).

1.2 Ergebnisse der standardisierten Verfahrensbeschreibung für die geeigneten Holzernteverfahren

Als Beispiel für die standardisierte Verfahrensbeschreibung dient hier die Beschreibung des Referenzverfahrens. Dies ist das Verfahren, welches als Basis für die Experteninterviews diente. Die veränderten Umstände, wie erweiterte Rückegassenabstände, Sichtbehinderung, Gehbehinderung durch Bewuchs, Biotopbäume und

Totholz, wurden nach und nach genannt und die erforderlichen Veränderungen im Holzernteverfahren erfragt. Alle diese abgewandelten Holzernteverfahren, die sich aus den Expertenbefragungen und -workshops ergeben haben, sind im Anhang zu den Inhalten des Berichts unter 2. Verfahrensbeschreibungen ausführlich beschrieben. Eine Diskussion über die Gründe für die ausgewählten und untersuchten Verfahren finden sich in Kapitel 1.4 Entscheidung über die zu untersuchenden Holzernteverfahren.

1.2.1 Vollmechanisierte Holzernte

Ziel der Maßnahme

Der Holzeinschlag erfolgt mit Harvestern, die mehrere Arbeitsablaufabschnitte (Fällen, Entasten, Einschneiden, Vorrücken) verrichten. Fällen und Einschneiden erfolgen grundsätzlich von der Rückegasse aus.

Der Forwarder rückt das Holz schließlich von den Raubeugen an der Rückegasse bis zum Lagerort an der Waldstraße (Abbildung 7).

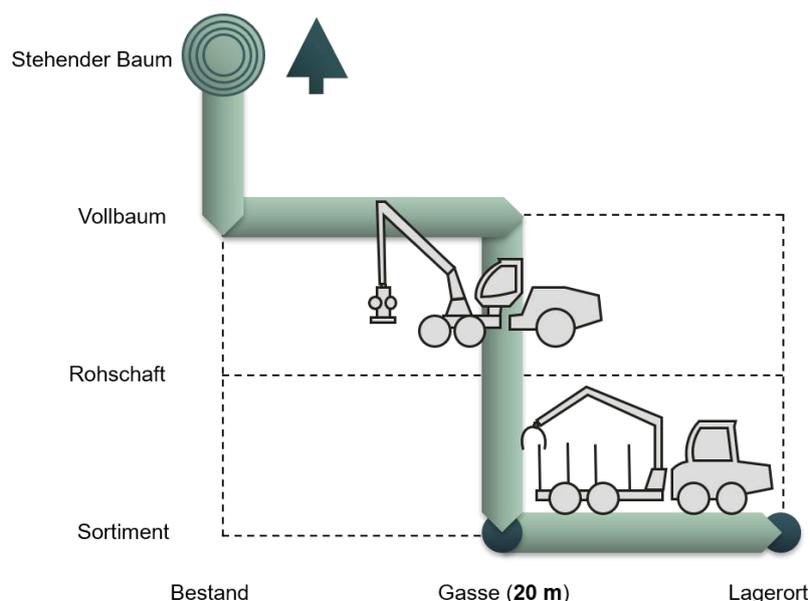


Abbildung 7: Funktionsdiagramm vollmechanisierte Holzernte

Einsatzbedingungen

Tabelle 10 zeigt, unter welchen Bedingungen bzw. bei welchen Voraussetzungen das vollmechanisierte Holzernteverfahren eingesetzt werden kann (grün unterlegte Zellen).

Tabelle 10: Angelehnt aus standardisierter Verfahrensbeschreibung

Baumarten- gruppe	BHD ausscheidender Bestand	Gelände- neigung	Störender Bewuchs	Gassen- abstände	Mittlere Rücke- entfernung
Laubholz	≤ 20 cm m. R.	≤ 35 %	Vorhanden	≤ 20 m	≤ 300 m
Fichte	20 - 35 cm m. R.	36 - 50 %	Nicht vorhanden	> 20 m	> 300 m
Kiefer	36 - 50 cm m. R.	> 50 %			
	≥ 50 cm m. R.				

Betriebsmittel

- Harvester, für den entsprechenden Durchmesserbereich und die entsprechende Geländeneigung geeignet
- Forwarder

Arbeitskräfte

- Qualifizierte Maschinenführer mit durchschnittlichem Übungsgrad

Arbeitsvorbereitung

- Deutliche Markierung der Entnahmebäume (evtl. wertvoller Zuwachsträger)
- In Raubeugen abgelegte Sortimente an der Rückegasse
- Ausweisen geeigneter Holzlagerplätze an der Waldstraße

Verfahrensablauf

- Fällen, Entasten und Aufarbeiten der ausgezeichneten stehenden Bäume durch Harvester
- Ablage der Sortimente an der Rückegasse
- Reisigarmierung der Rückegasse
- Sortimentsweises Rücken des an der Rückegasse abgelegten Holzes
- Poltern an zugewiesenen Holzlagerplätzen

Beurteilung des Verfahrens

Waldschutz

- Erhöhte Bestandsschäden durch Vollbaummanipulation bei Harvesteraufarbeitung möglich
- Einsatz des Harvesters wird durch Stärke des Holzes beschränkt
- Geringe Forstschutzrisiken durch Harvesteraufarbeitung
- Reisigarmierung auf der Gasse

Arbeitsschutz

- Der Maschinenführer verrichtet seine Arbeit in einer klimatisierten, lärm- und vibrationsarmen Kabine mit luftgefedertem Fahrersitz und ergonomisch ausgelegten Bedienelementen. Dieser Arbeitsplatz ist weitgehend witterungsunabhängig. Leistungsfähige Arbeitsbeleuchtung ermöglicht den Einsatz unabhängig vom Tageslichtangebot.
- Erhöhte psycho-mentale Belastung durch Ein-Personen-Arbeit.

Umweltverträglichkeit

- Da sowohl der Kranvollernter als auch der Forwarder ausschließlich auf der Rückegasse arbeitet, werden Bodenschäden reduziert und die technische Befahrbarkeit der Rückegasse durch die beim Entasten vor der Maschine entstehende Reisigmatte erhöht.
- Umweltverträglich bei Verwendung biologisch abbaubarer Hydraulikflüssigkeiten

Optimaler Einsatzbereich

- Dieses Arbeitsverfahren ist in einem breiten Spektrum einsetzbar, am besten geeignet sind Bestände in ebenen Lagen.
- Die Begrenzung des Einsatzbereiches durch BHD und Aststärke bestimmt die Leistungsklasse des Harvesters.

Literatur

Morat et al. 1998

1.3 Ergebnisse der Interviews

1.3.1 Holzernte ohne Strukturmerkmale bei geringen Rückegassenabständen

Aufgrund der für die vollmechanisierte Holzernte günstigen Arbeitsfeldbreiten oder Rückegassenabstände von 20 m werden zur Nadelholzernte Harvester verwendet, auch aufgrund ökonomischer und arbeitsschutzrechtlicher Überlegungen. Sollte der Dichtstand der Bäume einen reinen Harvestereinschlag unmöglich machen, kann motormanuelles Zufällen in Einzelfällen geboten sein. Bei der im Regelfall angewandten vollmechanisierten Holzernte werden die Nadelbäume nach der Fällung direkt an der Rückegasse entastet, gezopft und in Sortimente geteilt. Die Endrückung findet in jedem Fall mit dem Forwarder statt, abgesehen von Langholz, das mit dem Seilschlepper oder von Forstmaschinen mit Klemmbank an die Waldstraße gerückt wird.

Variante-reicher ist dem gegenüber die Laubholzernte, auch bei geringen Gassenabständen, bedingt durch die Wuchsform und Astigkeit der Laubbäume. Hier gibt es beispielsweise die Variante, dass ein teilmechanisiertes Arbeitsverfahren mit motormanuellem Fällen unterstützt von Seilschleppern zur Durchführung des Hiebs angewandt wird. Alternativ kann ein Forstwirt gemeinsam mit einem Harvester, den Bestand bearbeiten. Eine weitere Variante sieht erst einen Durchgang mit dem Harvester vor, gefolgt von zwei Forstwirten, die alle Bäume fällen, die für den Harvester unmöglich zu fällen waren. Die Aufarbeitung der Bäume erfolgt dann je nachdem, an der Rückegasse durch den Harvester oder im Bestand durch die Forstwirte. Endgerückt wird ebenfalls mit dem Forwarder oder mit einem Forstspeziialschlepper.

1.3.2 Einfluss von Strukturmerkmalen bei geringen Gassenabständen

Bei den Strukturmerkmalen bilden Habitatbäume eine besondere Gefährdung, da sie nicht in jedem Fall direkt als Gefahrenquelle erkannt werden können, im Vergleich zu sichtbehindernder Verjüngung oder liegendem Totholz. Dadurch haben sie neben den mehr oder weniger offensichtlichen Gefährdungen durch herabfallendes Kronentotholz auch das Potenzial unvorhersehbare, gefährliche Situationen herbeizuführen. Bedingt durch innere Fäulnis, die den Baum schon bei geringen Erschütterungen zerbrechen oder umstürzen lassen kann, ist auch ein Entgegenkommen von Baumteilen oder Ästen, entgegengesetzt der Fallrichtung des Baumes, möglich. Die Verwendung von mechanischen oder hydraulischen fernbedienbaren Fällhilfen kann hierbei den Arbeitsschutz verbessern (s. Abbildung 8).

Nur gelegentlich werden zu entnehmende Bäume stengelgelassen, sollte sich die Gefahr durch einen nahen Habitatbaum nicht ausschließen oder neutralisieren lassen. Habitatbäume wirken sich laut der Befragten beim Vorrücken als eine „prinzipielle Gefahr von oben“ aus. Insbesondere beim Manipulieren von Langholz, das gegen Habitatbäume mit Totästen schlagen könnte. Beim Endrücken hingegen fallen Habitatbäume nur ins Gewicht, sollten sie sich an Gassenein- und ausfahrten befinden, weil diese häufiger beim Endrücken von der Maschine oder dem gerückten Holz berührt werden. Instabile Habitatbäume könnten dadurch umstürzen oder zerbrechen.

Verstreut liegendes Totholz hingegen hat nach Ansicht der Experten keinen Einfluss auf die vollmechanisierte Holzernte. Lediglich bei motormanuellen Fällungen kann es zu erhöhter Sturzgefahr kommen sowie zu einer eingeschränkten Bewegungsfreiheit.

Naturverjüngung ist gemäß der Befragten in Baden-Württemberg ein zunehmend wichtigeres Thema geworden, wenn es um die Walderneuerung geht. Betrachtet man das Strukturmerkmal der sichtbehindernden Verjüngung mit 2 bis 3 Meter Höhe, und dessen Auswirkungen auf den Fällvorgang und die eingesetzten Betriebsmittel, wird die vorrangige Bedeutung dieses Merkmals auch für die Holzernte bei geringen Rückegassenabständen deutlich. In jedem Fall wird hohe Verjüngung vom in der Holzernte arbeitenden Personal als Störfaktor wahrgenommen, der für manche Befragte bedeutet, dass Einweiser für den Harvester eingesetzt werden müssen. Diese müssen dem Maschinenführer sagen, wo der nächste Baum ist oder gar den Baum motormanuell zufällen. Die Kosten für Fällung und Aufarbeitung steigen durch den erhöhten Personalaufwand und durch mehr Fahrbewegungen der Harvester, um markierte Bäume zu finden und verjüngungsschonend auf den Boden zu bringen. Auch das Vor- und Endrücken wird behindert, sodass gegebenenfalls Abschnitte übersehen werden und liegen bleiben. Auch müssen manchmal Suchfahrten durchgeführt werden, was ebenfalls zeitaufwändiger und damit teurer ist.



Abbildung 8: Mechanischer Fällkeil Forstreich TR300 - Foto: C. Winter, LWF

1.3.3 Einfluss eines erweiterten Rückegassenabstands

Erweiterte Rückegassenabstände bringen im Allgemeinen schon bei strukturarmen Beständen eine Vielzahl an Herausforderungen mit sich. Beispielsweise wirkt sich der erhöhte Personalaufwand zum Zufällen oder für die Seilunterstützung mittels Schlepper oder Raupe erkennbar auf die Dauer, den Organisationsaufwand und die Kosten der Hiebsmaßnahme aus (s. Abbildung 9). Darüber hinaus bedeutet der Einsatz von motormanuell arbeitendem Personal eine gesteigerte Gefährdung für die Angestellten.

Für die Fällung bei erweiterten Rückegassenabständen (üblicherweise 40 Meter, jedoch gab es bei der Befragung alle Abstände zwischen 30 und 60 m) werden in den meisten Fällen Forstwirte und Harvester in kombinierten Verfahren verwendet. In vielen Fällen, vorrangig allerdings in Bayern und Baden-Württemberg, werden zudem Seilschlepper oder Rückeraupen unterstützend eingesetzt. Sowohl die Reihenfolge des Einsatzes der Arbeitskräfte und Betriebsmittel als auch die Kombinationen, unterscheiden sich je nach Bestockungsgrad. Bei geringen Bestockungsgraden können die Forstwirte einen ersten Fälldurchgang machen und dabei die Bäume des Mittelblockes zur Rückegasse zufällen. Der Harvester kann dann in einem zweiten Durchgang die zugefällten Bäume aufarbeiten und gleichzeitig die Entnahme in der Kranzone durchführen.

Bei zu hohen Bestockungsgraden muss der Harvester im ersten Durchgang die Kranzone ausdünnen, sodass den Forstwirten im zweiten Durchgang genügend Raum gegeben ist, die Bäume des Mittelblockes zu Boden zu bringen. Gegebenenfalls wird ein Seilschlepper zum Abziehen aufgehängter Bäume oder für seilunterstützte Fällungen verwendet. In seltenen Fällen kommen Pferde zum Vorrücken zum Einsatz. Auch die Möglichkeit eines Harvesters mit Langkran wird angegeben, wobei hier die deutlich höheren Gewichte der Maschine beachtet werden müssen, damit diese nicht umkippen.

Darüber hinaus werden Maßnahmen wie „Einstechen“ mit der Maschine in den Bestand für bessere Standfestigkeiten, die Einführung von Mogelgassen oder der Einsatz von Winden genannt.



Abbildung 9: Seilunterstütztes Vorrücken mittels Raupe - Foto: S. Waas, LWF

Bei den befragten Betrieben in Thüringen werden in fast jedem Fall lediglich manuelle Fällkeile eingesetzt. In Bayern und Baden-Württemberg kommen dahingegen auch mechanische oder hydraulische Fällhilfen zum Einsatz, teilweise sind sie Funk-ferngesteuert.

Die genannten Seilschlepper können das Vorrücken von bereits im Bestand aufgearbeiteten Bäumen verrichten. Die Endrückung findet überwiegend mit dem Forwarder statt.

1.3.4 Einfluss durch Kombinationen von Strukturmerkmalen und Rückegassenabständen

Insbesondere in Bayern und Baden-Württemberg liegen eingängige Erfahrungen im Umgang mit erweiterten Rückegassenabständen und strukturreichen Beständen vor, da Rückegassenabstände über 20 m hier die Regel und nicht die Ausnahme darstellen. Daher kommen auch viele Vorschläge zur Durchführung und Verbesserung von Maßnahmen in diesen Beständen aus den beiden Ländern.

Bereits durch die Erweiterung der Rückegassenabstände müssen Forstwirte und Forstwirtinnen zum motormanuellen Zufällen eingesetzt werden. Hinzu kommen allerdings die Strukturmerkmale, die gerade für diese Personen eine große Gefährdung darstellen. Der Einsatz technischer Fällhilfen, etwa mechanische oder hydraulische Keile, aber auch Maschinen zum seilunterstützten Fällen sind in diesen Beständen unumgänglich. Sie ermöglichen das zu Fall bringen der Bäume aus einer sicheren Entfernung heraus. Allerdings hat das (erhöhte) Systemgewicht mechanischer oder hydraulischer Fällkeile wiederum einen (negativen) Einfluss auf die Ergonomie. Im Allgemeinen sollte, gemäß der Interviewten der Anteil von maschineller Holzernte erhöht werden, um die Zahl der Forstwirte auf der Fläche zu reduzieren. Weitere mögliche Maßnahmen zur Verbesserung der Holzernte in diesen Beständen wären laut der Befragten, klare betriebliche Naturschutzkonzepte und Arbeitsanweisungen für den Umgang mit solchen Strukturen, die Gruppierung der Biotopbäume anstatt der Einzelstellung, gut erkennbare Biotopbaummarkierungen und nicht zuletzt eine Priorisierung des Arbeitsschutzes gegenüber dem Naturschutz.

Am gefährlichsten erschienen den Befragten Bestände mit erweiterten Rückegassenabständen, in denen Habitatbäume mit Kronentotholz zu finden sind, bei gleichzeitiger sichtbehindernder Naturverjüngung (s. Abbildung 10). Hierbei müssen Forstwirte eingesetzt werden, um markierte Bäume aufzusuchen und gegebenenfalls verjüngungsschonend zu fällen. Diese können aus der Verjüngung heraus jedoch manchmal die Situation

nur schwer einschätzen und sind deshalb gefährdet, von Trockenästen getroffen zu werden oder gar Kolleginnen und Kollegen zu übersehen. Sicht-, Orientierungs- und Verständigungsprobleme sind deshalb vordringliche Herausforderungen, auch für das Maschinenpersonal.

Die möglichen Maßnahmen, um der sichtbehindernden Naturverjüngung in diesen Beständen zu begegnen, sind laut der Befragten vielfältig. Bereits bei der Hiebsorganisation kann ein ausführlicher Arbeitsauftrag angelegt werden, ergänzt durch eine (digitale) Erschließungskarte. Besonderheiten im Bestand können bereits an der Rückegasse angezeigt werden. Die Hiebsvorbereitung beinhaltet dann den Einsatz einer Teleskopstange beim Auszeichnen der Entnahmebäume und eine Vorbereitung der Rückegassen, gegebenenfalls durch Mulchen. Zur Vermeidung von Verjüngungsschäden könnten Baggerharvester oder schwere Radharvester mit Baumhaltezege zur Stehendentnahme verwendet werden. Im Laubholz sollten allerdings maximale Brusthöhendurchmesser von 45 bis 50 cm nicht überschritten werden. Auch die Verwendung von Kameras am Aggregat oder von Zopfsägen am Aggregat werden vorgeschlagen. In der motormanuellen Holzfällung sollten hingegen 2-Personen-Rotten gebildet werden, die immer über ein Helmfunksystem in Kontakt stehen. Außerdem ist auf die Anlage einer Rückweiche, trotz des erhöhten Zeitaufwandes nicht zu verzichten. Um die Verjüngung beim Vorrücken zu schonen, sollten Fixlängen ausgehalten werden. Bei integrierten Verfahren sollte neben der obligatorischen Sprechfunkverbindung auch ein Assistenzsystem im Harvester eingesetzt werden, um Personen im Gefahrenbereich anzuzeigen.



Abbildung 10: Sichtbehindernde Verjüngung - Foto: C. Winter, LWF

1.3.5 Verfahren im Hangübergangsgelände

Wird das Gelände steiler, werden Traktionswinden zur Traktionsunterstützung oder Schlepper mit Seilwinden eingesetzt. Auch Traktionsbänder sind hier von Nutzen. Je nach Gewinnaussicht im entsprechenden Bestand kann bereits in diesem Übergangsgelände der Einsatz eines Seilkranes sinnvoll sein. Auch das Zufällen durch Forstwirte kann sich hier, laut Aussage mancher Befragter, lohnen.

Wird der Rückegassenabstand auf 40 m erweitert, müssen in jedem Fall Forstwirtinnen und Forstwirte eingesetzt werden. Zudem wird der Einsatz eines Seilkranes noch attraktiver. Zwei Befragte würden hier Pferde zum Vorrücken einsetzen.

Die untersuchten Strukturmerkmale führen im Hangübergangsgelände zu erhöhten Gefährdungen, jedoch nicht zur Verwendung grundsätzlich anderer Arbeitsverfahren. Die Gefahren durch Habitatbäume bei der motormanuellen Fällung im Hang werden als sehr erheblich eingeschätzt.

1.3.6 Verfahren im Seilkrangelände

Überschreitet das Steigungsprozent die 60 % Marke, kann Holzernte nur noch mit Einsatz von Seilkran oder Yarder bodenschonend und sicher durchgeführt werden. Damit steigen auch Kosten, Aufwand und Erfahrungsbedarf erheblich an.

Hierbei werden im Regelfall zwei Personen im Hang eingesetzt, von denen eine die Bäume fischgrätenartig entgegengesetzt der Rückelinie fällt, sodass die zweite Fachkraft diesen dickkörtig an den Laufwagen des Seilkranes anhängen kann. So können auch Hänger vom Stock abgezogen werden. Gerückt werden vorzugsweise Vollbäume oder Rohschäfte, die dann am oberen Ende der Seillinie von einem Harvester oder Baggerharvester aufgearbeitet werden.

Da der größte Kostenpunkt dieser Verfahren das Auf- und Abbauen der Seillinie ist, sind erweiterte Rückegassenabstände bzw. Seillinien von mindestens 60 m Länge von Vorteil. Alle übrigen Strukturmerkmale erfordern zwar erhöhte Vorsicht bei der Arbeit, führen jedoch nicht zur Wahl eines anderen Holzernteverfahrens.

1.3.7 Verfahren auf befahrungssensiblen Böden

Die Betriebe wurden auch zur Wahl von Holzerntesystemen auf befahrungssensiblen Böden befragt. Dabei gaben einzelne Befragte in Thüringen an, hier Seilkräne zu verwenden, um den Boden nicht befahren zu müssen. Alternativ tendierten diese Unternehmen zu leichteren Maschinen, sofern vorhanden, oder dazu das Holz per Seilschlepper an den nächsten Weg zu ziehen. Allerdings gaben die meisten der Befragten an, keine Änderungen bezüglich der eingesetzten Maschinen vorzunehmen. Sehr wohl gaben mehrere der Befragten in Thüringen an, immerhin Moor- oder Tragbänder zu verwenden.

Hätten die Rückegassen auf diesen Flächen zusätzlich Abstände von 40 m, würde die Wirtschaftlichkeit von Seilkraneinsätzen, nach Angabe der Befragten, weiter steigen. Alternativ müsste darüber nachgedacht werden, die Holzerntemaßnahmen gänzlich zu unterlassen. Als letztes Mittel würden immerhin die Befahrungen so früh wie möglich eingestellt werden, um Grundbruch zu verhindern.

Die untersuchten Strukturmerkmale machen für die Holzernte jedoch keinen Unterschied und wirken sich nicht nachteiliger aus als auf befahrungsunempfindlichen Flächen.

Es wurde auch gefragt ob die Betriebe Maßnahmen vorschreiben, um Bodenschäden zu vermeiden. In jedem Fall wird, sofern möglich, eine Armierung der Rückegasse vorgenommen, was bei Laubholzeinschlägen allerdings schwierig ist. Ebenso werden Traktionsbänder in jedem der befragten Betriebe verwendet. Häufig werden Fahrten mit verringerten Gewichten durchgeführt und überbreite Reifen genutzt. Seltener sind tragende Bänder in der Verwendung. Allroundbänder, veränderte Reifeninnendrucke und Traktionshilfswinden werden in noch selteneren Fällen genutzt.

1.3.8 Sonstige Hinweise

Die Befragten gaben über die Wahl und Änderung der Verfahren hinaus noch Antworten bezüglich der generellen Auswirkungen durch naturschutzfachliche Anforderungen. In Bayern und Baden-Württemberg wird festgestellt, dass die Bevölkerung ein großes Interesse und daher gesteigerte kritische Aufmerksamkeit für Waldstrukturen und Bodenschutz an den Tag legt. Verdreckte Waldwege nach einer Hiebsmaßnahme würden daher teilweise aufwändig vermieden werden, indem man einen gebrochenen Transport vom Bestand an den Rückegasseneingang und dann vom Rückegasseneingang zum Polter vornimmt. Nicht beachtet wird hingegen, dass Naturschutz Geld kostet, was von der Gesellschaft wiederum nicht honoriert wird. Die Öffentlichkeitsarbeit ist daher ein wichtiger Aspekt, der momentan jedoch zu geringe Beachtung findet, geben die Befragten aus Baden-Württemberg an. Weiter berichten sie, dass der Konflikt teilweise auch von den Behörden auf die Forstamtsleitungen abgewälzt wird.

Neben den Strukturmerkmalen ergeben sich auch Herausforderungen durch Einschränkungen der Holzernte in Brut- und Setzzeiten. Die verfügbaren Monate zur Holzernte werden dadurch und durch milde Winter ohne Bodenfrosts stark eingeschränkt. Somit ergeben sich entgegengesetzte Trends, durch aufwändigere und länger andauernde Holzerntemaßnahmen auf der einen Seite und kürzer werdende Holzeinschlagsperioden auf der anderen Seite. Eine Folge davon sind Hiebsmaßnahmen im Spätsommer im belaubten Zustand. Neben den Einschlagszeiten sind auch die Erntemengen ein Faktor in naturnäheren Waldstrukturen. Geringere Holzmenge je Einschlagsort machen sowohl den Holzeinschlag teurer als auch die Holzabfuhr für die Käufer weniger rentabel.

Nicht zuletzt ist die Gewinnung qualifizierten und ortskundigen Personals eine große Herausforderung, sowohl für Landesforstbetriebe als auch für forstliche Dienstleister oder andere Waldbesitzerarten. Hier ergibt sich daher eine gegenläufige Entwicklung durch ansteigende Laubholzanteile, die mit erhöhtem personellem und qualifiziertem Aufwand bearbeitet werden müssen, auf der einen Seite und einem beständigen Personalabbau auf der anderen Seite. Zukünftig werden die Anforderungen an das motormanuell arbeitende Personal immer weiter steigen, geben die Befragten an. Und der Einsatz fremdländischen Personals wird als schwierig erachtet, da hier häufig die Qualifizierung sowohl für die Anwendung der angemessenen Verfahren (speziell im Umgang mit Starkholz) als auch für waldbauliche Entscheidungen fehle.

Die Berechnung von Zeitlohn in anspruchsvollen Beständen könnte eine Maßnahme sein, um dem Mehraufwand für Forstdienstleistungsunternehmen angemessen zu begegnen. Wichtig sind aber überdies regelmäßige Schulungen für Forstwirtinnen und Forstwirte, die Mischung der Rotten mit alten und jungen Personen für den Erfahrungsaustausch sowie ein rotierendes System für Zufäller und Maschinenpersonal mit Blick auf die Ergonomie und den Perspektivwechsel bzw. die Abwechslung im Arbeitsalltag.

1.4 Entscheidung über die zu untersuchenden Holzernteverfahren

Die Auswahl der zu untersuchenden Holzernteverfahren findet sich in nachfolgender Tabelle 11. Die in Tabelle 11 dargestellten Holzernteverfahren, die im Laufe dieses Vorhabens untersucht wurden, sind getrennt nach den angesetzten Rückegassenabstände aufgelistet. Es sollten möglichst Waldbestände in wenig geneigtem Gelände gefunden werden, um die Hangneigung als Einflussgröße weitgehend auszuschließen. Die Vorrückevarianten mit Pferd, Rückeraupe oder Schlepper konnten aufgrund der angespannten Holzmarktlage, bedingt durch die anhaltende Dürre- und Käferkalamität während der Projektjahre, nicht untersucht werden.

Tabelle 11: Auswahl der zu untersuchenden Holzernteverfahren im Projekt BestHarvest, nach Rückegassenabständen

20 m	30 m	40 m
Vollmechanisierte Holzernte	Harvestereinschlag und teilweise motor-manuelle Fällung Forwarder zum Endrücken	Königsbronner Starkholzverfahren
	Harvestereinschlag und teilweise motor-manuelle Fällung Vorrücken mit Schlepper, Rückeraupe oder Pferd. Forwarder zum Endrücken	Motormanueller Holzeinschlag Vor- und Endrücken durch Schlepper
		Motormanueller Holzeinschlag Vorrücken durch Schlepper Forwarder zum Endrücken
	Motormanueller Holzeinschlag mit Schlag-schrauber-/ferngesteuertem Fällkeil Vorrücken mit Schlepper Forwarder zum Endrücken	Motormanueller Holzeinschlag (Schlagschrauber-Fällkeil) Vorrücken durch Schlepper
		Motormanuelle Laubstarkholzernte im belaubten Zustand mit integrierter Rückung von Rohschäften

Als Referenz mit der geringsten Verfahrenskomplexität diente die vollmechanisierte Holzernte sowohl in Beständen ohne naturschutzfachliche Strukturmerkmale als auch mit den definierten Strukturmerkmalen (erweiterte Rückegassenabstände, Biotopbäume, sichtbehindernde Verjüngung, liegendes Totholz). Wie im Stand der Technik bereits dargelegt, stellt dieses Verfahren die mit Abstand sicherste Variante für die Fachkräfte auf der Fläche aller Holzernteverfahren dar. Zudem sind beim geringsten Rückegassenabstand von 20 m die höchsten Mengenleistungen und somit geringsten Holzbereitstellungskosten realisierbar. Demgegenüber sprechen Schweier, Berendt und Klein (2020) die verringerte bewirtschaftbare Fläche aufgrund der Menge an Rückegassen an. Auch der Effekt der Bodenverdichtung auf das Wurzelwachstum der Gassenrandbäume und die damit verminderte Bestandesstabilität und -vitalität müssen beachtet werden.

Bei einer Erweiterung der Rückegassenabstände um rund zehn Meter ist bereits der Einsatz von motormanuell arbeitenden Forstwirten und Forstwirtinnen zum Zufällen in die Kranzone notwendig. Die Auswirkungen auf Kosten und Leistungen des Verfahrens mit dem vollmechanisierten Referenzverfahren lassen sich hierbei noch am besten vergleichen. Die deutliche Reduktion der Arbeitssicherheit für am Verfahren beteiligtes Personal fällt zwar nicht ökonomisch, jedoch bei weiteren Abwägungen ins Gewicht. Dabei ist zu beachten, dass die ohnehin gefährliche Tätigkeit der motormanuellen Holzfällung und Entastung durch die naturschutzfachlichen Strukturmerkmale wie sichtbehindernde Naturverjüngung, liegendes Totholz und stehenden Habitatbäume, noch einmal verschärft wird. Zudem zeigte bereits Bacher-Winterhalter (2004) einen negativen Einfluss der Verjüngung und Bestandesstruktur auf die Leistung der Forstwirte, insbesondere auf die Fortbewegung. Und auch der hier ebenfalls eingesetzt Harvester wird bei den Vorgängen Greifen und Fällen nachweislich durch die Unübersichtlichkeit des Bestandes „ausgebremst“ (ebenda).

Das Königsbronner Starkholzverfahren (KSV) ist ein spezielles Verfahren, welches in Baden-Württemberg explizit als Antwort auf die weiten Rückegassenabstände von 40 m und die unübersichtlichen Dauerwaldstrukturen zur sicheren Ernte von Nadelstarkholz entwickelt wurde. Dadurch, dass die vorzufällenden Bäume zu zweit oder dritt in einer Linie – und damit sehr nah beieinanderstehen – und mit der Krone möglichst auf der Rückegasse zum Liegen kommen sollen, sollen diese in dieselbe Schneise geworfen werden. Hierdurch ergeben sich mehrere Vorteile für das Verfahren: Die Verjüngung wird geschont, da weniger Fläche von den Kronen der zugefallten Bäumen „zerschlagen“ wird, sodass die Löcher in der Verjüngung relativ schnell von den umstehenden Bäumen geschlossen werden können. Gleichzeitig ergibt sich so ein strukturierender Effekt für die Naturverjüngung durch die kleinräumig veränderte Konkurrenzsituation. Darüber hinaus haben die Forstwirte und Forstwirtinnen nach dem Fällen des ersten Baumes einer Gruppe ein klares Ziel, wohin die übrigen Bäume der Gruppe gefällt werden sollen. Dies kann die Entscheidungsschwierigkeit über die Fällrichtung für jeden einzelnen Baum verringern. Dadurch, dass die Bäume motormanuell nur gezopft werden, läuft der Harvesterfahrer zudem nicht Gefahr Baumabschnitte im Bestand zu übersehen und liegen zu lassen. Die

motormanuelle Fällung der Bäume wird zeitlich von der Prozessierung durch den Harvester entkoppelt, wodurch die Gefahren des zeitgleichen Arbeitens von Forstwirten und Maschinen auf diesen unübersichtlichen Flächen vermieden wird. Nachteilig ist, dass alle Bäume motormanuell gefällt werden und damit der gefährlichste und unfallträchtigste Ablaufabschnitt in der Holzernte weiterhin von Menschen ausgeführt wird.

Für die erweiterten Rückegassenabstände mit 30 m wurde darüber hinaus ein weiteres Verfahren mit Unterstützung von Vorrückemitteln ausgesucht. Hierdurch sollte der Effekt des Vorrückemittels auf Kosten, Leistung und Pflughigkeit des Verfahrens im direkten Vergleich mit den ähnlichen Verfahren ohne Vorrückemittel herausgearbeitet werden. Dieses Verfahren konnte leider nicht realisiert werden. Es wurde jedoch noch ein Verfahren mit motormanuellem Holzeinschlag unter Verwendung fernbedienbarer Fällkeile untersucht.

Auch für die erweiterten Rückegassenabstände von 40 m wurde ein weiteres Verfahren gewählt. Dieses verzichtet auf den Einsatz eines Harvesters und nutzt stattdessen motormanuell arbeitende Forstwirtinnen und Forstwirte, die mit Fällhilfen ausgestattet sind. Die Arbeiten von Schnaitter (2019) und Franz (2020) stellten bereits die ergonomischen Vorteile, ebenso wie die Gewinne bezüglich der Arbeitssicherheit deutlich heraus. Es sollten daher in dieser vergleichenden Studie auch die Kosten, Leistungen und Pflughigkeit eines Verfahrens unter Einsatz mechanischer, funk-ferngesteuerter Fällhilfen untersucht werden. Das Holz muss dann zusätzlich durch einen Schlepper an die Rückegassen geseilt werden, was laut Findeisen (2017) zu einer deutlichen Kostensteigerung führen kann. Vergleichbar hiermit ist auch das Todtmooser Verfahren.

Im Laufe der guten Zusammenarbeit mit ForstBW wurde während der Untersuchung zusätzlich außerdem ein Rohschaffverfahren der Verfahrenswahl hinzugefügt. Unter den Forstwirten, die dieses Verfahren selbst empfehlen, wird es als „T-Shirt Buche“ bezeichnet. Das hängt damit zusammen, dass dieses Verfahren im September im Laubholz durchgeführt wird, wenn die angenehm warme Witterung das Tragen leichterer Kleidung beim Holzeinschlag noch erlaubt und weniger Gefahr durch das Ausrutschen bei feuchter Witterung besteht. Kritisch anzumerken ist dennoch die Unübersichtlichkeit der Gefahrenzone aufgrund der noch vollständigen Belaubung um den zu fallenden Baum herum. Wie auch beim KSV werden die Bäume mit der Krone auf die Rückegasse gefällt, was eine Schonung der Verjüngung bedeutet und das Verfahren damit pfleglicher macht. Anschließend wird die Krone grob abgetrennt. Mit einem Klemmbankschlepper werden die Rohschäfte und das dickere Kronenmaterial an die Waldstraße gerückt, wo sie dann an einem fixen Ort entastet und abgelängt werden. Hierdurch verringert sich die Stolpergefahr beim Bearbeiten der Bäume im Bestand enorm, es entsteht eine angenehme Arbeitshöhe und die Gefahr durch Spannungen im Geäst wird durch das Rücken zur Waldstraße minimiert. Da die naturschutzfachlichen Anforderungen im Waldbau häufig mit einer Steigerung des Laubholzanteiles in der Zukunft einhergehen, erscheint die kritische Untersuchung dieses vorerst als „Laubstarkholzernte im belaubten Zustand“ bezeichnete Verfahren angebracht und vielversprechend für einen zukünftigen Einsatz.

Verfahren mit Raupen-Harvestern oder Verfahren für Hanglagen mit Traktionshilfswinden oder Kurzstrecken-seilkran waren für die Zeitstudien zwar vorgesehen, konnten allerdings aufgrund der bereits erwähnten Kalamitätsbedingungen nicht untersucht werden.

1.5 Untersuchte Fallstudien

1.5.1 Thüringer Schiefergebirge

Verfahren

Vollmechanisierte Holzernte in einem Fichten-Kiefern-Jungbestand mit wenig sichtbehindernder Naturverjüngung bei einem Rückegassenabstand von 20 m (s. Abbildung 11 und Tabelle 12).

Dieses Verfahren wurde in den Interviews als Referenzverfahren (sehr einfache Verhältnisse, keine Strukturmerkmale vorhanden) definiert. Im Laufe des Interviews wurden dann diesem Referenzverfahren schrittweise Strukturmerkmale hinzugefügt, um im Gedankenexperiment die zu untersuchenden Verfahren herauszuarbeiten.

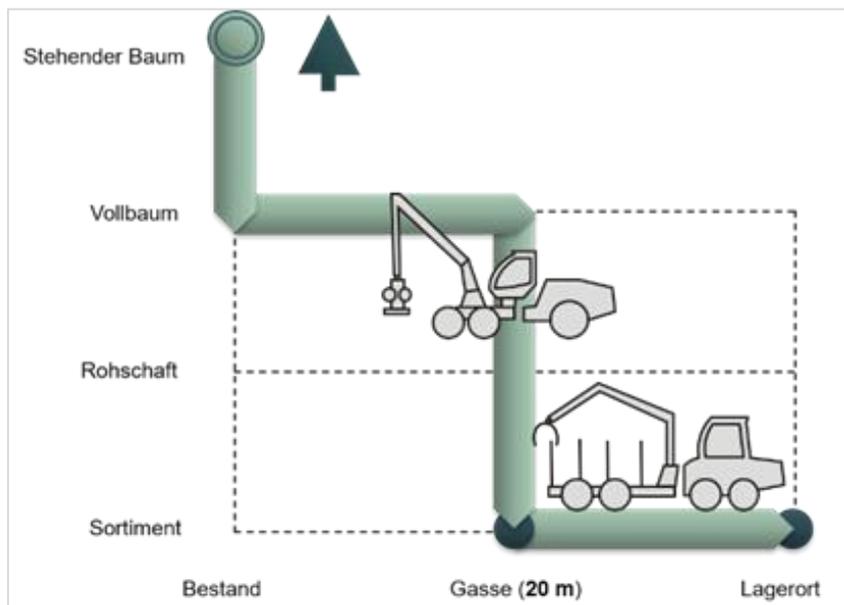


Abbildung 11: Funktiogramm Thüringer Schiefergebirge

Tabelle 12: Naturaldaten, Erschließung und Hiebsdurchführung Thüringer Schiefergebirge

Naturaldaten	
Hangneigung [%]	4
Bestandesform	Mischbestand
Baumartenzusammensetzung	Kie 50, Fi 45, Lä 5
Schichtung	1-2-schichtig
Schlussgrad	gedrängt bis geschlossen
Durchschnittliche Baumhöhe [m]	20
Natürlicher Entwicklungsabschnitt	Jungbestand bis geringes Baumholz
Nutzungsart	Jungdurchforstung
Bestandesvorrat [Efm/ha]	250
(Natur-) Verjüngung [%]	Fi 100 auf Teilfläche
Erschließung und Hiebsdurchführung	
Hiebsgröße [ha]	3,3
Entnahmemenge [Efm/ha]	33,1
Entnommene Bäume pro ha	146,5
Mittlerer BHD [cm]	18
Maximaler BHD [cm]	31
Rückegassenabstand [m]	20

Schutzgebietskulissen

Die ca. 3,3 ha große Bearbeitungsfläche liegt im Naturpark "Thüringer Wald" und in dem gleichnamigen Landschaftsschutzgebiet. Zudem ist das FFH-Gebiet "Schwarzatal ab Goldisthal mit Zuflüssen" ausgewiesen, in dem auch das Vogelschutzgebiet "Nördliches Thüringer Schiefergebirge mit Schwarzatal" angesiedelt ist.

Für die Versuchsfläche relevante Schutzgebietskulissen sind:

1. Naturpark
2. Landschaftsschutzgebiet
3. FFH-Gebiet
4. Vogelschutzgebiet

In einem Umkreis von 5 km sind zusätzlich zahlreiche im Rahmen der Biotopkartierung erfasste Flächen und Naturschutzgebiete ausgewiesen. Die Fläche liegt knapp einen Kilometer außerhalb der "Nutzungsverzichtszone Thüringen". Flächen dieser Kategorie sind bis 2029 komplett aus der Nutzung zu nehmen.

Ausprägung der untersuchten Variablen

Der mittlere BHD der 235 durch die Zeitstudie erfassten Bäume betrug 18 cm mit einer Streuung von $\pm 25\%$ ². Zu 52 % handelte es sich um Fichten, 44 % Kiefern und 4 % Lärchen. Die entnommenen Bäume hatten zu 38 % einen Abstand von bis zu 5 m von der Rückegasse, zu 45 % bis zu 10 m und zu 17 % noch mehr. Nur bei 10 % der Bäume gab es im Umfeld sichtbehindernde Verjüngung. Bei 6 % der Bäume wurde die Sichtbehinderung der Stufe 1, bei 4 % der Stufe 2 zugeordnet. Biotopbäume und liegendes Totholz kamen im Umfeld der Entnahmebäume nicht vor.

Einfluss der Variablen auf die Leistung

Bei der vollmechanisierte Holzernte im Nadelholz verlängert sich die Gesamtarbeitszeit des Harvesters pro Baum signifikant, wenn es eine Fichte ist. Sie verkürzt sich signifikant, wenn sichtbehindernde Naturverjüngung vorhanden ist (Tabelle 13).

Tabelle 13: Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs des Harvesters insgesamt und für einzelne Arbeitsschritte in der Fallstudie Thüringer Schiefergebirge

Parameter	Leerfahrt	Baum anfahren	Fällung	Aufarbeiten	Gesamt
Fichte			*/+/ 3 %	*/+/ 6 %	*/+/ 4 %
BHD (cm)				*/+/ 2 %	
Abstand RG (m)					
VJ					*-/ 2 %
R² gesamt			2,6 %	7,6 %	6,2 %

* = Irrtumswahrscheinlichkeit < 5 %, ** = < 1 %, *** = < 0,1 %, +/- = Vorzeichen der Koeffizienten, % = Anteil an der Erklärung der Streuung, RG = Rückegasse, VJ = sichtbehindernde Verjüngung, R² = Bestimmtheitsmaß

Die Arbeitsschritte „Leerfahrt“ und „Baum anfahren“ werden von keiner Variablen signifikant beeinflusst. Der Arbeitsschritt „Leerfahrt“ kommt allerdings auch nur in 3 % der Fälle vor. Das Fällen dauert signifikant länger, wenn es sich um eine Fichte handelt. Das Aufarbeiten dauert signifikant länger, wenn es eine Fichte ist und je größer der BHD ist.

Die Ergebnisse bezüglich der Arbeitsschritte „Fällung“ und „Aufarbeiten“ erscheinen plausibel, da die entnommenen Fichten durchschnittlich dicker waren als die Kiefern. Zudem haben Fichten entlang des Stammes meist mehr Äste als Kiefern, die die längere Zeit beim Aufarbeiten erklären. Bei der Beurteilung der Signifikanz bezüglich einzelner Arbeitsschritte ist zu beachten, dass diese nicht unabhängig voneinander sind. Maßgeblich für die Bewertung des Verfahrens sind die Zusammenhänge der Variablen zur insgesamt für den Zyklus aufgewendeten Zeit. Dass bei der Gesamtarbeitszeit bei dem Vorkommen sichtbehindernder Naturverjüngung signifikant weniger Zeit benötigt wird, ist nicht plausibel, jedoch ist der Anteil an der erklärten Streuung mit 2% sehr gering.

Produktivität (Efm/Std) des Verfahrens

Die Produktivität des Harvesters betrug 4,7 Efm/PMH₁₅³. Die Verteilung der Arbeitszeit der Maschine auf die verschiedenen Arbeitsschritte ist in Abbildung 12 dargestellt. Der Harvester benötigte im Durchschnitt 2 Minuten pro Baum mit einer Streuung von $\pm 2,4$ Minuten. Die Produktivität des Forwarders berechnet aus Zeitmischrieben des Maschinenführers und lag ohne Pausen bei 7,33 Efm je Stunde.

² Variationskoeffizient

³ PMH₁₅ = produktive Maschinenarbeitsstunde einschließlich Unterbrechungen bis 15 Minuten.

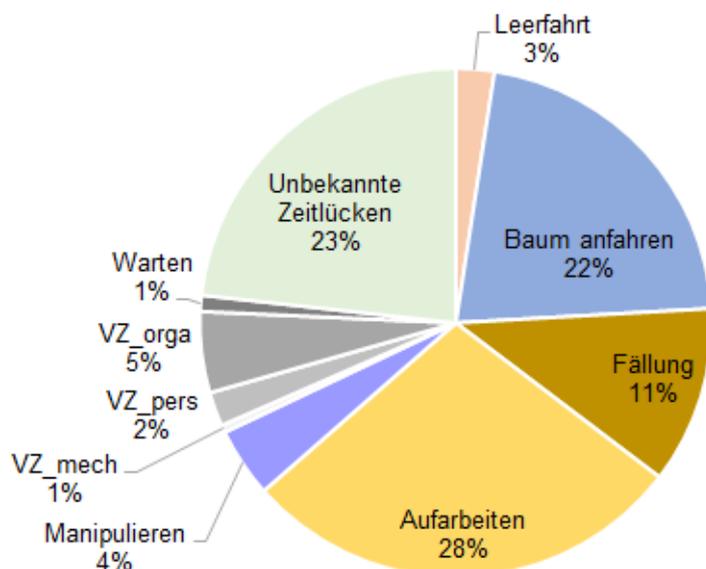


Abbildung 12: Verteilung der Zeit auf verschiedene Arbeitsschritte

Kosten

Als Harvester wurde ein John Deere 1270 eingesetzt. Dessen Kosten wurden mit 138 €/PMH kalkuliert. Die Kosten des Harvesters in dieser Fallstudie belaufen sich auf 29,18 €/Efm.

Auswirkung des Verfahrens auf den verbleibenden Bestand

Der verbleibende Bestand hatte nach den Erhebungen auf neun Probekreisen eine durchschnittliche Dichte von 1.093 Bäumen pro ha. Im Mittel hatten 55 Bäume/ha einen Fällungsschaden, also 5 % des verbleibenden Bestandes. Manche Bäume wiesen mehrere Schäden auf, sodass im Durchschnitt 93 Fällschäden je ha vorkamen. Ein Rückeschaden wurde nur an einem Baum festgestellt. Auf fünf der neun Probekreise wurde Verjüngung festgestellt, deren Deckung dort auf Werte zwischen 50 und 80 geschätzt wurde. Auf zwei der Probekreise wurden Schäden an der Verjüngung beobachtet.

Diskussion

Aufgrund der Vollmechanisierung bietet dieses Arbeitsverfahren die maximal mögliche Arbeitssicherheit bei der Holzernte. Allerdings waren nicht alle entnommenen Bäume innerhalb der Kranreichweite. Es konnte beobachtet werden, dass der Harvester mehrfach von der Rückegasse aus etwas in den Bestand einbog, um entfernter stehende Bäume zu erreichen. Dies mag daran liegen, dass in Thüringen die Rückegasse-Abstände zwar 20 m betragen sollen, aber die Abstände ausgehend von den Rändern der Gassen gemessen werden (TMLNU 2008). Von der Kranposition in der Mitte der Rückegasse aus, sind somit nicht alle Bäume erreichbar. Das "Einstechen" der Maschine in den Bestand kann nachteilige Wirkungen auf den Boden haben. Es konnte kein statistisches Modell gefunden werden, das einen nennenswerten Anteil der Streuung im Zeitbedarf des Harvesters erklären konnte, obgleich die Streuung durchaus groß war. Selbst der Durchmesser der Bäume zeigte keinen signifikanten Zusammenhang zum Gesamtzeitbedarf. Die Verjüngung in dem Bestand war offenbar zu gering, um zu Verzögerungen beim Arbeitsfortschritt zu führen. Dass der Zeitbedarf mit Verjüngung im Umfeld der Bäume sogar signifikant geringer war, wird als Zufall gewertet. Eine plausible Erklärung dafür gibt es nicht. Der Anteil von Fällungsschäden erscheint auch im Hinblick auf die noch hohe Bestandesdichte als gering. Die insgesamt geringe Produktivität sowie die hohen Kosten je Festmeter beruhen auf der sehr geringen Stückmasse in dieser Jungdurchforstung sowie auf die hohe Bestandesdichte.

1.5.2 Fränkische Platte

Verfahren

Motormanueller Holzeinschlag und Aufarbeitung in einer gekoppelten Zwei-Personen-Rotte (Forstwirt 1 bereitet Baum vor und führt Fällschnitt aus, Forstwirt 2 setzt Schlagschrauber-/ferngesteuerten Fällkeil, Forstwirt 1 durchtrennt Halteband, gemeinsames Aufarbeiten bei großen Bäumen) eines Buchen-Eichen-Hainbuchen-Bestandes mit Vorrücken von Industrieholz und Vor- und Endrücken von Stammholz durch einen Seilschlepper und Rückung von Industrieholz durch Forwarder mit schwach sichtbehindernder Naturverjüngung bei einem Rückegassenabstand von 30 m.

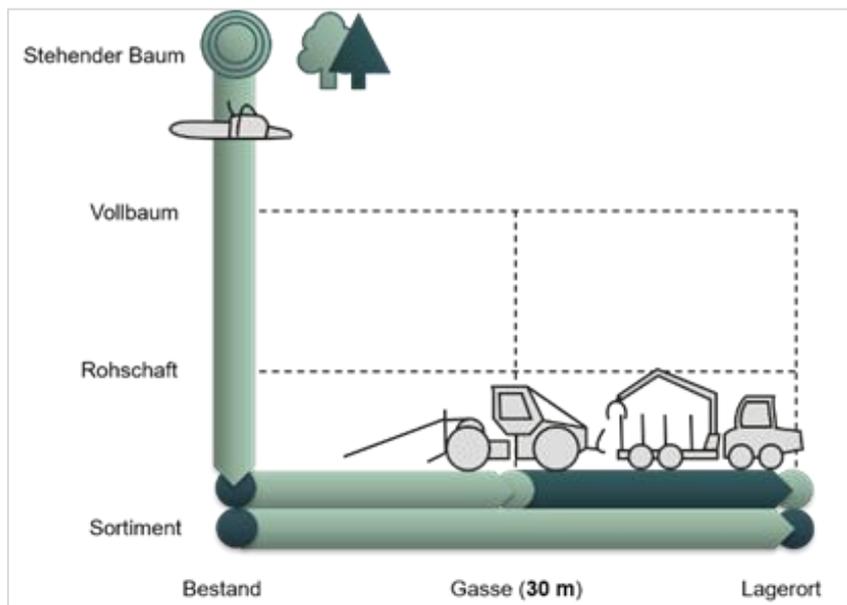


Abbildung 13: Funktiogramm Fränkische Platte

Tabelle 14: Naturaldaten, Erschließung und Hiebsdurchführung Fränkische Platte

Naturaldaten	
Hangneigung [%]	2
Bestandesform	Mischbestand
Baumartenzusammensetzung	Bu 55, Ei 20, Hbu 10, Li 5, SLb 5, Fi 5
Schichtung	zweischichtig
Schlussgrad	gedrängt bis licht
Durchschnittliche Baumhöhe [m]	25
Natürlicher Entwicklungsabschnitt	mittleres bis starkes Baumholz
Nutzungsart	Langfristige Behandlung
Bestandesvorrat [Efm/ha]	277
(Natur-) Verjüngung [%]	Bu 100 auf Teilfläche
Erschließung und Hiebsdurchführung	
Hiebsgröße [ha]	4,7
Entnahmemenge [Efm/ha]	58,5
Entnommene Bäume pro ha	35,1
Mittlerer BHD [cm]	25
Maximaler BHD [cm]	75
Rückegassenabstand [m]	30

Schutzgebietskulissen

Die 4,7 ha große Bearbeitungsfläche selbst liegt in keiner der erhobenen naturschutzfachlichen Kategorien, grenzt aber an das FFH-Gebiet "Wässernachtal" und dem Landschaftsschutzgebiet "Wässernachtal im Landkreis Haßfurt". Zudem sind im Rahmen der Biotopkartierung mehrere Feuchtgebiete und Schützenswerte Wiesen erfasst. In 2 km Entfernung liegt das Trinkwasserschutzgebiet der Wasserverwaltung Wiesbach.

Für diese Versuchsfläche ist keine der im Rahmen der Studie erfassten Schutzgebietskulissen relevant.

Ausprägung der untersuchten Variablen

Es wurden 159 entnommene Bäume bei der statistischen Auswertung berücksichtigt. Die entnommenen Bäume waren zu 57 % Buchen, 23 % Hainbuchen, 16 % Fichten und der Rest Linde und Eiche. Der mittlere

BHD dieser Bäume war 26 cm mit einer rechtsschiefen Verteilung (Abbildung 14). Der Abstand der entnommenen Bäume zur nächsten Rückegasse betrug im Mittel 15,4 m und maximal 45 m. Im Umfeld von 16 % der Bäume wurde sichtbehindernde Verjüngung festgestellt, die ganz überwiegend der Stufe 1 zugeordnet wurden. Bei 37 % der Bäume wurde liegendes Totholz im Umkreis festgestellt, das ganz überwiegend (34 %) der Stufe 1 zugeordnet wurde. Nur in zwei Fällen wurden Biotopbäume im Umfeld der Entnahmebäume erfasst.

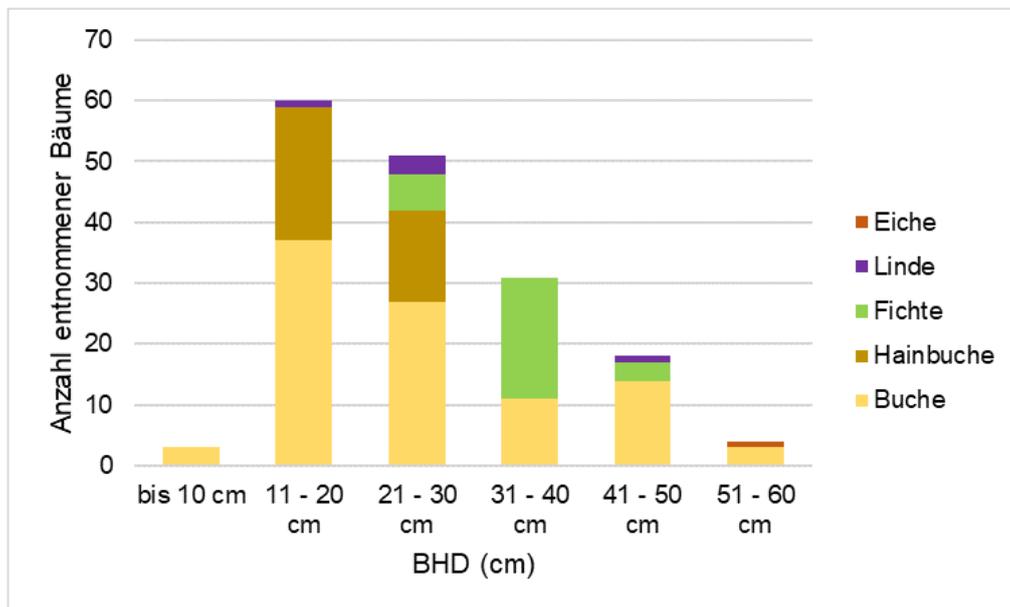


Abbildung 14: Verteilung der entnommenen Bäume in der Fränkischen Platte nach Baumarten auf Durchmesserstufen

Einfluss der Variablen auf die Leistung

Die Gesamtarbeitszeit des Forstwirtes pro Baum beim Holzernteverfahren mit motormanueller Fällung, Aufarbeitung, dem Vorrücken mit Seilschlepper und Poltern mit dem Forwarder verlängert sich signifikant, je größer der BHD ist und wenn der Baum eine Fichte ist (Tabelle 15).

Tabelle 15: Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs der Forstwirte insgesamt und für einzelne Arbeitsschritte in der Fallstudie Fränkische Platte

Parameter	Rüsten	Baum suchen	Freiräumen	Fällung	Rückweiche	Aufarbeiten	Gesamt
Fichte				**/+ 1 %		*/+ 2 %	*/+ 1 %
Hainbuche							
sLbh					*-/ 2 %	*-/ 1 %	
BHD (cm)	**/+ 7 %	***/+ 26 %	***/+ 21 %	***/+ 65 %	***/+ 45 %	***/+ 73 %	***/+ 79 %
Abstand RG (m)					*/+ 2 %		
VJ							
Biotopbaum		*-/ 2 %			**-/ 2 %		
Totholz							
R² gesamt	7,4 %	26 %	20,5 %	66,6 %	50,9 %	75,5 %	80,2 %

* = Irrtumswahrscheinlichkeit < 5 %, ** = < 1 %, *** = < 0,1 %, +/- = Vorzeichen der Koeffizienten, % = Anteil an der Erklärung der Streuung, SLhb = sonstiges Laubholz, RG = Rückegasse, VJ = sichtbehindernde Verjüngung, R² = Bestimmtheitsmaß

Für den Arbeitsschritt „Rüsten“ verlängert sich signifikant die Zeit, je dicker der Baum ist. Dieser macht jedoch nur 2 % der Gesamtarbeitszeit aus und kann daher vernachlässigt werden. Der Arbeitsschritt „Baum suchen“, dauert signifikant länger, je dicker der Baum ist und verkürzt sich signifikant, wenn ein Biotopbaum in der Nähe

ist. Das Freiräumen benötigt signifikant mehr Zeit, je dicker der Baum ist. Das Fällen dauert ebenso signifikant länger, je dicker der Baum ist und wenn es sich um eine Fichte handelt. Die Zeit in der Rückweiche verlängert sich signifikant, je größer der BHD und der Abstand zur Rückegasse ist. Sie verkürzt sich, wenn es sich bei der Baumart um sonstiges Laubholz handelt und Biotopbäume in der Nähe sind. Die Aufarbeitungszeit verlängert sich signifikant mit der Zunahme des BHDs und wenn es sich um eine Fichte handelt.

Die Ergebnisse erscheinen plausibel, jedoch kann der Einfluss des sonstigen Laubholzes auf die Zeit in der Rückweiche komplett vernachlässigt werden, da dieser nahezu 0 % beträgt. Warum signifikant weniger Zeit in der Rückweiche verbracht wird, wenn ein Biotopbaum in der Nähe ist, was unseren Annahmen, dass mehr Zeit aufgrund von Vorsicht benötigt wird, widerspricht, könnte damit erklärt werden, dass sich die Forstwirte mehr beeilen, weil sie Angst vor herunterfallendem Ästen haben. Jedoch erklärt die Nähe von Biotopbäumen hier nur 2 % der Streuung. Außerdem waren nur in zwei Fällen Biotopbäume im Umfeld von entnommenen Bäumen. Angesichts dieser geringen Häufigkeit sollten besser keine Schlüsse aus dieser Beobachtung gezogen werden. Je näher Bäume an der Rückegasse stehen, desto geringer ist der Zeitbedarf für die Rückweiche. Dies könnte an dem größeren Freiraum liegen, den die Rückegasse bietet. Dass beim Aufarbeiten mehr Zeit benötigt wird, wenn es sich um eine Fichte handelt und der BHD größer wird, kann dadurch erklärt werden, dass an einem Nadelbaum mehr Äste sind und somit mehr entastet werden muss als an einem Laubbaum. Man könnte erwarten, dass die sichtbehindernde Verjüngung das Freiräumen verlängert, da sie aber nur schwach vorhanden ist, ist es plausibel, dass sie diesen Arbeitsschritt nicht signifikant beeinflusst. Den stärksten Effekt auf die Gesamtarbeitszeit und die einzelnen Arbeitsschritte hat der BHD, der 79 % der Streuung erklärt.

Produktivität (Efm/Std) des Verfahrens

Die Stückmasse beträgt 0,6 Efm. Es wurden 7 Bäume pro Stunde aufgearbeitet. Der Zeitbedarf je Baum beträgt 8,6 Minuten. Die Produktivität beträgt 4,0 Efm/MPH.⁴ Die Verteilung der Arbeitszeit auf die verschiedenen Arbeitsschritte ist in Abbildung 15 Abbildung 16 dargestellt.

Die Produktivität des Schleppers liegt bei 29 Efm/PMH.

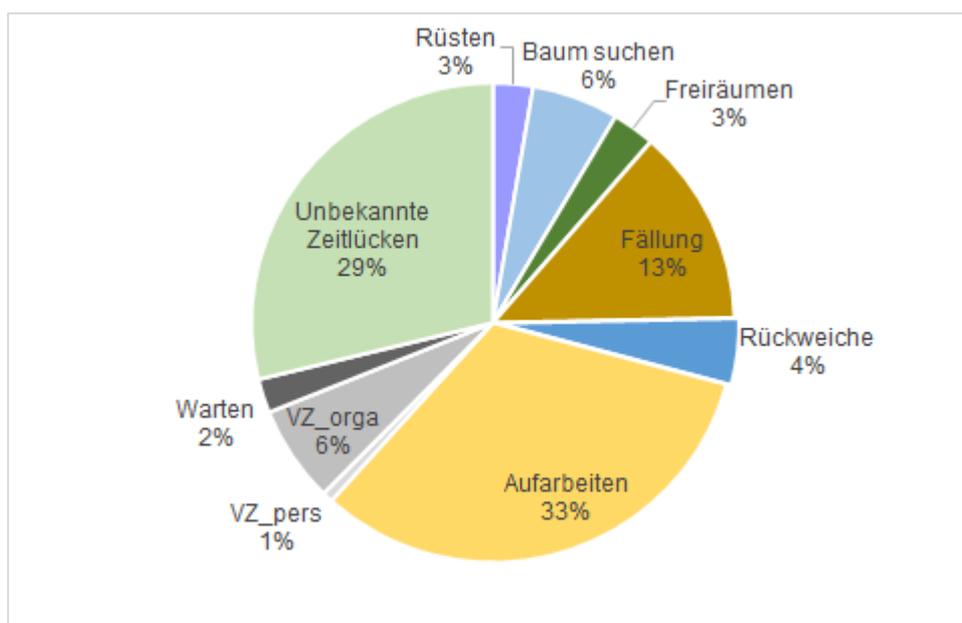


Abbildung 15: Die Verteilung der Arbeitszeit der Forstwirte auf verschiedene Arbeitsschritte

⁴ WPH = Work personal hour

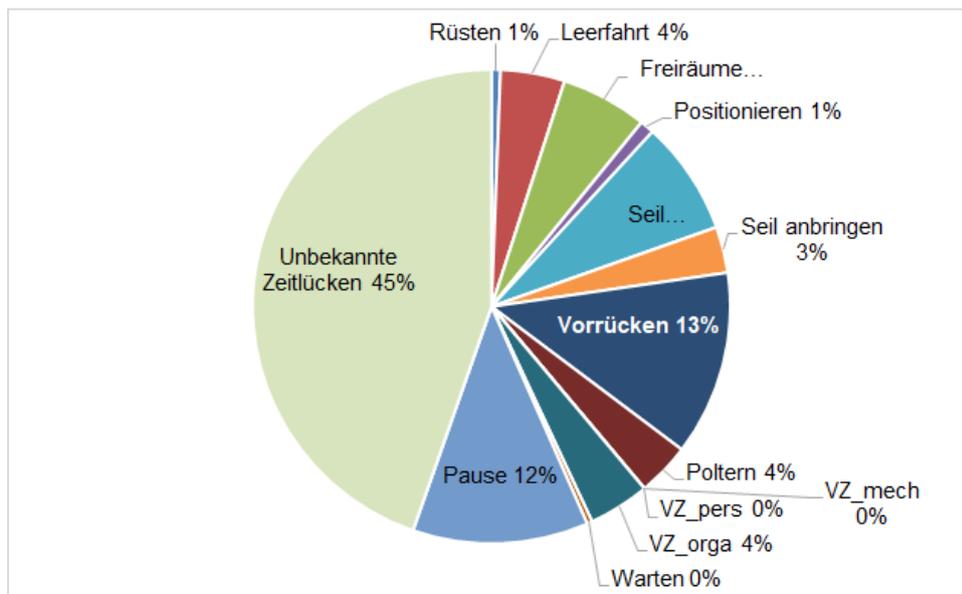


Abbildung 16: Die Verteilung der Arbeitszeit des Schleppers auf verschiedene Arbeitsschritte

Kosten

Die Kosten der Arbeit der Forstwirte betragen 9,18 €/Efm, die des Motorsägeneinsatzes 0,34 €/Efm, zusammen also 9,52 €/Efm.

Auswirkung des Verfahrens auf den verbleibenden Bestand

Bei der Fallstudie Fränkische Platte wurde der verbleibende Bestand auf 20 Probekreise untersucht. Im Mittel hatte er noch eine Dichte von 113 Bäumen/ha und einen BHD von 41 cm. Fällschäden traten im Mittel an 7% der Bäume (8 pro ha) auf, Rückeschäden an 3,5 %. Da es auch hier teils mehrere Schäden je Baum gab, waren es insgesamt 16 Fäll- und 4 Rückeschäden je ha. Verjüngung kam auf 16 Probekreisen vor. Ihre Deckung wurde im Mittel auf 32 % geschätzt. Die Schäden an der Verjüngung wurden im Durchschnitt auf 21 % geschätzt.

Diskussion

Bei diesem motormanuellen Arbeitsverfahren wurden die erst vor wenigen Jahren entwickelten fernbedienbaren Fällkeile eingesetzt. Dadurch wird die Arbeitssicherheit während des gefährlichsten Arbeitsschritts verbessert. Die Dimension der entnommenen Bäume erklärt zu einem sehr großen Teil die Streuung im Zeitbedarf. Möglicherweise war das Vorkommen von sichtbehindernder Verjüngung, liegendem Totholz und Biotopbäumen zu gering, als dass diese als Einflussgrößen neben der Baumdimension sichtbar werden konnten. Die Produktivität der Forstwirte in diesem mittelstarken Holz ist als recht hoch zu bewerten. Da das Holz mit dem Seil zur Rückegasse vorgerückt wurde, ist es nicht verwunderlich, dass einige Rückeschäden vorkamen. Insgesamt erscheinen die Schäden jedoch als gering.

1.5.3 Nordspessart

Verfahren

Motormanueller Starkholzeinschlag ohne ferngesteuertem/elektrischen Fällkeil in gelöster Zwei-Mann-Rotte und Aufarbeitung eines Buchen-Eichen-Verjüngungsbestandes mit Vorrücken von Industrieholz und Vor- und Endrücken von Stammholz mit einem Kranseilschlepper und Rückung von Industrieholz durch Forwarder bei mittelmäßig starker sichtbehindernder Naturverjüngung und einem Rückegassenabstand von 40 m (Abbildung 17, Tabelle 16).

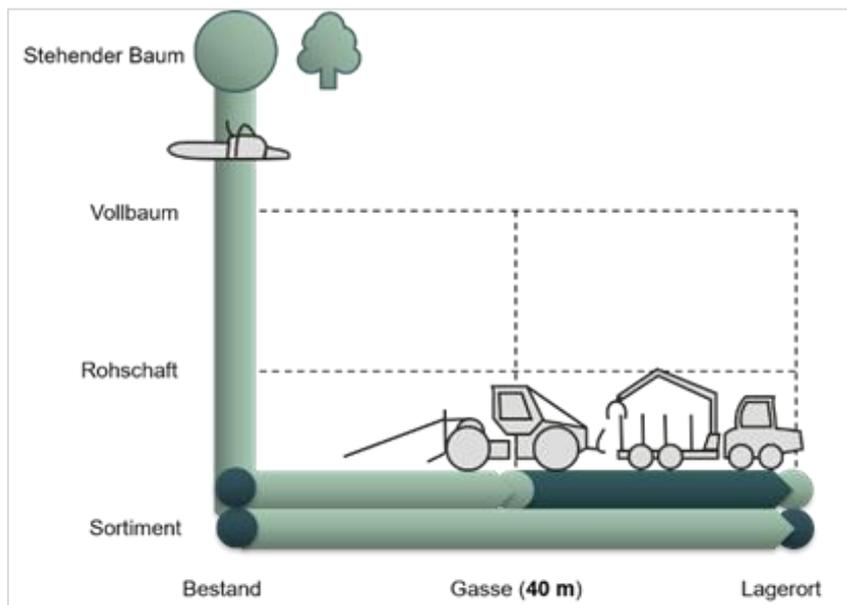


Abbildung 17: Funktiogramm Nordspessart

Tabelle 16: Naturaldaten, Erschließung und Hiebsdurchführung Nordspessart

Naturaldaten	
Hangneigung [%]	5
Bestandesform	Laubmischwald
Baumartenzusammensetzung	Bu 60, Ei 35, Slb 5
Schichtung	einschichtig
Schlussgrad	licht geschlossen
Durchschnittliche Baumhöhe [m]	31
Natürlicher Entwicklungsabschnitt	mittleres bis starkes Baumholz
Nutzungsart	Verjüngungsnutzung
Bestandesvorrat [Efm/ha]	390
(Natur-) Verjüngung [%]	Bu 100 auf Teilfläche
Erschließung und Hiebsdurchführung	
Hiebsgröße [ha]	16,4
Entnahmemenge [Efm/ha]	15,9
Entnommene Bäume pro ha	4,5
Mittlerer BHD [cm]	60
Maximaler BHD [cm]	78
Rückegassenabstand [m]	40

Schutzgebietskulissen

Die 16,4 ha große Bearbeitungsfläche liegt in dem Naturpark "Spessart" und in dem gleichnamigen Landschaftsschutzgebiet. Zudem liegt die Fläche auf dem FFH-Gebiet "Hochspessart", an das ein Vogelschutzgebiet angegliedert ist.

Für die Versuchsfläche relevante Schutzgebietskulisse sind:

1. Naturpark
2. Landschaftsschutzgebiet
3. FFH-Gebiet
4. Vogelschutzgebiet

In einem Umkreis von 5 km sind zusätzlich ein Trinkwasserschutzgebiet, zahlreiche im Rahmen der Biotopkartierung erfasste Flächen und Naturschutzgebiete, insbesondere entlang des nahe gelegenen Flusses Main.

Ausprägung der untersuchten Variablen

Daten zum Zeitbedarf der Holzernte liegen nur für Buchen vor. Es wurden 49 Bäume berücksichtigt. Der mittlere BHD dieser Bäume ist 60 cm mit einer Streuung von 11 cm. Die Bäume waren im Mittel 12 m von den Rückegassen entfernt, maximal 30 m. Bei 73 % der Bäume wurde im Umfeld sichtbehindernde Verjüngung festgestellt, die durchweg der Stufe 2 zugeordnet wurde. Biotopbäume im Umkreis der Entnahmebäume wurden hier nicht aufgenommen. Liegendes Totholz wurde bei allen Bäumen festgestellt und jeweils der Stufe 2 zugeordnet. Damit entfällt auch dieser Parameter bei der statistischen Auswertung.

Einfluss der Variablen auf die Leistung

Beim Holzernteverfahren motormanuelle Fällung, Aufarbeitung, Sortimentierung, Vorrücken mit dem Seilschlepper und Poltern mit dem Forwarder verlängert sich die Gesamtarbeitszeit des Forstwirtes pro Baum signifikant mit zunehmenden BHD.

Tabelle 17: Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs der Forstwirte insgesamt und für einzelne Arbeitsschritte in der Fallstudie Nordspessart

Parameter	Rüsten	Baum suchen	su- Freiräu- men	Fällung	Rückwei- che	Aufarbei- ten	Gesamt
BHD (cm)				**/+/ 25 %		**/+/ 25 %	**/+/ 28 %
Abstand RG (m)							
VJ							
R² gesamt				24,9 %		25,1 %	27,7 %

* = Irrtumswahrscheinlichkeit < 5 %, ** = < 1 %, *** = < 0,1 %, +/- = Vorzeichen der Koeffizienten, % = Anteil an der Erklärung der Streuung, RG = Rückegasse, VJ = sichtbehindernde Naturverjüngung, R² = Bestimmtheitsmaß

Für die Arbeitsschritte „Rüsten“, „Baum suchen“, „Freiräumen“ und „Rückweiche“ gibt es keine signifikant beeinflussende Variable. Das Fällen und Aufarbeiten dauert signifikant länger, je größer der BHD ist.

Die Zunahme der Gesamtarbeitszeit pro Baum kann mit 28 % durch die Zunahme des BHDs erklärt werden. Dies gilt auch für die Arbeitsschritte „Fällung“ und „Aufarbeiten“ mit jeweils 25 %, wenn diese allein betrachtet werden. Dies erscheint plausibel. Man könnte erwarten, dass das Aufsuchen des Baumes durch die sichtbehindernde Naturverjüngung länger dauert. Da diese jedoch nur schwach ausgeprägt war, ist es plausibel, dass diese den Arbeitsschritt nicht signifikant beeinflusst (Tabelle 17).

Produktivität (Efm/Std) des Verfahrens

Die Stückmasse beträgt 4,1 Efm. Es wurden 2,1 Bäume pro Stunde aufgearbeitet. Der Zeitbedarf beträgt 28,9 Minuten/Baum. Die Produktivität ist 8,5 Efm/WPH. Die Verteilung der Arbeitszeit auf die verschiedenen Arbeitsschritte wird in Abbildung 18 und Abbildung 19 dargestellt. Rüstzeiten, die nicht einzelnen Bäumen zugeordnet werden konnten, sowie die Wegzeiten am Waldort wurden zu den „nicht zuordenbaren Zeiten“ zusammengefasst.

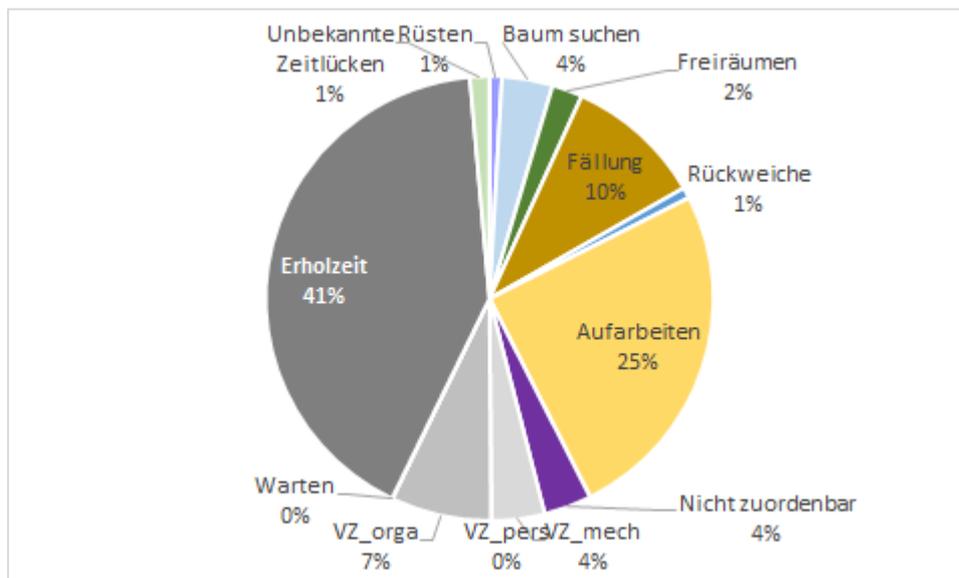


Abbildung 18: Die Verteilung der Arbeitszeit der Forstwirte in der Fallstudie Nordspessart auf verschiedene Arbeitsschritte

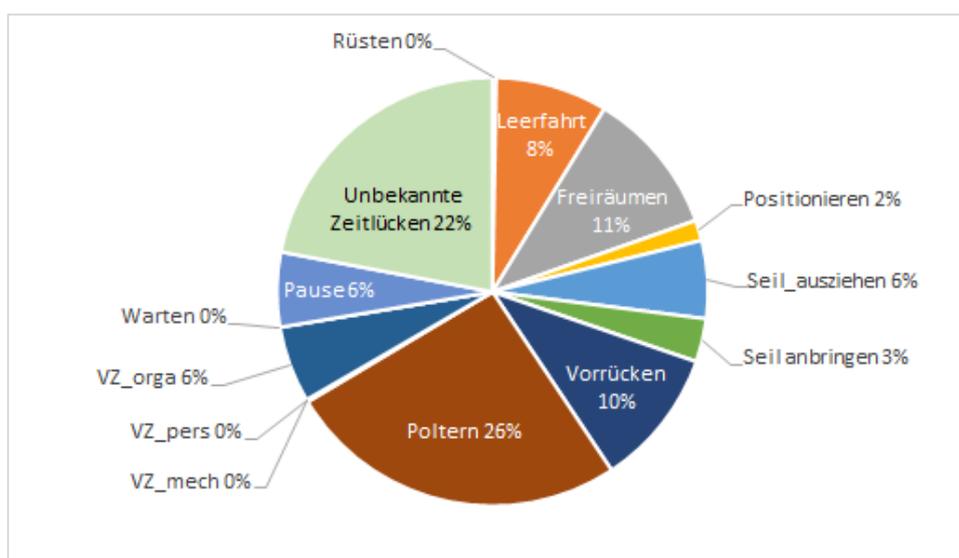


Abbildung 19: Die Verteilung der Arbeitszeit des Schleppers in der Fallstudie Nordspessart auf verschiedene Arbeitsschritte

Die Produktivität des Schleppers beträgt 27,9 Efm/PMH. Die Produktivität des Forwarders liegt nach Zeitaufschrieb bei 13,6 Efm/Stunde.

Kosten

Die Kosten der Arbeit betragen 4,32 €/Efm, die des Motorsägeneinsatzes 0,87 €/Efm, zusammen also 5,19 €/Efm. Kosten des Kotschenreuther K175-R wurden mit 84 €/PMH15 und die des Forwarders auf 92 €/PMH15 veranschlagt. Der Anteil des Industrie- und Energieholzes beträgt laut der Holzliste 37 %. Unter der Annahme, dass 10 % des Derbholzvolumens im Bestand liegen bleibt, ergeben sich Rückekosten von 4 €/Efm. Das gesamte Verfahren verursachte dann 9,19 €/Efm.

Auswirkung des Verfahrens auf den verbleibenden Bestand

Die Auswirkungen wurden auf 40 Probekreisen untersucht. Im Mittel hatte der verbleibende Bestand eine Dichte von 167 Bäumen/ha und einen BHD von 43 cm. Es hatten 2% der Bäume (3,5 je ha) Fäll- und 0,6 % Rückeschäden (1 je ha). Auch hier hatten manche Bäume mehrere Schäden, sodass insgesamt 6,5 Fäll- und 6 Rückeschäden je ha auftraten. Auf 90 % der Probekreise gab es Verjüngung. Ihre Deckung wurde im Mittel auf 42 % geschätzt. Auf 35 % der Probekreise wurden Schäden an der Verjüngung beobachtet. Der Anteil von Schäden an der Verjüngung wurde auf 10 % geschätzt.

Diskussion

Bei diesem motormanuellen Arbeitsverfahren im Laubstarkholz wurden noch keine fernbedienbaren Fällkeile eingesetzt. Die Personen befinden sich dann, wenn der Baum durch die Keilschläge erschüttert wird, direkt im Gefahrenbereich herabfallender Äste. Aufgrund der häufigen sichtbehindernden Verjüngung und des vielen liegenden Totholzes hatte dieser Waldbestand die Strukturen, deren Einfluss auf den Zeitbedarf der motormanuellen Arbeit in dieser Studie untersucht werden sollten. Wenn jedoch im Umfeld jeden entnommen Baumes Totholz am Boden liegt, gibt es keine Variation dieses Parameters, aus der heraus Zusammenhänge zum Zeitbedarf erklärt werden könnten. Bei der sichtbehindernden Verjüngung gab es zwar eine Variation, vermutlich war diese jedoch zu schwach, um als Einflussgröße neben der Baumdimension sichtbar zu werden. Die Produktivität ist hier sehr groß, angesichts der äußerst großen Stückmasse aber durchaus plausibel. Aus derart großen Stückmassen resultieren niedrige Holzerntekosten je Festmeter. Die Schäden am verbleibenden Bestand und an der Verjüngung sind sehr gering.

1.5.4 Mittelschwaben

1.5.4.1 Teilfläche 1

Verfahren

Motormanueller Holzeinschlag mit zeitlich gekoppelter mechanisierter Aufarbeitung mit Harvester in einem Fichten-Buchen-Verjüngungsnutzungsbestand und Rückung durch Forwarder mit starker sichtbehindernder Naturverjüngung bei einem Rückegassenabstand von 30 m (Variation Königsbronner Harvesterverfahren) (Abbildung 20 und Tabelle 18).

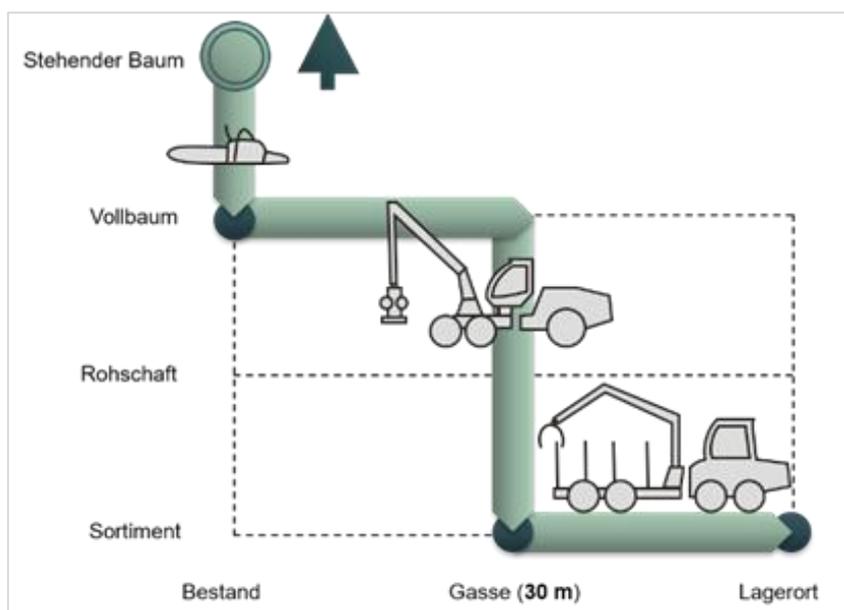


Abbildung 20: Funktionsdiagramm Mittelschwaben – Teilfläche 1

Tabelle 18: Naturaldaten, Erschließung und Hiebsdurchführung Mittelschwaben – Teilfläche 1

Naturaldaten	
Hangneigung [%]	4
Bestandesform	Mischbestand
Baumartenzusammensetzung	Fi 70, Bu 25, Lä 5
Schichtung	einschichtig
Schlussgrad	gedrängt
Durchschnittliche Baumhöhe [m]	25
Natürlicher Entwicklungsabschnitt	mittleres bis starkes Baumholz
Nutzungsart	Verjüngungsnutzung
Bestandesvorrat [Efm/ha]	490
(Natur-) Verjüngung [%]	Fi 100 auf Teilfläche

Erschließung und Hiebsdurchführung	
Hiebsgröße [ha]	1
Entnahmemenge [Efm/ha]	296
Entnommene Bäume pro ha	139
Mittlerer BHD [cm]	42
Maximaler BHD [cm]	86
Rückegassenabstand [m]	30

Schutzgebietskulissen

In einem Waldstück zwischen Immelstetten und Epishausen wurde eine 1 ha große Bearbeitungsfläche ausgewählt. Die Fläche liegt im Naturpark und Landschaftsschutzgebiet "Augsburg – Westliche Wälder".

Für die Versuchsfläche relevante Schutzgebietskulisse sind:

1. Naturpark
2. Landschaftsschutzgebiet

In einem Umkreis von 5 km liegen zudem das Vogelschutzgebiet Mindeltal sowie im Rahmen der Biotopkartierung und der Ausweisung von Fauna-Flora Habitatgebieten erfasste Flächen.

Ausprägung der untersuchten Variablen

Es wurden ausschließlich die Zeitdaten von Fichten erhoben. 126 Bäume gingen in die statistischen Auswertungen ein. Der mittlere BHD betrug 42 cm mit einer Streuung von 20 %. Die Verteilung der Durchmesser war eng, 87 % der Bäume hatten BHD zwischen 30 und 50 cm. Die Bäume waren im Mittel 8,4 m von der nächsten Rückegasse entfernt, maximal waren es 14,8 m. 64 % der Bäume waren bis zu 10 m von der Rückegasse entfernt und damit in Kranreichweite des Harvesters. Bei allen Bäumen gab es sichtbehindernde Fichten-Naturverjüngung im Umfeld. Bei 31 % der Fälle wurden sie der Stufe 2, bei 69 % der Fälle der Stufe 4 zugeordnet. Im näheren Umkreis der Entnahmebäume wurden weder liegendes Totholz noch Biotopbäume festgestellt.

Einfluss der Variablen auf die Leistung: Forstwirtinnen und Forstwirte

Tabelle 19 zeigt den Einfluss der Variablen auf die Leistung der Forstwirtinnen und Forstwirte. Die Gesamtarbeitszeit pro Baum wird durch Zunahme des BHDs signifikant verlängert.

Tabelle 19: Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs der Forstwirte insgesamt und für einzelne Arbeitsschritte in der Fallstudie Mittelschwaben Teilfläche 1

Parameter	Baum suchen	Freiräumen	Fällung	Aufarbeiten	Gesamt
BHD (cm)	*/+ 3 %	**/+ 6 %	***/+ 57 %	***/+ 19%	***/+ 24 %
Abstand RG (m)			*/+ 4 %		
VJ		***/+32 %			
R ² gesamt	3,4 %	38,0 %	61,3 %	18,9 %	24,0 %

* = Irrtumswahrscheinlichkeit < 5 %, ** = < 1 %, *** = < 0,1 %, +/- = Vorzeichen der Koeffizienten, % = Anteil an der Erklärung der Streuung, RG = Rückegasse, VJ = sichtbehindernde Verjüngung: 1 = Stufe 4, 0 = Stufe 2, R² = Bestimmtheitsmaß

Für den Arbeitsschritt „Baum suchen“ gilt, dass mit zunehmendem BHD der Zeitbedarf für das Aufsuchen eines Baumes signifikant zunimmt. Je mehr sichtbehindernde Verjüngung vorhanden ist, desto signifikant mehr Zeit wird für den Arbeitsschritt „Freiräumen“ benötigt. Der Zeitbedarf des Arbeitsschrittes „Fällen“ steigt signifikant mit zunehmendem BHD und mit zunehmendem Abstand von der Rückegasse an. Für das Aufarbeiten benötigt der Forstwirt signifikant länger, je größer der BHD ist. Der Arbeitsschritt „Rüsten“ ist nicht signifikant. Da dieser jedoch nicht so häufig vorkommt, wurde er nicht in die Betrachtung einbezogen. Insgesamt zeigt sich nur der BHD als signifikante Einflussgröße auf den gesamten Zeitbedarf der Forstwirtinnen und Forstwirte.

Bei dem Arbeitsschritt „Baum suchen“ verwundert es, dass die Verjüngung oder der Abstand zur Rückegasse keinen signifikanten Einfluss auf die benötigte Zeit haben, jedoch der BHD. Da der BHD nur 3 % der Streuung erklärt, kann dies vernachlässigt werden. Die Verjüngung spielt wahrscheinlich keine Rolle, da sie auf der

gesamten Fläche vorhanden ist. Die Unterschiede in der Menge an Naturverjüngung um die Bäume waren womöglich zu gering, um sich im Zeitverbrauch deutlich auszuwirken. Dass die Verjüngung beim Arbeitsschritt „Freiräumen“ mit 32 % einen vergleichsweise großen Erklärungsbeitrag für die benötigte Zeit hat, ist plausibel. Da das Freiräumen mit 11 % nur einen geringen Teil an der Gesamtarbeitszeit ausmacht, konnte dieser Effekt bei der Gesamtarbeitszeit vermutlich nicht sichtbar werden. Ebenso ist der mit 57 % große Erklärungsbeitrag des BHD zur Dauer der Fällung und des Aufarbeitens mit 19 % plausibel. In größerer Entfernung von der Rückegasse mussten die Forstwirte alle Bäume motormanuell fällen. Dies erklärt den größeren Zeitbedarf für die weiter von der Rückegasse entfernt stehenden Bäume. Die Variable sichtbehindernde Naturverjüngung kann allerdings nicht als Erklärung für Streuung in der Gesamtarbeitszeit der Forstwirte herangezogen werden (Tabelle 19).

Einfluss der Variablen auf die Leistung: Harvester

Tabelle 20 zeigt den Einfluss der Variablen auf die Leistung des Harvesters auf.

Tabelle 20: Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs des Harvesters insgesamt und für einzelne Arbeitsschritte in der Fallstudie Mittelschwaben Teilfläche 1

Parameter	Leerfahrt	Baum anfahren	Fällung	Aufarbeiten	Gesamt
BHD (cm)	***/+/ 18 %	**/+/7 %		***/+/19 %	***/+/ 18 %
Abstand RG (m)			***/-/ 11 %	*/+/ 3 %	
VJ					
R² gesamt	17,6 %	7,1 %	10,8 %	22,5 %	17,6 %

* = Irrtumswahrscheinlichkeit < 5 %, ** = < 1 %, *** = < 0,1 %, +/- = Vorzeichen der Koeffizienten, % = Anteil an der Erklärung der Streuung, RG = Rückegasse, VJ = sichtbehindernde Verjüngung, R² = Bestimmtheitsmaß

Die Gesamtarbeitszeit pro Baum ist beim Harvester signifikant abhängig vom BHD. Mit zunehmender Größe der Variable wird die Arbeitszeit länger.

Der Arbeitsabschnitt „Leerfahrt“ hat ebenfalls einen signifikanten Zusammenhang zum BHD. Auch beim Arbeitsschritt „Baum anfahren“ benötigt der Harvesterfahrer mit zunehmendem BHD signifikant mehr Zeit. Für das Fällen benötigt er signifikant weniger Zeit bei zunehmendem Abstand von der Rückegasse. Der Zeitbedarf für das Aufarbeiten verlängert sich signifikant, je größer der BHD und je weiter der Baum von der Rückegasse entfernt ist (Tabelle 20).

Es verwundert, dass der Abstand zur Rückegasse das Anfahren zum Baum nicht beeinflusst. Die Abnahme der Fällzeit mit zunehmendem Abstand zur Rückegasse beruht darauf, dass weiter entfernte Bäume häufiger motormanuell gefällt wurden. Dass die sichtbehindernde Verjüngung keinen signifikanten Einfluss hat, könnte daran liegen, dass sie flächendeckend stark vorhanden ist und zu wenig Variation vorhanden war, um als Effekt sichtbar zu werden.

Fällung des Baumes durch Harvester oder Forstwirt/Forstwirtin

Insgesamt wurden 108 Bäume von Forstwirtinnen und Forstwirten motormanuell gefällt und 5 Bäume alleine durch den Harvester. Bei 13 Bäumen unterstützte der Harvester die Fällung der Forstwirte. 13 Bäume konnten nicht zugeordnet werden oder sind stehen geblieben.

Tabelle 21: Logistische Regression zur Fällung eines Baumes durch Forstwirt/Forstwirtin oder Harvester bei der Fallstudie Mittelschwaben Teilfläche 1

Parameter	Fällung Forstwirt allein	Fällung Forstwirt und Harvester
BHD (cm)		
Abstand RG (m)	***/+/	**/-
VJ		

* = Irrtumswahrscheinlichkeit < 5 %, ** = < 1 %, *** = < 0,1 %, +/- = Vorzeichen der Koeffizienten RG = Rückegasse, VJ = sichtbehindernde Verjüngung

Ob ein Baum von einer Forstwirtin oder einem Forstwirt motormanuell gefällt wurde, hängt mit signifikanter Wahrscheinlichkeit vom Abstand zur Rückegasse ab. Das positive Koeffizientenvorzeichen drückt aus, dass mit zunehmendem Abstand zur Rückegasse die Wahrscheinlichkeit steigt, dass der Baum von einem Forstwirt und nicht vom Harvester gefällt wurde (Tabelle 21). Dies ist plausibel und stimmt mit den obigen Ergebnissen überein. Dass mit zunehmendem Abstand zur Rückegasse signifikant weniger Bäume von beiden, d.h. durch den Harvester und die Forstwirtin oder den Forstwirt, gefällt wurden, ist plausibel, da der Harvester immer weniger Bäume fällt, je weiter der Abstand von der Rückegasse ist.

Auch Abbildung 21 bestätigt diesen Zusammenhang. Mit Hilfe des Modells wurde für jeden Baum die Wahrscheinlichkeit geschätzt, dass dieser motormanuell gefällt wird. Bei den tatsächlich allein vom Forstwirt oder der Forstwirtin gefällten Bäumen errechnet sich eine durchschnittliche Wahrscheinlichkeit von 88 % und bei den anderen eine Wahrscheinlichkeit von 70 %. Die geringe Differenz von 18 % zwischen diesen beiden Mittelwerten zeigt, dass dieses Modell nur einen eher geringen Teil der Streuung zu erklären vermag. Dass sich die Dichte der sichtbehindernden Verjüngung nicht als signifikant zeigte, ist nicht verwunderlich. Schließlich waren alle Bäume von Verjüngung umgeben und der Unterschied zwischen Stufe 2 und 4 wohl nicht erheblich. Aufgrund der Lage der Bäume zur Rückegasse hätten allerdings fast zwei Drittel der Bäume eigentlich vom Harvester gefällt werden können. Dass sich der Durchmesser der Bäume in dem Modell nicht als signifikant erwies, deutet darauf hin, dass die Bäume nicht zu stark waren, um vom Harvester gefällt zu werden.

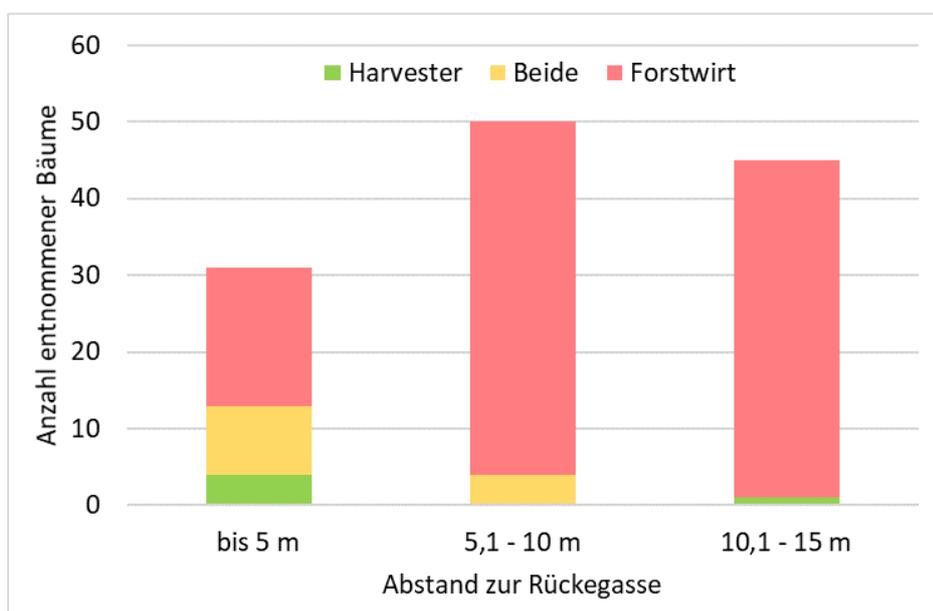


Abbildung 21: Abstände der jeweils vom Harvester, vom Forstwirt oder gemeinsam gefällten Bäume zur Rückegasse

Produktivität (Efm/Std) des Verfahrens

Die Produktivität beträgt beim Harvester 12,6 Efm/PMH15. Die Stückmasse ist 1,5 Efm. Es wurden 8,7 Bäume pro Stunde vom Harvester bearbeitet. Der Zeitbedarf ist 6,9 Minuten/Baum. Auffällig an der Verteilung des Zeitbedarfs auf Arbeitsschritte ist beim Harvester der große Anteil der Wartezeit (23 %) sowie für Leerfahrten (9 %). Die Produktivität der Waldarbeiter beträgt 14,4 Efm/WPH. Dabei wurden 9,5 Bäume pro Stunde gefällt und teilweise aufgearbeitet. Der Zeitbedarf ist 6,3 Minuten/Baum. Bei der Verteilung der Zeiten des Forstwrirts auf die verschiedenen Arbeitsschritte fällt auf, dass keine Zeit für die Rückweiche aufgewendet wurde (Abbildung 22).

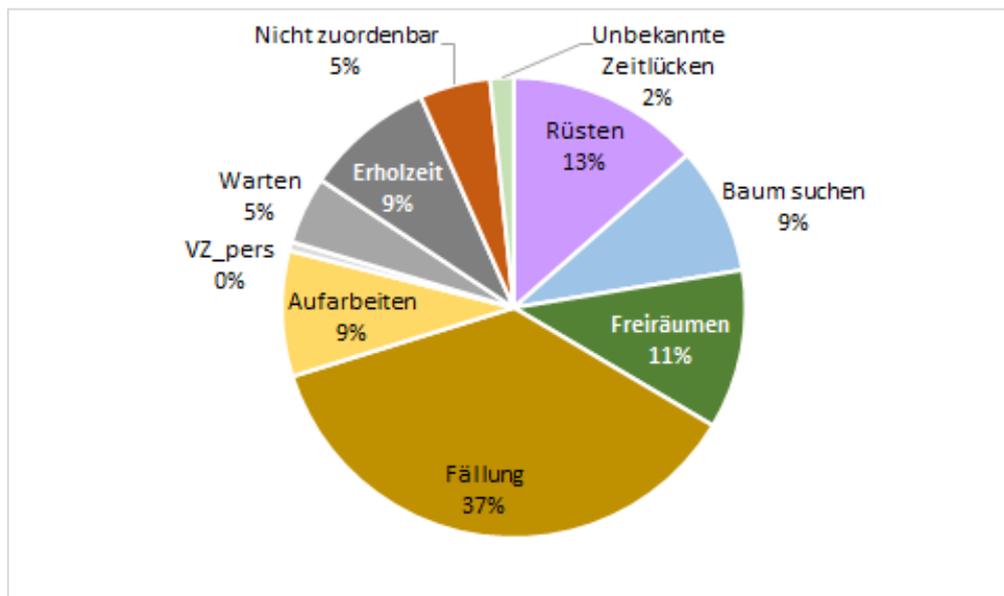


Abbildung 22: Die Verteilung der Zeiten des Forstwirts auf verschiedene Arbeitsschritte in der Fallstudie Mittelschwaben, Teilfläche 1 (mit Verjüngung).

Kosten

Als Harvester wurde ein Rottne H14 B eingesetzt. Dessen Kosten wurden mit 131 €/PMH15 kalkuliert. Die Kosten für den Harvester belaufen sich bei diesem Verfahren auf 10,40 €/Efm. Die Kosten der Forstwirte betragen 2,54 €/Efm und die des Motorsägeneinsatzes 0,17 €/Efm, zusammen also 2,71 €/Efm. Das Verfahren ohne Rückung kommt damit auf 13,11 €/Efm.

Auswirkung des Verfahrens auf die Bestandesschäden

Für dieses Verfahren wurden keine Bestandesschäden aufgenommen, da der Bestand geräumt wurde.

Diskussion

Die Endnutzung dieses Fichtenbestandes war vollmechanisiert nicht möglich, da die Rückegassenabstände zu groß waren sowie aufgrund der dichten, sichtbehindernden Naturverjüngung am Boden. Ein integriertes Verfahren birgt größere Risiken für den Forstwirt, weil Mensch und Maschine sich gleichzeitig auf der Fläche bewegen. Der große Anteil an Wartezeiten und an Leerfahrten des Harvesters zeigt, dass dieser nicht optimal ausgelastet war. Wartezeiten der Maschine können aufgrund der entstehenden Kosten einen großen Zeitdruck auf das forstwirtschaftliche Personal ausüben. Möglicherweise war es dieser Zeitdruck und die Beschwerlichkeit, in dichter Naturverjüngung einen Weg für eine Rückeweiche zu schaffen, die die Forstwirte dazu bewegten, sich nicht vom fallenden Baum zu entfernen. Deshalb war die motormanuelle Arbeit hier mit einem äußerst großen Unfallrisiko behaftet. Dass die sichtbehindernde Verjüngung keinen signifikanten Zusammenhang zum Zeitbedarf sowohl des Zufällenden als auch des Harvesters hatte, bedeutet nicht, dass diese nicht relevant war. Die Variation in der Dichte der Verjüngung war einfach zu gering. Fast zwei Drittel der Bäume standen eigentlich in Reichweite des Harvesters. Trotzdem fällte dieser nur 4 % ohne motormanuelle Unterstützung. Die maschinelle Fällung der Bäume in Kranreichweite scheiterte nicht an einer zu großen Dimension der Bäume. Sonst hätte sich der BHD in dem logistischen Regressionsmodell als signifikant erwiesen. Der Grund für die motormanuelle Fällung dieser Bäume wird deshalb die dichte Naturverjüngung gewesen sein.

1.5.4.2 Teilfläche 2

Verfahren

Vollmechanisierte Holzernte in einem Fichten-Altbestand ohne sichtbehindernde Naturverjüngung bei einem Rückegassenabstand von 20 m (s. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**Abbildung 23 und Tabelle 22).

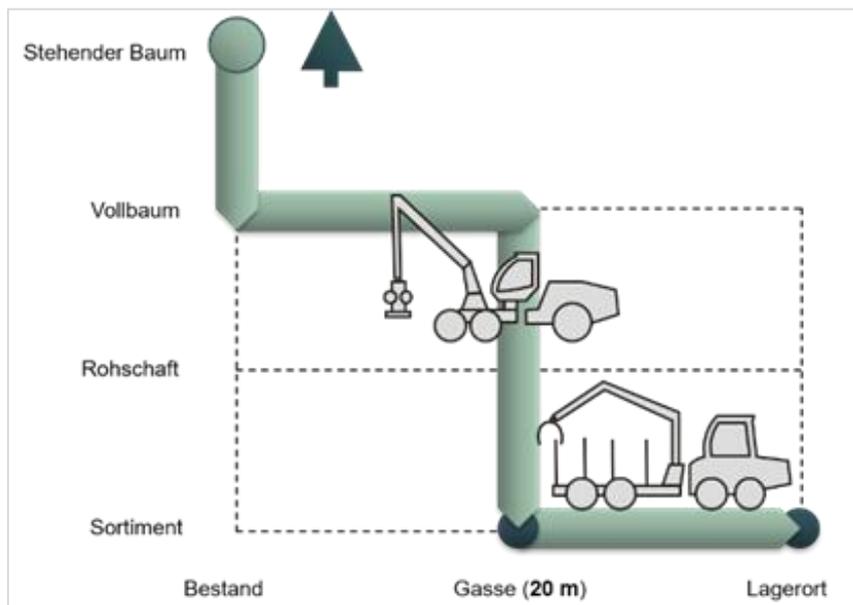


Abbildung 23: Funktogramm Mittelschwaben – stehender Baum – Teilfläche 2

Tabelle 22: Naturaldaten, Erschließung und Hiebsdurchführung Mittelschwaben – Teilfläche 2

Naturaldaten	
Hangneigung [%]	4
Bestandesform	Mischbestand
Baumartenzusammensetzung	Fi 70, Bu 25, Lä 5
Schichtung	einschichtig
Schlussgrad	gedrängt
Durchschnittliche Baumhöhe [m]	25
Natürlicher Entwicklungsabschnitt	schwaches bis mittleres Baumholz
Nutzungsart	Altdurchforstung
Bestandesvorrat [Efm/ha]	490
(Natur-) Verjüngung [%]	0
Erschließung und Hiebsdurchführung	
Hiebsgröße [ha]	2,4
Entnahmemenge [Efm/ha]	74,37
Entnommene Bäume pro ha	27,45
Mittlerer BHD [cm]	26,07
Maximaler BHD [cm]	56
Rückegassenabstand [m]	20

Schutzgebietskulissen

In einem Waldstück zwischen Immelstetten und Epishausen wurden eine Bearbeitungsfläche von 2,4 ha Größe ausgewählt. Die Fläche liegt im Naturpark und Landschaftsschutzgebiet "Augsburg – Westliche Wälder".

Für die Versuchsfläche relevante Schutzgebietskulisse sind:

1. Naturpark
2. Landschaftsschutzgebiet

In einem Umkreis von 5 km liegen zudem das Vogelschutzgebiet Mindeltal sowie mehrere im Rahmen der Biotopkartierung und der Ausweisung von FFH-Gebieten erfasste Flächen.

Ausprägung der Variablen

Bei der Analyse wurden 189 Bäume berücksichtigt. Davon waren 2 Lärchen, der Rest Fichten. Die Bäume waren mit einem durchschnittlichen BHD von 27 cm (23%) dünner als auf der Teilfläche mit Fichten-Verjüngung. Eigentlich hätte diese Teilfläche ebenfalls in einem kombinierten Verfahren aus maschineller Ernte und motormanueller Zufällung bearbeitet werden sollen. Dann hätten beide Flächen gemeinsam ausgewertet und der Effekt der sichtbehindernden Verjüngung deutlich sichtbar werden können. Die Teilfläche 2 wurde jedoch später aufgearbeitet und mangels Verfügbarkeit von Forstwirtschaftlichen und Forstwirten ohne motormanuelle Zufällung. Die Bäume auf dieser Teilfläche standen im Mittel 7,5 m von der nächsten Rückegasse entfernt. 23 % der Bäume waren mehr als 10 m von der Rückegasse entfernt und damit eigentlich außerhalb der Kranreichweite. Um diese dennoch maschinell zu fällen, wurden nachträglich zusätzliche Rückegassen angelegt.

Einfluss der Variablen auf die Leistung

Tabelle 23: Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs des Harvesters insgesamt und für einzelne Arbeitsschritte in der Fallstudie Mittelschwaben Teilfläche 2

Parameter	Leerfahrt	Baum anfahren	Fällung	Aufarbeiten	Gesamt
BHD (cm)			***/+ 11 %	***/+ 16 %	***/+ 6 %
Abstand RG (m)	***/+ 9 %		**/+ 4 %		***/+ 6 %
R² gesamt	9 %		14,9 %	16,5 %	12,1 %

* = Irrtumswahrscheinlichkeit < 5 %, ** = < 1 %, *** = < 0,1 %, +/- = Vorzeichen der Koeffizienten, % = Anteil an der Erklärung der Streuung, RG = Rückegasse, R² = Bestimmtheitsmaß

Die Gesamtarbeitszeit des Harvesters verlängert sich signifikant, je dicker der Baum ist und je weiter entfernt von der Rückegasse er steht.

Der Arbeitsschritt „Leerfahrt“ verlängert sich signifikant, je größer der Abstand zur Rückegasse ist. Der Arbeitsschritt „Baum anfahren“ ist nicht signifikant. Die Fällung dauert signifikant länger, je größer der Baum ist und je weiter der Abstand zur Rückegasse ist. Das Aufarbeiten dauert mit zunehmendem BHD länger (Tabelle 23).

Die Ergebnisse erscheinen plausibel. Aufgrund des fehlenden Totholzes, Bewuchses, Biotopbäumen und Totholzes, spielt bei diesem Verfahren lediglich der Rückegassenabstand eine Rolle. Die längeren Arbeitszeiten durch einen weiteren Rückegassenabstand müssten die zusätzliche Zeit für das Anlegen neuer Rückegassen sein, was die Arbeit erschwert hat.

Produktivität (Efm/Std) des Verfahrens

Die Produktivität beträgt 21 Efm/PMH15. Die Stückmasse beträgt 0,6 Efm. Es wurden 35 Bäume pro Stunde geerntet. Der Zeitbedarf je Baum war mit 1,7 Minuten pro Baum erheblich geringer als bei der Teilfläche mit Verjüngung, die im integrierten Verfahren bearbeitet wurde (Abbildung 24). Ein geringerer Zeitbedarf bei schwächeren Bäumen ist grundsätzlich zu erwarten. Dass aber die Produktivität auf der Fläche mit stärkeren Bäumen mit 12,6 Efm/PMH erheblich niedriger ist, ist sehr überraschend. Aus Abbildung 24 wird deutlich, dass der Zeitbedarf für die Fällung in diesem Fall mit alleiniger maschineller Fällung größer war als auf der Teilfläche, auf der die überwiegende Zahl der Bäume zugefällt wurde.

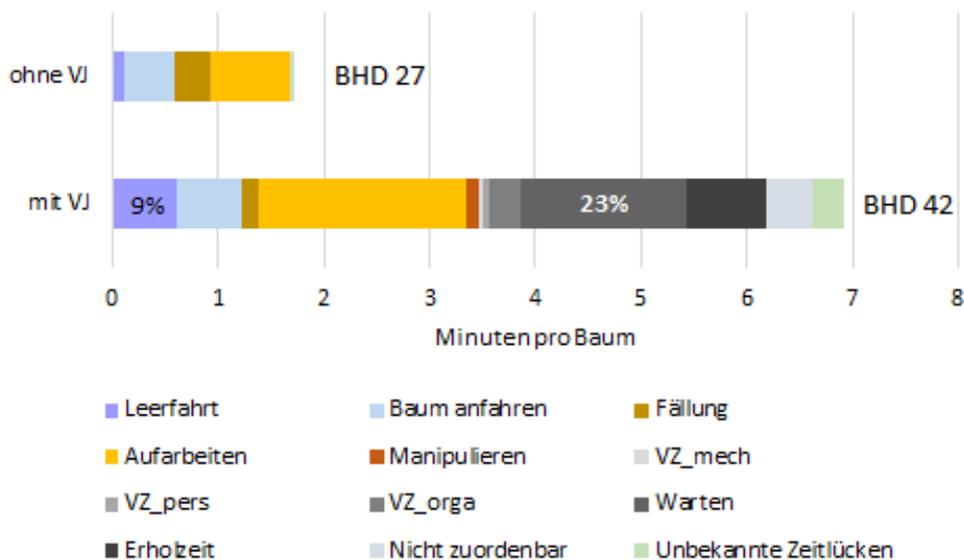


Abbildung 24: Vergleich der Arbeitszeiten der maschinellen Aufarbeitung auf Teilfläche 1 (mit Verjüngung und motormanueller Zufällung) und Teilfläche 2 (ohne Verjüngung und ohne motormanuelle Zufällung) bei der Fallstudie in Mittelschwaben.

Kosten

Die Kosten des Harvesters für dieses Verfahren liegen bei 6,24 €/Efm. Sie lassen sich aufgrund der deutlich geringeren Baumdimensionen nicht direkt mit der Teilfläche 1 vergleichen. Das GLM-Modell ergibt allerdings die folgende Gleichung für die Schätzung des Zeitbedarfs auf Teilfläche 2:

$$\text{Zeitbedarf (Min/Baum)} = 0,4399 + 0,0349 \times \text{BHD (cm)} + 0,0402 \times \text{Abstand zur Rückegasse (m)}$$

Setzt man den BHD von 42 cm der Teilfläche 1 und den mittleren Abstand zur Rückegasse dort von 8,4 m in diese Gleichung ein, ergibt sich ein Zeitbedarf von 2,24 Minuten/Baum. Da das Durchmesserpektrum der Teilfläche 2 einen Bereich bis 52 cm BHD abdeckt, erscheint die Anwendung dieses Modells auf Teilfläche 1 durchaus zulässig. Bei einer Stückmasse von 1,53 Efm/Baum ergibt dies Kosten von 3,21 €/Efm. Die Teilfläche 1 hätte ohne die sichtbehindernde Verjüngung und bei Erreichbarkeit aller Bäume durch den Harvester zu diesen Kosten bearbeitet werden können. Tatsächlich lagen die Kosten dort um 9,90 €/Efm höher, betragen also das Vierfache.

Auswirkung des Verfahrens auf den verbleibenden Bestand

Der verbleibende Bestand hatte eine Dichte von 343 Bäumen pro Hektar. Es wiesen 40 Bäume pro Hektar Fällschäden und 3 Bäume je Hektar Rückeschäden auf. Der Anteil der Fäll- und Rückeschäden an den verbliebenen Bäumen beträgt 12 % bzw. 1 %.

Diskussion

Aufgrund der Vollmechanisierung gewährt dieses Verfahren die größtmögliche Arbeitssicherheit. Wären die Bäume hier genauso dick gewesen wie auf Teilfläche 1, hätten die Kosten hier nur ein Viertel der Kosten von Teilfläche 1 betragen. Dieser Kostenunterschied kann deshalb auf die sichtbehindernde Verjüngung und den größeren Rückegassen-Abstand auf Teilfläche 1 zurückgeführt werden. Wären der Forstwirt bzw. die Forstwirtin auf Teilfläche 1 vorschriftsmäßig in die Rückeweiche gegangen, wäre der Zeitbedarf dort noch größer gewesen und der Kostenunterschied somit noch größer ausgefallen. Der Anteil von Bäumen mit Fällschäden ist im Vergleich zu den meisten anderen Fallstudien hoch. Dies könnte daran liegen, dass die Bäume gedrängt aneinander gestanden sind. Möglicherweise hätte hier pfleglicher gearbeitet werden können, was dann den Zeitbedarf sicher erhöht hätte.

1.4.5 Südlicher Steigerwald

Verfahren

Motormanueller Holzeinschlag (größtenteils mit Schlagschrauber-Fällkeil) und Aufarbeitung mit Vorrücken durch Kranrückeschlepper (ohne Endrücken) in einem Buchen-Sonderlaubholz-Altbestand im Steilhang mit mittlerer bis starker sichtbehindernder Naturverjüngung bei einem Rückegassenabstand von 40 m (siehe Abbildung 25 und Tabelle 24).

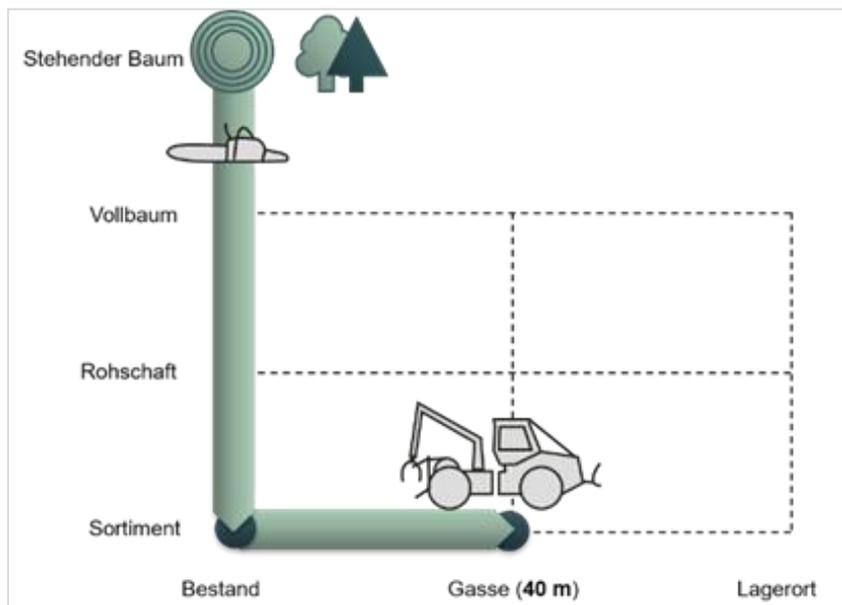


Abbildung 25: Funktogramm Südlicher Steigerwald

Tabelle 24: Naturaldaten, Erschließung und Hiebsdurchführung Südlicher Steigerwald

Naturaldaten	
Hangneigung [%]	27
Bestandesform	Mischbestand
Baumartenzusammensetzung	Bu 80, Slb 10, SNdh 10
Schichtung	zweischichtig
Schlussgrad	licht bis geschlossen
Durchschnittliche Baumhöhe [m]	28,5
Natürlicher Entwicklungsabschnitt	mittleres Baumholz
Nutzungsart	Altdurchforstung
Bestandesvorrat [Efm/ha]	330
(Natur-) Verjüngung [%]	Bu 100 auf Teilfläche
Erschließung und Hiebsdurchführung	
Hiebsgröße [ha]	7,7
Entnahmemenge [Efm/ha]	115,6
Entnommene Bäume pro ha	28,4
Mittlerer BHD [cm]	39,2
Maximaler BHD [cm]	72
Rückegassenabstand [m]	40

Schutzgebietskulissen

Auf einer 7,7 ha großen Bearbeitungsfläche wurden Daten erhoben. Die Fläche liegt im Naturpark Steigerwald mit einem Landschaftsschutzgebiet (ehemals Schutzzone).

Für die Versuchsfläche relevante Schutzgebietskulisse sind:

1. Naturpark
2. Landschaftsschutzgebiet

Im Umkreis 5 km um den Waldstandort herum liegen mehrere in der Biotopkartierung erfasste Biotope (Hecken, Magerrasen, Feuchtgebiete), das FFH-Gebiet "Vorderer Steigerwald mit Schwanberg", das Vogelschutzgebiet "Südlicher Steigerwald" sowie drei Trinkwasserschutzgebiete.

Ausprägung der Variablen

Bei der statistischen Auswertung wurden 131 entnommene Bäume berücksichtigt, wovon 89 % Laubbäume, ganz überwiegend Buchen (79 %). Der mittlere BHD beträgt 38 cm mit einer Streuung von 36 %. Aus Abbildung 26 ist ersichtlich, dass die Durchmesserverteilung der Bäume in diesem Fall etwas linksschief ist. Die Bäume waren im Mittel 7,7 m von der nächsten Rückegasse entfernt, maximal 25 m. Sichtbehindernde Verjüngung und liegendes Totholz kamen häufig im Umfeld der Bäume vor, wie aus Tabelle 25 hervorgeht. In knapp der Hälfte der Fälle lag auch behindernder Bewuchs vor, meist allerdings nur in geringem Umfang. Bei 42 % der entnommenen Bäume gab es auch Biotopbäume in deren Umfeld.

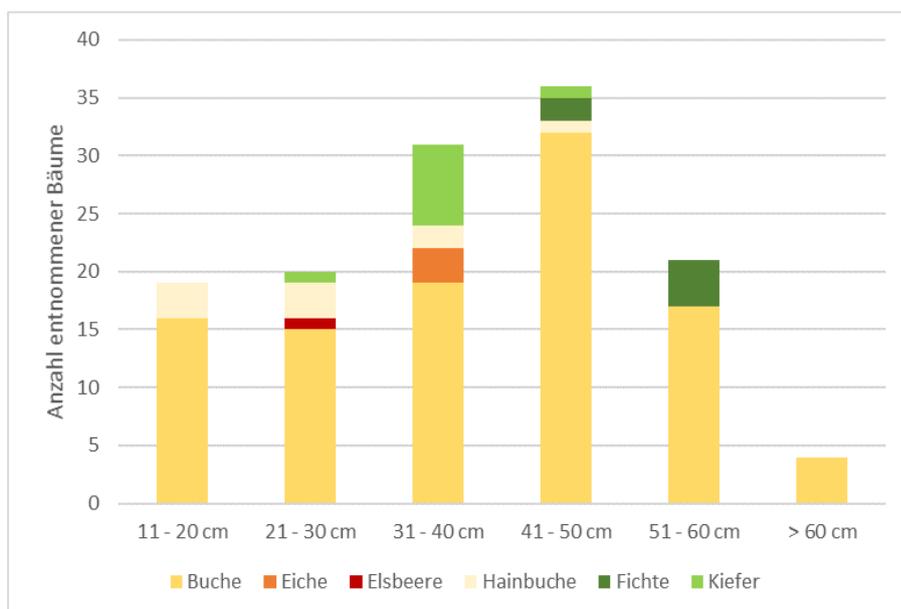


Abbildung 26: Verteilung der entnommenen Bäume nach Baumarten und Durchmesserstufen

Tabelle 25: Häufigkeit des Vorkommens von Merkmalen im 10 m-Umkreis um die Bäume

Kreissegment	kein	1/4	2/4	3/4	4/4
VJ	34%	27%	23%	12%	4%
Bio_nm_mG	66%	13%	13%	5%	3%
Bio_m_oG	88%	11%	2%		
Bio_m_mG	89%	11%			
Totholz	8%	32%	32%	22%	6%
Bewuchs	53%	31%	10%	3%	2%

VJ = sichtbehindernde Verjüngung, Bio_nm_mG = nicht markierter Biotopbaum mit Gefahr, Bio_m_oG = markierter Biotopbaum ohne Gefahr, Bio_m_mG = markierter Biotopbaum mit Gefahr

Einfluss der Variablen auf die Leistung

Beim motormanuellen Holzeinschlag und Vorrücken mit Seilschlepper verlängert sich die Gesamtarbeitszeit pro Baum signifikant, je größer der BHD ist und sie verringert sich signifikant, je mehr nicht markierte Biotopbäume mit Gefahr vorhanden sind.

Tabelle 26: Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs der Forstwirte insgesamt und für einzelne Arbeitsschritte in der Fallstudie südlicher Steigerwald

Parameter	Rüsten	Baum suchen	Freiräumen	Fällung	Rückweiche	Aufarbeiten	Gesamt
Fichte						***/+/ 2 %	
BHD (cm)	**/+/ 5 %	**/+/ 7 %	***/+/ 9 %	***/+/ 71 %	***/+/ 28 %	***/+/ 72 %	***/+/ 66 %
Abstand RG (m)					***/+/ 8 %		
VJ					**/-/ 2 %		
Bio_nm_mG						**/-/ 2 %	*/-/ 2 %
Bio_m_oG					*/+/ 2 %		
Bio_m_mG		**/+/ 5 %					
Totholz							
Bewuchs							
R² gesamt	4,8 %	11,9 %	9,2 %	70,6 %	39,5 %	75,9 %	67,5 %

* = Irrtumswahrscheinlichkeit < 5 %, ** = < 1 %, *** = < 0,1 %, +/- = Vorzeichen der Koeffizienten, % = Anteil an der Erklärung der Streuung, RG = Rückegasse, VJ = sichtbehindernde Verjüngung, Bio_nm_mG = nicht markierter Biotopbaum mit Gefahr, Bio_m_oG = markierter Biotopbaum ohne Gefahr, Bio_m_mG = markierter Biotopbaum mit Gefahr, R² = Bestimmtheitsmaß

Der Zeitbedarf für das Rüsten verlängert sich signifikant, je größer der BHD ist. Die Zeit für das Aufsuchen des Baumes verlängert sich signifikant, je dicker der Baum ist und je mehr markierte Biotopbäume mit Gefahr vorhanden sind. Die Zeit des Freiräumens verlängert sich signifikant, je stärker der BHD ist. Das Fällen dauert signifikant länger, je größer der BHD ist. Die Zeit in der Rückweiche verlängert sich signifikant mit zunehmendem BHD, mit zunehmendem Abstand zur Rückegasse und mit zunehmender Anzahl an markierten Biotopbäumen ohne Gefahr. Sie verringert sich signifikant, je mehr sichtbehindernde Verjüngung vorhanden ist. Das Aufarbeiten dauert signifikant länger, je größer der BHD ist und wenn es sich um Fichte handelt. Je mehr nicht markierte Biotopbäume mit Gefahr vorhanden sind, desto signifikant weniger Zeit wird für das Aufarbeiten benötigt (Tabelle 26).

Warum das Aufarbeiten bei vorhandenen Biotopbäumen weniger lang dauert und im Gegensatz dazu diese die Zeit in der Rückweiche verlängern, kann nicht erklärt werden. Möglicherweise bemühen sich die Forstwirte bei Biotopbäumen mit Gefährdungspotenzial, ihren Aufenthalt in deren Nähe möglichst kurz zu halten. Bei der Rückweiche handelte es sich dagegen um Biotopbäume ohne erkennbare Gefährdung. Wie schon bei der Fallstudie "Fränkische Platte" war der Zeitbedarf für die Rückweiche geringer, je näher Bäume an der Rückegasse standen. Dies könnte an dem größeren Freiraum liegen, den die Rückegasse für eine Rückweiche bietet. Der geringere Zeitbedarf für die Rückweiche bei sichtbehindernder Verjüngung könnte wieder ein Ausdruck dafür sein, dass eine Rückweiche bei solchen Umständen vermieden wird. Der größere Zeitbedarf für das Suchen der Entnahmebäume, wenn Biotopbäume mit Gefährdungspotenzial im Umfeld standen, könnte in der größeren Vorsicht der Forstwirtinnen und Forstwirte begründet sein. Da der Arbeitsschritt "Aufarbeiten" den größten Anteil an der Gesamtarbeitszeit hat, konnte der Zusammenhang zu den Biotopbäumen mit Gefährdungspotenzial auch bei der Gesamtarbeitszeit sichtbar werden.

Produktivität (Efm/Std) des Verfahrens

Die Produktivität beträgt 8,3 Efm/WPH bei einer Stückmasse von 1,52 Efm und ist damit äußerst hoch. Es wurden lediglich 10,6 Minuten pro Baum aufgewendet. Die Verteilung der Arbeitszeit auf die verschiedenen Arbeitsschritte ist in Abbildung 27 dargestellt.

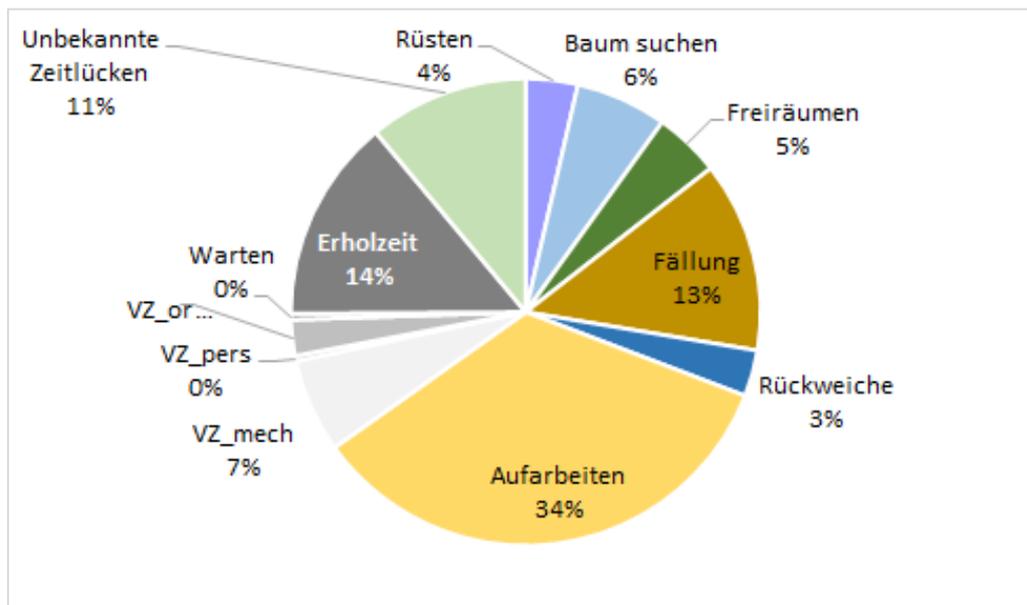


Abbildung 27: Verteilung der Arbeitszeit auf verschiedene Arbeitsschritte

Kosten

Die Kosten der Waldarbeit betragen 4,41 €/Efm, die des Motosägeneinsatzes 0,30 €/Efm, zusammen also 4,71 €/Efm.

Auswirkung des Verfahrens auf den verbleibenden Bestand

Der verbleibende Bestand hatte eine Dichte von 121 Bäumen pro Hektar. Es wurden an 9,5 Bäumen pro Hektar Fäll- und an 3 Bäumen pro Hektar Rückeschäden festgestellt. Die Quote geschädigter Bäume ist 8 % Fäll- und 2 % Rückeschäden.

Diskussion

Beim motormanuellen Holzeinschlag im Laubholz-Nadelholz-Mischbestand konnten durch die Verwendung des mechanischen Fällkeils die Bäume weitgehend erschütterungsfrei und damit sicherer gefällt werden. Der Bestand hatte die Strukturen in guter Abstufung, deren Einfluss auf die Leistung untersucht werden sollte. Dennoch zeigten sich kaum signifikante Zusammenhänge zum Gesamtzeitbedarf der Forstwirte. Der geringere Zeitbedarf im Fall von nahestehenden Biotopbäumen mit Gefährdungspotenzial, insbesondere bei der Aufarbeitung, könnte ein Ausdruck der Vorsicht der Forstwirtinnen und Forstwirte sein. Möglicherweise beeilten sie sich in diesen Situationen besonders, um rasch aus der Gefahrenzone zu gelangen. Bedenklich ist es auch hier, wenn die Forstwirte bei Verjüngung im Umfeld der Bäume es meiden, in die Rückweiche zu gehen. In der gefährlichsten Phase der Holzernte halten sie sich dann länger in dem am meisten gefährdeten Bereich auf. Die Leistung der Forstwirte ist hier als äußerst hoch einzustufen. Möglicherweise kam ihnen hier die Hanglage entgegen, wodurch Zeit für die Keilarbeit eingespart werden konnte. Leider liegen keine Informationen über die ausgeformten Sortimente vor. Vielleicht wurden wenig unterschiedliche Sortimente gebildet und die Laubbäume hatten lange astfreie Stammabschnitte.

1.5.6 Rhön

Verfahren

Motormanueller Holzeinschlag mit gelöster Drei-Mann-Rotte und Aufarbeitung, Vorrücken und Rücken mittels Seilschlepper in einem Buchen-Eichen-Altbestand mit starker sichtbehindernder Naturverjüngung bei einem Rückegassenabstand von 40 m (Abbildung 28, Tabelle 27).

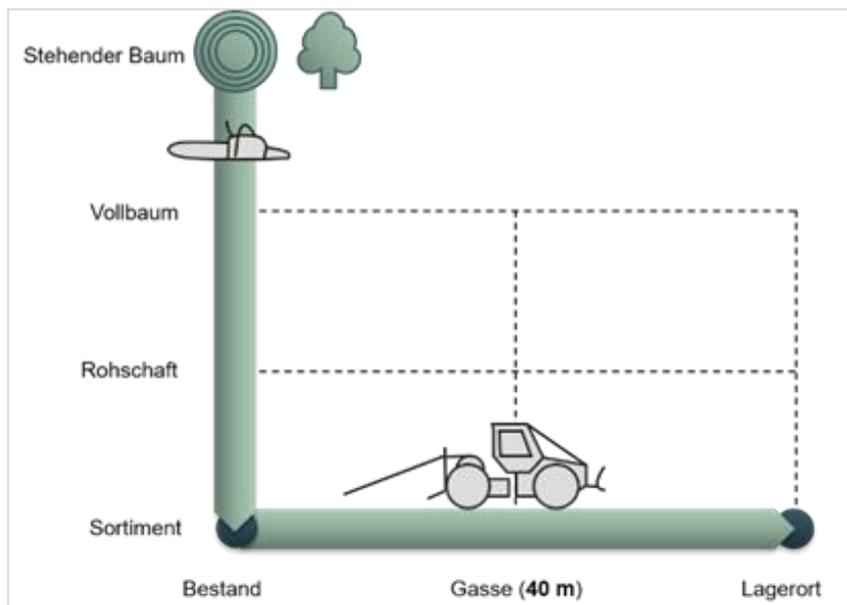


Abbildung 28: Funktiogramm Rhön

Tabelle 27: Naturaldaten, Erschließung und Hiebsdurchführung Rhön

Naturaldaten	
Hangneigung [%]	6
Bestandesform	Mischbestand
Baumartenzusammensetzung	Bu 75, Ei 25, sNdh Lã Kie
Schichtung	zweischichtig
Schlussgrad	licht bis licht geschlossen
Durchschnittliche Baumhöhe [m]	32
Natürlicher Entwicklungsabschnitt	mittleres bis starkes Baumholz
Nutzungsart	Verjüngungsnutzung
Bestandesvorrat [Efm/ha]	390
(Natur-) Verjüngung [%]	Bu 100 auf Teilfläche
Erschließung und Hiebsdurchführung	
Hiebsgröße [ha]	7,4
Entnahmemenge [Efm/ha]	47,3
Entnommene Bäume pro ha	15,4
Mittlerer BHD [cm]	42,6
Maximaler BHD [cm]	84
Rückegassenabstand [m]	40

Schutzgebietskulissen

Die Bearbeitungsfläche von 7,4 ha Größe liegt im Naturpark "Bayerische Rhön" mit dem gleichnamigen Landschaftsschutzgebiet.

Für die Versuchsfläche relevante Schutzgebietskulisse:

1. Landschaftsschutzgebiet
2. Naturpark

In einem Umkreis von 5 km liegt ein Wasserschutzgebiet, das FFH-Gebiet "Sippach-Tal", sowie mehrere im Rahmen der Biotopkartierung ausgewiesene Flächen.

Ausprägung der Variablen

Von der Fallstudie in der Rhön liegen für 58 entnommene Bäume die vollständigen Arbeitszeiten vor. Dabei handelt es sich um 81 % Buchen, der Rest sind Eichen. Der mittlere BHD ist 42 cm mit einer Streuung von 46 %. Aus Abbildung 29 geht hervor, dass die Buchen sich auf ein breites Durchmesserpektrum verteilen, während der BHD der Eichen wenig variiert. Die Bäume standen im Mittel 9 m von der nächsten Rückegasse entfernt, maximal waren es 22 m. Sichtbehindernder Verjüngung kam sehr häufig vor. Bei etwa einem Viertel der Bäume war die Sicht rund um den Baum behindert (Tabelle 28). Im Umfeld von zwei Drittel der entnommenen Bäume gab es markierte Biotopbäume, die jedoch alle als ungefährlich beurteilt wurden. Auch liegendes Totholz im Umfeld der Bäume war sehr häufig. Bei etwas mehr als der Hälfte der Bäume wurde das Gehen durch Bewuchs am Boden behindert.

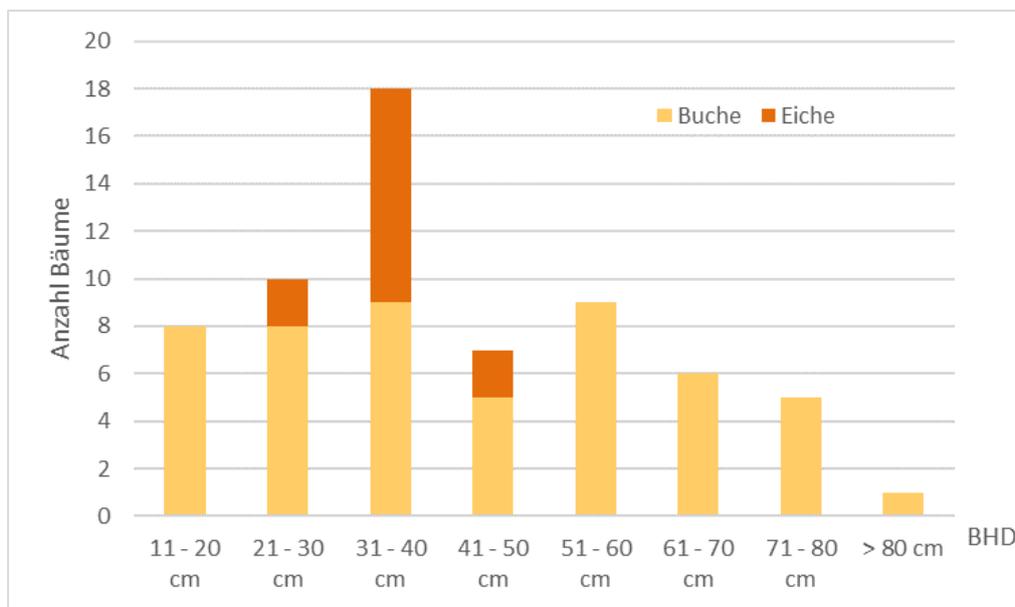


Abbildung 29: Die Verteilung der entnommenen Bäume in der Rhön nach Baumarten auf Durchmesserstufen

Tabelle 28: Häufigkeit des Vorkommens von Merkmalen im 10 m- Umkreis um die entnommenen Bäume

Kreissegment	kein	1/4	2/4	3/4	4/4
VJ	29%	5%	19%	22%	24%
Bio_m_oG	33%	16%	38%	12%	2%
Totholz	22%	31%	22%	16%	9%
Bewuchs	47%	31%	21%	2%	0%

VJ = sichtbehindernde Verjüngung, Bio_m_oG = markierter Biotopbaum ohne Gefahr, Totholz = liegendes Totholz, Bewuchs = behindernder Bewuchs

Einfluss der Variablen auf die Leistung

Für die motormanuelle Fällung, Aufarbeitung, Sortimentierung und das Rücken mit einem Seilschlepper verlängert sich signifikant die Gesamtarbeitszeit des Forstwirtes pro Baum je größer der BHD ist. Sie verlängert sich auch signifikant, je mehr sichtbehindernde Verjüngung vorhanden ist. Sie verkürzt sich signifikant, wenn ein Biotopbaum in der Nähe ist.

Tabelle 29: Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs der Forstwirte insgesamt und für einzelne Arbeitsschritte in der Fallstudie Rhön

Parameter	Freiräumen	Fällung	Rückweiche	Aufarbeiten	Gesamt
Buche					
BHD (cm)		***/+/ 65 %		***/+/ 81 %	***/+/ 78 %
Abstand RG (m)					
VJ	*/+/ 10 %				*/+/ 2 %
VJ ≥ 75 %				*/+/ 2 %	
Biotopbaum				**/-/ 2 %	*/-/ 2 %
Totholz					
Bewuchs			*/-/ 9 %		
R² gesamt	9,6 %	64,7 %	8,9 %	84,3 %	82,6 %

* = Irrtumswahrscheinlichkeit < 5 %, ** = < 1 %, *** = < 0,1 %, +/- = Vorzeichen der Koeffizienten, % = Anteil an der Erklärung der Streuung, RG = Rückegasse, VJ = sichtbehindernde Verjüngung, R² = Bestimmtheitsmaß

Bei den einzelnen Arbeitsschritten ist es so, dass sich für den Arbeitsschritt „Rüsten“ die Zeit signifikant verlängert, je dicker der Baum ist und je größer der Abstand zur Rückegasse ist. Bei dem Arbeitsschritt „Baum suchen“ gibt es keine signifikante Beeinflussung des Zeitbedarfes durch eine Variable gibt. Der Arbeitsschritt „Freiräumen“ verlängert sich signifikant, je mehr sichtbehindernde Verjüngung vorhanden ist. Das Fällen dauert signifikant länger, je größer der BHD ist. Die Zeit in der Rückweiche verkürzt sich signifikant, je mehr Bewuchs vorhanden ist. Für das Aufarbeiten benötigt der Forstwirt signifikant mehr Zeit, je größer der BHD ist und wenn sehr starke Verjüngung vorhanden ist. Sind Biotopbäume in der Nähe, verkürzt sich der Zeitbedarf für die Aufarbeitung (Tabelle 29).

Ein größerer Zeitbedarf für das Freiräumen bei dichter Verjüngung um den zu entnehmenden Baum ist plausibel. Eine kürzere Zeit in der Rückweiche, je mehr behindernder Bewuchs am Boden vorhanden ist, könnte wie in anderen Fallstudien bei vorhandener Verjüngung bedeuten, dass eine Rückweiche im Fall von Bewuchs vermieden wird. Ein größerer Zeitbedarf beim Aufarbeiten, wenn sehr viel Verjüngung um den Baum herum vorhanden ist, erscheint ebenfalls plausibel. Der geringere Zeitverbrauch beim Aufarbeiten, wenn Biotopbäume in der Nähe sind, passt zu den Beobachtungen in anderen Fallstudien. Dieser Zusammenhang konnte sich auch bei der Gesamtarbeitszeit durchsetzen. Anders als bei den anderen Fallstudien, wurden die Biotopbäume hier jedoch als nicht gefährlich eingestuft. Allerdings handelte es sich um markierte Biotopbäume. Vielleicht waren Forstwirtinnen und Forstwirte deshalb trotzdem vorsichtiger und vermieden einen längeren Aufenthalt im Gefahrenbereich.

Produktivität (Efm/Std) des Verfahrens

Die Stückmasse der Bäume ist 2 Efm/Baum. Die Produktivität ist mit 5,2 Efm/WPH sehr hoch. Es wurden 2,6 Bäume pro Stunde aufgearbeitet. Der Zeitbedarf beträgt 22,7 Minuten/Baum. Verwendet man die im GLM-Modell errechneten Parameter für die Schätzung des Zeitbedarfs, so erhöht sich der Zeitbedarf verglichen mit der Situation ohne Verjüngung um 27 %, wenn in allen Segmenten um den Baum Verjüngung ist. In 24 Fällen kam es durch Ausschalten der Kamera zu Zeitlücken. In 10 Fällen dauerten diese mehr als 50 Minuten. Diese langen Lücken machen 84 % der gesamten Zeitlücken aus.

Die Verteilung der Arbeitszeit auf die einzelnen Arbeitsschritte ist in Abbildung 30 dargestellt.

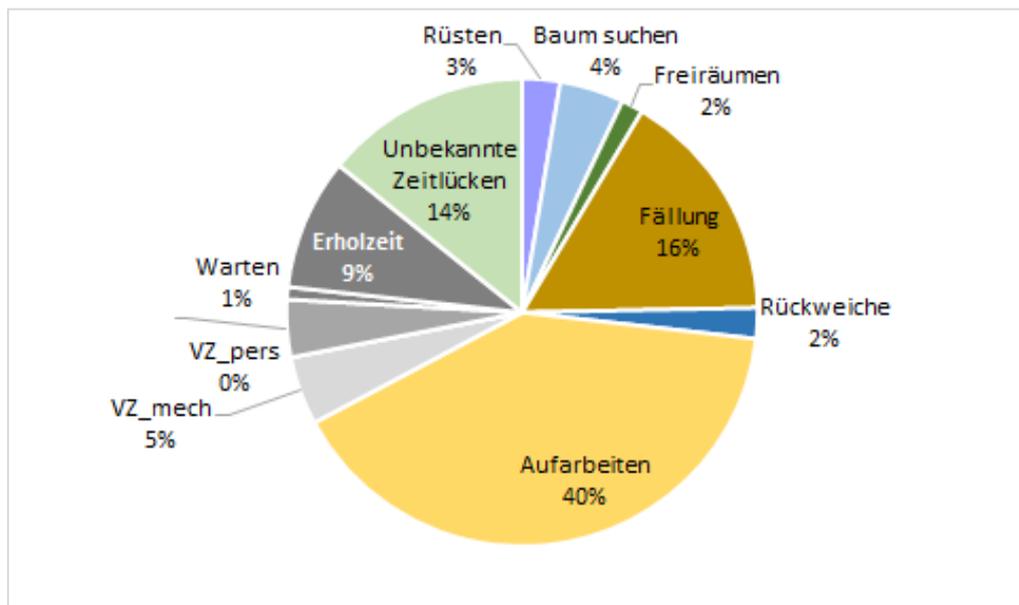


Abbildung 30: Die Verteilung der Arbeitszeit auf die einzelnen Arbeitsschritte

Kosten

Die Kosten der Waldarbeit betragen 7,07 €/Efm, die des Motorsägeneinsatzes 0,55 €/Efm, zusammen 7,62 €/Efm.

Auswirkung des Verfahrens auf den verbleibenden Bestand

Nach dem Holzeinschlag verblieben 167 Bäume je Hektar auf der Fläche. Es wurde 12 Bäume mit Fäll- und 3,8 Bäume pro Hektar mit Rückeschäden festgestellt. Die Anteile geschädigter Bäume sind 7 % bzw. 2 % mit Fäll- bzw. Rückeschäden.

Diskussion

Diese Fallstudie wurde in einem Buchen-Eichen-Altbestand durchgeführt, der reich an den Strukturmerkmalen war, deren Einfluss auf die Holzernte untersucht werden soll. Die Dimension der Bäume (BHD) kann einen sehr großen Anteil der Streuung des Zeitbedarfs für den motormanuellen Holzeinschlag erklären. Auch sichtbehindernde Verjüngung im Umfeld der Bäume war mit einem signifikant größeren Zeitbedarf verbunden, was vor allem auf die Arbeitsschritte "Freiräumen" und "Aufarbeiten" zurückzuführen ist. Diese kann den Zeitbedarf bis zu 27 % erhöhen. Biotopbäume in der Nähe der zu entnehmenden Bäume waren mit einem kürzeren Zeitbedarf verbunden, was vor allem auf dem Arbeitsschritt "Aufarbeiten" beruht. Vermutlich vermieden die Forstwirte einen längeren Aufenthalt unter den Biotopbäumen und beschleunigten ihre Arbeit. Der kürzere Zeitbedarf in der Rückweiche bei zunehmendem Bewuchs im Umfeld der Bäume ist ein Grund zur Besorgnis. Womöglich vermeiden Forstwirtinnen und Forstwirte in diesen Fällen eher die Rückweiche und setzen sich damit einer größeren Gefahr aus.

1.5.7 Nördlicher Steigerwald

Verfahren

Motormanueller Holzeinschlag und Aufarbeitung im Kiefer-Fichten-Eichen-Buchen-Altbestand mit Vorrücken durch Zangenschlepper und Rücken mit Forwarder bei starker sichtbehindernder Naturverjüngung bei einem Rückegassenabstand von 40 m (Abbildung 31, Tabelle 30).

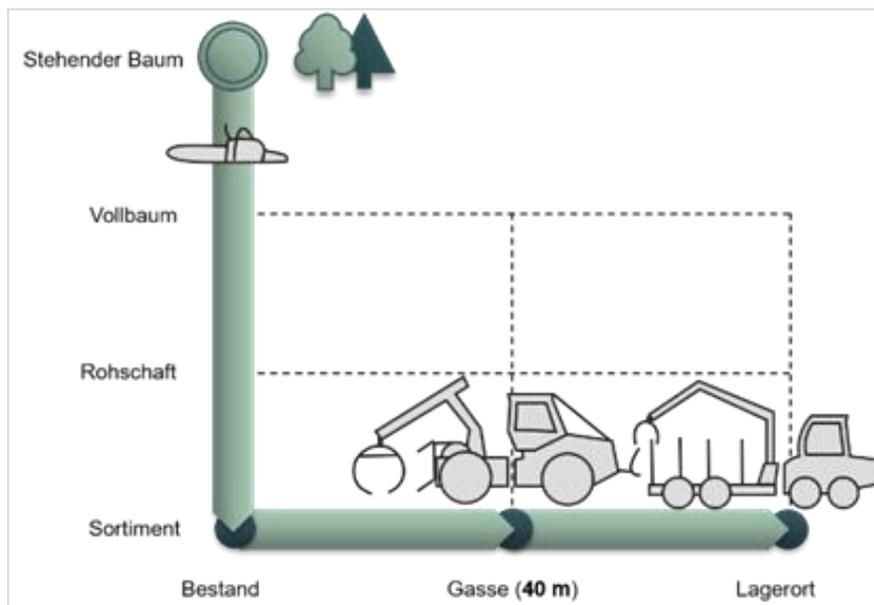


Abbildung 31: Funktogramm Nördlicher Steigerwald

Tabelle 30: Naturaldaten, Erschließung und Hiebsdurchführung Nördlicher Steigerwald

Naturaldaten	
Hangneigung [%]	3
Bestandesform	Mischbestand
Baumartenzusammensetzung	Kie 40, Fi 30, Ei 15, Bu 15
Schichtung	zweischichtig
Schlussgrad	licht geschlossen
Durchschnittliche Baumhöhe [m]	29
Natürlicher Entwicklungsabschnitt	mittleres Baumholz
Nutzungsart	Verjüngungsnutzung
Bestandesvorrat [Efm/ha]	365
(Natur-) Verjüngung [%]	Bu 50, Ei 50 auf Teilfläche
Erschließung und Hiebsdurchführung	
Hiebsgröße [ha]	6
Entnahmemenge [Efm/ha]	77,9
Entnommene Bäume pro ha	23,8
Mittlerer BHD [cm]	36
Maximaler BHD [cm]	58
Rückegassenabstand [m]	40

Schutzgebietskulissen

Auf zwei jeweils 3 ha großen Bearbeitungsflächen wurden Flächendaten erhoben und Holzerntemaßnahmen begleitet. Die beiden Versuchsflächen liegen in einem Trinkwasserschutzgebiet.

Für die Versuchsfläche relevante Schutzgebietskulisse

Trinkwasserschutzgebiet: dies ist keine naturschutzfachliche Kategorie und wird in diesem Einzelfall gesondert betrachtet:

1. ein Betankungsverbot von Maschinen innerhalb des Schutzgebiets sowie
2. Restriktionen bezüglich der Maschinenspezifikationen (wie beispielsweise spezielle Schutzmaßnahmen zum Austritt von Schmier- und Kraftstoffen).

Ansonsten ist die Fläche von keiner naturschutzfachlichen Kategorie erfasst.

Im Umkreis 5 km um den Waldstandort sind mehrere Feuchtbiopte auskartiert (Biotopkartierung), FFH-Gebiete sowie der Naturpark Steigerwald mit dem Landschaftsschutzgebiet innerhalb des Naturparks Steigerwald (ehemals Schutzzone).

Ausprägung der Variablen

Für die Untersuchung wurden 131 Bäume berücksichtigt. Baumart und Durchmesser dieser Bäume ist Tabelle 30 zu entnehmen. Die Durchmesser sind annähernd normal verteilt. Der Abstand der Bäume von der nächsten Rückegasse beträgt im Durchschnitt 12 m und maximal 32 m. Die Häufigkeit von sichtbehindernder Verjüngung, Biotopbäumen, liegendem Totholz und behinderndem Bewuchs im Umkreis der Bäume zeigt Tabelle 32.

Bei dieser Fallstudie wurden ein Baum mit einer Fällzeit von nur einer Sekunde und drei Bäume von mehr als 25 cm Durchmesser, für die keine Aufarbeitungszeiten vorlagen, als Ausreißer von der Analyse ausgeschlossen (Tabelle 31).

Tabelle 31: Die Zusammensetzung nach Baumarten und die Durchmesser der entnommenen Bäume, für die Zeiten vorliegen

Baumart	Anteil	Ø BHD	Std.abw.
Kiefer	72%	38 cm	± 5 cm
Buche	15%	36 cm	± 11 cm
Fichte	13%	28 cm	± 5 cm
Lärche	1%	41 cm	
Gesamt	100%	36 cm	± 7 cm

Std.abw. = Standardabweichung

Tabelle 32: Häufigkeit des Vorkommens von Merkmalen im 10 m- Umkreis um die entnommenen Bäume

Kreissegment	kein	1/4	1/2	3/4	4/4
VJ	15%	6%	9%	20%	49%
Bio_nm_mG	96%	4%			
Bio_m_oG	31%	28%	24%	11%	6%
Bio_m_mG	96%	5%			
Totholz	16%	23%	21%	23%	17%
Bewuchs	65%	19%	8%	4%	

VJ = sichtbehindernde Verjüngung, Bio_nm_mG = nicht markierter Biotopbaum mit Gefahr, Bio_m_oG = markierter Biotopbaum ohne Gefahr, Bio_m_mG = markierter Biotopbaum mit Gefahr

Einfluss der Variablen auf die Leistung

Bei der motormanuellen Holzernte im Nadelholz mit Seilschlepper erhöht sich die Gesamtarbeitszeit der Forstwirte pro Baum signifikant bei zunehmendem BHD. Sie nimmt signifikant ab, wenn die Baumart Kiefer ist und je größer der Abstand zur Rückegasse ist.

Tabelle 33: Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs der Forstwirte insgesamt und für einzelne Arbeitsschritte in der Fallstudie nördlicher Steigerwald

Parameter	Rüsten	Freiräumen	Fällung	Rückweiche	Aufarbeiten	Gesamt
Kiefer				*-/ 3 %	***-/ 15 %	***-/ 10 %
BHD (cm)			**+/7 %	*+/ 2 %	***+/ 33 %	***+/ 24 %
Abstand RG (m)		*-/ 4 %				**-/ 3 %
VJ						
Biotopbaum						
Bio m mG						
Bio m oG						
Bio nm mG						
Bio_v	*-/ 6 %					
Totholz						
Bewuchs		*-/4 %				
R² gesamt	5,5 %	7,4 %	6,7 %	4,9 %	48 %	38,8 %

* = Irrtumswahrscheinlichkeit < 5 %, ** = < 1 %, *** = < 0,1 %, +/- = Vorzeichen der Koeffizienten, % = Anteil an der Erklärung der Streuung, RG = Rückegasse, VJ = sichtbehindernde Verjüngung, Bio_nm_mG = nicht markierter Biotopbaum mit Gefahr, Bio_m_oG = markierter Biotopbaum ohne Gefahr, Bio_m_mG = markierter Biotopbaum mit Gefahr, R² = Bestimmtheitsmaß

Das Rüsten verkürzt sich signifikant, wenn ein Biotopbaum vorhanden ist. Allerdings macht dieser Arbeitsschritt nur 1 % von der Gesamtarbeitszeit aus und kann daher vernachlässigt werden. Für den Arbeitsschritt „Baum suchen“ gibt es keine signifikanten Einflussvariablen. Der Zeitbedarf für den Arbeitsschritt „Freiräumen“ verkürzt sich signifikant, je größer der Abstand zur Rückegasse ist und je mehr Bewuchs vorhanden ist. Das Fällen eines Baumes dauert signifikant länger, je dicker der Baum ist. Die Zeit in der Rückweiche verkürzt sich signifikant, wenn der Baum eine Kiefer ist und verlängert sich signifikant, je größer der BHD ist. Das Aufarbeiten dauert signifikant länger, je größer der BHD ist und verkürzt sich signifikant, wenn es sich um eine Kiefer handelt (Tabelle 33).

Die Verkürzung der Gesamtarbeitszeit bei dem Fällen einer Kiefer kann durch die verkürzte Aufarbeitungszeit erklärt werden. Diese kann zustande kommen, weil eine Kiefer aufgrund der besseren Astreinigung weniger entastet werden muss. Warum sich die Arbeitszeit mit zunehmendem Abstand von der Rückegasse beim Freiräumen verkürzt, kann nicht erklärt werden. Genauso unklar ist, warum sich die Zeit in der Rückweiche verkürzt, wenn es sich um eine Kiefer handelt.

Produktivität (Efm/Std) des Verfahrens

Die 131 berücksichtigten Bäume hatten ein Volumen von 148 Efm und eine Stückmasse von 1,1. Es wurden 4,8 Bäume pro Stunde aufgearbeitet. Der Zeitbedarf beträgt 12,6 Minuten je Baum. Die Leistung der Forstwirte war mit 5,4 Efm/WPH wiederum sehr hoch. Die Verteilung der Arbeitszeit auf die verschiedenen Arbeitsschritte ist in Abbildung 32 dargestellt. Bei fünf Bäumen wurde vermerkt, dass diese beim Fällen hängen blieben und mit einer Seilwinde herabgezogen wurden. In drei Fällen wurde die Kamera während des Holzeinschlags dieser Hänger längere Zeit ausgeschaltet. Dies macht 10 % der unbekannteren Zeitlücken aus.

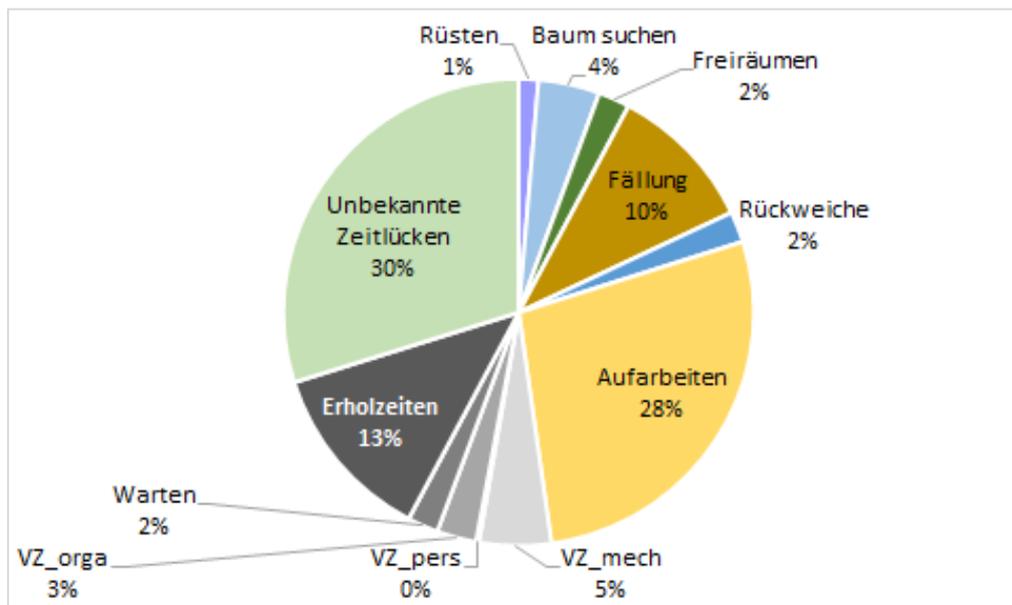


Abbildung 32: Die Verteilung der Arbeitszeiten in der Fallstudie im nördlichen Steigerwald auf Arbeitsschritte

Die Produktivität des Forwarders liegt laut Zeitmitschrieb ohne Pausen bei 19,48 Efm/Stunde.

Kosten

Die Kosten der Waldarbeit betragen 6,80 €/Efm, die des Motorsägeneinsatzes 0,36 €/Efm und zusammen 7,17 €/Efm.

Auswirkung des Verfahrens auf den verbleibenden Bestand

In diesem Bestand verblieben nach dem Eingriff 101 Bäume pro Hektar. Fäll- und Rückeschäden wurden an 9,8 bzw. 3,8 Bäumen pro Hektar beobachtet. Die Anteile geschädigter Bäume belaufen sich auf 10 % bzw. 3% Fäll- bzw. Rückeschäden.

Diskussion

Auch dieser Waldbestand war reich an den in dieser Studie interessierenden Merkmalen sichtbehindernde Verjüngung, Biotopbäume, liegendes Totholz und das Gehen behindernder Bewuchs. Dennoch konnte für fast keines dieser Merkmale ein Zusammenhang zum Zeitbedarf beim Holzeinschlag festgestellt werden. Der wesentliche Unterschied zu den anderen Fallstudien mit motormanuellem Holzeinschlag ist die Baumartenzusammensetzung. In diesem Bestand dominierten die Kiefer im Vergleich zu den anderen Baumarten.

1.5.8 Altmühltal

Verfahren

Integriertes Verfahren aus motormanueller Zufällung (mit ferngesteuertem Fällkeil) und Harvestereinschlag mit Rückung durch Forwarder in einem Fichten-Altbestand mit starker sichtbehindernder Naturverjüngung bei einem Rückegassenabstand von 30 m (Abbildung 33, Tabelle 34).

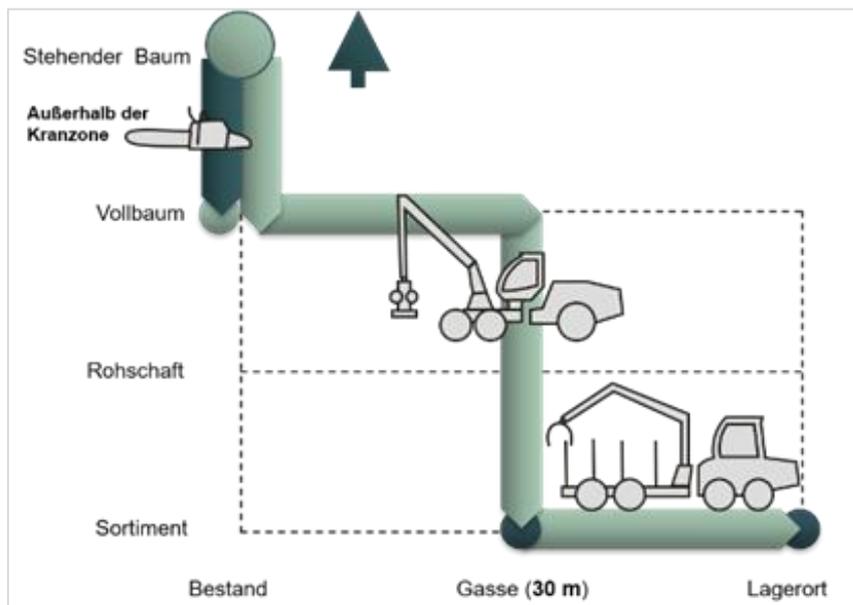


Abbildung 33: Funktiogramm Altmühltal

Tabelle 34: Naturaldaten, Erschließung und Hiebsdurchführung Altmühltal

Naturaldaten	
Hangneigung [%]	4
Bestandesform	Reinbestand
Baumartenzusammensetzung	Fi 100, sonst. BA Bu, Ei
Schichtung	zweischichtig
Schlussgrad	licht bis geschlossen
Durchschnittliche Baumhöhe [m]	36
Natürlicher Entwicklungsabschnitt	mittleres Baumholz
Nutzungsart	Verjüngungsnutzung
Bestandesvorrat [Efm/ha]	535
(Natur-) Verjüngung [%]	Fi 100; Pflanzung: Küstentanne, Douglasie, Hemlocktanne
Erschließung und Hiebsdurchführung	
Hiebsgröße [ha]	0,9
Entnahmemenge [Efm/ha]	
Entnommene Bäume pro ha	277,8
Mittlerer BHD [cm]	39
Maximaler BHD [cm]	75
Rückegassenabstand [m]	30

Schutzgebietskulissen

Die beiden 0,1 und 0,8 ha große Bearbeitungsflächen befinden sich im Landschaftsschutzgebiet "Naturpark Altmühltal".

Für die Versuchsfläche relevante Schutzgebietskulisse sind:

1. Landschaftsschutzgebiet

In einem Umkreis von 5 km liegen zahlreiche Trinkwasserschutzgebiete sowie Wald- und Offenland-Biotope. Etwa 2 km nordwestlich befindet sich zudem das Vogelschutzgebiet „Mittleres Altmühltal und Wellheimer Trockental“, sowie der ebenfalls zum FFH-Gebiet erklärte, ehemalige Standortübungsplatz Ingolstadt-Hepberg.

Ausprägung der Variablen

Der mittlere BHD der entnommenen Bäume, für welche Daten zum Zeitbedarf vorliegen, beträgt 40 cm mit einer Streuung von ± 11 cm. Die Durchmessererteilung ähnelt einer Normalverteilung. Der mittlere Abstand der Bäume von der nächsten Rückegasse beträgt 11,6 m und maximal 29 m. Es sind 26 % der Bäume mehr als 10 m von der Rückegasse entfernt und damit auf jeden Fall außerhalb der Kranreichweite. Die Häufigkeit von sichtbehindernder Verjüngung, Biotopbäumen, liegendem Totholz und behinderndem Bewuchs im Umkreis der Bäume zeigt Tabelle 35.

Tabelle 35: Häufigkeit des Vorkommens von Merkmalen im 10 m- Umkreis um die entnommenen Bäume

Kreissegment	kein	1/4	1/2	3/4	4/4
VJ	14%	3%	10%	15%	58%
Bio_nm_mG	93%	7%			
Bio_m_oG	62%	33%	0%	4%	1%
Totholz	52%	22%	9%	5%	12%
Bewuchs	26%	16%	21%	18%	19%

VJ = sichtbehindernde Verjüngung, Bio_nm_mG = nicht markierter Biotopbaum mit Gefahr, Bio_m_oG = markierter Biotopbaum ohne Gefahr

Einfluss der Variablen auf die Leistung

Im Folgenden sind die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Einflussfaktoren auf die Arbeitszeiten und Arbeitsschritte der Forstwirte und des Harvesters für das Verfahren des Harvestereinschlags mit unterstützenden Zufällern und Endrücken mit Forwarder im Altmühltal dargestellt.

Forstwirtin und Forstwirt

Die Gesamtzeit der Forstwirte wird signifikant vom Durchmesser des zu erntenden Baumes und des vorhandenen Totholzes beeinflusst. Das heißt, je größer der BHD und je mehr liegendes Totholz vorhanden ist, desto länger braucht die Forstwirtin oder der Forstwirt zum Zufällen des Baumes (s. Tabelle 36).

Tabelle 36: Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs der Forstwirte insgesamt und für einzelne Arbeitsschritte in der Fallstudie Altmühltal

Parameter	Baum suchen	Freiräumen	Fällung	Rückweiche	Gesamt
BHD (cm)	*/+ 4 %		***/+ 45 %	**/+ 12 %	***/+46 %
Abstand RG (m)		*-/ 1 %			
VJ	**-/ 5 %	***/+9 %		***-/11 %	
Bio_nm_mG					
Bio_m_oG		*/+ 4 %			
Totholz			*/+ 3 %	*/+ 3 %	*/+ 2 %
Bewuchs		***-/ 17 %			
R ² gesamt	9,7 %	31,8 %	48,3 %	23 %	48,2 %

* = Irrtumswahrscheinlichkeit < 5 %, ** = < 1 %, *** = < 0,1 %, +/- = Vorzeichen der Koeffizienten, % = Anteil an der Erklärung der Streuung, RG = Rückegasse, VJ = sichtbehindernde Verjüngung, Bio_nm_mG = nicht markierter Biotopbaum mit Gefahr, Bio_m_oG = markierter Biotopbaum ohne Gefahr, R² = Bestimmtheitsmaß

Der Arbeitsschritt „Rüsten“ kam nur bei 13 % der Bäume vor. Signifikante Zusammenhänge wurden dafür nicht festgestellt. Der Arbeitsschritt „Baum suchen“ verlängert sich, je größer der BHD wird. Das Vorhandensein einer sichtbehindernden Verjüngung wirkt dem Zeitbedarf bei der Baumsuche signifikant entgegen. Die Zeit für den Arbeitsschritt „Freiräumen“ nimmt signifikant mit Zunahme der sichtbehindernden Verjüngung und mit der Häufigkeit nahestehender markierter Biotopbäume ohne Gefahr zu. Mit Zunahme des Abstands zur Rückegasse und das Vorhandensein von Bewuchs verkürzt sich signifikant die benötigte Zeit für das Freiräumen. Die benötigte Zeit für den Arbeitsschritt „Fällen“ wird durch Zunahme des BHDs und das Vorhandensein von

Totholz signifikant verlängert. Mit Zunahme des BHDs und der Menge an Totholz verlängert sich die Zeit in der Rückweiche. Sie verkürzt sich, je mehr Verjüngung vorhanden ist. Der Arbeitsschritt „Aufarbeiten“ kam nur bei zwei Bäumen vor. Die Arbeiten des Forstwirts beschränkten sich also konsequent auf das Zufällen (Tabelle 36).

Da beim Arbeitsschritt „Freiräumen“ nur 1 % der Streuung des Zeitbedarfs durch den weiteren Abstand von der Rückegasse erklärt wird, kann diese Variable ignoriert werden. Der mit 17 % starke Einfluss des Bewuchses könnte damit begründet werden, dass, wenn viel Verjüngung vorhanden ist, weniger Bewuchs freigeräumt werden muss. Die Verkürzung der Zeit in der Rückweiche bei Verjüngung könnte wieder damit erklärt werden, dass die Forstwirte es vermeiden bei dichter Verjüngung in die Rückweiche zu gehen. Andererseits könnte man dies auch bei liegendem Totholz vermuten. Der größere Zeitbedarf für die Rückweiche in diesem Fall erklärt sich daraus, dass im Fall von liegendem Totholz im Umfeld der Bäume diese häufiger vom Forstwirt gefällt wurden.

Harvester

Tabelle 37 zeigt die Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs des Harvesters.

Tabelle 37: Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs des Harvesters insgesamt und für einzelne Arbeitsschritte in der Fallstudie Altmühltal

Parameter	Fällung	Aufarbeiten	Gesamt
BHD (cm)	*/+ 25 %	***/+ 21 %	***/+23 %
Abstand RG (m)	*-/ 16 %	*/+3 %	
VJ			
Bio_nm_mG			
Bio_m_oG			
Totholz	***-/12 %		
Bewuchs			
R² gesamt	31,3 %	24,1 %	23 %

* = Irrtumswahrscheinlichkeit < 5 %, ** = < 1 %, *** = < 0,1 %, +/- = Vorzeichen der Koeffizienten, % = Anteil an der Erklärung der Streuung, RG = Rückegasse, VJ = sichtbehindernde Verjüngung, Bio_nm_mG = nicht markierter Biotopbaum mit Gefahr, Bio_m_oG = markierter Biotopbaum ohne Gefahr, R² = Bestimmtheitsmaß

Die benötigte Gesamtarbeitszeit des Harvesters pro Baum wird durch die Zunahme des BHDs signifikant verlängert.

Teilt man die Gesamtarbeitszeit in einzelne Arbeitsschritte ein, ergeben sich folgende Ergebnisse:

Die benötigte Zeit für das Fällen eines Baumes nimmt mit zunehmendem BHD signifikant zu. Je größer der Abstand zur Rückegasse ist und je mehr Totholz vorhanden ist, desto signifikant weniger Zeit benötigt der Harvester zum Fällen des Baumes. Für den Arbeitsschritt „Aufarbeiten“ benötigt der Harvester signifikant mehr Zeit, je größer der BHD ist und je größer der Abstand zur Rückegasse ist. Die Arbeitsschritte „Leerfahrt“ und „Baum anfahren“ sind nicht signifikant. „Leerfahrten“ kamen auch nur bei 7 % der vom Harvester bearbeiteten Bäume vor (Tabelle 37).

Die Verkürzung der Fällzeit durch Zunahme des Abstandes zur Rückegasse kann dadurch erklärt werden, dass bei einem so großen Rückegassenabstand mit Zufällern gearbeitet wurde und diese das Fällen in den weiter entfernten Bereichen übernommen haben. Ebenso haben die Forstwirte bei viel liegendem Totholz im Umfeld der Bäume häufiger die Fällung übernommen, weshalb der Zeitbedarf des Harvesters für die Fällung dann geringer war. Für Bäume, die weiter von der Rückegasse entfernt waren, benötigte der Harvester vermutlich mehr Zeit bei der Aufarbeitung, weil er die Bäume länger manipulieren musste, um sie in die Ausgangsposition für das Prozessieren zu bringen.

Fällung durch Harvester oder Forstwirtin und Forstwirt

Die überwiegende Zahl der Bäume, die nur bis zu 10 m von der Rückegasse entfernt standen, wurden vom Harvester gefällt (Abbildung 34). Es wurden allerdings 28 % der Bäume in Kranreichweite trotzdem motormanuell gefällt. Dass auch einige Bäume in größerer Entfernung vom Harvester gefällt wurden, liegt daran, dass die Abstände vor dem Hieb gemessen wurden. Möglicherweise wurde bei der Aufnahme nicht in allen Fällen die nächste Rückegasse korrekt identifiziert oder es wurden Rückegassen während des Hiebs ergänzt. Der Zusammenhang zwischen dem Abstand eines Baumes zur Rückegasse und dem Verfahren der Fällung (maschinell/motormanuell) war nach der logistischen Regression statistisch hochsignifikant. Als hochsignifikant

erwies sich auch, ob liegendes Totholz im Umfeld des Baumes vorhanden war oder nicht (Tabelle 37). Von den Bäumen mit liegendem Totholz im Umfeld wurden 82 % zugefällt, von denen ohne Totholz lediglich 52 %.

Das Chancen-Verhältnis kann berechnet werden, indem $x \rightarrow \exp(x)$ mit dem Schätzwert für das Vorhandensein von Totholz als x berechnet wird: $e^{+1,5628} = 4,77$. Die relative Wahrscheinlichkeit für das Zufallen ist $4,77 - 1 = 3,77$. Somit ist im Fall von liegendem Totholz im Umfeld eines Baumes die Chance, dass der Baum motormanuell gefällt wird, fast viermal größer als ohne. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die hier untersuchten Bäume nur ein Teil der geernteten Bäume darstellen. Bei den maschinell bearbeiteten Bäumen ließ sich in vielen Fällen die Baumnummer nicht identifizieren.

Mit Hilfe des Modells mit den beiden erklärenden Variablen Abstand zur Rückegasse und Vorhandensein von Totholz, wurde für jeden Baum die Wahrscheinlichkeit geschätzt, dass dieser motormanuell zugefällt wird (Abbildung 35). Bei den tatsächlich zugefällten Bäumen errechnet sich eine durchschnittliche Wahrscheinlichkeit von 80 % und bei den tatsächlich maschinell gefällten Bäumen eine Wahrscheinlichkeit von 40 % (Tabelle 38). Die große Differenz von 40 % zwischen diesen beiden Mittelwerten zeigt, dass dieses Modell einen großen Teil der Streuung zu erklären vermag.

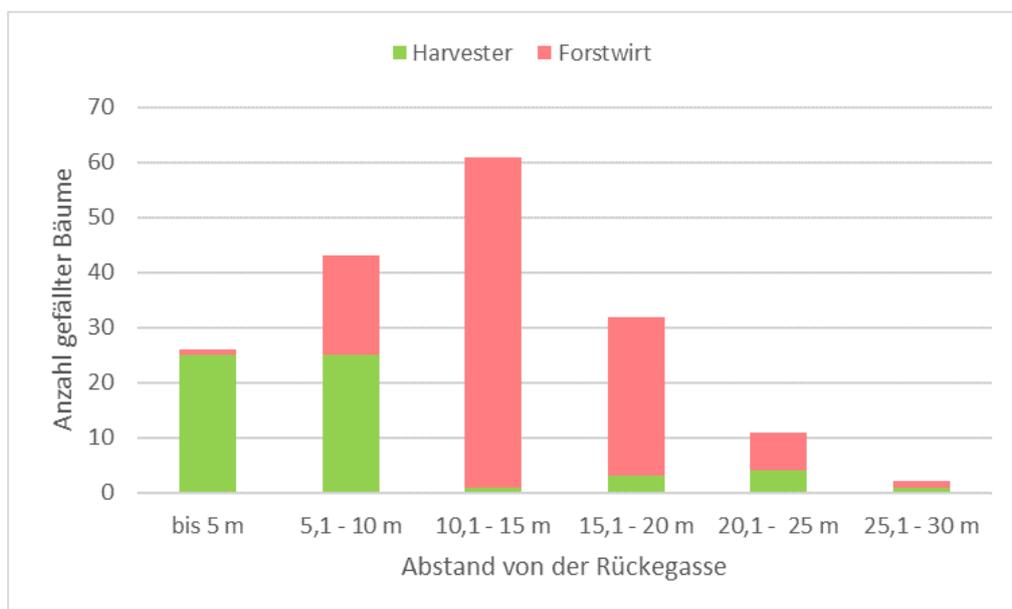


Abbildung 34: Abstände der jeweils vom Harvester und vom Forstwirt gefällten Bäume zur Rückegasse

Tabelle 38: Maximum-Likelihood-Schätzung der Parameter einer logistischen Regression zur Erklärung, ob ein Baum maschinell oder motormanuell gefällt wird

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	P > Chi-Quadrat
Konstante	-2,638	0,517	< 0,0001
Abstand Rückegasse	0,2505	0,0433	< 0,0001
Liegendes Totholz	1,5628	0,4102	0,0001

Anmerkung: Dummy-Variable: Liegendes Totholz: 0 = im 10 Umkreis nicht vorhanden, 1 = im 10 Umkreis vorhanden. Abhängige Variable: 0 = maschinell gefällt, 1 = motormanuell gefällt

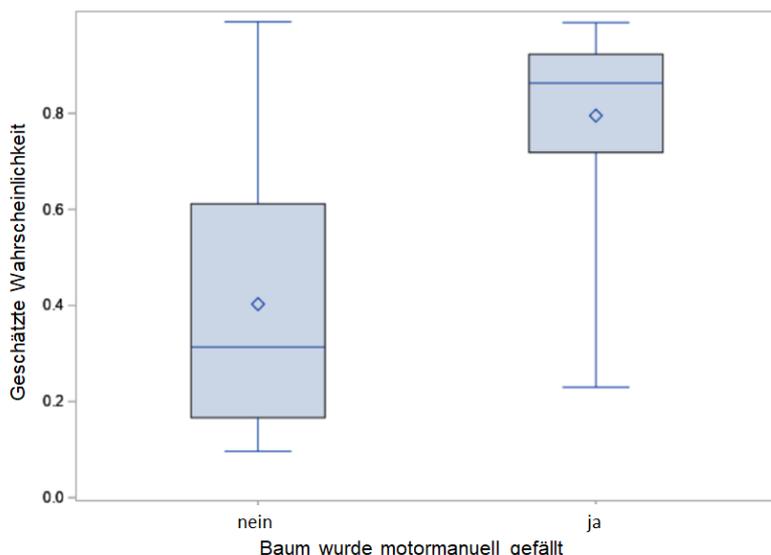


Abbildung 35: Die mit Hilfe des logistischen Regressionsmodells geschätzte Wahrscheinlichkeit, ob ein Baum motormanuell gefällt wird oder nicht

Produktivität (Efm/Std) des Verfahrens

Die 108 motormanuell zugefällten Fichten hatten ein Volumen von 173 Efm und eine Stückmasse von 1,6 Efm/Baum. Es wurden 13 Bäume pro Stunde gefällt (4,6 Minuten/Baum). Die Leistung beträgt 20,8 Efm/WPH. Die Verteilung der Arbeitszeiten der Forstwirte und Forstwirtinnen wird in Abbildung 36 dargestellt. Auffällig ist der große Anteil der Fällung. Für das Aufarbeiten wurde keine Zeit aufgewendet. Die Kamera wurde 12-mal ausgeschaltet. Lediglich eine dieser Unterbrechungen dauerte länger als nur einige Minuten.

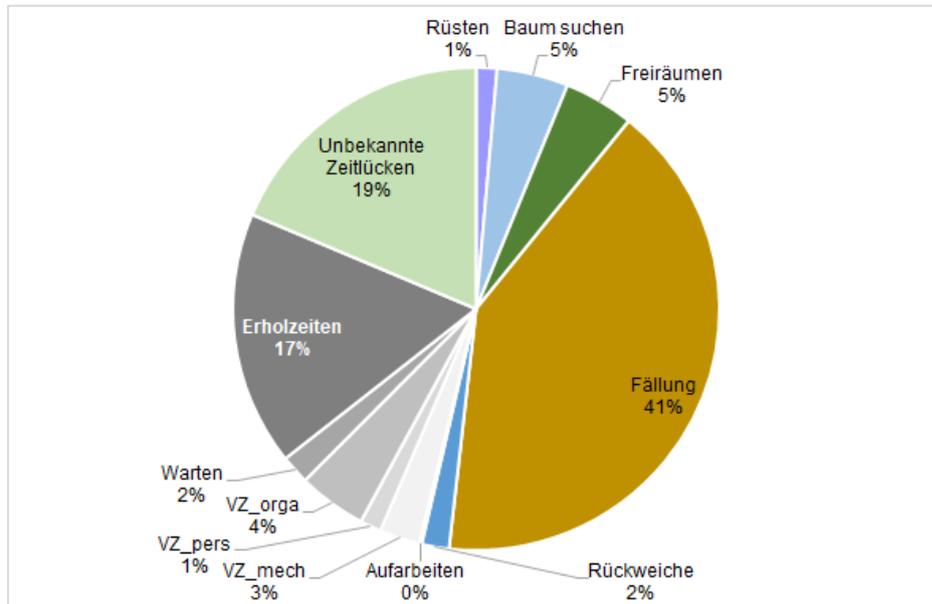


Abbildung 36: Die Verteilung der Arbeitszeiten der Forstwirte in der Fallstudie Altmühltal auf Arbeitsschritte

Die Stückmasse der vom Harvester gefällten Bäume ist mit 1,6 Efm/Baum etwas niedriger als die der zugefällten Bäume (1,9). Der Zeitbedarf beträgt 2,4 Minuten pro Baum, 2,7 Minuten für zugefällte Bäume und 2,2 Minuten für vollmechanisiert aufgearbeitete Bäume. Die Produktivität des Harvesters beträgt bei den zugefällten Bäumen 42,0 Efm/PMH₁₅ und bei den maschinell gefällten 42,8 Efm/PMH₁₅, insgesamt 42,4. Die bei der Fällung eingesparte Zeit wurde durch den größeren Zeitaufwand für die Aufarbeitung nahezu ausgeglichen (Abbildung 37). Auffallend ist der große Anteil von Wartezeiten sowie mehr Leerfahrten des Harvesters bei den zugefällten Bäumen.

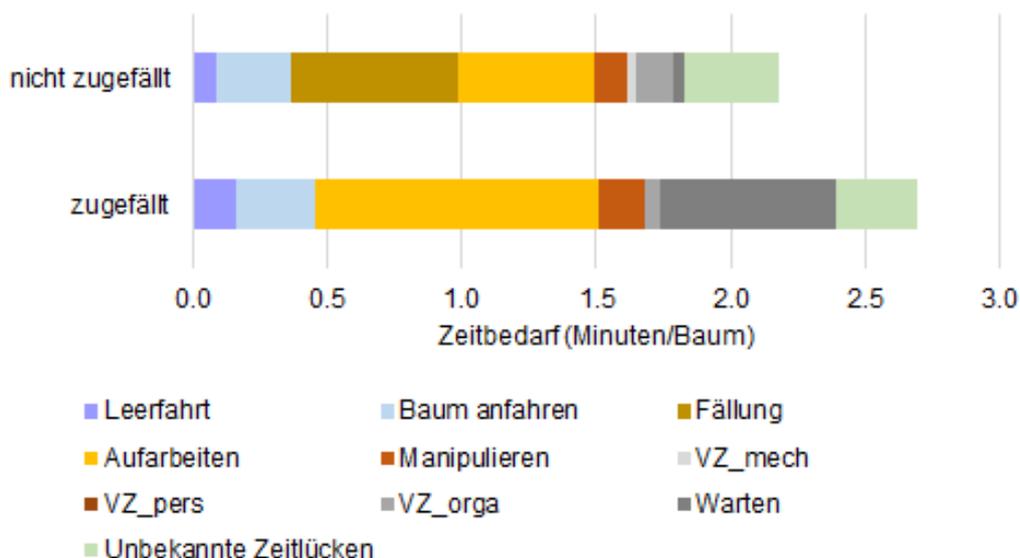


Abbildung 37: Zeitbedarf des Harvesters in der Fallstudie Altmühltal getrennt nach der Art der Fällung

Kosten

Die Kosten für das Zufällen sind 1,76 €/Efm, die für den Motorsägeneinsatz 0,10 €/Efm und zusammen 1,86 €/Efm. Für den eingesetzten Harvester Ponsse Bear wurden 152 €/PMH₁₅ kalkuliert. Die Kosten des Harvesters betragen bei dieser Fallstudie 3,62 €/Efm. Für Fällung und Aufarbeitung ergeben sich damit Kosten von 5,94 €/Efm.

Auswirkung des Verfahrens auf den verbleibenden Bestand

Bei diesem Verfahren gab es keine Bestandesschäden, da eine Teilfläche komplett und die andere Fläche als Saumschlag geräumt wurde.

Diskussion

Auch bei dieser Fallstudie waren die interessanten Strukturmerkmale in dem Waldbestand ausgeprägt vorhanden. Mehr als ein Viertel der Bäume, die eigentlich in Kranreichweite standen, wurden dennoch motormanuell gefällt, was mit einem größeren Unfallrisiko verbunden ist. Der Grund war in diesen Fällen das liegende Totholz im Umfeld der Bäume. Anders als in der Fallstudie "Mittelschwaben" konnte ein Zusammenhang zu der Verjüngung hier nicht festgestellt werden. Auch die Dimension der Bäume hatte keinen Einfluss darauf, ob ein Baum motormanuell oder vom Harvester gefällt wird. Bedenklich bei der motormanuellen Fällung ist hier wieder, dass bei vermehrter Verjüngung im Umfeld der Bäume offensichtlich die Rückweiche vermieden oder verkürzt wurde. Die zeitlich gekoppelte Arbeit des motormanuellen Zufällens und mechanisierten Aufarbeitens birgt ein größeres Unfallrisiko. Überraschend ist der größere Zeitbedarf des Harvesters bei den zugefallten Bäumen. Die vermiedene Zeit für die Fällung wird durch den größeren Zeitbedarf für das Manipulieren und Prozessieren mehr als ausgeglichen. Hinzu kommen längere Wartezeiten des Harvesters im Fall der zugefallten Bäume.

1.5.9 Nördliche Schwäbische Alb

Verfahren

Königsbronner Starkholzverfahren: Motormanueller Starkholzeinschlag in gekoppelter Zweimannrotte, Aufarbeitung durch den Harvester und Rückung durch eine Kombinationsrückemaschine in einem Fichten-Altbestand mit starker sichtbehindernder Naturverjüngung bei einem Rückegassenabstand von 40 m (Abbildung 38, Tabelle 39).

Die Fallstudie nördliche Schwäbische Alb besteht aus zwei Teilflächen. Da diese sich leicht unterscheiden, wurden entsprechende Unterschiede in der Bestandesbeschreibung kenntlich gemacht.

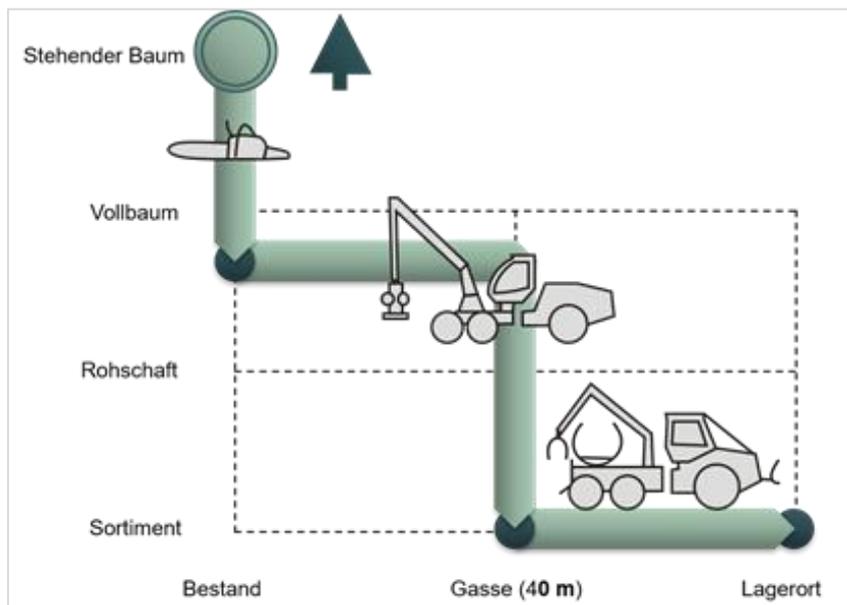


Abbildung 38: Funktiogramm Nördliche Schwäbische Alb

Tabelle 39: Naturaldaten, Erschließung und Hiebsdurchführung Nördliche Schwäbische Alb

Naturaldaten

Hangneigung [%]	0	
Bestandesform	Mischbestand	
Baumartenzusammensetzung	FI 1: Fi 85, Ta 10, Bu 5;	FI 2: Fi 65, Bu 30, Ta 5
Schichtung	FI 1: einschichtig, stufig im Westteil;	FI 2: einschichtig
Schlussgrad	FI 1: Lücke in SW;	FI 2: lückig a. m. O
Durchschn. Baumhöhe [m]	FI 1: 31	FI 2: 33
Natürl. Entwicklungsabschnitt	FI 1: Baumholz;	FI 2: Altholz
Nutzungsart	Endnutzung	
Bestandesvorrat [Efm/ha]	750	
(Natur-) Verjüngung [%]	FI 1: NVJ 90 (davon Fi 95, Bu 5); Ta-Vorbau 10;	FI 2: Fi 70, Ta 30; 0,8 ha Dgl-Anbau
Erschließung und Hiebsdurchführung		
Hiebsgröße [ha]	11	
Entnahmemenge [Efm/ha]	95,6	
Entnommene Bäume pro ha	31	
Mittlerer BHD [cm]	39	
Maximaler BHD [cm]	82	
Rückegassenabstand [m]	40	

Schutzgebietskulisse

Die beiden 2,7 und 8,3 ha großen Bearbeitungsflächen liegen in dem Vogelschutzgebiet "Albuch". Eine der Flächen enthält zudem ein kleines, von der Biotopkartierung erfasstes Feuchtbiotop.

Für die Versuchsfläche relevante Schutzgebietskulisse

1. Vogelschutzgebiet
2. Feuchtbiotop (Waldbiotopkartierung)

Im Umkreis von 5 km sind zudem mehrere FFH-Gebiete und Waldbiotope auskartiert. Das Landschaftsschutzgebiet Wental verläuft in einer Entfernung von weniger als einem Kilometer an den Versuchsflächen. In der näheren Umgebung gibt es aufgrund der Karstlandschaft eine Vielzahl an ausgewiesenen Naturdenkmälern.

Auszeichnen

Die durchschnittliche Zeit für das Auszeichnen eines Baumes beträgt 1 Minuten 26 Sekunden (s. Tabelle 40).

Tabelle 40: Durchschnittlicher Zeitbedarf in Minuten pro Baum der Arbeitsschritte beim Auszeichnen durch den Forstwirt/die Forstwirtin

Arbeitsschritt	Mittelwert	Standardabweichung
Rüsten	0,026	0,155
Baum suchen	0,413	0,391
Baum auszeichnen	0,178	0,106
VZ_pers	0	0
VZ_orga	0	0
Pause	0,586	6,913
Unbekannte Verzögerung	0,245	3,511
Gesamtzeit	1,447	7,752

Ausprägung der Variablen

Bei dieser Fallstudie wurden nur Fichten geerntet. In der Analyse wurden 283 motormanuell gefällte Bäume berücksichtigt. Deren mittlerer BHD beträgt 50 cm mit einer Streuung von 9 cm. Die Durchmesser sind annähernd normal verteilt. Der Abstand der Bäume zur nächsten Rückegasse beträgt im Mittel 6 m und maximal 22 m. Bemerkenswert ist, dass nur 13 % aller Bäume mehr als 10 m von der Rückegasse, also außerhalb der Kranreichweite standen. Die Flächen waren von reichlicher sichtbehindernder Verjüngung geprägt (Tabelle 41). Auch liegendes Totholz war häufig im Umfeld der Bäume vorhanden. Biotopbäume kamen nur vereinzelt vor. Behindernder Bewuchs kam häufig, aber nicht flächig im Umkreis der entnommenen Fichten vor.

Tabelle 41: Häufigkeit des Vorkommens von Merkmalen im 10 m- Umkreis um die entnommenen Bäume

Kreissegment	kein	1/4	2/4	4/4	4/4
VJ	16%	12%	23%	24%	25%
Bio_m_oG	94%	5%	1%		
Totholz	17%	29%	25%	18%	11%
Bewuchs	39%	34%	22%	4%	0%

VJ = sichtbehindernde Verjüngung, Bio_m_oG = markierter Biotopbaum ohne Gefahr

Einfluss der Variablen auf die Leistung: Forstwirtschaftliches Personal

Beim Königsbronner Starkholzverfahren verlängert sich die Gesamtarbeitszeit des Forstwirtes pro Baum signifikant, je größer der BHD ist und je mehr sichtbehindernde Verjüngung vorhanden ist. Sie verkürzt sich signifikant, wenn viel Bewuchs vorhanden ist.

Der Zeitbedarf für den Arbeitsschritt „Baum suchen“ wird durch keine Variable signifikant beeinflusst. Der Zeitbedarf für das Freiräumen verlängert sich signifikant, je mehr sichtbehindernde Verjüngung vorhanden ist, je größer der BHD ist und je größer der Abstand zur Rückegasse ist. Der Zeitbedarf verkürzt sich signifikant, je mehr Bewuchs vorhanden ist. Für das Fällen und die Zeit in der Rückweiche wird signifikant mehr Zeit benötigt, je größer der BHD ist. Das Aufarbeiten dauert signifikant länger, je größer der BHD ist, je mehr sichtbehindernde Verjüngung vorhanden ist und je größer der Abstand zur Rückegasse ist (Tabelle 42).

Die Tatsache, dass weniger Zeit bei vorhandenem starkem Bewuchs für das Freiräumen benötigt wird, kann dadurch erklärt werden, dass dafür weniger sichtbehindernde Verjüngung vorhanden sein kann, die entfernt werden muss. Die Reduzierung der Gesamtarbeitszeit durch vorhandenen Bewuchs, kann vernachlässigt werden, da er nur zu 1 % den Anteil an der Streuung erklärt. Der größere Zeitbedarf für das Freiräumen bei Verjüngung im Umkreis der Bäume ist plausibel. Die Verjüngung behindert auch das Gehen entlang des Stammes bei der Aufarbeitung, was den Zeitbedarf erhöht. Viele Bäume standen nahe an der Rückegasse. Die

Bäume werden bei diesem Verfahren schräg zur Rückegasse hin gefällt, sodass die Krone möglichst auf der Rückegasse zu liegen kommt. Bei nahe an der Rückegasse stehenden Bäumen kommt ein längerer Stammabschnitt auf der Rückegasse zu liegen, sodass dort das Gehen entlang des Stammes bei der Aufarbeitung erleichtert wird. Dies erklärt den Zusammenhang des Zeitbedarfs für die Aufarbeitung und des Abstandes zur Rückegasse.

Tabelle 42: Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs des Harvesters insgesamt und für einzelne Arbeitsschritte in der Fallstudie Nördliche Schwäbische Alb

Parameter	Rüsten	Baum suchen	Freiräumen	Fällung	Rückweiche	Aufarbeiten	Gesamt
BHD (cm)			**/+/ 2 %	***/+/ 6 %	***/+/ 10 %	***/+/ 16 %	***/+/ 9 %
Abstand RG (m)			*/+/ 3 %			**/+/ 4 %	
VJ			***/+/ 13 %			***/+/ 4 %	*/+/ 3 %
Biotopbaum							
Totholz							
Bewuchs			***/-/ 1 %				*/-/ 1 %
R2 gesamt			17,40%	6,00%	9,60%	24,40%	11,50%

* = Irrtumswahrscheinlichkeit < 5 %, ** = < 1 %, *** = < 0,1 %, +/- = Vorzeichen der Koeffizienten, % = Anteil an der Erklärung der Streuung, RG = Rückegasse, VJ = sichtbehindernde Verjüngung, Bio_nm_mG = nicht markierter Biotopbaum mit Gefahr, Bio_m_oG = markierter Biotopbaum ohne Gefahr, R² = Bestimmtheitsmaß

Einfluss der Variablen auf die Leistung: Harvester

Aufgrund der Schneelage bei der Aufarbeitung der zeitlich im Voraus motormanuell gefällten Bäume konnten die Baumnummern nur in wenigen Fällen identifiziert werden. Deshalb lassen sich Zusammenhänge zwischen den interessierenden Parametern und dem Zeitbedarf des Harvesters in diesem Fall nicht analysieren.

Produktivität (Efm/Std) des Verfahrens

Die 283 von Forstwirten motormanuell gefällten und teilweise aufgearbeiteten Fichten hatten ein Volumen von 627 Efm und eine Stückmasse von 2,2 Efm/Baum. Es wurden 3,7 Bäume pro Stunde gefällt (16,2 Minuten/Baum). Die Leistung beträgt 8,2 Efm/WPH. Anders als in der Fallstudie Altmühltal nimmt die Aufarbeitung hier einen erheblichen Teil der Arbeitszeit in Anspruch (Abbildung 39). Verwendet man die im GLM-Modell errechneten Parameter für die Schätzung des Zeitbedarfs, so erhöht sich der Zeitbedarf verglichen mit der Situation ohne Verjüngung um 32 %, wenn in allen Segmenten um den Baum herum Verjüngung vorhanden ist.

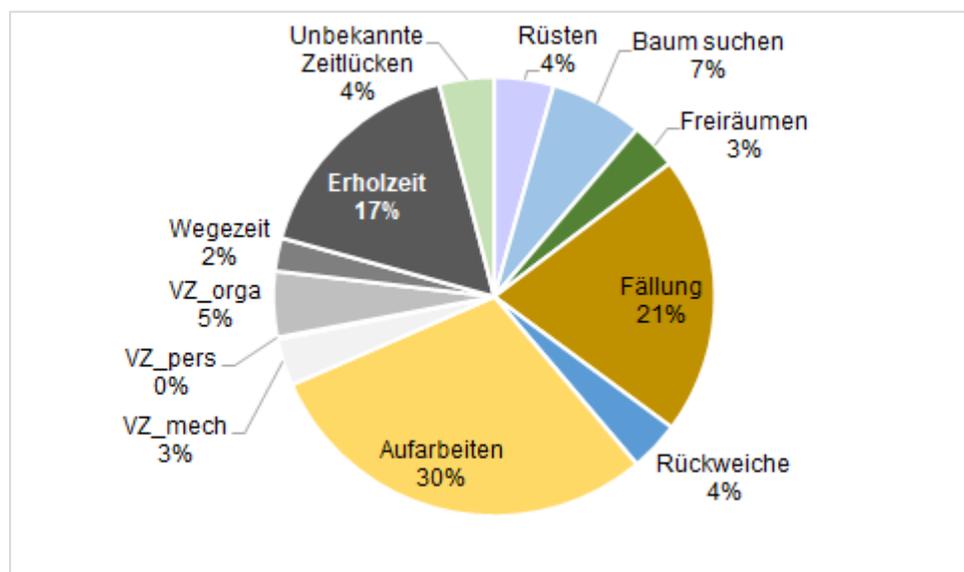


Abbildung 39: Die Verteilung der Arbeitszeiten der Forstwirte auf die verschiedenen Arbeitsschritte in der Fallstudie Nördliche Schwäbische Alb

Die Zahl der vom Harvester aufgearbeiteten Bäume, für die Angaben zum Zeitverbrauch vorliegen, wird auf 150 geschätzt. Wenn diese Bäume dieselbe Stückmasse haben, wie die von den Forstwirten gefällten Bäume, ergibt sich eine Produktivität von rund 70 Efm/PMH15. Der große Anteil der mechanischen Verteilzeit beim Harvester beruhte auf der Reparatur eines geplatzen Hydraulikschlauches (Abbildung 40).

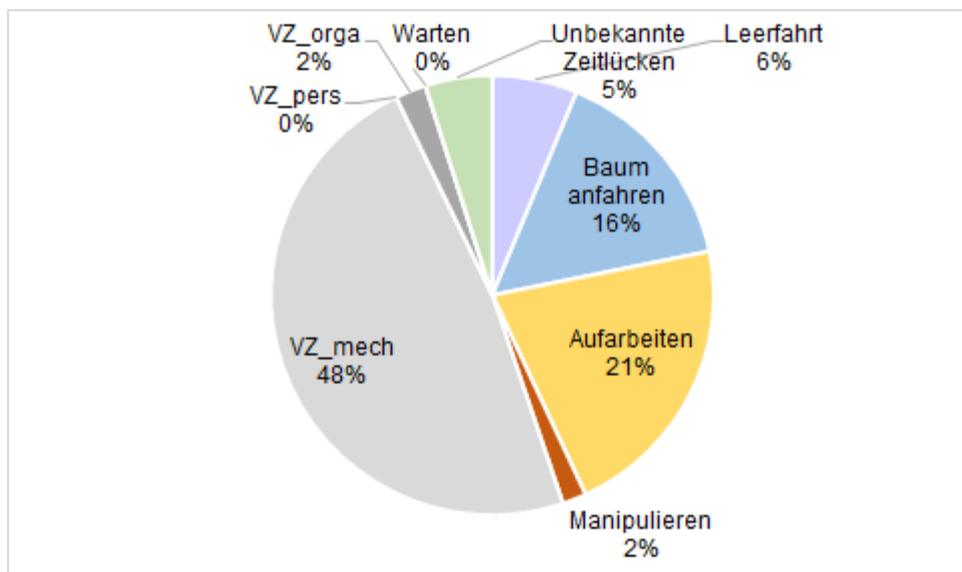


Abbildung 40: Die Verteilung der Arbeitszeiten des Harvesters auf die verschiedenen Arbeitsschritte in der Fallstudie Nördliche Schwäbische Alb

Kosten

Die Kosten der Forstwirte betragen 4,48 €/Efm, die ihres Motorsägeneinsatzes 0,31 €/Efm und zusammen 4,79 €/Efm. Als Harvester wurde ein Komatsu 941.1 eingesetzt. Dessen Kosten wurden mit 142 €/PMH15 kalkuliert. Die Kosten des Harvesters in dieser Fallstudie liegen bei 2,03 €/Efm. Die Gesamtkosten für Fällung und Aufarbeitung ohne Rückung betragen somit 6,82 €/Efm.

Auswirkung des Verfahrens auf den verbleibenden Bestand

Der verbleibende Bestand hatte eine Stammzahl von 181 Bäumen pro Hektar. 12 Bäume pro Hektar hatten Fäll- und 6 Bäume Rückeschäden. Das entspricht Anteilen von 7 % bzw. 3% geschädigter Bäume.

Diskussion

Bei dieser Fallstudie handelt es sich um ein kombiniertes Verfahren. Anders als in den Fallstudien Mittelschwaben und Altmühltal arbeiten hier Forstwirtinnen und Forstwirte und der Harvester zeitlich entkoppelt. Bei diesem Verfahren werden alle Bäume motormanuell gefällt. Hier standen fast 90 % der Bäume in Kranreichweite und hätten grundsätzlich auch von einem Harvester gefällt werden können. Dieses Verfahren zielt jedoch darauf ab, möglichst wenig Schäden an der Verjüngung zu verursachen. Deshalb werden die Bäume entlang von Schlaglinien übereinander in Richtung der Rückegasse gefällt (Kreutz 2021). Weil dabei mit den am nächsten zur Rückegasse stehenden Bäumen begonnen werden muss, ist bei einem zeitlich nachgelagerten Harvestereinsatz eine maschinelle Fällung nicht möglich. Die zeitliche Entkoppelung hat im Hinblick auf die Arbeitssicherheit den Vorteil, dass keine Arbeiten von Forstwirten im Gefahrenbereich des Harvesters ausgeführt werden. Zudem entfällt die motormanuelle Entastung der Krone, die ergonomisch besonders belastend ist (Brieger et al. 2018). Andererseits wird jedoch der gefährlichste Arbeitsschritt in der Holzernte, also die Fällung weiterhin von den Forstwirten ausgeführt. Aufgrund der Stärke der Bäume hätte vermutlich allenfalls ein Raupenharvester die Bäume maschinell fällen können. Bei den stärksten Bäumen in diesem Hieb (82 cm in 1,3 m Höhe) wären auch Raupenharvester womöglich an technische Grenzen gestoßen.

Das Verfahren stellt durch die Entkopplung der Mensch-Maschine-Arbeiten hohe Ansprüche an die Arbeitsorganisation (Sauter und Brieger, 2018), u.a. wird die Anlage der Schlaglinien hervorgehoben sowie die Ausführung in mehreren Durchgängen ab einer Eingriffsstärke von 150 Efm/ha (im vorliegenden Fall betrug die Eingriffsstärke lediglich rd. 100 Efm/ha).

Die Produktivität der Forstwirte ist mit 8,2 Efm/Stunde bei dieser Fallstudie deutlich höher als die von Brieger et al. (2018) ermittelte Leistung von 6,9 Efm/Stunde und die von Kieser (2018) angegebenen Werte von 4,5 bis 6 Efm/Stunde. Im vorliegenden Fall waren die Bäume allerdings noch um einiges stärker als bei Brieger et al. sowie den Studien von Kieser. Außerdem haben Brieger et al. "Allgemeine Zeiten" pauschal mit 40 % geschätzt, während hier die gemessenen Werte verwendet wurden. Auch beim Harvester war die Produktivität mit geschätzten 70 Efm/PMH15 erheblich größer als die von Brieger et al. mit 48 Efm/Std sowie die von Kieser mit 40 bis 50 Efm/Std angegebenen Leistungen. Als ein Vorteil dieses Verfahrens gilt auch die hohe Leistung

bei der Rückung. Die Stämme liegen alle dickkörtig zur Abfuhrrichtung und können so mit einem Klemmbankschlepper gerückt werden.

Heindl und Pausch (2007) verglichen das Königsbronner Harvesterverfahren (KHV) im Nadelstarkholz mit dem "Standard-Zufällverfahren". Bei beiden Verfahren wurde Kurzholz ausgehalten und nur die nicht vom Harvester erreichbaren Bäume vorab zugefällt. Sie untersuchten die Verfahren in Beständen mit Stückmassen der ausscheidenden Bäume von im Mittel 1,5 und 3 Efm. Die Stückmasse bei der Fallstudie "Nördliche Schwäbische Alb" liegt ziemlich genau in der Mitte zwischen diesen beiden Beständen. Die Leistungen der motomanuell arbeitenden Forstwirtinnen und Forstwirte lag zwischen 13,5 und 21 Efm pro Stunde. Die Autoren hatten eine Leistungskorrektur um den Faktor 1,3 vorgenommen, um den systematischen Leistungsunterschied zwischen kurzfristigen, intensiven Zeitstudien und dem Dauereinsatz in der Praxis zu berücksichtigen. Außerdem unterstellten sie "Allgemeine Zeiten" von 20 %. Wird die Leistungskorrektur rückgängig gemacht und "Allgemeine Zeiten" von 27 % wie in der Fallstudie "Nördliche Schwäbische Alb" angenommen, ergeben sich für das KHV Leistungen zwischen 13,3 und 16,9 Efm pro Stunde, je nach Länge des Erdstammstücks. Die Produktivität der Forstwirtinnen und Forstwirte beim KHV ist bei gleicher Stückmasse demnach erheblich größer als beim Königsbronner Nadelstarkholzverfahren. Dies mag an der motormanuellen Entastung des Erdstammstücks liegen. Die Leistungen beim "Standard-Zufällen" nach Heindl und Pausch (2007) entsprechen 20,5 Efm pro Stunde nach Anpassung auf die Bedingungen der Fallstudie "Nördliche Schwäbische Alb" (Leistungskorrektur, "Allgemeine Zeiten"). Die Leistung ist nahezu mit der Leistung der Fallstudie "Altmühltal identisch, bei der das "Standard-Zufällen" praktiziert wurde. Beim Harvester verwendeten Heindl und Pausch (2007) einen Korrekturfaktor von 1,5. Wird dies rückgängig gemacht und werden "Allgemeine Zeiten" von 50 % wie hier angesetzt, ergibt sich bei gleicher Stückmasse eine Produktivität von rund 30 Efm pro Maschinenarbeitsstunde. Die Leistung bei der Fallstudie "Nördliche Schwäbische Alb" war somit mehr als doppelt so groß. Der geringeren Leistung der Forstwirtinnen und Forstwirte hier im Vergleich zum KHV steht also eine sehr viel größere Leistung der Harvester gegenüber.

1.5.10 Südliche Schwäbische Alb

Verfahren

Motormanuelle Laubstarkholzernte in belaubtem Zustand mittels ferngesteuertem Fällkeil, Rückung durch Kombinationsschlepper (Klemmbank/Rungenkorb) in einem Buchen-Ahorn-Eschen-Altbestand mit starker sichtbehindernder Naturverjüngung und Sortimentierung am Gassenkopf (Abbildung 41, Tabelle 43).

Das Verfahren wird auch als T-Shirt-Buche bezeichnet, da die Durchführung im Spätsommer erfolgt.

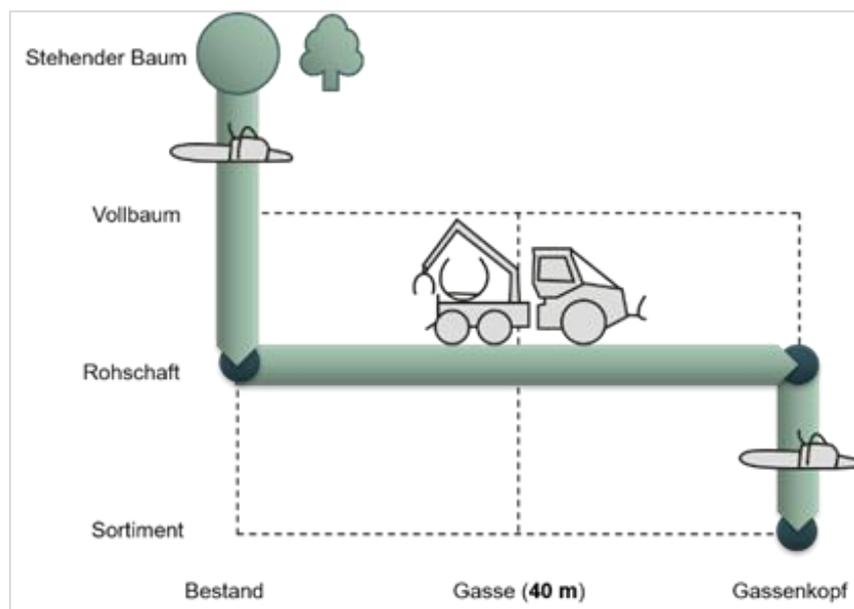


Abbildung 41: Funktiogramm Südliche Schwäbische Alb

Tabelle 43: Naturaldaten, Erschließung und Hiebsdurchführung Südliche Schwäbische Alb

Naturaldaten	
Hangneigung [%]	0, kleine Teilfläche ca. 10
Bestandesform	Mischbestand
Baumartenzusammensetzung	Bu 85, Es 10, BAh 5, sonst Fi, Kie, Ei
Schichtung	zweischichtig
Schlussgrad	licht bis gedrängt
Durchschnittliche Baumhöhe [m]	32
Natürlicher Entwicklungsabschnitt	starkes Baumholz
Nutzungsart	Verjüngungsnutzung
Bestandesvorrat [Efm/ha]	408
(Natur-) Verjüngung [%]	Bu 100, vereinzelt Fi und BAh
Erschließung und Hiebsdurchführung	
Hiebsgröße [ha]	16,4
Entnahmemenge [Efm/ha]	42,9
Entnommene Bäume pro ha	13,3
Mittlerer BHD [cm]	50,4
Maximaler BHD [cm]	80
Rückegassenabstand	40

Schutzgebietskulissen

Die 16,4 ha große Bearbeitungsfläche liegt in dem FFH-Gebiet "Großes Lautertal und Landgericht". Zudem liegt ein kleines Waldbiotop (ehemalige "Waldviehtränke") an der Fläche.

Für die Versuchsfläche relevante Schutzgebietskulisse sind:

1. FFH
2. Feuchtbiotop

Das Waldstück grenzt direkt an das Landschaftsschutzgebiet "Ehingen", das Bestandteil des Biosphärenreservats "Schwäbische Alb" ist, das in diesem Teil als Entwicklungszone definiert wurde. Östlich liegt das Vogelschutzgebiet "Täler der Mittleren Flächenalb". In der näheren Umgebung sind zudem zwei Waldschutzgebiete, "Mochental" und "Lautertal-Wolfstal" der Schutzkategorie "Schonwald" verordnet worden.

Auszeichnen

Die Zeiten für das Auszeichnen eines Baumes beziehen sich auf den gesamten Bestand, d.h. die Zeiten stellen Durchschnittswerte pro Baum dar, sei es ein Entnahmebaum oder ein Habitatbaum oder die Markierung der Rückegasse. Die Gesamtzeit pro Baum beträgt 1 Minute 26 Sekunden (Tabelle 44).

Tabelle 44: Durchschnittlicher Zeitbedarf in Minuten der Arbeitsschritte pro Baum beim Auszeichnen der Fallstudie südliche Schwäbische Alb

Arbeitsschritt	Mittelwert	Standardabweichung
Rüsten	0,017	0,203
Baum suchen	0,594	0,566
Baum auszeichnen	0,177	0,093
VZ_pers	0,009	0,091
VZ_orga	0,033	0,462
Pause	0,48	7,34
Unbekannte Verzögerung	0,135	1,934
Gesamtzeit	1,443	7,752

Ausprägung der Variablen

Von den 151 bei der statistischen Auswertung berücksichtigten Bäumen waren 77 % Buchen, 19 % Eschen, 3 % Bergahorn und 1 % Eichen. Der durchschnittliche BHD beträgt 53,7 cm mit einer geringen Streuung von nur 20 %. Der kleinste Durchmesser ist 19 und der größte 82 cm. Die Bäume waren im Durchschnitt 12,3 und maximal 22,2 m von der nächsten Rückegasse entfernt. Fast alle Bäume waren von sichtbehindernder Verjüngung umgeben, fast 80 % sogar in allen Richtungen (Tabelle 45). Auch liegendes Totholz gab es häufig im 10 m-Umkreis um die entnommenen Bäume. Bei 24 % der Bäume gab es in der Nähe auch Biotopbäume, meist aber nur in einer Richtung. Behindernder Bewuchs gab es bei 35 % der Bäume, meist aber nur in ein oder zwei Segmenten um den Baum herum.

Tabelle 45: Häufigkeit des Vorkommens von Merkmalen im 10 m-Umkreis um die entnommenen Bäume

Kreissegment	kein	1/4	1/2	3/4	4/4
VJ	1%	2%	11%	7%	79%
Bio_nm_mG	91%	3%	1%	3%	1%
Bio_m_oG	86%	10%	3%	1%	
Bio_m_mG	97%	1%	1%		1%
Totholz	22%	27%	25%	17%	9%
Bewuchs	65%	17%	15%	2%	2%

VJ = sichtbehindernde Verjüngung, Bio_nm_mG = nicht markierter Biotopbaum mit Gefahr, Bio_m_oG = markierter Biotopbaum ohne Gefahr, Bio_m_mG = markierter Biotopbaum mit Gefahr

Einfluss der Variablen auf die Leistung

Beim motormanuellen Verfahren T-Shirt-Buche verlängert sich die Gesamtarbeitszeit signifikant mit zunehmendem BHD.

Tabelle 46: Ergebnisse eines GLM zur Erklärung des Zeitbedarfs der Forstwirte insgesamt und für einzelne Arbeitsschritte in der Fallstudie südliche Schwäbische Alb

Parameter	Rüsten	Baum suchen	Freiräumen	Fällung	Rückweichen	Aufarbeiten	Gesamt
Buche					*-/ 1 %		
Esche					*-/ 3 %		
BHD (cm)			*+/ 4 %	***+/ 7 %	**+/ 5 %	*+/ 4 %	***+/ 9 %
Abstand (m)	RG						
VJ							
Bio_nm_mG			***+/ 9 %				
Bio_m_oG							
Bio_m_mG							
Totholz							
Bewuchs							
R² gesamt			12,8 %	6,9 %	9 %	3,7 %	9 %

* = Irrtumswahrscheinlichkeit < 5 %, ** = < 1 %, *** = < 0,1 %, +/- = Vorzeichen der Koeffizienten, % = Anteil an der Erklärung der Streuung, RG = Rückegasse, VJ = sichtbehindernde Verjüngung, Bio_nm_mG = nicht markierter Biotopbaum mit Gefahr, Bio_m_oG = markierter Biotopbaum ohne Gefahr, Bio_m_mG = markierter Biotopbaum mit Gefahr, R² = Bestimmtheitsmaß

Die Arbeitsschritte „Rüsten“ und „Baum suchen“ werden von keiner Variablen signifikant beeinflusst. Das Freiräumen dauert ebenfalls signifikant länger, je größer der BHD ist und je mehr nicht markierte Biotopbäume mit Gefahr sich in der Umgebung des zu fällenden Baumes befinden. Das Fällen, das Aufarbeiten und die Zeit in der Rückweiche verlängern sich signifikant, je dicker der Baum ist. Zusätzlich verkürzt sich die Zeit in der Rückweiche, wenn es sich bei dem zu fällenden Baum um eine Buche oder Esche handelt (Tabelle 46).

Bei dem Arbeitsschritt „Rüsten“ wurde erwartet, dass die Baumart Esche einen signifikanten Einfluss hat. Denn die Aussage der Forstwirte war, dass sie öfters feilen müssen, da die Kette schneller stumpf wird, wenn sie Esche schneiden. Des Weiteren wurde erwartet, dass das Auffinden eines Baumes durch die sichtbehindernde Naturverjüngung und/oder dem Bewuchs sowie einer weiteren Entfernung zur Rückegasse länger dauert. Dies könnte jedoch der Tatsache geschuldet sein, dass die Forstwirte zum Auffinden der Bäume eine App mit einer digitalen Übersichtskarte der Bäume und Rückegassen benutzt haben. Bei dem Arbeitsschritt „Freiräumen“ wurde ebenfalls erwartet, dass die sichtbehindernde Naturverjüngung einen verlängernden Effekt aufweist. Überraschend ist, dass nicht markierte Biotopbäume mit Gefahr mit 9 % das Freiräumen verlängern. Ein Grund dafür könnte sein, dass diese von den Forstwirten erkannt wurden und besonders vorsichtig gearbeitet und mehr Platz für die Fällung und Rückweiche benötigt wurde, um aus der Gefahrenzone des Biotopbaumes zu kommen. Dass Buche und Esche die Zeit in der Rückweiche verkürzen, bedeutet, dass die Zeit in der Rückweiche länger ist, wenn es sich um einen Ahorn handelt. Generell wurde erwartet, dass aufgrund der starken Verjüngung diese Variable eine größere Rolle spielt. Da diese jedoch flächig vorkommt, konnte dieser Einfluss sich nicht hervorheben.

Produktivität (Efm/Std) des Verfahrens

Die mittlere Stückmasse der Bäume beträgt 3,3 Efm. Es wurden 1,5 Bäume pro Stunde gefällt. Der Zeitbedarf bei den Arbeiten im Bestand beträgt 38,8 Minuten pro Baum und bei den Arbeiten an der Forststraße 11,6 Minuten, zusammen also 50,5 Minuten je Baum. Die Leistung für die Arbeiten insgesamt beträgt 3,9 Efm/WPH. Die unter „Aufarbeiten“ an der Forststraße (Abbildung 42) zusammengefassten Arbeiten beinhalten das Fertigtasten, Vermessen, Sortieren, Ablängen und Anschreiben. Auffällig sind die langen Wartezeiten bei den Arbeiten an der Forststraße. Unbekannte Zeitlücken gab es hier nur wenig.

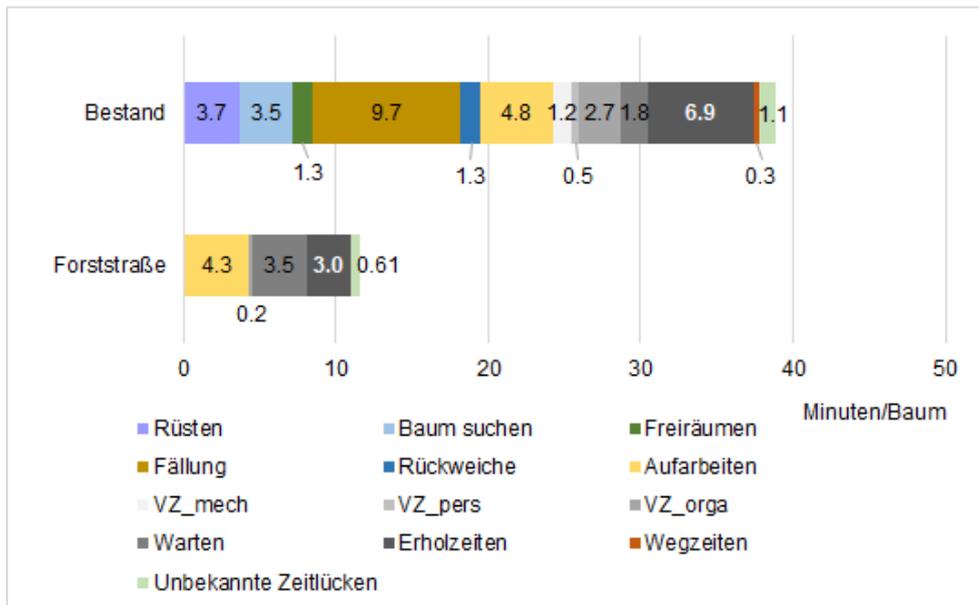


Abbildung 42: Die Verteilung der Arbeitszeiten der Forstwirte auf die verschiedenen Arbeitsschritte in der Fallstudie Südliche Schwäbische Alb

Die Verteilung der Arbeitszeiten der Fortwirtinnen und Forstwirte macht deutlich, dass beim Sortieren die Wartezeiten sehr hoch sind. Dies kommt daher, dass das Personal oft darauf warten mussten, bis der Rucker Holz aus dem Bestand geholt oder er ihnen die vorhandenen Stämme für die weitere Aufarbeitung umgelegt hat (Abbildung 43).

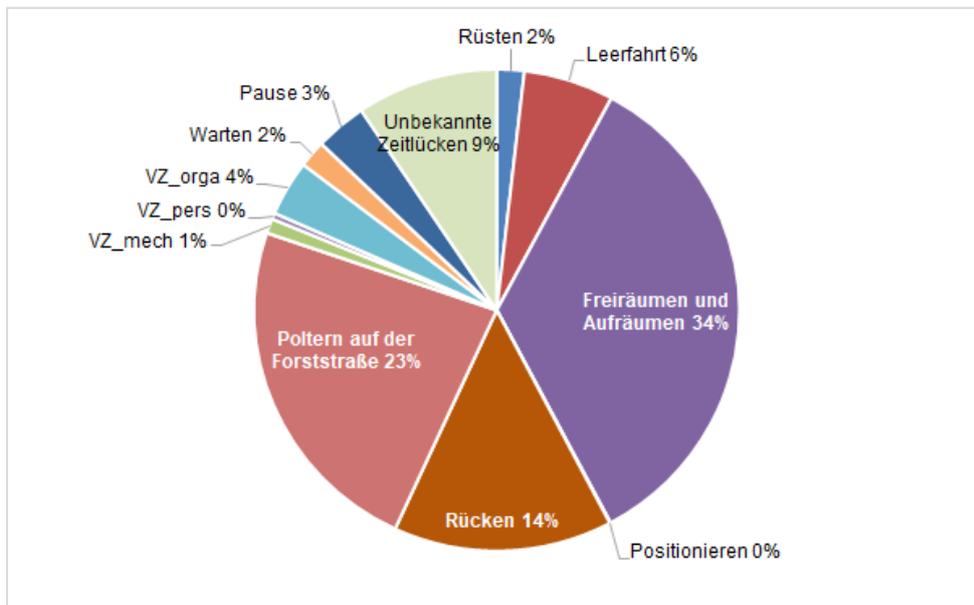


Abbildung 43: Die Verteilung der Arbeitszeiten der Rucker auf die verschiedenen Arbeitsschritte in der Fallstudie Südliche Schwäbische Alb

Da die Rückung und das Poltern durch den Forwarder bei dieser Fallstudie durch das Sortieren der Forstwirte und Forstwirtinnen unterbrochen waren, fallen unter dem Arbeitsschritt "Rücken" alle Tätigkeiten vom Aufladen des Holzes im Bestand an der Rückegasse bis zum Abladen des Holzes am Rückegassenkopf an der Forststraße sowie die maschinelle Unterstützung der Forstwirte beim Sortieren. Der Arbeitsabschnitt "Poltern" bezieht sich in diesem Fall auf das Vorpoltern des von den Forstwirten sortierten Holzes an der Forststraße. Die Leistung des Rückers ohne das Poltern auf der Forststraße liegt bei 11 Efm/PMH 15.

Kosten

Die Kosten der Waldarbeiter betragen 9,35 €/Efm, die des Motorsägeneinsatzes 0,48 €/Efm. Die Summe beträgt 9,83 €/Efm. Bei einem Kostensatz von 98 €/PMH15 für den eingesetzten Forwarder John Deere 1210 G ergeben sich Rückekosten von 8,90 €/Efm.

Auswirkung des Verfahrens auf den verbleibenden Bestand

Es verblieben 55 Bäume pro Hektar nach dem Eingriff. An 4,7 Bäumen pro Hektar waren Fäll- und an 1,7 Bäumen Rückeschäden entstanden. Die Anteile von Bäumen mit Fäll- und Rückeschäden sind 9 % bzw. 3%.

Diskussion

Der motormanuelle Einschlag von Laubbäumen im belaubten Zustand birgt ein hohes Unfallrisiko, weil sich die Gefahren durch Dürräste in den Baumkronen schwieriger erkennen lassen. Mit der Verwendung der fernbedienbaren Fällkeile wurde versucht, die Gefahr durch herabfallende Äste zu verringern. Auch die nahezu flächig vorhandene Verjüngung aus Laubbäumen behindert im belaubten Zustand die Sicht ganz erheblich. Insofern ist es überraschend, dass bei der Arbeitszeit der Forstwirtschaftlichen und Forstwirte kein Zusammenhang zur Dichte der sichtbehindernden Verjüngung festgestellt wurde. Der Grund ist vermutlich die zu geringe Variation bei der sichtbehindernden Verjüngung. Mit der Verlagerung eines Teils des Entastens und des Ausformens von Sortimenten an die Forststraße wird ein Teil der Aufarbeitung an die Forststraße verlagert, wo die Personen eine bessere Sicht haben, sich freier bewegen können und nicht durch die Vegetation behindert werden. Damit ermöglicht dieses Verfahren gleichzeitig auch die Rückung von großen Stückmassen. Dies spiegelt sich auch in dem geringen Anteil der Arbeitszeit für die eigentliche Rückung wider. Nachteilig zu bewerten, ist die Mensch-Maschine-Interaktion, die sich bei den Arbeiten an der Forststraße ergibt. Dies birgt erhöhte Unfallgefahren. Außerdem entstanden für die Forstwirte dabei auch Wartezeiten bei der Sortimentierung. Angesichts der sehr großen Stückmasse der Bäume ist die Leistung der Forstwirte als relativ niedrig einzustufen.

Bemerkenswert beim Zeitbedarf für das Auszeichnen der Bäume, ist der identische Zeitbedarf im Vergleich zu der Fallstudie „Nördliche Schwäbische Alb“. Beim Arbeitsschritt „Baum suchen“ war der Zeitbedarf in dieser Fallstudie um 11 Sekunden länger, was immerhin ein Plus von 44 % bedeutet. Beim Arbeitsschritt „Baum auszeichnen“, welcher das eigentliche Markieren umfasst, war der Zeitbedarf in beiden Fallstudien identisch.

1.6 Diskussion der Ergebnisse aus allen Fallstudien

Im Folgenden werden die Parameter diskutiert, von denen unterstellt wurde, dass sie eine starke naturschutzfachliche Wirkung entfalten und Auswirkungen auf die Holzernte haben. Die einbezogenen Strukturmerkmale waren Rückegassenabstände sowie das Vorhandensein von Totholz, Biotopbäumen, Naturverjüngung und Bewuchs. Der Überblick findet sich im Anhang in Tabelle 48.

Grenzen der Mechanisierung

Die vollmechanisierte Holzernte ist zweifellos das sicherste Arbeitsverfahren. Dieses wurde in den Fallstudien „Thüringer Schiefergebirge“ sowie „Mittelschwaben – Teilfläche 2“ angewendet. Die Fallstudie „Thüringer Schiefergebirge“ zeigte bereits den Rückegassenabstand als limitierenden Faktor auf. Fehlten nur wenige Meter Kranreichweite zum Baum, bog der Maschinenführer in den Bestand ein, um den Baum noch zu erreichen. Es konnte gezeigt werden, dass neben dem Rückegassenabstand noch andere Faktoren eine Vollmechanisierung verhindern. Bei dem integrierten Verfahren der Fallstudie „Mittelschwaben-Teilfläche 1“ war die dichte sichtbehindernde Verjüngung der Grund, weshalb die meisten Bäume in Kranreichweite trotzdem motormanuell gefällt wurden. In der Fallstudie „Altmühltal“ war es das liegende Totholz, welches neben dem Rückegassenabstand ein Grund für die motormanuelle Fällung war. Das Königsbronner Starkholzverfahren (Fallstudie „Nördliche Schwäbische Alb“) ist ein Verfahren, bei dem mit Rücksicht auf die Verjüngung und wegen der Stärke des Holzes grundsätzlich die Fällung sämtlicher Bäume den Forstwirten zugewiesen wird. Die Dimension der Bäume zeigte sich bei den Fallstudien „Mittelschwaben“ und „Altmühltal“ nicht als Grund für eine motormanuelle Fällung. Dort wurden die Grenzen der Harvester hinsichtlich der Baumdimension offensichtlich nicht erreicht. Eine Studie von Labelle et al. (im Druck) zur mechanisierten Holzernte im Laubstarkholz zeigte jedoch einen signifikanten Zusammenhang mit der Baumdimension. Je größer der BHD war, desto wahrscheinlicher wurde ein Baum motormanuell gefällt. Labelle et al. fanden auch Hinweise darauf, dass die Baumform einen Einfluss darauf haben kann, ob ein Baum motormanuell oder maschinell gefällt wird. Eine weitere Grenze für die Vollmechanisierung stellt die Hangneigung dar. Dieser Faktor war jedoch nicht Gegenstand dieser Untersuchung.

Zusammenspiel motormanueller und mechanisierter Arbeit

Die Fallstudien „Mittelschwaben-Teilfläche 1“ sowie „Altmühltal“ sind Beispiele für integrierte Arbeitsverfahren, bei denen Mensch und Maschine zeitgleich auf der Fläche arbeiten. Mensch und Maschine müssen je nach Arbeitsschritt genügend Sicherheitsabstand voneinander einhalten. In „Mittelschwaben“ unterstützte die Maschine teilweise den Forstwirt bei der Fällung. Die zeitliche und räumliche Arbeitsteilung im integrierten Verfahren bedingt für die Maschine Wartezeiten und zusätzliche Leerfahrten. Dies konnte in beiden Fallstudien

belegt werden. Wenn durch die wartende Maschine der Forstwirt Zeitdruck empfindet und nicht in die Rückweiche geht, wie im Fall „Mittelschwaben“, steigt das Unfallrisiko beträchtlich. Diese Schwierigkeiten werden durch die zeitliche Entkoppelung, wie sie in der Fallstudie „Nördliche Schwäbische Alb“ verwirklicht wurde, vermieden. Der Harvester erzielte bei der Prozessierung der vorgefällten Bäume eine äußerst hohe Leistung und es entstanden keinerlei Wartezeiten. Nachteilig an diesem Verfahren ist jedoch, dass mit der Fällung der gefährlichste Arbeitsschritt in der Holzernte weiterhin bei allen Bäumen motormanuell durchgeführt wird. Vermieden werden könnte dies, wenn der Harvester vorab die Bäume in Kranreichweite und Sichtweite fällen und aufarbeiten würde und die Forstwirte nur die vom Harvester nicht erreichbaren Bäume nachträglich fällen und aufarbeiten würden. Die motormanuell gefällten Bäume könnten grundsätzlich auch vom Harvester aufgearbeitet werden. Dazu müsste der Harvester jedoch ein zweites Mal die Rückegassen entlangfahren. Labelle et al. (im Druck) und Borchert et al. (2021) konnten zeigen, dass dies den Zeitbedarf des Harvesters und damit auch die Kosten erheblich erhöht. In diesem Fall empfiehlt es sich deshalb, die motormanuell gefällten Bäume auch motormanuell aufzuarbeiten.

Bei der Fallstudie „Mittelschwaben“ lagen die Kosten des Holzeinschlags im integrierten Verfahren um den Faktor 4 höher als bei dem vollmechanisierten Verfahren, wenn bei letzterem die Bäume vergleichbare Dimensionen gehabt hätten. Bei den integrierten Verfahren in „Mittelschwaben“ und „Altmühltal“ waren die Bäume nahezu gleich stark (42 cm und 40 cm BHD) und in beiden Fällen handelte es sich um Fichten. Der Zeitbedarf der Forstwirte beim Zufällen war in „Mittelschwaben“ pro Baum um 37 % größer als in „Altmühltal“, der des Harvesters für Fällung und Aufarbeitung sogar um fast das Dreifache größer. Die Dichte der Verjüngung war in beiden Fällen ähnlich. In „Altmühltal“ waren die Bäume im Mittel sogar um 3,2 Meter weiter von der nächsten Rückegasse entfernt. Dies deutet darauf hin, dass die Arbeit im integrierten Verfahren in „Mittelschwaben“ auch effizienter hätte durchgeführt werden können. Die Kosten des integrierten Verfahrens in „Altmühltal“ waren lediglich um 85 % (2,74 €/Efm) höher als die des vollmechanisierten Verfahrens in „Mittelschwaben“.

Einfluss von sichtbehindernder Verjüngung

Sichtbehindernde Verjüngung hatte, wie oben dargestellt, einen Einfluss darauf, ob Bäume maschinell oder motormanuell gefällt wurden. Ein statistisch signifikant größerer Gesamtzeitbedarf beim motormanuellen Holzeinschlag durch sichtbehindernde Verjüngung wurde bei den Fallstudien „Rhön“ und „Nördliche Schwäbische Alb“ festgestellt. Die Betrachtung der einzelnen Arbeitsschritte zeigte, dass in beiden Fällen die Arbeitsschritte „Freiräumen“ und „Aufarbeiten“ mehr Zeit benötigten. Auch bei den Zufällarbeiten der Forstwirte in den Fallstudien „Mittelschwaben“ und „Altmühltal“ dauerte der Arbeitsschritt „Freiräumen“ signifikant länger, wenngleich dies bei der Gesamtarbeitszeit nicht aufscheinend wurde. Bei den Fallstudien „Südlicher Steigerwald“ und „Altmühltal“ verbrachten die Forstwirte signifikant weniger Zeit in der Rückweiche, wenn im Umfeld der Bäume Verjüngung war. Dies ist bedenklich, weil die Rückweiche für die Arbeitssicherheit sehr wichtig ist. In den Fallstudien „Rhön“ und „Nördliche Schwäbische Alb“ wird der zusätzliche Zeitbedarf mit auch entsprechend höheren Kosten auf bis zu 27 % bzw. 32 % geschätzt. Andererseits gab es auch vier Fallstudien, bei denen keinerlei Zusammenhang zwischen Zeitbedarf des motormanuellen Holzeinschlags und sichtbehindernder Verjüngung festgestellt wurde. In einem Fall gab es kaum Verjüngung („Fränkische Platte“) in den anderen drei Fällen gab es sehr viel Verjüngung („Nordspessart“, „Nördlicher Steigerwald“, „Südliche Schwäbische Alb“). Möglicherweise war hier die Variation auf der Fläche zu gering. „Unfälle wegen der Unübersichtlichkeit durch Bewuchs“ wird von Weinbrenner et al. (2019) als einer von drei typischen Unfallverläufen bei der Waldarbeit beschrieben. „Das häufige Hängenbleiben und Ausrutschen in der Vegetation, oft einhergehend mit kleinen Verletzungen (z.B. Zerkratzen der Haut), all dies ist eine Arbeiterschwernis und Frustrationsquelle im Arbeitsalltag.“

Einfluss von Biotopbäumen

Der Effekt von Biotopbäume im Umfeld der motormanuell zu fällenden Bäume ist überraschend. Eigentlich hätten wir einen größeren Zeitbedarf erwartet. Tatsächlich war der Zeitbedarf in den Fallstudien „Südlicher Steigerwald“ und „Rhön“ kürzer, wenn Biotopbäume in der Nähe standen. Dies war auf eine kürzere Zeitdauer bei der Aufarbeitung zurückzuführen. Sollte dies tatsächlich darauf zurückzuführen sein, dass die Forstwirte aus Angst vor herabfallenden Ästen einen längeren Aufenthalt unter den Biotopbäumen vermeiden, wäre dies bedenklich. Dies würde bedeuten, dass die Forstwirtinnen und Forstwirte Stress empfinden, was das Unfallrisiko erhöhen könnte und langfristig gesundheitlich schädlich sein kann. „Das Getroffen-Werden von herabfallendem Totholz bei der Fällung“ ist aus der Sicht von Forstwirten die größte Gefahr bei der Waldarbeit. Weinbrenner et al. (2019) nennen dies ebenfalls als einen der typischen Unfallverläufe. Teils wurden in den Fallstudien signifikante Zusammenhänge zwischen dem Zeitbedarf für einzelne Arbeitsschritte und Biotopbäumen festgestellt. So dauerte im „Südlichen Steigerwald“ das Suchen der Bäume und der Aufenthalt in der Rückweiche länger, im „Altmühltal“ und der „Südlichen Schwäbischen Alb“ wurde mehr Zeit für das Freiräumen aufgewendet. Bei zwei Fallstudien wurden keine Zusammenhänge beobachtet, obgleich zumindest vereinzelt Biotopbäume vorkamen. In beiden Fällen handelte es sich um von Nadelbäumen dominierte Bestände („Nördlicher Steigerwald“, „Nördliche Schwäbische Alb“). Möglicherweise bergen diese weniger Gefahren für die Holzernte.

Einfluss von liegendem Totholzes

Ein Zusammenhang zum Zeitbedarf bei der motormanuellen Arbeit konnte nur in der Fallstudie „Altmühltal“ festgestellt werden. Dort wurden Bäume häufiger motormanuell gefällt, wenn viel liegendes Totholz im Umkreis vorhanden war. Ansonsten wird die motormanuelle Holzernte durch liegendes Totholz zumindest nicht in dem Maße behindert, dass dies im Zeitbedarf aufscheinen würde. Trotzdem sollte dieser Faktor nicht unterschätzt werden. Weinbrenner et al. (2019) nennen „Stolpern und Stürzen über herumliegendes Totholz“ als den dritten der typischen Unfallverläufe.

Ein Einfluss liegenden Totholzes könnte beim Vorrücken von Holz erwartet werden. Die Seilarbeit ist schließlich auch mit langen Laufwegen verbunden. In den Fallstudien konnten die vorgerückten Stammteile nur selten bestimmten Entnahmebäumen zugeordnet werden, sodass eine statistische Auswertung nicht möglich war.

Einfluss von Bewuchs am Boden

Der Effekt von Bewuchs am Boden, der zwar nicht die Sicht, aber das Gehen behindert, wurde nur bei den letzten sechs Fallstudien mit dem geänderten Versuchsdesign untersucht. Nur in der Fallstudie „Nördliche Schwäbische Alb“ hatte der Bewuchs einen signifikanten Zusammenhang zum Gesamtzeitbedarf der motormanuellen Arbeit. Je mehr Bewuchs vorhanden war, desto weniger Zeit wurde aufgewendet. Der Blick auf die einzelnen Arbeitsschritte zeigt, dass bei Bewuchs im Umfeld der Bäume, weniger Zeit für das Freiräumen aufgewendet wurde. Dafür dauerte dort das „Freiräumen“ länger, wenn sich behindernde Verjüngung um den Baum herum vorhanden war. Auch in der Fallstudie „Nördlicher Steigerwald“ wurde ein signifikant kürzerer Zeitbedarf für das Freiräumen bei vorhandenem Bewuchs festgestellt. Dies wurde in der Gesamtarbeitszeit jedoch nicht deutlich. In der Fallstudie „Rhön“ dauerte der Aufenthalt in der Rückweiche weniger lang, wenn behindernder Bewuchs vorhanden war.

Sonstige Einflussgrößen

Den weitaus stärksten Zusammenhang zum Zeitbedarf beim Holzeinschlag hatte der Durchmesser der Bäume, also die Baumdimension. Bis auf die Fallstudie „Thüringer Schiefergebirge“ hatte der BHD stets einen signifikanten Zusammenhang zum Zeitbedarf und konnte im Maximum 79 % der Streuung („Fränkische Platte“) erklären. Meist wurde der Zusammenhang auch bei Betrachtung der einzelnen Arbeitsschritte beobachtet, insbesondere bei der Fällung und Aufarbeitung. Dieser teils sehr starke Zusammenhang zwischen Baumgröße und Zeitbedarf mag andere Zusammenhänge verdecken.

Auch die Baumart hatte teilweise einen Einfluss auf den Zeitbedarf. So war der Zeitbedarf bei Fichte teils größer und bei Kiefer geringer.

Ein weiterer Parameter mit Einfluss auf den Zeitbedarf könnte die Stammzahldichte im Bestand sein. So haben vor allem Studien zum vollmechanisierten Holzeinschlag einen solchen Zusammenhang gezeigt (vgl. Kap. 2.1). Auch bei der motormanuellen Holzernte dürfte dies den Zeitbedarf beeinflussen, vor allem dann, wenn Bäume infolge Dichtstands nicht ohne weiteres zu Boden fallen. Dieser Parameter wurde hier nicht erfasst. Durch Messung des Abstands jedes Entnahmebaumes zum nächsten Nachbarbaum hätte er erhoben werden können. Allerdings beziehen sich die Ziele dieser Untersuchung nicht auf diesen Parameter.

Auch die Hangneigung könnte einen Einfluss auf den Zeitbedarf des Holzeinschlags haben. Nur eine der Fallstudien fand in einem stärker geneigten Gelände statt. Der Effekt der Hangneigung steht allerdings auch nicht im Fokus dieser Studie.

Produktivität der Verfahren

Bei den Fallstudien wurden meist sehr große Arbeitsleistungen ermittelt. Es ist jedoch zu bedenken, dass die hier verwendete Bezugsmenge das Volumen des stehenden Baumes ist. Das Volumen des verwerteten Holzes wurde nicht erhoben. Die Arbeitsleistungen würden geringer ausfallen, wenn die Menge des nicht verwerteten Holzes abgezogen würde. Außerdem wurden hier die „Allgemeinen Zeiten“ in dem Umfang berücksichtigt, wie sie gemessen wurden. In anderen Studien werden sie oft pauschal auf die produktiven Zeiten aufgeschlagen. Bei den meisten Fallstudien hier schwankten die „Allgemeinen Zeiten“ zwischen 10% und 27% und nahmen damit einen eher geringen Teil der Arbeitszeit ein. Nur in der Fallstudie „Südliche Schwäbische Alb“ waren sie mit 40% und im „Nordspessart“ mit 52% deutlich größer. Ein pauschaler Zuschlag der „Allgemeinen Zeiten“ wurde hier nicht vorgenommen, weil bei den Zeiten, in denen die Kamera ausgeschaltet war („unbekannte Zeitleücken“), nicht bekannt ist, ob es sich um produktive oder allgemeine Zeiten handelt. Im Übrigen ist auch zu beachten, dass bei Kurzzeitstudien, wie sie hier vorgenommen wurden, oft deutlich größere Leistungen erzielt werden als sie über eine längere Zeit im betrieblichen Alltag erbracht werden. Dies ist offensichtlich darauf zurückzuführen, dass Leute unter Beobachtung mehr leisten.

Pfleglichkeit

Die Anteile von Bäumen des verbleibenden Bestandes mit Fällschäden schwanken zwischen 2 % und 12 %. Der niedrigste Anteil wurde bei der Fallstudie „Nordspessart“ beobachtet. Dies ist erstaunlich, weil dort offensichtlich eine Zielstärkennutzung stattfand. Darauf deuten zumindest die Baumdurchmesser hin. Die Entnahmebäume waren von allen Fallstudien dort am stärksten. Sie hatten im Mittel einen BHD von 60 cm, die Bäume des verbleibenden Bestandes 43 cm. Die stärkeren Entnahmebäume dürften auch größere Kronen gehabt

haben als die Bäume des verbleibenden Bestandes. Unter solchen Umständen wären eigentlich mehr Fällschäden zu erwarten. Außerdem wurden bei der Fällung der Bäume konventionelle Fällkeile verwendet. Der größte Anteil an Fällschäden trat auf der Teilfläche 2 der Fallstudie "Mittelschwaben" beim Holzeinschlag durch den Harvester auf. Dies mag zum Teil auf den Dichtstand der Bäume zurückzuführen sein. Andererseits war die Dichte bei der Fallstudie "Thüringer Schiefergebirge", bei der ebenfalls vollmechanisiert gearbeitet wurde, noch viel größer. Dennoch war der Anteil von Fällschäden dort mit 5 % am zweitniedrigsten von allen Fallstudien. Vermutlich wurde auf der Teilfläche 2 in "Mittelschwaben" einfach nicht pfleglich gearbeitet. Der zweitgrößte Anteil von Fällschäden trat mit 10% bei der Fallstudie "Nördlicher Steigerwald" auf. In diesem von Nadelbäumen dominierten Bestand wurde motormanuell gefällt. Der Bestand war nicht besonders dicht. Allerdings gab es hier unter allen Fallstudien, bei denen Fällschäden erhoben wurden, am zweitmeisten sichtbehindernde Verjüngung und am meisten liegendes Totholz. Lediglich bei der Fallstudie "Südliche Schwäbische Alb" gab es mehr sichtbehindernde Verjüngung. Dort war der Anteil der Fällschäden mit 9 % auch nur geringfügig niedriger. Die weiteren Fallstudien mit motormanuellem Holzeinschlag hatten Anteile an Fällschäden von 7 % und 8%. Es mag Zufall sein, dass bei den Fallstudien "Nördlicher Steigerwald" und "Südliche Schwäbische Alb" die Fällschäden etwas häufiger waren. Es ist aber plausibel, dass bei stärkerer Sichtbehinderung im Bestand die Bäume nicht so zielgerichtet gefällt werden können wie bei einer guten Übersicht.

Rückeschäden traten bei den vollmechanisierten Arbeitsverfahren sehr wenig auf. Dort werden die Bäume mit dem Kran des Harvesters vorgerückt und mit dem Tragschlepper zur Waldstraße transportiert. Bei der Fallstudie "Thüringer Schiefergebirge" wurde nur ein Baum mit Rückeschaden beobachtet. Bei der Teilfläche 2 der Fallstudie "Mittelschwaben" wiesen 1 % der verbliebenen Bäume Rückeschäden auf. Die Anteile von bei der Rückung beschädigten Bäumen bei den Fallstudien mit motormanueller Fällung schwanken zwischen 0,6 % und 3,5 %. Der niedrigste Anteil trat wieder bei der Fallstudie "Nordspessart" auf. Dort wurde das Holz mit einem Schlepper vorgerückt, der sowohl mit einer Seilwinde als auch einem Kran ausgerüstet war. Der größte Anteil trat bei der Fallstudie "Fränkische Platte" auf. Dort gab es verglichen mit den anderen Fallstudien eher wenig sichtbehindernde Verjüngung und wenig liegendes Totholz, was beim Vorrücken mit der Seilwinde hinderlich sein könnte. Nur mit der Seilwinde wurde auch bei der Fallstudie "Rhön" vorgerückt, wo es mehr sichtbehindernde Verjüngung und mehr liegendes Totholz gab. Dennoch war der Anteil von Bäumen mit Rückeschäden mit 2 % niedriger. Bei den Fallstudien mit der meisten sichtbehindernden Verjüngung "Nördlicher Steigerwald" und "Südliche Schwäbische Alb" hatten 3 % der verbliebenen Bäume Rückeschäden. Auch in der Fallstudie "Nördliche Schwäbische Alb", wo die Bäume im Zuge der Aufarbeitung durch den Harvester vorgerückt wurden, war der Anteil von bei der Rückung geschädigten Bäumen genauso hoch. Dies mag auch an der Aushaltung von Langholz gelegen haben.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass bei der maschinellen Fällung die Bestockungsdichte sowie die Sorgfalt der Fahrerinnen und Fahrer einen Einfluss auf die Häufigkeit von Fällschäden hat. Aus dem Vergleich der Fallstudien gibt es Hinweise darauf, dass auch sichtbehindernde Verjüngung zu häufigeren Fällschäden führen kann. Beim maschinellen Holzeinschlag und der Aushaltung von Kurzholz traten kaum Rückeschäden auf. Zusammenhänge zwischen der Bestandesstruktur und den Rückeschäden lassen sich bei den anderen Verfahren nicht erkennen.

1.7 Diskussion der Methodik

Bei den Aufnahmen der Arbeitsabläufe für die Zeitstudien mittels GoPro-Kameras hat es sich als sinnvoll erwiesen, für die Zukunft stets eine Person bei der Durchführung des Holzernteverfahrens vor Ort zu haben, um technischen Störungen der Kameras zu beheben oder Gründe für das Abschalten von Kameras zu notieren, da beim Ansehen der Videos nicht immer klar war, warum Zeiten fehlten oder die Kamera ausgeschaltet war. Dies war insbesondere der Fall, wenn der Forwarderfahrer aus seiner Kabine ausgestiegen ist. Es war oft nicht klar, ob es sich dann um eine Pause handelte oder, ob organisatorische Absprachen getroffen wurden.

Des Weiteren gilt es zu berücksichtigen, dass Baumnummern kaum erkennbar sind, wenn es kurz vor dem Hieb geschneit hat und zum Teil die Stämme von Schnee bedeckt sind. Hier sollte in Zukunft darauf geachtet werden, wann die Entnahmebäume nummeriert werden. Oft ist zudem ein Baum nicht durchgängig nachverfolgbar, wenn er gerückt wird, da er bei der Aufarbeitung meist in mehrere Abschnitte zerteilt wird und diese nicht nummeriert waren. Daher empfiehlt es sich im Nachgang diese Abschnitte ebenfalls zu nummerieren. Zudem erwies es sich für die Rückung mit dem Forwarder als sinnvoll, die Stämme nicht nur auf der Rinde zu nummerieren, sondern auch auf der Schnittfläche. Dies ist jedoch nicht immer möglich, wenn die einzelnen Abschnitte mit den Schnittflächen aneinander liegen.

Bei dem in dieser Studie gewählten Versuchsansatz empfiehlt es sich bei der Auswahl der Waldbestände auf eine stärkere Variation der Strukturmerkmale wie sichtbehindernde Verjüngung und liegendes Totholz innerhalb des Bestandes zu achten. Nur wenn die Variation groß genug ist, können Zusammenhänge zum Zeitbedarf auf der Ebene von Einzelbäumen auch deutlich werden.

2. Verwertung

2.1. Schlussfolgerungen

Die Untersuchung zeigt, dass als Anpassung an die naturschutzfachlich erwünschten Strukturen bei den motormanuellen Holzernteverfahren Vorkehrungen getroffen werden, um das Unfallsrisiko durch herabfallende Äste zu verringern. Das ist zum einen die Seilunterstützung bei der Fällung, zum anderen die Verwendung fernbedienbarer Fällkeile. So können die Bäume ohne größere Erschütterungen gefällt werden und die Personen halten sich beim Umfallen der Bäume nicht in dem am stärksten gefährdeten Bereich auf. Eine noch weitergehende Anpassung stellt das in der Fallstudie „Südliche Schwäbische Alb“ untersuchte Verfahren dar. Dort wird ein Teil der Aufarbeitung an die Forststraße verlagert, wo die Personen eine bessere Sicht haben, sich freier bewegen können und nicht durch die Vegetation behindert werden. Das sicherste Arbeitsverfahren, die vollmechanisierte Holzernte, kann aufgrund der Waldstrukturen nicht im vollen Umfang angewendet werden. Dabei sind es nicht nur die weiten Rückegassenabstände, welche eine maschinelle Fällung verhindern, sondern auch die durch Vegetation behinderte Sicht sowie störendes am Boden liegendes Totholz. Auch an überaus großen Baumdimensionen kann eine maschinelle Holzernte scheitern. Die Befragung von Forstwirten durch Weinbrenner et al. (2019) offenbart ein großes Unverständnis seitens der Forstwirte über den modernen Waldbau: „In anderen Arbeitsfeldern würde man bei Unfallgefahren versuchen, den Arbeitsort sicherer zu machen, zum Beispiel durch Absicherung einer Treppe durch ein Geländer. Am Arbeitsplatz Wald sei das Gegenteil der Fall: Der Arbeitsort würde immer unsicherer gemacht, während die Forstwirt*innen intensiv dahin geschult werden, mit diesen Gefahren umzugehen.“ „Der moderne Waldbau mit Alt und Totholz Programm (AuT) und Naturverjüngung wird als Problem auf vielen Ebenen dargestellt.“ Ein häufig verwendetes Credo in der Forstwirtschaft lautet, dass die Forsttechnik sich an den Waldbau anpassen müsse, nicht umgekehrt. Dabei wird jedoch übersehen, dass es Menschen sind, welche die Forsttechnik im Wald einsetzen, und deren Bedürfnisse gleichfalls zu berücksichtigen sind. Dabei ist das Bedürfnis nach körperlicher Unversehrtheit das elementarste menschliche Bedürfnis. Wir empfehlen, künftig im Waldbau die Erfordernisse einer sicheren Waldarbeit mit zu berücksichtigen. Die Waldstrukturen sollten so gestaltet werden, dass so viel wie möglich vollmechanisiert geerntet werden kann. Am leichtesten wäre es, wieder Rückegassenabstände zuzulassen, welche die Erreichbarkeit der Bäume durch Maschinen ermöglichen. Außerdem könnte eine kleinflächige Trennung der Entwicklungsziele im Waldbau hilfreich sein, etwa indem Alt- und Totholz auf Teilflächen konzentriert belassen, auf den anderen jedoch vermieden wird. Solche Konzepte gibt es wohl, sie werden in der Praxis jedoch wohl eher selten verwirklicht. „Anders als vorgesehen wäre Alt- und Totholz weniger in Gruppen konzentriert, sondern eher flächig verteilt. Gerade die Verteilung von Einzelbäumen anstelle von Baumgruppen macht Risiken für die Forstwirt*innen unvorhersehbarer“, so beschreiben Weinbrenner et al. (2019) die Meinung von Experten. Schwieriger wird es sein, das waldbauliche Ziel nach biologischer Automation und Nutzung von Naturverjüngung sowie nach vielfältigen vertikalen Strukturen mit der Anforderung zu vereinbaren, dass der Stammuß eines Baumes bei der maschinellen Fällung einsehbar ist. Hier sollten die Möglichkeiten technischer Lösungen ausgelotet werden, sei es eine Kameraunterstützung oder sensorbasierte Systeme, die eine Teilautomation des Greif- und Fällungsvorgangs ermöglichen. Auf Waldflächen, auf denen auf absehbare Zeit eine maschinelle Fällung ausscheidet, etwa steilen Hängen, sollte zumindest versucht werden, das Aufkommen von Naturverjüngung räumlich so zu steuern, dass ein Aufenthalt der Forstwirte in der Naturverjüngung bei der Holzernte möglichst nicht nötig ist. Angesichts der häufig durch Störungen (Sturmwürfe, Schneebruch, Insektenbefall) beeinflussten Waldentwicklung wird dies sicher nur begrenzt realisierbar sein. Schließlich sollten auch die Zielsetzungen hinsichtlich der Baumdimensionen überdacht werden. Schwere Raupenharvester können zwar sehr große Bäume fällen. Sie benötigen jedoch breitere Rückegassen und das Umsetzen ist erheblich aufwändiger. Daher lohnt sich ihr Einsatz nur bei größeren Erntemengen. Angesichts der kleinteiligen Besitzstruktur sind die Voraussetzungen für einen wirtschaftlichen Einsatz dieser Maschinen eher selten gegeben. Die Zieldurchmesser sollten deshalb möglichst so gewählt werden, dass eine vollmechanisierte Ernte mit konventionellen Harvestern möglich ist. Die Entwicklung sehr großer Baumdimensionen sollte auf die Alt- und Totholzgruppen, die nicht zur Holzernte vorgesehen sind, beschränkt werden. Dort, wo eine motormanuelle Zufällung unvermeidlich ist, stellt sich die Frage, wie die zeitliche und räumliche Zusammenarbeit von Mensch und Maschine gestaltet wird. Eine zeitlich und räumlich eng verzahnte Zusammenarbeit sollte vermieden werden. Dabei geht es nicht nur darum, den Aufenthalt der im Freien arbeitenden Personen im Gefahrenbereich des Harvesters zu vermeiden, sondern es wird auch Zeitdruck auf diese Personen vermieden, welcher zur Vernachlässigung von Sicherheitsvorkehrungen führen kann. Am besten wäre es, wenn zunächst mit dem Harvester alle Entnahmebäume gefällt werden, welche erreichbar sind. Ob nach der motormanuellen Fällung der übrigen Bäume eine maschinelle Aufarbeitung noch lohnt, hängt von der Menge dieser Bäume ab. Auf jeden Fall sollten dabei lange Leerfahrten der Maschine vermieden werden. Vertragsnaturschutzprogramme könnten verstärkt auch den Aspekt gestiegener Holzerntekosten für mehr Arbeitssicherheit aufgreifen. Für die Übergangsbereiche von – bevorzugt großen – Alt- und Totholzgruppen zu bewirtschafteten Flächen oder auch für starke Zieldurchmesser könnten Kompensationszahlungen für höhere Planungsaufwände und die „Entkopplungskosten Mensch-Maschine“ die Gefährdung durch die Wahl angepasster Verfahren reduzieren. Gleichzeitig sollten diese Förderprogramme sich weg vom Einzelbaum oder der Kleinbaumgruppe hin zu größeren Flächen bewegen.

2.2 Verwertung des Verbundvorhabens

Der Verwertungsnutzen dieses Vorhabens liegt insbesondere in folgenden Aspekten:

Hinweis auf Spannungsfeld Waldbau und sichere Holzernte

Die Untersuchungsergebnisse weisen deutlich auf das Spannungsfeld von sicherer Holzernte und den Anforderungen an waldbauliche Verfahren hin. Weite Rückegassenabstände, Sichtbehinderung durch Verjüngung oder Bewuchs sowie das Vorhandensein von Alt- und Totholz (stehend oder liegend) stellen Faktoren dar, die die körperliche Unversehrtheit als die elementarste Forderung an die Holzernte vor große Herausforderungen stellen.

Forderungen und Empfehlungen gehen in Richtung technologischer Weiterentwicklungen, der zeitlichen und räumlichen Entkopplung der Arbeiten von Mensch und Maschine, der Notwendigkeit Stressfaktoren beim arbeitenden Menschen zu vermeiden sowie Alt- und Totholz räumlich zu konzentrieren und in diesen Waldbereichen die Nutzung mit Rücksicht auf die hohe Gefährdung für den arbeitenden Menschen aufzugeben.

Standardisierte Verfahrensbeschreibung unterstützt einheitliche Abläufe

Die Anwendung der standardisierten Verfahrensbeschreibung wird zu einer einheitlichen Abbildung von Verfahrensabläufen in der Forstwirtschaft führen. Ein Glossar forstlicher Begriffe und Definitionen leistet einen Beitrag zur Harmonisierung forsttechnischer Begriffe und Definitionen. Dieses muss ständig weiterentwickelt werden.

Es ist wichtig, das verwendete Schema einer breiten Öffentlichkeit bekannt zu machen, was forstliche Experten in Leitungsfunktionen, forstliche Forschungseinrichtungen, bis zum forstwirtschaftlichen Personal ebenso einschließt, wie Studierende an Fachhochschulen und Universitäten. Die Analyse forstlicher Arbeitsverfahren und die Weiterentwicklung der standardisierten Verfahrensbeschreibungen wird in Zukunft ein Aufgabenschwerpunkt des KWF sein

Erkenntnisse aus der Analyse der Schutzgebietskulissen

Die Untersuchung der Schutzgebietskulissen ergab, im Unterschied zu den freiwilligen betrieblichen Zielsetzungen, eine für die Praxis eher gering verwertbare Umsetzungsrelevanz. Die Lücke zwischen Anforderung und Holzerntesystem liegt in der Verantwortung der Planer und Umsetzer sowie dessen Interpretationsspielraum. Dagegen haben die freiwilligen betrieblichen Zielsetzungen oftmals sehr konkrete Auswirkungen auf die Holzerntepraxis. Die Forderung an die Forstpolitik ist, aus diesen Erkenntnissen einen fairen Ausgleich von Mehraufwänden und Mindererlösen sowohl für gesetzliche (zumeist eher wenige konkrete Auswirkungen) sowie auch für die freiwilligen Leistungen der Betriebe (für konkrete Anforderungen) in Vertragsnaturschutzprogrammen weiterzuentwickeln.

Kartografische Darstellung und GIS zur Unterstützung in der Praxis

Ein Ergebnis des Vorhabens ist die GIS-Darstellung der Naturschutzstati (Schutzgebietskulissen) in den Bundesländern Bayern, Baden-Württemberg und Thüringen. Um die potenziell relevanten Schutzgebietskulissen für eine bestimmte Fläche bei der Planung der Holzernte berücksichtigen zu können, müssen diese bekannt sein. Daher wurde im Rahmen dieses Projekts der Prototyp eines WebGIS erstellt. Dieses WebGIS ist der Viewer für Geodaten des Projekts BestHarvest. Bearbeitungsflächen können in bezug auf die Schutzgebiete erstellt, ausgewertet und editiert werden. Für die Anmeldung sind Zugangsdaten nötig, die bei unique (unique@unique-landuse.de) erfragt werden können (Stichwort „BestHarvest“). Das WebGIS kann unter folgendem Link abgerufen werden: <http://unique-mis.de:90/lizmap/lizmap/www/index.php/view/map/?repository=bestharvest&project=bestharvest>

3. Erkenntnisse von Dritten

Während der Durchführung des Vorhabens wurden folgende Arbeiten anderer Stellen bekannt, die einen Fortschritt auf dem Gebiet des hier beschriebenen Vorhabens bedeuten:

1. Bachelorarbeit von Mark-Fabian Franz, Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg

Titel: Erforderliche Hubkräfte bei der Baumfällung unter Verwendung technischer Fällhilfen

Zusammenfassung

Die Waldarbeit kann durch die Verwendung technischer Fällhilfen sicherer und ergonomischer gestaltet werden. Die Kaufentscheidung wird durch den Anwender auf Grundlage verschiedener Kriterien getroffen. Diese sind wirtschaftlich gesehen der Kaufpreis, die Verfügbarkeit oder die Nähe zu einem Fachgeschäft. Technische Entscheidungskriterien können das Wirkprinzip (hydraulisch oder mechanisch), die Bedienung, die Hubhöhe und Hubkraft der Fällhilfe oder die Bauweise (integriert oder differenziert) sein. Ebenfalls kann eine Anerkennung durch den forsttechnischen Prüfausschuss (FPA) eine Entscheidungshilfe für einen Kauf darstellen. Die Bedienungsanleitungen der Fällhilfen definieren nur die maximalen

Hubkräfte, jedoch ist dem Praxisanwender unbekannt, wann technische Grenzen erreicht werden. Demnach fehlt eine Zuordnung der Hubkräfte zu Baumdimensionen und Rückhangstufen.

Die Arbeit ermittelt diese Hubkräfte während der Baumfällung, auf Grundlage theoretischer Berechnungen und realer Messungen. Eine Bestimmung von geometrischen Basisdaten auf Grundlage einer Lasermessung ermöglicht es, den realen Baum zu simulieren. Die Berechnung erfolgt über physikalische Gesetzmäßigkeiten, ein Abgleich mit der Realität durch praktische Messungen gestaltet deren Auswertung. Die Datengrundlage für die Berechnungen stammt aus Rückhangmessungen der Versuchsbäume. Ziel der Arbeit ist die Erstellung einer Tabelle und eines Kalkulators, um die benötigten Hubkräfte individueller Bäume in guter Näherung zu ermitteln. Diese Kalkulation soll es dem Praxisanwender ermöglichen, eine geeignete und ausreichend dimensionierte technische Fällhilfe für eine Holzeinschlagsmaßnahme zu wählen. Ein weiteres Ziel dieser Arbeit ist es, die Einflussgrößen, welche sich während der Fällung auf die Hubkraft auswirken, zu bestimmen. Den größten Einfluss hat dabei der Rückhang, sprich die Position des Schwerpunktes in Abhängigkeit der Bruchleiste, gefolgt vom Baumvolumen, Baumgewicht und der Geometrie der Bruchleiste. Die theoretische Berechnung mittels Kalkulationsrechner ermöglicht eine individuelle Bewertung der für einen bestimmten Baum benötigten Hubkraft.

Eine Hilfstabelle, welche den Ausgabewerten des Kalkulationsrechners entspricht, kann dazu beitragen, den Einsatz der Fällhilfe gezielter zu planen und ein ausreichend dimensioniertes Arbeitsgerät für die Fällung zu wählen (Tabelle 47).

Tabelle 47: Hilfstabellen Hubkraft (Franz, 2020)

Hilfstabelle zur Ermittlung der benötigten Hubkraft bei der Fällung von Bäumen

Geradestehend	Rückhänger [m]			Buche im Sommer mit Laub				Buche im Sommer ohne Laub				Buche im Winter									
	Einschubtiefe [cm]			Einschubtiefe [cm]				Einschubtiefe [cm]				Einschubtiefe [cm]									
	0,5	1	1,5	0		5		10		0		5		10		0		5		10	
	BHD [cm]			kn	to	kn	to	kn	to	kn	to	kn	to	kn	to	kn	to	kn	to	kn	to
30				14	1,4	19	1,9	29	3	14	1,4	19	1,9	29	3	14	1,4	18	1,8	28	2,9
35				19	1,9	24	2,4	34	3,5	19	1,9	24	2,4	33	3,4	18	1,8	23	2,3	32	3,3
40				24	2,4	30	3,1	40	4,1	24	2,4	30	3,1	39	4	23	2,3	29	3	38	3,9
45				30	3,1	37	3,8	46	4,7	30	3,1	36	3,7	46	4,7	29	3	35	3,6	45	4,6
50				37	3,8	44	4,5	54	5,5	37	3,8	43	4,4	53	5,4	36	3,7	42	4,3	52	5,3
55				44	4,5	52	5,3	62	6,3	44	4,5	51	5,2	62	6,3	43	4,4	50	5,1	60	6,1
60	34			53	5,4	60	6,1	71	7,2	52	5,3	60	6,1	71	7,2	51	5,2	58	5,9	69	7
65	40			61	6,2	70	7,1	81	8,3	61	6,2	69	7	81	8,3	59	6	68	6,9	78	8
70	46	35		71	7,2	80	8,2	92	9,4	71	7,2	80	8,2	91	9,3	69	7	77	7,8	89	9,1
75	51	41		82	8,4	91	9,3	104	10,6	81	8,3	91	9,3	103	10,5	79	8,1	88	9	100	10,2
80	57	46	32	93	9,5	103	10,5	116	11,8	92	9,4	102	10,4	115	11,7	90	9,2	100	10,2	112	11,4
85	62	51	38	105	10,7	116	11,8	129	13,1	104	10,6	115	11,7	128	13	101	10,3	112	11,4	125	12,7
90	67	57	44	118	12	130	13,3	144	14,7	117	11,9	129	13,1	142	14,5	114	11,6	125	12,7	139	14,2
95	72	62	49	132	13,5	144	14,7	159	16,2	131	13,4	143	14,6	157	16	127	12,9	139	14,2	153	15,6
100	78	68	55	147	15	160	16,3	175	17,8	146	14,9	158	16,1	173	17,6	142	14,5	154	15,7	169	17,2
105	83	73	60	163	16,6	176	17,9	192	19,6	162	16,5	175	17,8	191	19,5	157	16	170	17,3	185	18,9
110	88	79	66	180	18,3	194	19,8	210	21,4	178	18,1	192	19,6	209	21,3	173	17,6	187	19,1	203	20,7
115	93	84	71	198	20,2	212	21,6	230	23,4	196	20	211	21,5	228	23,2	191	19,5	205	20,9	222	22,6
120	98	89	76	217	22,1	232	23,6	250	25,5	215	21,9	230	23,4	248	25,3	209	21,3	224	22,8	241	24,6
125	103	94	81	237	24,2	253	25,8	272	27,7	235	24	251	25,6	270	27,5	229	23,3	244	24,9	262	26,7
130	108	99	87	258	26,3	275	28	295	30,1	256	26,1	273	27,8	292	29,8	249	25,4	265	27	284	29
135	113	104	92	281	28,6	299	30,5	310	31,6	279	28,4	296	30,2	316	32,2	271	27,6	288	29,4	307	31,3
140	119	109	97	305	31,1	323	32,9	344	35,1	305	31,1	321	32,7	341	34,8	294	30	312	31,8	332	33,8
145	123	114	102	330	33,6	349	35,6	371	37,8	327	33,3	347	35,4	368	37,5	318	32,4	337	34,4	358	36,5
150	129	119	107	357	36,4	377	38,4	400	40,8	354	36,1	374	38,1	396	40,4	344	35,1	363	37	385	39,2

Erstellt unter den Annahmen einer Baumhöhe von 30 m, einem Kronendurchmesser von 10 m, einer Abholzigkeit von 1 cm/m und unter der Verwendung der Sicherheitsfälltechnik. Einschubtiefe 0 cm entspricht der Anwendung der Tabelle unter Verwendung technischer Fällkeile. Quelle: Franz, 2020

2. Studie "Arbeitssicherheit bei der Waldarbeit" von Sauter et al. (2019)

Diese Studie setzt sich intensiv mit dem Unfallgeschehen und seinen Ursachen bei der Waldarbeit im Staatswald Baden-Württembergs auseinander. Die qualitative Analyse der Sicht der Forstwirinnen und Forstwirte (Weinbrenner et al. 2019) wird in der Diskussion der Ergebnisse der vorliegenden Studie berücksichtigt.

3. Studie "Eignung hochmechanisierter Holzernteverfahren für laubholzdominierte Bestände" von Labelle et al. (im Druck)

Diese Studie lotet die Möglichkeiten der hochmechanisierten Holzernte im Laubstarkholz aus. Sie fokussiert ebenfalls auf den Aspekt der Arbeitssicherheit. Dabei wird auch die Holzernte im belaubten Zustand betrachtet. Die Ergebnisse dieser Studie werden in der Diskussion der Ergebnisse der vorliegenden Studie ebenfalls berücksichtigt.

4. Veröffentlichungen

4.1 Veröffentlichungen im Verbundvorhaben

FTI-Artikel zum Projektstart

Zur Information der Mitglieder des KWF e.V. wurde ein Artikel in der Ausgabe 6/2018 der Forsttechnischen Informationen veröffentlicht:

Kopetzky, Marius (2018): Projekt BestHarvest gestartet. In: KWF e.V. (Hrsg.). *FTI Forsttechnische Informationen*. Deutschland: KWF e.V. Forsttechnische Informationen. 70(6), S. 4-5

Poster zur FORMEC 2019

Im Rahmen des Symposiums on Forest Mechanization (FORMEC) wurde ein Poster zum Projekt eingereicht und den Besucher_innen vorgeführt (s. Anhang zu den Inhalten des Berichts 4.1 Poster zu FORMEC).

Weihnachts-Newsletter 2019

Um den Projektbeirat nach den ersten Zeitstudien im Winter 2019 über den Verlauf des Projektes in Kenntnis zu setzen, wurde ein Weihnachts-Newsletter verfasst und per E-Mail versandt. Inhalt des Newsletters war ein Grußschreiben an die Beiräte, verbunden mit dem Dank für die Mitarbeit im Projekt. Darüber hinaus wurden sie darüber informiert, dass die Experten-Interviews im Frühjahr 2019 auf der Grundlage ihrer Auswahl von „Sichtbehindernder Naturverjüngung“, „Totholz und Habitatbäume“ und „erweiterte Rückegassenabstände“ als zentrale Aspekte naturschutzfachlicher Anforderungen durchgeführt wurden. Weiterhin wurde darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse der Interviews mittels Experten-Workshops zu einer Auswahl länderspezifisch relevanter Holzernteverfahren geführt haben (Siehe hierzu auch Meilenstein 6) und erste Versuche in Bayern und Thüringen durchgeführt wurden.

Dem Newsletter ebenfalls angehängt fanden die Beiräte eine PowerPoint-Präsentation im PDF-Format. Darin wurde in einer übersichtlichen Tabelle dargestellt, welche Verfahren bei welchem Rückegassenabstand im Rahmen des Vorhabens untersucht werden sollten. Außerdem wurden für die drei bereits durchgeführten Zeitstudien Fotos von den Waldbeständen als „Impressionen der Testfläche“ dargestellt. Zur Information der Beiräte wurde auch ein kurzer Videoclip über einen Link bereitgestellt, der aus einem GoPro-Video während der Zeitstudien erstellt worden war. Damit sollte den Projektbeiräten die Durchführung der Zeitstudien nähergebracht werden. Zuletzt stellte UNIQUE in der Präsentation einen Zwischenstand der GIS-Analysen für Bayern und Baden-Württemberg vor, sowie weitere ergänzende Einflussfaktoren bei der Wahl der Holzerntefaktoren und Schlussfolgerungen daraus.

Exkursionspunkt auf der 18. KWF-Tagung

Angedacht war es, das Projekt mit einem Exkursionspunkt auf der 18. KWF-Tagung zu präsentieren. Die Vorbereitungen dazu waren getroffen. Mit der coronabedingten Verschiebung der Tagung in das Jahr 2024 ist eine Realisierung während der Projektlaufzeit nicht mehr möglich. Das Projekt wurde unter dem Punkt 3.2.1 Klimawandel- und naturschutzbedingte Herausforderungen bei der Holzernte – BestHarvest ausführlich beschrieben und im Exkursionsführer, dem AFZ-Sonderheft 13/14 veröffentlicht (s. Anhang zu den Inhalten des Berichts 4.2 Eingangstafel für den Exkursionspunkt zur 18. KWF-Tagung).

Veröffentlichungen in Planung

Es sind zwei Veröffentlichungen in der AFZ/Der Wald geplant und mit der Redaktion abgestimmt (verantwortlich für je eine Veröffentlichung LWF und unique). Fertigstellung ist für April geplant, Veröffentlichung voraussichtlich erstes Halbjahr 2022

Für das erste Halbjahr 2022 ist in Baden-Württemberg, gemeinsam mit ForstBW eine Abschlussveranstaltung geplant. Ein Pressebericht dazu ist vorgesehen.

Für das erste Halbjahr 2022 ist außerdem eine wissenschaftliche Veröffentlichung der LWF in einem Journal geplant.

Literaturverzeichnis

- Ackerman, P., Belbo, H., Eliasson, L., de Jong, A., Lazdins, A. und John Lyons (2014) The COST model for calculation of forest operations costs, *International Journal of Forest Engineering*, 25:1, 75-81, DOI: 10.1080/14942119.2014.90371110.1080/14942119.2014.903711.
- Bacher-Winterhalter, M. Optimierungsmöglichkeiten und Restriktionen eines mechanisierten Holzerntesystems bei der Umsetzung moderner Waldbaukonzepte am Beispiel des Südschwarzwaldes. Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Freiburg im Breisgau: s.n., 2004. Doktorarbeit.
- Bastin, Jean-Francois, et al. The global tree restoration potential. *Science*. 2019, Vol. 365, 6448, pp. 76-79.
- Berendt, Ferréol and Hoffmann, Stephan. Ergonomische Belastungsmessungen von Waldarbeitern bei Vorrückeraupeneinsatz. *GFH Informationen aus Forschung und Lehre*. 2020, 34(1), pp. 6-9.
- Berger, C. Mental stress on harvester operators. *Proceedings of the 36th international symposium on forestry mechanisation. High-tech forest operations for mountainous terrain*. 2003, pp. 1-10.
- Bettinger, P and Kellogg, L D. Residual stand damage from cut-to-length thinning of second-growth timber in the Cascade Range of western Oregon. *Forest Products Journal*. 1993, 43(11-12), pp. 59-64.
- BMEL. Charta für Holz 2.0. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Bonn: s.n., 2018.
- BMUB. Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt (NBS) - Kabinettsbeschluss vom 7. November 2007. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Berlin: s.n., 2015.
- BNatSchG. Bundesnaturschutzgesetz. 2009. in der Fassung vom 29.07.2009.
- Böltz, K. Entwicklung der psycho-physische Belastung und Beanspruchung als Folge der Mechanisierung Teilautomatisierung der Holzernte. Forstwissenschaftliche Fakultät, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Freiburg im Breisgau: s.n., 1988. Dissertation.
- Borchert, H.; Labelle, E. R.; Aurenhammer, P.; Breinig, L.; Spinelli, R. Magagnotti, N. (2021): Productivity and Cost of Mechanized Harvesting in Large-Dimension Hardwoods - Effects of Machine Type and Harvesting Season. Vortrag auf dem COFE-FORMEC 2nd Joint Annual Meeting am 28.09.2021.
- Bort, U. Preparation of stands in mechanized wood harvesting – effects on performance, costs and silviculture. *Special Issue of the Journal Nova mehanizacija sumarstva*. 2005, 26(2).
- Breinig, Lorenz, Sycheva, Ekaterina and Labelle, Eric R. Productivity of CTL Harvesters in Hardwood Harvesting. *FORMEC 2018 – Improved Forest Mechanisation: mobilizing natural resources and preventing wildfires*. September 2018.
- Brieger, F.; Goedecke, A.; Sauter, F.; Sauter, U. H. (2018). Neue Entwicklungen bei der Nadelstarkholzernte: Königsbronner Starkholzverfahren (KSV). [ed.] Direktor der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg Prof. Konstantin Frhr. von Teuffel. *FVA-einblick*. Dezember 03., 2018, 22, pp. 11-16.
- Brunberg, T. Basic productivity norms for single-grip harvesters in thinning. *The Forestry Research Institute of Sweden*. 1997, 8. Auf Schwedisch mit englischer Zusammenfassung.
- Eliasson, L, et al. Comparison of single-grip harvester productivity in clear and shelterwood cutting. *Journal of Forest Engineering*. 1999, 10(1), pp. 43-48.
- EWG. RICHTLINIE 2009/147/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 30. November 2009 über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten. 2009.
- EWG. RICHTLINIE 92/43/EG DES RATES vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen. 1992.
- Findeisen, Erik. Holzernteverfahren im Vergleich der Zertifizierungssysteme PEFC und FSC. Fachhochschule Erfurt. Erfurt: s.n., 2017.
- Franz, Mark-Fabian. Erforderliche Hubkräfte bei der Baumfällung unter Verwendung technischer Fällhilfen. Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg. 2020. Bachelorarbeit.
- Frej, J. Cleaning technology and methods. *The Forest Operations Institute of Sweden*. Schweden: s.n., 1991. Projektbericht.
- FSC Deutschland - Verein für verantwortungsvolle Waldwirtschaft e.V. Freiburg: s.n., 2018.
- Gaertig, T., Schack-Kirchner, H. and Hildebrand, E. E. Steuert Gasdurchlässigkeit im Boden Feinstwurzel-dichte und Vitalität bei Eiche? *AFZ-Der Wald*. 2001, 25, pp. 1344-1347.

- Gaertig, T. and Schönemann, H. Wachstum und Vitalität der „Beuys-Eichen“ in Kassel auf unterschiedlich versiegelten Standorten. [ed.] D. Dujesiefken. Jahrbuch der Baumpflege 2015. Braunschweig: Haymarket Media, 2015, pp. 262-266.
- Gellerstedt, Sten. Mechanised cleaning of young forest - The strain on the operator. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 1997, 20, pp. 137-143.
- Gellerstedt, S. Ergonomic guidelines for forest machines. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. 2000, pp. 477-480.
- Germann, P. and Weingartner, R. Hochwasser und Wald -das forsthydrologische Paradigma. [book auth.] F. Jeanneret, et al. *Welt der Alpen -Gebirge der Welt*. Bern: Haupt Verlag, 2003, pp. 127-141.
- Greenpeace. Greenpeace München. [Online] Dezember 09., 2020. [Cited: Juni 07., 2021.] <https://www.greenpeace-muenchen.de/index.php/gruppen/wald-papier/bayerns-dritter-nationalpark.html>.
- Gröger, V and Lewark, S. *Der arbeitende Mensch im Wald - eine ständige Herausforderung für die Arbeitswissenschaft*. Dortmund, Berlin, Dresden: Wirtschaftsverlag NW, 2002.
- Grzywiński, W and Hołota, R. Subjective assessment of the fatigue of forest workers based on Japanese questionnaire. *Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria*. 2006, 5(1), pp. 27-37.
- Grzywiński, W. *Ergonomics and labour protection*. 2007.
- GS-BAU-23. Grundsätze für die Prüfung von Sicherheitsbauteilen (ROPS, FOPS, TOPS). München: DGUV Test Prüf- und Zertifizierungsstelle, 2017.
- Gullberg, T. A deductive time consumption model for loading shortwood. *Journal of Forest Engineering*. 1997, 8(1), pp. 35-44.
- Han, H.-S. and Kellogg, L D. Comparison of damage characteristics to young Douglas-fir stands from commercial thinning using four timber harvesting systems. *Proceedings of the Council on Forest Engineering*. 1997.
- Hånell, B, Nordfjell, T and Eliasson, L. Productivity and costs in shelterwood harvesting. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2000, 15, pp. 561-569.
- Hartfiel, J. Auswirkungen naturnaher Waldbewirtschaftung auf die Arbeitssicherheit. *FTI Forsttechnische Informationen*. 1998, 1+2, pp. 4-7.
- Heindl, U.; Pauch, R. (2007): Nadelstarkholz erwünscht. *LWF-aktuell* Nr. 59, S. 6 – 7.
- Hildebrand, E. E. Die Struktur von Waldböden – ein gefährdetes Fließgleichgewicht. *Allgemeine Forstzeitschrift*. 1987, 16/17, pp. 424-426.
- Holzfeind, T. Produktivitätsevaluierung des seilgestützten Forwarders John Deere 1110E. Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Institut für Forsttechnik, Universität für Bodenkultur. Wien: s.n., 2017. Masterarbeit.
- Holzleitner, Franz, et al. Effect of prior tree marking, thinning method and topping diameter on harvester performance in a first thinning operation – a field experiment. *Silva Fennica*. 2019, 53(3).
- Ireland, Duncan and Kerr, Gary. *CCF Harvesting Method Development: Harvester Head Visibility*. The Research Agency of the Forestry Commission. Großbritannien: s.n., 2008. Internes Projekt Informations Papier.
- IPCC. *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. s.l. : P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M, 2019.
- Jakob, Sebastian. tagesschau. [Online] April 24., 2021. [Cited: Juni 07., 2021.] <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/technologie/holz-baustoff-mangel-corona-101.html>.
- Kieser, W. und Teuffel, H.-D. Teilmechanisierte Aufarbeitung von Fixlängen - Das Königsbronner Harvesterverfahren (KHV). *Forstliches Bildungszentrum Königsbrunn*: s.n., Mai 2002.
- Kieser, W. *Leicht und kräftig. Forstmaschinen-Profi*. 2018, 8, pp. 64-67.
- Kieser, Werner. *Königsbronner-Starkholz-Verfahren*. Oktober 30., 2018.
- Kirchhoff, Thomas. Sehnsucht nach Wald und Wildnis. *Aus Politik und Zeitgeschichte*. Dezember 2017, 67, pp. 17-24.

- Klugmann, K, Löwer, M and Sarferaz, E. Unfälle bei motormanuellen Fällarbeiten - Ergebnisse der Sondererhebung 2018/2019. [ed.] Forsten und Gartenbau Sozialversicherung für Landwirtschaft. Soziale Sicherheit in der Landwirtschaft. 2020, 2, pp. 5-22.
- Kölling, Christian. Klimahüllen für 27 Waldbaumarten. 23, 2007, AFZ-DerWald, pp. 1242-1245.
- Kreutz, A. (2021): Königsbronner Starkholzverfahren. Vortrag auf der Tagung der Forsttechnik-Referenten am 22.09.2021 im Kloster Kirchberg.
- Kukkonen, H and Rauramaa, R. Oxygen Consumption of Lumberjacks in logging with a power-saw. *Ergonomics*. 1984, 27(1), pp. 59-65.
- Kuitto, P J, et al. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. Mechanized cutting and forest haulage. 1994. Metsäteho Report 410. Auf Finnisch mit englischer Zusammenfassung.
- Labelle, E. R.; Borchert, H.; Aurenhammer, P.; Spinelli, R. Magagnotti, N. (im Druck): Effect of season and machine type on the performance of semi- and fully-mechanized harvesting systems in beech-dominated stands. *International Journal of Forest Engineering*.
- Lageson, H. Effects of thinning type on the harvester productivity and on the residual stand. *Journal of Forest Engineering*. 1997, 8(2), pp. 7-14.
- Langmaier, Magdalena and Lapin, Katharina. A Systematic Review of the Impact of Invasive Alien Plants on Forest Regeneration in European Temperate Forests. *Frontiers in Plant Science*. September 03., 2020.
- Lelek, S. et al. Klein, aber oho - Das Einsatzgebiet der Vorrücke-Raupen. *Forsttechnische Informationen*. 2015, 2, pp. 12-15.
- Lewark, S. and Härle, P R. Das Ausscheiden von Waldarbeitern. *Allgemeine Forstzeitschrift*. 1991, 46(9), pp. 470-473.
- Limbeck-Lilienau, B. Residual stand damage caused by mechanized harvesting systems. *Proceedings of Austro2003: High Tech Forest Operations for Mountainous Terrain*. Oktober 2003.
- Litschel, Johannes and Schramm, Engelbert. Welchen Wald brauchen wir für die Klimaanpassung? 17, 2010, AFZ-DerWald, p. 34.
- McNeel, J. F. and Rutherford, D. Modelling harvester-forwarder system performance in a selection harvest. *Journal of Forest Engineering*. 1994, 6(1), pp. 7-14.
- Morat, J., Forbrig, A., Graupner, J., (1998): Holzernteverfahren –Vergleichende Erhebung und Beurteilung der Holzernteverfahren in der Bundesrepublik Deutschland. *KWF-Bericht 25/1998*
- Murach, D., et al. Rhizotron-Experimente zur Wurzelverteilung der Fichte. 1993.
- Niemistö, Pentti, et al. Impact and productivity of harvesting while retaining young understory spruces in final cutting of downy birch. *Silva Fennica*. Januar 2012, 46(1), pp. 81-98.
- Nurminen, T., Korpunen, H. and Uusitalo, J. Time consumption and analyses of the mechanized cut-to-length system. *Silva Fennica*. 2006, 40(2), pp. 335-363.
- Ovaskainen, H., Uusitalo, J. and Väätäinen, K. Characteristics and significance of harvester operators' working technique in thinnings. *International Journal of Forest Engineering*. 2004, 15(2), pp. 67-77.
- Ovaskainen, H., Uusitalo, J. and Sassi, T. Effect of edge trees on harvester positioning in thinning. *Forest Science*. 2006, 52(6), pp. 659-669.
- PEFC. PEFC-Standards für nachhaltige Waldbewirtschaftung. [ed.] PEFC Deutschland e.V. Stuttgart: s.n., 2020.
- Peters, H. Ergonomische und sicherheitstechnische Bewertung von Holzernteverfahren in der Forstwirtschaft an Beispielen aus Staats- und Kleinprivatwald. *Forstliche Arbeitswissenschaft und Verfahrenstechnik*, Ludwig-Maximilians-Universität München. München: s.n., 1991. Doktorarbeit.
- Purfürst, T F. Learning curves of harvester operators. *Croatian Journal of Forest Engineering*. 2010, 32(2), pp. 89-97.
- Rüter, Sebastian, et al. Wie viel Holznutzung ist gut fürs Klima? 15, 2011, AFZ-DerWald, pp. 19-21.
- Schäffer, J. Befahrung von Waldböden – Strategien zur Schadensminimierung. *Bodenschutz*. 2005, 4, pp. 76-83.
- Schäffer, Jürgen and Gaertig, Thorsten. Bodenschäden durch Befahrung - Auswirkungen auf Wurzelentwicklung und Baumwachstum. [book auth.] Rainer Schretzmann, Ute Seeling and Andreas Forbrig. [ed.] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). *Bodenschutz im Wald*. 2021, 4, pp. 19-24.

- Schelhaas, Mart-Jan, Schuck, Andreas and Varis, Simo. Database on Forest Disturbances in Europe (DFDE) - Technical Description. Joensuu: European Forest Institute, 2003. Interner Bericht.
- Schmid-Vielgut, G. Psycho-physische Beanspruchung der Arbeitskräfte in Holzerntesystemen unterschiedlicher Mechanisierungsgrade. Forstwissenschaften, Universität Freiburg. Freiburg im Breisgau: s.n., 1985. Doktorarbeit.
- Schnaitter, Martin. Physiologische Belastung und Zeitbedarf hinsichtlich dem Einsatz von klassischen und mechanischen Fällkeilen bei der Baumfällung. Hochschule für Forstwirtschaft. Rottenburg am Neckar: s.n., 2019. Bachelorarbeit.
- Schweier, J., Berendt, F. and Klein, M.-L. Emissionsreduzierte Holzernte- und Logistikverfahren. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Freiburg im Breisgau: s.n., 2020. Schlussbericht an die FNR.
- Spinelli, Raffaele and Magagnotti, Natascia. The effect of harvest tree distribution on harvesting productivity in selection cuts. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2013, 28(7), pp. 701-709.
- Spinelli, Raffaele, Magagnotti, Natascia and Labelle, Eric R. The Effect of New Silvicultural Trends on Mental Workload of Harvester Operators. *Croatian Journal of Forest Engineering*. Juni 2020, 41(2).
- Stadler, P. and Ruppert, F. Arbeitssicherheit bei Holzernte-Arbeitsplätzen - Ergebnisse einer Untersuchung mit dem "Fragebogen zur Sicherheitsdiagnose (FSD)" bei motormanuellen und automatisierten Holzernte-Arbeitsplätzen. Institut für Angewandte Psychologie. München: Diagnose & Transfer, 1994.
- Stampfer, K. Belastungs- und Beanspruchungsermittlung bei verschiedenen mechanisierten forstlichen Arbeitssystemen. Institut für Forsttechnik, Universität für Bodenkultur. Wien: Eigenverlag des Instituts für Forsttechnik, Universität für Bodenkultur, 1996.
- Stampfer, K., et al. Belastungen und Beanspruchungen bei der Holzernte im Gebirge. 1997, Vol. 7.
- Statistisches Bundesamt (2021): Arbeitskosten in Deutschland 2020 im oberen EU-Drittel. Pressemitteilung Nr. 203 vom 03.05.2021.
- Sullman, M. and Gellerstedt, S. The mental workloads of mechanized harvesting. *New Zealand Forestry*. 1997, 11(48).
- Szewczyk, G., et al. Sequencing of harvester work during standard cuttings and in areas with windbreaks. *Silva Fennica*. 2014, 48(4).
- Szewczyk, G. and Sowa, J M. The accuracy of measurements in a time study of harvester operations. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 2017, 47.
- Szewczyk, G., et al. The mental workload of harvester operators working in steep terrain conditions. *Silva Fennica*. 2020, 54(3).
- TdL und IGBAU – Tarifgemeinschaft deutscher Länder und Industriegewerkschaft Bauen-Agrar-Umwelt (2021): Anlage 1 zu § 1 Abs. 1 der Regelungen zur Höhe und Ermittlung von Motorsägenentschädigung und Werkzeugentschädigung i.d.F. der Änderungsregelung vom 11. April 2019
- TMLNU - Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt (2008): Bodenschutz und Holzernte. 25 S.
- Väätäinen, K., et al. The effect of single grip harvester's log bunching on forwarder efficiency. *Baltic Forestry*. 2006, 12(1), pp. 64-69.
- Wang, Jingxin, LeDoux, C B and Li, Y. Simulating Cut-to-Length Harvesting Operations in Appalachian Hardwoods. *International Journal of Forest Engineering*. 2005, 16(2), pp. 11-27.
- Weinbrenner, H.; Bethmann, S.; Schraml, U. (2019): Arbeitssicherheit aus Sicht von Forstwirt*innen – eine qualitative Analyse. In: Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Universität Freiburg und Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (Hrsg.): Arbeitssicherheit bei der Waldarbeit. Berichte Freiburger Forstliche Forschung Heft 102. S. 89 – 117.
- Wippel, Bernd, et al. Praxisnahe Anhaltswerte für die mechanisierte Holzernte. 2015. Abschlussbericht.

ANHANG

Teilvorhaben 1: Projektleitung & Holzernteverfahren (KWF)

1. Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens

Ziel des Teilvorhabens war es, Grundlagen für eine effiziente und erfolgreiche Projektbearbeitung zu schaffen und für eine erfolgreiche Erfüllung der im Verbundvorhaben angegebenen Arbeitspakete und Meilensteine zu sorgen. Der Austausch der Projektpartner untereinander und mit dem projektbegleitenden Beirat sowie die Präsentation von Projektergebnissen waren Hauptaufgaben des Teilvorhabens.

Die standardisierte Beschreibung von Arbeitsverfahren sowie die Durchführung der geplanten Maßnahmen in ausgewählten Untersuchungsbeständen gehörte zu den fachlichen Zielen im Teilvorhaben.

Für die Durchführung der Projektarbeiten war die intensive Zusammenarbeit aller Projektpartner unerlässlich, da die Arbeitspakete in der Regel gemeinsam bearbeitet wurden.

2. Bearbeitete Arbeitspakete

Arbeitspaket 1: Projektinitialisierung und Detailplanung

- Durchführung eines Kick-off Meetings mit allen am Projekt beteiligten Institutionen
- Detail- und Aufgabenplanung für nachfolgende Meilensteine sowie Dokumentation als Grundlage für die erfolgreiche und effiziente Projektbearbeitung

Arbeitspaket 2: Klassifizierung der Restriktionen und Identifizierung geeigneter Untersuchungsräume

- Durchführung von Workshops mit Experten und Praktikern, um Auswahlkriterien für konkrete Flächen zu diskutieren und festzulegen
- Mitarbeit bei der Auswahl der Untersuchungsräume
- Anleitung zur Beschreibung der Arbeitsverfahren
- Befragung von Praktikern vor Ort über die bereits angewendeten Verfahren

Arbeitspaket 3: Festlegung des Versuchsdesigns

- Analyse und Diskussion von geeigneten Arbeitsverfahren
- Festlegung anzuwendender Holzernteverfahren (Versuchs-/Referenzverfahren)

Arbeitspaket 4: Umsetzung der Maßnahmen und Auswertung

- Durchführung der geplanten Maßnahmen in den ausgewählten Untersuchungsbeständen und Erfassung der Daten für eine umfassende Bewertung

Arbeitspaket 5: Praxistransfer und Projektmanagement

- Laufende Information der Akteure aus Forstwirtschaft und Naturschutz über Projektfortschritt und Zwischenergebnisse
- Management aller Projektmaßnahmen (Kommunikation zwischen Partnern und Projektbeirat)

3. Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens

Die Aufgaben des Projektmanagements, das Projekt erfolgreich durchzuführen und zum Abschluss zu bringen, sowie den Informationsfluss zwischen den Projektpartnern zu gewährleisten, hat das KWF wahrgenommen.

Mit einem optimalen Projektstart (Kick-Off-Meeting) wurde die Grundlage für eine effiziente und erfolgreiche Projektbearbeitung geschaffen. Die Zeit- und Maßnahmenplanungen wurden konkretisiert, die Verantwortlichkeiten abschließend und im Detail geklärt sowie notwendige Schnittstellen und Datenflüsse zwischen den Projektbeteiligten geplant. Hierdurch wird die Kompatibilität der Ergebnisse zwischen den Arbeitspaketen sichergestellt und eine fristgerechte und effiziente Bearbeitung nachfolgender Arbeiten gewährleistet. Ein Kooperationsvertrag zur Zusammenarbeit der Projektpartner wurde erstellt. Zur fachlichen Beratung der Partner des Projektverbundes und zur Umsetzung des Projektes wurde ein projektbegleitender Beirat gegründet.

Grundvoraussetzung für den Vergleich von Arbeitsverfahren ist die Standardisierung von Inhalten und Definitionen. Zur Beschreibung von Arbeitsverfahren wurden die Projektergebnisse des Projektes RePlan (Verbessertes Ressourcenmanagement in der Forstwirtschaft durch qualifizierte Planzeiten und Plankosten für standardisierte Arbeitsverfahren) genutzt. In Anlehnung an die dort entwickelte Struktur wurden die im Projekt untersuchten Holzernteverfahren beschrieben.

Gemeinsam führten die Projektpartner die Recherche und Auswertung der Auswirkungen von Natur- und Waldschutzkonzepten, von Alt-, Tot- und Laubholz fördernden Waldbaustrategien und waldbezogenen Klimaanpassungsstrategien, um die daraus resultierenden typischen Wald- und Bestandesstrukturen definieren und klassifizieren zu können, durch. Dabei wurden die Auswirkungen der verschiedenen Naturschutz-, Waldschutzkonzepte und Waldbaustrategien im Hinblick auf deren Relevanz für die forstlichen Maßnahmen (insbesondere die Holzernte) systematisch analysiert. Im Fokus der Untersuchung standen naturschutzbedingte Restriktionen, deren Auswirkungen auf die Holzernte sich nur unzureichend durch Modellierung abbilden lassen. Das KWF führte die Interviews im Bundesland Thüringen durch.

Als Erkenntnis dieser Befragung lässt sich eine nur geringe Anpassung der forstlichen Dienstleister an naturschutzfachliche Anforderungen im Wald feststellen. Dieser Umstand ist bedingt durch die geringe Arbeitsfeldbreite von 20 m zwischen den Rückegassen. Dadurch konnten störende Faktoren, wie Habitatbäume, sichtbehindernde Naturverjüngung oder liegendes Totholz nur im geringen Umfang wirksam werden. Die meisten Arbeiten wurden vollmechanisiert durchgeführt somit besteht ein erhöhter Schutz gegenüber evtl. unkontrolliert fallenden Bäumen oder Baumteilen. Liegendes Totholz stellt für forstliche Großmaschinen laut der Aussagen der Forstexperten ebenfalls in den allermeisten Fällen kein Hindernis dar. Lediglich die Sichtbehinderung durch Naturverjüngung wurde als Problem für vollmechanisierte Holzernteverfahren erkannt. Hierdurch könnte der Einsatz von motormanuell arbeitenden Personen notwendig werden, was gute Absprachen zwischen Waldarbeiter und Maschinenführer erfordert (erhöhter Arbeitsorganisationsaufwand). Zudem sind die motormanuell arbeitenden Personen wiederum allen Risiken in naturschutzfachlich wertvollen Waldbeständen ausgesetzt (Arbeitsschutz!!).

Die durch die Interviews zusammengetragenen Holzernteverfahren und deren Anpassungen an naturschutzfachliche Vorgaben wurden dann im Rahmen eines Expertenworkshops, ebenfalls in Thüringen, vorgestellt und von den Experten bewertet.

Nach der Auswahl, der in Fallstudien zu untersuchenden Verfahren wurde das Versuchsdesign gestaltet und Zeitstudien zur Analyse der Holzernteverfahren durchgeführt. Die Ergebnisse der Zeitstudien wurden in einer abschließenden Diskussion miteinander verglichen. Hierzu wurden die Prüfparameter Leistung, Kosten, Pflughöhe gegenüber dem verbleibenden Bestand und gegenüber dem Boden so aufbereitet, dass die Auswahl eines optimalen Verfahrens in Abhängigkeit der naturschutzfachlich begründeten Strukturmerkmale ermöglicht wird.

Um eine umfangreiche Information der Fachöffentlichkeit zu gewährleisten, wurden die Ergebnisse des Projektes, die an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Praxis generiert werden, während der Projektlaufzeit in Print- und Online-Medien vorgestellt. Im Rahmen des International Symposium on Forestry Mechanization (FORMEC) wurde das Projekt in einer Posterpräsentation vorgestellt.

Angedacht war es, das Projekt mit einem Exkursionspunkt auf der 18. KWF-Tagung zu präsentieren. Die Vorbereitungen dazu waren getroffen. Mit der coronabedingten Verschiebung der Tagung in das Jahr 2024 ist eine Realisierung während der Projektlaufzeit nicht mehr möglich. Das Projekt wurde unter dem Punkt 3.2.1 Klimawandel- und naturschutzbedingte Herausforderungen bei der Holzernte – BestHarvest ausführlich beschrieben und im Exkursionsführer, dem AFZ-Sonderheft 13/14 veröffentlicht.

Teilvorhaben 2: Versuchsdesign und Arbeitsverfahren (LWF)

(max. 3 Seiten)

1. Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens

Ziel dieses Teilvorhabens war es, die zu untersuchenden Holzernteverfahren festzulegen, die für Bestandessituationen mit naturschutzfachlichen Anforderungen geeignet sind, sowie ein Referenzverfahren, bei dem keine naturschutzfachlichen Anforderungen an den Bestand gestellt wurden.

Des Weiteren sollten die Untersuchungskriterien der Zeitstudie der Holzernteverfahren festgelegt werden, die geplanten Maßnahmen in ausgewählten Untersuchungsbeständen durchgeführt und Daten erfasst werden. Diese Daten sollten auf Plausibilität geprüft und statistisch analysiert werden, sodass die untersuchten Holzernteverfahren hinsichtlich Leistung, Kosten, Gefährdungssituation und Pfléglichkeit bewertet werden. Daraus sollten Empfehlungen für die Praxis abgeleitet werden.

2. Bearbeitete Arbeitspakete

Die LWF hat folgende Arbeitspakete des Projektes BestHarvest bearbeitet:

Arbeitspaket 2: Klassifizierung der Restriktionen und Identifizierung geeigneter Untersuchungsräume

Die LWF entwickelte zusammen mit dem KWF Leitfäden für die Durchführung von Experteninterviews. Sie führte 12 Experteninterviews in Bayern durch, anhand derer die bisher als Anpassung an naturschutzfachliche Anforderungen angewendeten Holzernteverfahren beschrieben werden konnten. Die identifizierten Holzernteverfahren wurden, gemäß dem vom KWF entwickelten Schema standardisiert beschrieben, um diese mit den identifizierten Verfahren der anderen Projektpartner vergleichen zu können.

Arbeitspaket 3: Festlegung Versuchsdesign

Die beschriebenen an naturschutzfachlichen Anforderungen angepassten Holzernteverfahren wurden anschließend in einem Expertenworkshop in Bayern vorgestellt und bewertet. Die Ergebnisse wurden mit den Ergebnissen der anderen Projektpartner verglichen und eine Auswahl der zu untersuchenden Verfahren getroffen. Des Weiteren wurden die Untersuchungsbestände ausgewählt und das Versuchsdesign festgelegt, d.h. es wurde der Ablauf der Fallstudien bestimmt sowie die zu erhebenden Daten für die Zeitstudien. Das Referenzverfahren wurde ebenso festgelegt.

Arbeitspaket 4: Umsetzung der Maßnahmen und Auswertung

Bei der Umsetzung der Maßnahmen organisierte und betreute die LWF alle sieben Holzernteverfahren in Bayern. Teilweise wurde sie dabei durch das KWF unterstützt. Weiterhin begleitete und unterstützte die LWF die vom KWF organisierte Fallstudie in Thüringen und die vom Projektpartner UNIQUE organisierte Fallstudie zum Holzernteverfahren T-Shirt-Buche in Baden-Württemberg.

Es wurde die Aufbereitung und Analyse der Videos für alle Fallstudien durchgeführt, bei der Fallstudie zur T-Shirt-Buche mit Unterstützung von Unique. Die aus den Fallstudien gewonnenen Daten wurden von der LWF aufbereitet und statistisch hinsichtlich Leistung und Kosten der Verfahren sowie der Zusammenhänge zu den Strukturmerkmalen ausgewertet, für den Bericht beschrieben und diskutiert.

Arbeitspaket 5: Praxistransfer und Projektmanagement

Die LWF wird sich an der Abschlussveranstaltung in Baden-Württemberg mit Beiträgen beteiligen. Es ist eine Veröffentlichung in einer wissenschaftlichen Zeitschrift mit Review-Verfahren geplant. Ebenso ist eine Veröffentlichung in AFZ/Der Wald bereits angemeldet. Ergebnisse aus dem Projekt werden im Rahmen der Veranstaltungsreihe LWF-regional Forstleuten aus Unterfranken präsentiert. Außerdem wird es auf dem Forst-Unternehmertag während der INTERFORST 2022 einen Impulsvortrag über Ergebnisse aus diesem Projekt geben.

3. Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens

Die Ergebnisse basieren im Wesentlichen auf den Fallstudien. Als mögliche Einflussvariablen auf die Leistung der Forstwirte und des Harvesters wurden der Brusthöhendurchmesser, der Abstand zur Rückegasse, die sichtbehindernde Verjüngung, Biotopbäume, Totholz und das Gehen behindernder Bewuchs analysiert. Dabei wurde festgestellt, dass bei allen Fallstudien außer "Thüringen" der Brusthöhendurchmesser einen starken Einfluss auf die Gesamtarbeitszeit hat. Darüber hinaus wurden aber auch statistische signifikante Zusammenhänge zwischen Strukturmerkmalen und dem Zeitbedarf der Arbeiten identifiziert. Es wurden teils Zusammenhänge beobachtet, die Anlass zur Besorgnis geben, etwa wenn bei störender Vegetation der Aufenthalt während des Umfallens der Bäume in der Rückweiche vermieden wird oder Arbeiten in der Nähe von gefährlichen Bäumen beschleunigt durchgeführt werden, vermutlich um die Aufenthaltsdauer im Gefahrenbereich zu reduzieren. Es wurden Empfehlungen entwickelt, die auf die Verbesserung der Arbeitssicherheit abzielen und sich

einerseits an die Ausführenden richten, andererseits auch an die für den Waldbau verantwortlichen Akteure sowie eine Empfehlung an die Entwickler von Forsttechnik.

Teilvorhaben 3: Naturschutz & Datenaufnahme und -analyse (Unique)

(max. 3 Seiten)

1. Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens

Ziel dieses Teilvorhabens war es die Anforderungen für die Holzernte auf Grund bestehender Schutzgebietskulissen zu bewerten. Neben internationalen, nationalen und bundesländerspezifischen Schutzkategorien wurden auch aus der betrieblichen Zielsetzung heraus freiwillige Verpflichtungen wie z.B. eine Zertifizierung mit in die Analyse aufgenommen

Die Ergebnisse basieren im Wesentlichen auf einer Literatur- und Dokumentenstudie. Vereinzelt wurden Interviews mit Behörden und weiteren Fachleuten geführt. Bei der Analyse wurden insbesondere die konkreten Schutzgebietskulissen für die Versuchsflächen in den drei Bundesländern Bayern, Baden-Württemberg und Thüringen herangezogen. Für eine Veranschaulichung der Kulissen wurde eine WebGIS-Anwendung entwickelt.

2. Bearbeitete Arbeitspakete

Arbeitspaket 1: Projektinitiierung und Detailplanung

Unique unterstützte im Konsortium die Arbeiten zu AP1

Arbeitspaket 2: Klassifizierung der Restriktionen und Identifizierung geeigneter Untersuchungsräume

Unique führte mit Vertreterinnen und Vertretern von ForstBW mehrere Expertenworkshops durch und führte im Laufe des Projekts mit unteren Forst- und Naturschutzbehörden Interviews zu Auswirkungen der Holzernte auf Schutzgebietskulissen sowie auf freiwillige, betriebliche Zielsetzungen mit Auswirkungen auf die Holzernte.

Gemeinsam mit den Projektpartner wurden Restriktionen klassifiziert und eine Auswahl getroffen, bezüglich welcher Restriktionen insbesondere Untersuchungsflächen ausgewählt werden sollten.

Arbeitspaket 3: Festlegung Versuchsdesign

Erfahrungen in Bezug auf Auswirkungen auf die Holzernte aus den drei Bundesländern wurden gemeinsam diskutiert und flossen in ein Versuchsdesign ein.

Gemeinsam mit ForstBW wurden für Baden-Württemberg Untersuchungsflächen ausgewählt. Kalamitätsbedingt könnten diese erst spät im Projektverlauf identifiziert werden, was u.a. dadurch zu einer Verzögerung im Projekt führte.

Arbeitspaket 4: Umsetzung der Maßnahmen und Auswertung

Für die Flächen in Baden-Württemberg wurden Untersuchungen im Nadel- und Laubholz durchgeführt. Mit enger Zusammenarbeit und mit Unterstützung von ForstBW und LWF fanden die Datenaufnahmen statt.

Arbeitspaket 5: Praxistransfer und Projektmanagement

Für das erste Halbjahr 2022 sind eine Veröffentlichung in der AFZ und eine Abschlussveranstaltung auf den Versuchsflächen in Baden-Württemberg geplant.

3. Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens

Die Ergebnisse der Teilvorhaben sind Bestandteil dieses Berichts. Die Analyse naturschutzfachlicher Anforderungen aus Schutzgebietskulissen sowie freiwilligen, betrieblichen Zielsetzungen auf Holzernte und -bringung (Arbeitspaket 2) sind ausführlich in einem getrennten Bericht dargestellt.

Auf gesetzlichen Regelungen basierende Schutzgebietskulissen nach Kulissen mit sehr hohen Schutzstatus, die eine forstliche Nutzung nahezu vollständig ausschließen, nach großflächigen Schutzgebietskulissen ohne Restriktionen und Kulissen mit Auswirkungen auf die Holzernte. Eine Besonderheit stellen die freiwilligen betrieblichen Verpflichtungen mit Wirkung auf die Holzernte dar. Die Zertifizierung als betriebliche und freiwillige Selbstverpflichtung besitzt im Rahmen eines größeren Maßnahmenbündels sehr starke Wirkungen auf die Holzernte.

Im Rahmen eines WebGis-Tools wurden für die Versuchsflächen in den drei Bundesländern die Kulissenflächen und deren Überlappungen prototypartig kartografisch dargestellt.

Anhang zu den Inhalten des Berichts

1. Interviewleitfäden

Interviewleitfaden Betrieb_AD_Laubholz (Buche)

Einleitung

Ziel der Befragung ist die detaillierte Erfassung von bereits praktizierten Holzernteverfahren in Beständen mit hoher naturschutzfachlicher Bedeutung. In den Interviews werden dabei Veränderungen in Holzernteprozessen abgefragt, die sich aus den gestiegenen naturschutzfachlichen Anforderungen ergeben.

Forschungsfrage

Wie haben sich durch gestiegene naturschutzbedingte Anforderungen die Arbeitsverfahren in der Holzernte verändert?

Um diese Forschungsfrage zu beantworten, wird zunächst ein häufig vorkommendes Bestandsbild konstruiert, das als Beispiel für die Befragung dient. Mit Hilfe des Leitfadens soll eine typische Holzerntemaßnahme für diesen Bestand geplant werden, der sich an den einzelnen Prozessen der Holzernte orientiert. Die Untergliederung in die Arbeitsprozesse soll das Interviewergebnis detailreicher machen. Verwendet wurden folgende Prozesse:

Im Verlauf des Interviews wird das Bestandesbild um bestimmte naturschutzfachliche Anforderungen erweitern. Das Verfahren wird dann gedanklich an den dann veränderten Bestand angepasst, wodurch ein entsprechendes Ergebnis erhofft wird.

Inhaltsverzeichnis

1.	Allgemeines zum Forstbetrieb	3
2.	Allgemeine Hiebsvorbereitung.....	4
3.	Fällung	5
4.	Aufarbeitung des Holzes.....	5
5.	Vor- und Endrücken.....	6
6.	Änderungen durch Habitatbäume (10 Stück/Hektar) oder Habitatbaumgruppen (30 m Flächendurchmesser)	6
7.	Änderungen durch sichtbehindernde Verjüngung (2-3m Höhe)	8
8.	Änderungen durch verteiltes, liegendes Totholz (20fm/ha)	8
9.	Änderungen durch Rückegassenabstände von 40 m	10
10.	Kombinierte Fragen.....	11
11.	Bodenschutz	15
12.	Holzvermessung und Aufnahme	15
13.	Hiebsbeurteilung	16
14.	Abziehen/Säubern der Forststraßen	16
15.	Sonstige Fragen	17
16.	Abschluss	17

2. Allgemeine Hiebsvorbereitung

Beispielbestand Altdurchforstung Laubholz (Buche)

- Laubholzdominierter Mischbestand mit einzelnen Nadelbäumen
- Baumdurchmesser: 25 – 50 cm
- Boden: befahrungsunempfindlicher, flacher Standort
- Ziel der Maßnahme: Förderung der Zukunftsbäume (inkl. Mischbaumarten)
- Rückegassenabstand: 20 m
- Keine Verjüngung vorhanden
- Keine Biotopbäume vorhanden

2.1. Was wird ausgezeichnet?

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Ausscheidender Bestand | <input type="checkbox"/> Rückegassen |
| <input type="checkbox"/> Zukunftsbäume | <input type="checkbox"/> Hiebsgrenzen |
| <input type="checkbox"/> Habitatbäume | <input type="checkbox"/> Bestandesgrenzen |
| <input type="checkbox"/> Sonstiges | |

2.2. Wie wird ausgezeichnet und in welcher Höhe?

- | | | |
|---------------------------------|-------------------------------------|-----------|
| <input type="checkbox"/> Farbe | <input type="checkbox"/> Einseitig | Höhe (m) |
| <input type="checkbox"/> Bänder | <input type="checkbox"/> Zweiseitig | |

2.3. Wer erstellt den Arbeitsauftrag?

2.4. Wer legt die Sortimente fest, die ausgehalten werden sollen?

2.5. Was sind die Kriterien und könnte eine hohe Baumartenvielfalt darauf Einfluss haben?

2.6. Wer entscheidet über die Lage der Holzlagerplätze und anhand welcher Kriterien?

2.7. Welches Arbeitsverfahren würden Sie standardmäßig für diese Hiebsmaßnahme wählen?

2.8. Wer weist die Arbeiter/Unternehmer ein?

2.9. Welche Kommunikationsgeräte werden während der Hiebsmaßnahme verwendet?

- | | | |
|-------------------------------------|--|--------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Funkgeräte | <input type="checkbox"/> Elektronische Sensor- | <input type="checkbox"/> Handzeichen |
| <input type="checkbox"/> Handy | /Warnsysteme | <input type="checkbox"/> Sonstiges |

2.10. Wie wirkt sich eine große Sortimentsvielfalt, beispielsweise auf Grund einer hohen Baumartenvielfalt, auf das Arbeitsverfahren aus?

3. Fällung

3.1. Welche Personen/Maschinen/Hilfsmittel werden für die Fällung verwendet und in welcher Reihenfolge?

Arbeitsausführung			
Maschinelle Arbeit	Einzel	Kombiniert	Anzahl
Forstwart			
Radharvester			
Raupenharvester			
Raupenharvester mit Baumhaltezege			
Forwarder mit Seilwinde			
Rückeraupe			
Seilschlepper			
Forstspeziialschlepper mit Seil			
Seilwindenbagger			
Hilfsmittel			
Motorsäge			
Händischer Seilzug			
Spillwinde			
Anschlagmittel			
Manueller Fällkeil			
Hydraulischer Fällkeil			
Mechanischer Fällkeil			
- Ohne Fernauslöser			
- Mit Fernauslöser			
Sonstiges			

4. Aufarbeitung des Holzes

4.1. Wo wird der Baum von wem weiter bearbeitet (gezopft, entastet, abgelängt)?

Zopfen			
Entasten			
Ablängen			
	Bestand	Gasse	Lagerort

5. Vor- und Endrücken

5.1. Mit welchem Maschinentyp/Ausrüstung wird vorgerückt?

Arbeitsausführung	Vorrücken	Endrücken
Harvester		
Harwarder		
Forwarder		
Forwarder mit Klemmbank		
Rückeraupe		
Seilschlepper (UVV Schlepper)		
Forstspezialschlepper ohne Kran		
Forstspezialschlepper mit Kran		
Seilwindenbagger		
Pferd		
Hilfsmittel		
Händischer Seilzug		
Spillwinde		
Seilwinde an Forstspezialmaschine		
Rückekarren		
Abweiskreuz		
Traktionsband		
Tragband		
TwinTyre-System		
Sonstiges		

5.1. In welcher Form wird das Holz gerückt?

Vorrücken

Vollbaum

Rohschaft

Langholz

Kurzholz

Endrücken

Vollbaum

Rohschaft

Langholz

Kurzholz

6. Änderungen durch Habitatbäume (10 Stück/Hektar) oder Habitatbaumgruppen (30 m Flächendurchmesser)

6.1. Wirken sich **Habitatbäume/Habitatbaumgruppen** auf die Durchführung des Auszeichnens aus?

Habitatbäume:

Habitatbaumgruppen:

6.2. Werden die **Habitatbäume/Habitatbaumgruppen** dem Arbeitsausführenden im Bestand gezeigt?

- Ja Nein Teilweise

6.3. Wer führt das Auszeichnen von Beständen mit **Habitatbäumen/Habitatbaumgruppen** durch?

6.4. Wie werden die **Habitatbäume/Habitatbaumgruppen** markiert?

6.5. Werden die **Habitatbäume/Habitatbaumgruppen** georeferenziert erfasst?

- Ja Nein

6.1. Wirken sich **Habitatbäume/Habitatbaumgruppen** auf die Wahl der Sortimente aus und wenn ja, wie?

Habitatbäume:

Habitatbaumgruppen:

6.2. Wirken sich **Habitatbäume** auf das Fällen aus?

6.3. Wirken sich **Habitatbaumgruppen** auf das Fällen aus?

6.4. Wirken sich **Habitatbäume/Habitatbaumgruppen** auf das Vorrücken aus?

Habitatbäume:

Habitatbaumgruppen:

6.5. Wirken sich **Habitatbäume/Habitatbaumgruppen** auf das Rücken aus?

Habitatbäume:

Habitatbaumgruppen:

7. Änderungen durch sichtbehindernde Verjüngung (2-3m Höhe)

7.1. Würde es Änderungen beim Fällen und den eingesetzten Maschinen geben, wenn sichtbehindernde Verjüngung (2 – 3m Höhe) vorhanden wäre?

7.2. Wirkt sich sichtbehindernde Verjüngung (2 – 3m Höhe) auf die Aufarbeitung der Stämme aus und wenn ja, wie?

7.3. Wie wirkt sich sichtbehindernde Verjüngung (2 – 3m Höhe) auf das Vor- oder Endrücken aus?

Vorrücken:

Endrücken:

8. Änderungen durch verteiltes, liegendes Totholz (20fm/ha)

8.1. Würde es Änderungen beim Fällen und den eingesetzten Maschinen geben, wenn sich flächig verteiltes, liegendes Totholz (20 Fm/ha) im Hieb befindet?

8.2. Wie wirkt sich flächig verteiltes, liegendes Totholz (20 Fm/ha) auf die Aufarbeitung der Stämme aus?

8.3. Wie wirkt sich flächig verteiltes, liegendes Totholz (20 Fm/ha) auf das Vor- oder Endrücken aus?

Vorrücken:

Endrücken:

9. Änderungen durch Rückegassenabstände von 40 m

9.1. Wirken sich erweiterte **Rückegassenabstände** von 40 m auf die Wahl der Sortimente aus und wenn ja, wie?

9.2. Wie wirken sich erweiterte Rückegassenabstände von 40 m auf das Fällen aus?

Arbeitsausführung	Mittelblock		Kranzone		
	Motormanuell	Kombiniert	Manuell	Kombiniert	Maschinell
Forstwirt					
Radharvester					
Raupenharvester					
Raupenharvester mit Baumhaltezange					
Forwarder mit Seilwinde					
Rückeraupe					
Seilschlepper (UVV-Schlepper)					
Forstspeziialschlepper mit Kran					
Forstspeziialschlepper mit Kran					
Seilwindenbagger					
Hilfsmittel					
Händischer Seilzug					
Spillwinde					
Seilwinde an Forstmaschine					
Anschlagmittel					
Manueller Fällkeil					
Hydraulischer Fällkeil					
Mechanischer Fällkeil					
- Ohne Fernauslöser					
- Mit Fernauslöser					
Sonstiges					

9.3. Wie wirken sich erweiterte Rückegassenabstände von 40 m auf den Verfahrensverlauf aus?

9.4. Wie wirken sich erweiterte Rückegassenabstände von 40 m auf das Rücken aus?

Arbeitsausführung	Vorrücken		Endrücken	
	Mittelblock	Kranzone	Mittelblock	Kranzone
Harvester				
Harwarder				
Forwarder				
Forwarder mit Klemmbank				
Rückeraupe				
Seilschlepper (UVV Schlepper)				
Forstspezialschlepper ohne Kran				
Forstspezialschlepper mit Kran				
Seilwindenbagger				
Pferd				
Traktionsband				
Tragband				
TwinTyre-System				
Hilfsmittel				
Händischer Seilzug				
Spillwinde				
Seilwinde an Forstspezialmaschine				
Pferd				
Abweiskreuz				
Rückekarren				
Sonstiges				

10. Kombinierte Fragen

10.1. Wirken sich erweiterte Rückegassenabstände von 40 m auf die Holzernte in Beständen mit Habitatbäumen/ -gruppen aus?

10.2. Wie wirken sich erweiterte Rückegassenabstände von 40 m auf die Holzernte in Beständen mit sichtbehindernder Verjüngung (2 – 3 m) aus?

10.3. Wie wirken sich erweiterte Rückegassenabstände von 40 m auf die Holzernte in Beständen mit liegendem Totholz (20 Fm/ha) aus?

10.4. Wirkt sich sichtbehindernde Verjüngung (2 – 3 m) auf die Holzernte in Beständen mit Habitatbäumen/ -gruppen aus?

10.5. Wirkt sich flächig verteiltes, liegendes Totholz (20 Fm/ha) auf die Holzernte in Beständen mit Habitatbäumen/ -gruppen aus?

10.6. Wie wirkt sich sichtbehindernde Verjüngung (2 – 3 m) auf die Holzernte in Beständen mit liegendem Totholz (20 Fm/ha) aus?

*Stellen Sie sich vor, der Ausgangsbestand würde sich im **Hangübergangsgelände** befinden (40%).*

10.7. Würden Sie das **Verfahren** ändern und wenn ja, wie würden Sie es ändern?

10.8. Würden Sie andere **Maschinen** für diese Holzerntemaßnahme verwenden und wenn ja, welche?

10.9. Würden Sie anderes **Zubehör** für diese Holzerntemaßnahme verwenden und wenn ja, welches?

10.10. Wie wirken sich hier erweiterte **Rückegassenabstände** von 40 m aus?

10.11. Wie wirken sich hier **Habitatbäume** aus?

10.12. Wie wirkt sich hier liegendes **Totholz** (~ 20 Fm/ha) aus?

10.13. Wie wirkt sich hier sichtbehindernde **Verjüngung** (2 – 3 m) aus?

*Stellen Sie sich vor, der Ausgangsbestand würde sich im **Seilkrangelände** befinden (65%).*

10.14. Würden Sie das **Verfahren** ändern und wenn ja, wie würden Sie es ändern?

10.15. Würden Sie andere **Maschinen** für diese Holzerntemaßnahme verwenden und wenn ja, welche?

10.16. Würden Sie anderes **Zubehör** für diese Holzerntemaßnahme verwenden und wenn ja, welches?

10.17. Wie wirken sich hier **Habitatbäume** aus?

10.18. Wie wirkt sich hier liegendes **Totholz** (~ 20 Fm/ha) aus?

10.19. Wie wirkt sich hier sichtbehindernde **Verjüngung** (2 – 3 m) aus?

*Stellen Sie sich vor, der Boden wäre **befahrungsempfindlich**.*

10.20. Würden Sie andere **Maschinen** für diese Holzerntemaßnahme verwenden und wenn ja, welche?

10.21. Würden Sie anderes **Zubehör** für dieses Holzerntemaßnahme verwenden und wenn ja, welches?

10.22. Wie wirken sich hier erweiterte **Rückegassenabstände** von 40 m aus?

10.23. Wie wirken sich hier **Habitatbäume** aus?

10.24. Wie wirkt sich hier liegendes **Totholz** (~ 20 Fm/ha) aus?

10.25. Wie wirkt sich hier sichtbehindernde **Verjüngung** (2 – 3 m) aus?

11. Bodenschutz

11.1. Schreiben Sie Maßnahmen vor, um Bodenschäden zu vermeiden bzw. zu verringern, wenn ja, welche sind das?

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Armierung der Rückegassen mittels Astmaterial | <input type="checkbox"/> Tragende Bänder |
| <input type="checkbox"/> Fahrt mit verringerter Beladung | <input type="checkbox"/> Allroundbänder |
| <input type="checkbox"/> Bestimmte Reifenbreite (mm) | <input type="checkbox"/> Vorgaben zu standörtlich problematischen Stellen (Nassstellen, Steilhänge usw.) |
| <input type="checkbox"/> Vorgaben zum Reifeninnendruck | <input type="checkbox"/> sonstiges |
| <input type="checkbox"/> Traktionsbänder | |

12. Holzvermessung und Aufnahme

12.1. Wie wird das Holz vermessen?

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Händisch | <input type="checkbox"/> Mantelverfahren |
| <input type="checkbox"/> Harvestermaß | <input type="checkbox"/> Stückzählung |
| <input type="checkbox"/> Werkseingangsmaß | <input type="checkbox"/> Dralle Mobil |
| <input type="checkbox"/> sonstige | <input type="checkbox"/> Fotooptisches System |

12.2. Werden die Maße an das Holz geschrieben?

- Ja Nein

12.3. Wo wird das Holz gemessen?

- Bestand Rückegasse Forstweg

12.4. Wird eine Holzliste erstellt und wenn ja wie?

- Digital Analog

12.5. Werden die Holzpolter zur Kontrolle nach Abschluss der Hiebsmaßnahme nochmal gemessen?

- Ja Nein teilweise

12.6. Wird die Lage der Polter an der Waldstraße mit GPS/GNSS erfasst?

- Ja Nein teilweise

12.7. Werden die Lagekoordinaten händisch in das EDV-System eingetragen oder passiert das Eintragen in das System automatisch?

- Manuell Automatisch

12.8. Welche Parameter werden dem Eintrag hinzugefügt?

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Polternummer | <input type="checkbox"/> Menge |
| <input type="checkbox"/> Sortiment | <input type="checkbox"/> Stückzahl |
| <input type="checkbox"/> Länge | <input type="checkbox"/> Erntebestand |
| <input type="checkbox"/> Baumart | <input type="checkbox"/> sonstiges |
-

12.9. Wer erledigt diese Aufgabe?

13. Hiebsbeurteilung

13.1. Wird der Hieb nach Abschluss der Hiebsmaßnahme beurteilt?

- Ja Nein Teilweise

Von _____

13.2. Welche Parameter werden zur Beurteilung herangezogen?

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Stockaudit (bei motormanueller Fällung) | <input type="checkbox"/> Schäden an der Verjüngung |
| <input type="checkbox"/> Stockhöhe | <input type="checkbox"/> Zustand der Rückegassen |
| <input type="checkbox"/> Schäden an Bäumen im Bestand | <input type="checkbox"/> Sauberkeit und Güte der Holzlagerung |
| <input type="checkbox"/> Schäden an Bäumen am Gassenrand | <input type="checkbox"/> Sauberkeit und Zustand der Waldwege |
| <input type="checkbox"/> sonstiges | |
-
-
-

13.3. Wie wird verfahren, wenn es Beanstandungen gibt?

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Nacharbeiten | <input type="checkbox"/> Schlechtere Chancen für die nächste Ausschreibung |
| <input type="checkbox"/> Entgeltliche Abzüge | <input type="checkbox"/> Sonstiges |
-
-

13.4. Wie wird verfahren, wenn die Arbeit besonders mustergültig erledigt wurde.

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Auszahlung von Prämien | <input type="checkbox"/> Vorteile für die nächste Ausschreibung |
| <input type="checkbox"/> sonstiges | |
-
-

14. Abziehen/Säubern der Forststraßen

14.1. Wenn die Forststraßen bei Hiebsende verschmutzt oder beschädigt sind: Welche Maßnahmen werden getroffen, um deren einwandfreien Zustand wiederherzustellen?

Wer _____
Womit _____

15. Sonstige Fragen

15.1. Bezieht ihr Betrieb Förderungen für erschwerte Holzernte, Naturschutz- oder Waldumbaumaßnahmen?

Ja

Nein

15.2. Wofür erhält ihr Betrieb Fördermittel?

➤ Waldförderprogramm

➤ Vertragsnaturschutz

Naturverjüngung

Erhalt von Biotopbäumen

Wiederaufforstung

Belassen von Totholz

Waldlebensgemeinschaften

Bodenschonende Bringung

Sonstige Förderungen

15.3. Wie sind die prozentualen Personalanteile der in der Holzernte beschäftigten Personen?

- Eigenes Personal %

- Fremdes Personal %

15.4. Hat ihr Personal die Möglichkeit sich mit Fort- und Weiterbildungsmöglichkeiten für die Holzernte zu spezialisieren?

Ja

Nein

15.5. Welche Lehrgänge sind das beispielsweise?

16. Abschluss

16.1. Gibt es in Ihrem Betrieb weitere Anforderungen, die für Sie in der Praxis relevant sind?

Wir danken Ihnen für die Zeit die Sie sich genommen haben.

In den nächsten Wochen werden die Ergebnisse zusammengetragen und mit den Projektpartnern ausgewertet. Ziel der Befragung soll es sein, aus den Ergebnissen verbesserte oder gar neue Holzernteverfahren abzuleiten.

Diese Verfahren werden dann bei den Regionalworkshops, die in den beteiligten Bundesländern stattfinden, vorgestellt. Dazu werden wir Sie noch persönlich einladen.

1. Interviewleitfäden

Interviewleitfaden Betrieb_AD_Nadelholz (Fichte)

Einleitung

Ziel der Befragung ist die detaillierte Erfassung von bereits praktizierten Holzernteverfahren in Beständen mit hoher naturschutzfachlicher Bedeutung. In den Interviews werden dabei Veränderungen in Holzernteprozessen abgefragt, die sich aus den gestiegenen naturschutzfachlichen Anforderungen ergeben.

Forschungsfrage

Wie haben sich durch gestiegene naturschutzbedingte Anforderungen die Arbeitsverfahren in der Holzernte verändert?

Um diese Forschungsfrage zu beantworten, wird zunächst ein häufig vorkommendes Bestandsbild konstruiert, das als Beispiel für die Befragung dient. Mit Hilfe des Leitfadens soll eine typische Holzerntemaßnahme für diesen Bestand geplant werden, der sich an den einzelnen Prozessen der Holzernte orientiert. Die Untergliederung in die Arbeitsprozesse soll das Interviewergebnis detailreicher machen. Verwendet wurden folgende Prozesse:

Im Verlauf des Interviews wird das Bestandesbild um bestimmte naturschutzfachliche Anforderungen erweitern. Das Verfahren wird dann gedanklich an den dann veränderten Bestand angepasst, wodurch ein entsprechendes Ergebnis erhofft wird.

Inhaltsverzeichnis

1.	Allgemeines zum Forstbetrieb.....	3
2.	Allgemeine Hiebsvorbereitung.....	4
3.	Fällung	5
4.	Aufarbeitung des Holzes.....	5
5.	Vor- und Endrücken.....	6
6.	Änderungen durch Habitatbäume (10 Stück/Hektar) oder Habitatbaumgruppen (30 m Flächendurchmesser)	6
7.	Änderungen durch sichtbehindernde Verjüngung (2-3m Höhe)	8
8.	Änderungen durch verteiltes, liegendes Totholz (20fm/ha)	8
9.	Änderungen durch Rückegassenabstände von 40 m	9
10.	Kombinierte Fragen.....	10
11.	Bodenschutz	14
12.	Holzvermessung und Aufnahme	14
13.	Hiebsbeurteilung	15
14.	Abziehen/Säubern der Forststraßen	15
15.	Sonstige Fragen	16
16.	Abschluss	16

2. Allgemeine Hiebsvorbereitung

Beispielbestand **Altdurchforstung** Nadelholz (Fichte)

- Nadelholzdominierter Mischbestand mit einzelnen Laubbäumen
- Baumdurchmesser: 25 – 50 cm
- Boden: befahrungsunempfindlicher, flacher Standort
- Waldbauliches Ziel: Auswahl und Förderung von ca. 100 Zukunftsbäumen
- Ziel der Maßnahme: Förderung der Zukunftsbäume (inkl. Mischbaumarten)
- Rückegassenabstand: 20 m
- Keine Verjüngung vorhanden
- Keine Habitatbäume vorhanden

2.1. Was wird ausgezeichnet?

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Ausscheidender Bestand | <input type="checkbox"/> Rückegassen |
| <input type="checkbox"/> Zukunftsbäume | <input type="checkbox"/> Hiebsgrenzen |
| <input type="checkbox"/> Habitatbäume | <input type="checkbox"/> Bestandesgrenzen |
| <input type="checkbox"/> Sonstiges | |

2.2. Wie wird ausgezeichnet und in welcher Höhe?

- | | | |
|---------------------------------|-------------------------------------|-----------|
| <input type="checkbox"/> Farbe | <input type="checkbox"/> Einseitig | Höhe (m) |
| <input type="checkbox"/> Bänder | <input type="checkbox"/> Zweiseitig | |

2.3. Wer erstellt den Arbeitsauftrag?

2.4. Wer legt die Sortimente fest, die ausgehalten werden sollen?

2.5. Was sind die Kriterien und könnte eine hohe Baumartenvielfalt darauf Einfluss haben?

2.6. Wer entscheidet über die Lage der Holzlagerplätze und anhand welcher Kriterien?

2.7. Welches Arbeitsverfahren würden Sie standardmäßig für diese Hiebsmaßnahme wählen?

2.8. Wer weist die Arbeiter/Unternehmer ein?

2.9. Welche Kommunikationsgeräte werden während der Hiebsmaßnahme verwendet?

- | | | |
|-------------------------------------|--|--------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Funkgeräte | <input type="checkbox"/> Elektronische Sensor-
/Warnsysteme | <input type="checkbox"/> Handzeichen |
| <input type="checkbox"/> Handy | | <input type="checkbox"/> Sonstiges |

2.10. Wie wirkt sich eine große Sortimentsvielfalt, beispielsweise auf Grund einer hohen Baumartenvielfalt, auf das Arbeitsverfahren aus?

3. Fällung

3.1. Welche Personen/Maschinen/Hilfsmittel werden für die Fällung verwendet und in welcher Reihenfolge?

Arbeitsausführung			
Maschinelle Arbeit	Einzel	Kombiniert	Anzahl
Forstwirt			
Radharvester			
Raupenharvester			
Raupenharvester mit Baumhaltezege			
Forwarder mit Seilwinde			
Rückeraupe			
Seilschlepper			
Forstspezialschlepper mit Seil			
Seilwindenbagger			
Hilfsmittel			
Motorsäge			
Händischer Seilzug			
Spillwinde			
Anschlagmittel			
Manueller Fällkeil			
Hydraulischer Fällkeil			
Mechanischer Fällkeil			
- Ohne Fernauslöser			
- Mit Fernauslöser			
Sonstiges			

4. Aufarbeitung des Holzes

4.1. Wo wird der Baum von wem weiter bearbeitet (gezopft, entastet, abgelängt)?

Zopfen			
Entasten			
Ablängen			
	Bestand	Gasse	Lagerort

5. Vor- und Endrücken

5.1. Mit welchem Maschinentyp/Ausrüstung wird vorgerückt?

Arbeitsausführung	Vorrücken	Endrücken
Harvester		
Harwarder		
Forwarder		
Forwarder mit Klemmbank		
Rückeraupe		
Seilschlepper (UVV Schlepper)		
Forstspeziialschlepper ohne Kran		
Forstspeziialschlepper mit Kran		
Seilwindenbagger		
Pferd		
Hilfsmittel		
Händischer Seilzug		
Spillwinde		
Seilwinde an Forstspezialmaschine		
Rückekarren		
Abweiskreuz		
Traktionsband		
Tragband		
TwinTyre-System		
Sonstiges		

5.1. In welcher Form wird das Holz gerückt?

Vorrücken

Vollbaum

Rohschaft

Langholz

Kurzholz

Endrücken

Vollbaum

Rohschaft

Langholz

Kurzholz

6. Änderungen durch Habitatbäume (10 Stück/Hektar) oder Habitatbaumgruppen (30 m Flächendurchmesser)

6.1. Wirken sich **Habitatbäume/Habitatbaumgruppen** auf die Durchführung des Auszeichnens aus?

Habitatbäume:

Habitatbaumgruppen:

6.2. Werden die **Habitatbäume/Habitatbaumgruppen** dem Arbeitsausführenden im Bestand gezeigt?

Ja

Nein

Teilweise

6.3. Wer führt das Auszeichnen von Beständen mit **Habitatbäumen/Habitatbaumgruppen** durch?

6.4. Wie werden die **Habitatbäume/Habitatbaumgruppen** markiert?

6.5. Werden die **Habitatbäume/Habitatbaumgruppen** georeferenziert erfasst?

Ja

Nein

6.1. Wirken sich **Habitatbäume/Habitatbaumgruppen** auf die Wahl der Sortimente aus und wenn ja, wie?

Habitatbäume:

Habitatbaumgruppen:

6.2. Wirken sich **Habitatbäume** auf das Fällen aus?

6.3. Wirken sich **Habitatbaumgruppen** auf das Fällen aus?

6.4. Wirken sich **Habitatbäume/Habitatbaumgruppen** auf das Vorrücken aus?

Habitatbäume:

Habitatbaumgruppen:

6.5. Wirken sich **Habitatbäume/Habitatbaumgruppen** auf das Rücken aus?

Habitatbäume:

Habitatbaumgruppen:

7. Änderungen durch sichtbehindernde Verjüngung (2-3m Höhe)

7.1. Würde es Änderungen beim Fällen und den eingesetzten Maschinen geben, wenn sichtbehindernde Verjüngung (2 – 3m Höhe) vorhanden wäre?

7.2. Wirkt sich sichtbehindernde Verjüngung (2 – 3m Höhe) auf die Aufarbeitung der Stämme aus und wenn ja, wie?

7.3. Wie wirkt sich sichtbehindernde Verjüngung (2 – 3m Höhe) auf das Vor- oder Endrücken aus?

Vorrücken:

Endrücken:

8. Änderungen durch verteiltes, liegendes Totholz (20fm/ha)

8.1. Würde es Änderungen beim Fällen und den eingesetzten Maschinen geben, wenn sich flächig verteiltes, liegendes Totholz (20 Fm/ha) im Hieb befindet?

8.2. Wie wirkt sich flächig verteiltes, liegendes Totholz (20 Fm/ha) auf die Aufarbeitung der Stämme aus?

8.3. Wie wirkt sich flächig verteiltes, liegendes Totholz (20 Fm/ha) auf das Vor- oder Endrücken aus?

Vorrücken:

Endrücken:

9. Änderungen durch Rückegassenabstände von 40 m

9.1. Wirken sich erweiterte **Rückegassenabstände** von 40 m auf die Wahl der Sortimente aus und wenn ja, wie?

9.2. Wie wirken sich erweiterte Rückegassenabstände von 40 m auf das Fällen aus?

Arbeitsausführung	Mittelblock		Kranzone		
	Motormanuell	Kombiniert	Manuell	Kombiniert	Maschinell
Forstwirt					
Radharvester					
Raupenharvester					
Raupenharvester mit Baumhaltezange					
Forwarder mit Seilwinde					
Rückeraupe					
Seilschlepper (UVV-Schlepper)					
Forstspeziialschlepper mit Kran					
Forstspeziialschlepper mit Kran					
Seilwindenbagger					
Hilfsmittel					
Händischer Seilzug					
Spillwinde					
Seilwinde an Forstmaschine					
Anschlagmittel					
Manueller Fällkeil					
Hydraulischer Fällkeil					
Mechanischer Fällkeil					
- Ohne Fernauslöser					
- Mit Fernauslöser					
Sonstiges					

9.3. Wie wirken sich erweiterte Rückegassenabstände von 40 m auf den Verfahrensverlauf aus?

9.4. Wie wirken sich erweiterte Rückegassenabstände von 40 m auf das Rücken aus?

Arbeitsausführung	Vorrücken		Endrücken	
	Mittelblock	Kranzone	Mittelblock	Kranzone
Harvester				
Harwarder				
Forwarder				
Forwarder mit Klemmbank				
Rückeraupe				
Seilschlepper (UVV Schlepper)				
Forstspezialschlepper ohne Kran				
Forstspezialschlepper mit Kran				
Seilwindenbagger				
Pferd				
Traktionsband				
Tragband				
TwinTyre-System				
Hilfsmittel				
Händischer Seilzug				
Spillwinde				
Seilwinde an Forstspezialmaschine				
Pferd				
Abweiskreuz				
Rückekarren				
Sonstiges				

10. Kombinierte Fragen

10.1. Wirken sich erweiterte Rückegassenabstände von 40 m auf die Holzernte in Beständen mit Habitatbäumen/ -gruppen aus?

10.2. Wie wirken sich erweiterte Rückegassenabstände von 40 m auf die Holzernte in Beständen mit sichtbehindernder Verjüngung (2 – 3 m) aus?

10.3. Wie wirken sich erweiterte Rückegassenabstände von 40 m auf die Holzernte in Beständen mit liegendem Totholz (20 Fm/ha) aus?

10.4. Wirkt sich sichtbehindernde Verjüngung (2 – 3 m) auf die Holzernte in Beständen mit Habitatbäumen/ -gruppen aus?

10.5. Wirkt sich flächig verteiltes, liegendes Totholz (20 Fm/ha) auf die Holzernte in Beständen mit Habitatbäumen/ -gruppen aus?

10.6. Wie wirkt sich sichtbehindernde Verjüngung (2 – 3 m) auf die Holzernte in Beständen mit liegendem Totholz (20 Fm/ha) aus?

*Stellen Sie sich vor, der Ausgangsbestand würde sich im **Hangübergangsgelände** befinden (40%).*

10.7. Würden Sie das **Verfahren** ändern und wenn ja, wie würden Sie es ändern?

10.8. Würden Sie andere **Maschinen** für diese Holzerntemaßnahme verwenden und wenn ja, welche?

10.9. Würden Sie anderes **Zubehör** für diese Holzerntemaßnahme verwenden und wenn ja, welches?

10.10. Wie wirken sich hier erweiterte **Rückegassenabstände** von 40 m aus?

10.11. Wie wirken sich hier **Habitatbäume** aus?

10.12. Wie wirkt sich hier liegendes **Totholz** (~ 20 Fm/ha) aus?

10.13. Wie wirkt sich hier sichtbehindernde **Verjüngung** (2 – 3 m) aus?

*Stellen Sie sich vor, der Ausgangsbestand würde sich im **Seilkrangelände** befinden (65%).*

10.14. Würden Sie das **Verfahren** ändern und wenn ja, wie würden Sie es ändern?

10.15. Würden Sie andere **Maschinen** für diese Holzerntemaßnahme verwenden und wenn ja, welche?

10.16. Würden Sie anderes **Zubehör** für diese Holzerntemaßnahme verwenden und wenn ja, welches?

10.17. Wie wirken sich hier **Habitatbäume** aus?

10.18. Wie wirkt sich hier liegendes **Totholz** (~ 20 Fm/ha) aus?

10.19. Wie wirkt sich hier sichtbehindernde **Verjüngung** (2 – 3 m) aus?

*Stellen Sie sich vor, der Boden wäre **befahrungsempfindlich**.*

10.20. Würden Sie andere **Maschinen** für diese Holzerntemaßnahme verwenden und wenn ja, welche?

10.21. Würden Sie anderes **Zubehör** für dieses Holzerntemaßnahme verwenden und wenn ja, welches?

10.22. Wie wirken sich hier erweiterte **Rückegassenabstände** von 40 m aus?

10.23. Wie wirken sich hier **Habitatbäume** aus?

10.24. Wie wirkt sich hier liegendes **Totholz** (~ 20 Fm/ha) aus?

10.25. Wie wirkt sich hier sichtbehindernde **Verjüngung** (2 – 3 m) aus?

11. Bodenschutz

11.1. Schreiben Sie Maßnahmen vor, um Bodenschäden zu vermeiden bzw. zu verringern, wenn ja, welche sind das?

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Armierung der Rückegassen mittels Astmaterial | <input type="checkbox"/> Tragende Bänder |
| <input type="checkbox"/> Fahrt mit verringerter Beladung | <input type="checkbox"/> Allroundbänder |
| <input type="checkbox"/> Bestimmte Reifenbreite (mm) | <input type="checkbox"/> Vorgaben zu standörtlich problematischen Stellen (Nassstellen, Steilhänge usw.) |
| <input type="checkbox"/> Vorgaben zum Reifeninnendruck | <input type="checkbox"/> sonstiges |
| <input type="checkbox"/> Traktionsbänder | |

12. Holzvermessung und Aufnahme

12.1. Wie wird das Holz vermessen?

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Händisch | <input type="checkbox"/> Mantelverfahren |
| <input type="checkbox"/> Harvestermaß | <input type="checkbox"/> Stückzählung |
| <input type="checkbox"/> Werkseingangsmaß | <input type="checkbox"/> Dralle Mobil |
| <input type="checkbox"/> sonstige | <input type="checkbox"/> Fotooptisches System |

12.2. Werden die Maße an das Holz geschrieben?

- Ja Nein

12.3. Wo wird das Holz gemessen?

- Bestand Rückegasse Forstweg

12.4. Wird eine Holzliste erstellt und wenn ja wie?

- Digital Analog

12.5. Werden die Holzpolter zur Kontrolle nach Abschluss der Hiebsmaßnahme nochmal gemessen?

- Ja Nein teilweise

12.6. Wird die Lage der Polter an der Waldstraße mit GPS/GNSS erfasst?

- Ja Nein teilweise

12.7. Werden die Lagekoordinaten händisch in das EDV-System eingetragen oder passiert das Eintragen in das System automatisch?

- Manuell Automatisch

12.8. Welche Parameter werden dem Eintrag hinzugefügt?

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Polternummer | <input type="checkbox"/> Menge |
| <input type="checkbox"/> Sortiment | <input type="checkbox"/> Stückzahl |
| <input type="checkbox"/> Länge | <input type="checkbox"/> Erntebestand |
| <input type="checkbox"/> Baumart | <input type="checkbox"/> sonstiges |
-

12.9. Wer erledigt diese Aufgabe?

13. Hiebsbeurteilung

13.1. Wird der Hieb nach Abschluss der Hiebsmaßnahme beurteilt?

- Ja Nein Teilweise

Von _____

13.2. Welche Parameter werden zur Beurteilung herangezogen?

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Stockaudit (bei motormanueller Fällung) | <input type="checkbox"/> Schäden an der Verjüngung |
| <input type="checkbox"/> Stockhöhe | <input type="checkbox"/> Zustand der Rückegassen |
| <input type="checkbox"/> Schäden an Bäumen im Bestand | <input type="checkbox"/> Sauberkeit und Güte der Holzlagerung |
| <input type="checkbox"/> Schäden an Bäumen am Gassenrand | <input type="checkbox"/> Sauberkeit und Zustand der Waldwege |
| <input type="checkbox"/> sonstiges | |
-
-
-

13.3. Wie wird verfahren, wenn es Beanstandungen gibt?

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Nacharbeiten | <input type="checkbox"/> Schlechtere Chancen für die nächste Ausschreibung |
| <input type="checkbox"/> Entgeltliche Abzüge | <input type="checkbox"/> Sonstiges |
-
-

13.4. Wie wird verfahren, wenn die Arbeit besonders mustergültig erledigt wurde.

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Auszahlung von Prämien | <input type="checkbox"/> Vorteile für die nächste Ausschreibung |
| <input type="checkbox"/> sonstiges | |
-
-

14. Abziehen/Säubern der Forststraßen

14.1. Wenn die Forststraßen bei Hiebsende verschmutzt oder beschädigt sind: Welche Maßnahmen werden getroffen, um deren einwandfreien Zustand wiederherzustellen?

Wer _____
Womit _____

15. Sonstige Fragen

15.1. Bezieht ihr Betrieb Förderungen für erschwerte Holzernte, Naturschutz- oder Waldumbaumaßnahmen?

Ja

Nein

15.2. Wofür erhält ihr Betrieb Fördermittel?

➤ Waldförderprogramm

➤ Vertragsnaturschutz

Naturverjüngung

Erhalt von Biotopbäumen

Wiederaufforstung

Belassen von Totholz

Waldlebensgemeinschaften

Bodenschonende Bringung

Sonstige Förderungen

15.3. Wie sind die prozentualen Personalanteile der in der Holzernte beschäftigten Personen?

- Eigenes Personal %

- Fremdes Personal %

15.4. Hat ihr Personal die Möglichkeit sich mit Fort- und Weiterbildungsmöglichkeiten für die Holzernte zu spezialisieren?

Ja

Nein

15.5. Welche Lehrgänge sind das beispielsweise?

16. Abschluss

16.1. Gibt es in Ihrem Betrieb weitere Anforderungen, die für Sie in der Praxis relevant sind?

Wir danken Ihnen für die Zeit die Sie sich genommen haben.

In den nächsten Wochen werden die Ergebnisse zusammengetragen und mit den Projektpartnern ausgewertet. Ziel der Befragung soll es sein, aus den Ergebnissen verbesserte oder gar neue Holzernteverfahren abzuleiten.

Diese Verfahren werden dann bei den Regionalworkshops, die in den beteiligten Bundesländern stattfinden, vorgestellt. Dazu werden wir Sie noch persönlich einladen.

2. Verfahrensbeschreibungen

1.4.1. THÜRINGER SCHIEFERGEBIRGE

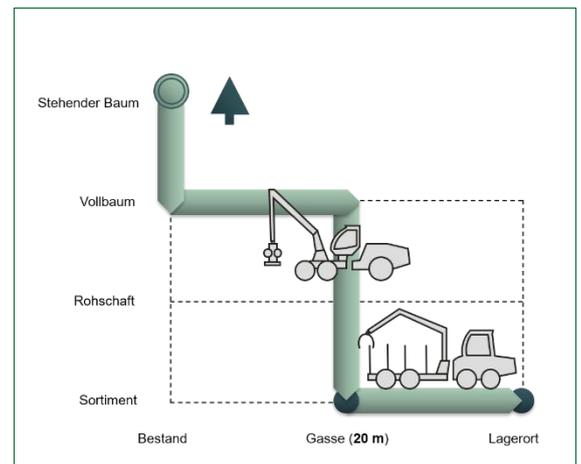
REFERENZVERFAHREN

Harvestereinsatz, Rücken mit Forwarder

Ziel der Maßnahme

Der Holzeinschlag erfolgt mit dem Harvester, der mehrere Arbeitsablaufabschnitte (Fällen, Entasten, Einschneiden, Vorrücken) verrichtet. Fällen und Einschneiden erfolgen grundsätzlich von der Rückegasse aus.

Der Forwarder rückt das Holz schließlich von den Raubeugen an der Rückegasse bis zum Lagerort an der Waldstraße.



Einsatzbedingungen

Baumarten- gruppe	BHD ausscheidender Bestand	Gelände- neigung	Störender Bewuchs	Gassen- abstände	Mittlere Rückeentfernung
Laubholz	≤ 20 cm m. R.	≤ 35 %	0 - 25 %	≤ 20 m	≤ 300 m
Fichte	20 – 35 cm m. R.	36 – 50 %	26 – 50 %	> 20 m	> 300 m
Kiefer	36 – 50 cm m. R.	> 50 %	50 – 75 %		
	≥ 50 cm m. R.		76 – 100 %		

Betriebsmittel

- Harvester, für den entsprechenden Durchmesserbereich und die entsprechende Geländeneigung geeignet
- Forwarder

Arbeitskräfte

- Qualifizierte Maschinenführer mit durchschnittlichem Übungsgrad

Arbeitsvorbereitung

- Deutliche Markierung der Entnahmebäume (evtl. wertvoller Zuwachsträger)
- In Raubeugen abgelegte Sortimente an der Rückegasse
- Ausweisen geeigneter Holzlagerplätze an der Waldstraße

Verfahrensablauf

- Fällen, Entasten und Aufarbeiten der ausgezeichneten stehenden Bäume durch Harvester
- Ablage der Sortimente an der Rückegasse
- (Reisigarmierung der Rückegasse)

- Sortimentsweises Rücken des an der Rückegasse abgelegten Holzes
- Poltern an zugewiesenen Holzlagerplätzen

Beurteilung des Verfahrens

▪ **Waldschutz**

- Erhöhte Bestandesschäden durch Vollbaummanipulation bei Harvesteraufarbeitung möglich
- Einsatz des Harvesters wird durch Stärke des Holzes beschränkt
- Geringe Forstschutzrisiken durch Harvesteraufarbeitung
- (Reisigarmierung auf der Gasse)

▪ **Arbeitsschutz**

- Der Maschinenführer verrichtet seine Arbeit in einer klimatisierten, lärm- und vibrationsarmen Kabine mit luftgefedertem Fahrersitz und ergonomisch ausgelegten Bedienungselementen. Dieser Arbeitsplatz ist weitgehend witterungsunabhängig. Leistungsfähige Arbeitsbeleuchtung ermöglicht den Einsatz unabhängig vom Tageslichtangebot.
- Erhöhte psycho-mentale Belastung durch Ein-Mann-Arbeit.

▪ **Umweltverträglichkeit**

- Da sowohl Kranvollernter als auch Forwarder ausschließlich auf der Rückegasse arbeiten, werden Bodenschäden reduziert und die technische Befahrbarkeit der Rückegasse durch die beim Entasten vor der Maschine entstehende Reisigmatte erhöht.
- Umweltverträglich bei Verwendung biologisch abbaubarer Hydraulikflüssigkeiten

▪ **Optimaler Einsatzbereich**

- Dieses Arbeitsverfahren ist in einem breiten Spektrum einsetzbar, am besten geeignet sind Bestände in ebenen Lagen. Die Begrenzung des Einsatzbereiches durch BHD und Aststärke bestimmt die Leistungsklasse des Harvesters.

Literatur

MORAT, J., FORBRIG, A., GRAUPNER, J., (1998): Holzernteverfahren – Vergleichende Erhebung und Beurteilung der Holzernteverfahren in der Bundesrepublik Deutschland. KWF-Bericht 25/1998
14. KWF-Tagung 2004 in Groß-Umstadt/Hessen “Prozessorientierung in der Forstwirtschaft – neue Technik, neue Partner, neues Denken” (Tagungsführer), S. 63 ff

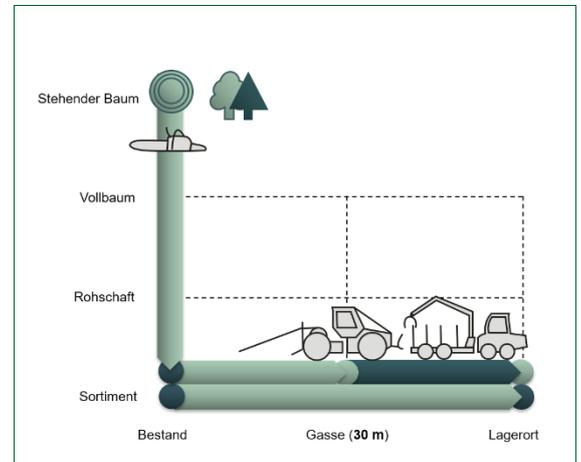
1.4.2.FRÄNKISCHE PLATTE

Motormanueller Holzeinschlag, Vorrücken mit Seilschlepper, Rücken mit Seilschlepper und Forwarder

Ziel der Maßnahme

Mit der Motorsäge werden die Bäume gefällt, entastet und sortimentiert. Das anschließende Rücken erfolgt gelöst vom Aufarbeiten, wobei die Bestandespfleglichkeit von der sauberen Schlagordnung und den ausgehaltenen Sortimenten abhängt. Der Seilschlepper übernimmt das Vorrücken und tlw. Endrücken.

Der Forwarder rückt das Holz schließlich von den Raubeugen an der Rückegasse bis zum Lagerort an der Waldstraße.



Einsatzbedingungen

Baumarten- gruppe	BHD ausscheidender Bestand	Gelände- neigung	Störender Bewuchs	Gassen- abstände	Mittlere Rückentfernung
Laubholz	≤ 20 cm m. R.	≤ 35 %	0 - 25 %	≤ 20 m	≤ 300 m
Fichte	20 – 35 cm m. R.	36 – 50 %	26 – 50 %	> 20 m	> 300 m
Kiefer	36 – 50 cm m. R.	> 50 %	50 – 75 %		
	≥ 50 cm m. R.		76 – 100 %		

Betriebsmittel

- Motorsäge (Schlagschrauber, ferngesteuerter Fällkeil), Werkzeuggurt (Maßband, Keile), Axt zum Keilen, persönliche Schutzausrüstung
- Seilschlepper
- Forwarder

Arbeitskräfte

- Qualifizierte Forstwirte mit durchschnittlichem Übungsgrad (2-Mann-Team), Motorsägenzertifikat vergleichbar ECC 3
- Qualifizierte Maschinenführer mit durchschnittlichem Übungsgrad

Arbeitsvorbereitung

- Deutliche Markierung der Entnahmebäume (evtl. wertvoller Zuwachsträger)
- In Raubeugen abgelegte Sortimente an der Rückegasse
- Ausweisen geeigneter Holzlagerplätze an der Waldstraße

Verfahrensablauf

- Baum aufsuchen, Baumansprache (Beurteilung des zu fällenden Baumes und der möglichen Gefahren), Freiräumen der Rückweiche/des Arbeitsplatzes-Bestimmung der Fällrichtung-ggf. Beischneiden der Wurzelanläufe, Anlage des Fallkerbs-Überprüfung der Fällrichtung, Sicherheitskontrolle-Fällschnitt (evtl. mit Keilen), Entasten, Sortimentieren – Arbeiten in gekoppeltem Zweimannverfahren
- Vorrücken des Holzes durch Seilschlepper bis zur Rückegasse
- a) Rücken des Stammholzes durch Seilschlepper bis zum Lagerort
- b) Ablage der Sortimente an der Rückegasse
- b) Sortimentsweises Rücken des an der Rückegasse abgelegten Holzes durch Forwarder
- b) Poltern an zugewiesenen Holzlagerplätzen

Beurteilung des Verfahrens

▪ Waldschutz

- Bestandsschäden durch Fällvorgang und Vorrücken möglich

▪ Arbeitsschutz

- Das motormanuelle Fällen ist wegen der Motorsägearbeit und der Witterungseinflüsse physisch belastend.
- Die Maschinenführer verrichten ihre Arbeit in einer klimatisierten, lärm- und vibrationsarmen Kabine mit luftgefedertem Fahrersitz und ergonomisch ausgelegten Bedienungselementen. Dieser Arbeitsplatz ist weitgehend witterungsunabhängig. Leistungsfähige Arbeitsbeleuchtung ermöglicht den Einsatz unabhängig vom Tageslichtangebot.
- Erhöhte psycho-mentale Belastung durch Ein-Mann-Arbeit beim Rücken.

▪ Umweltverträglichkeit

- Da sowohl Seilschlepper als auch Forwarder ausschließlich auf der Rückegasse arbeiten, werden Bodenschäden reduziert.
- Umweltverträglich bei Verwendung biologisch abbaubarer Hydraulikflüssigkeiten

▪ Optimaler Einsatzbereich

- Dieses Arbeitsverfahren ist in einem breiten Spektrum einsetzbar.

Literatur

MORAT, J., FORBRIG, A., GRAUPNER, J., (1998): Holzernteverfahren – Vergleichende Erhebung und Beurteilung der Holzernteverfahren in der Bundesrepublik Deutschland. KWF-Bericht 25/1998
 KWF Holzernteverfahren und –systeme: Auswahl - Vergleichende Erhebung - Beurteilung. 2017.
www.kwf-online.de

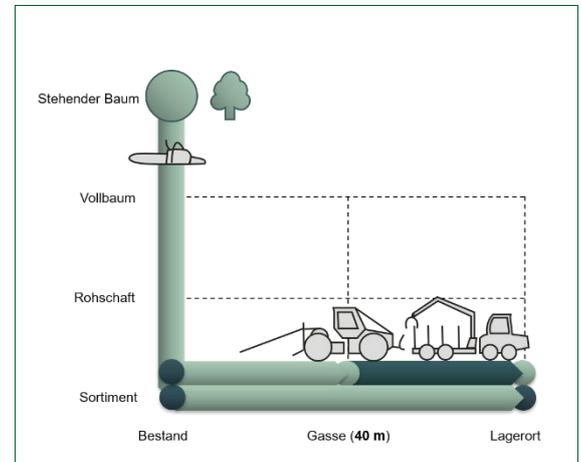
1.4.3. NORDSPESSART

Motormanueller Holzeinschlag, Vorrücken und Rücken mit Kranrückeschlepper, Rücken mit Forwarder

Ziel der Maßnahme

Mit der Motorsäge werden die Bäume gefällt, entastet und sortimentiert. Das anschließende Rücken erfolgt gelöst vom Aufarbeiten, wobei die Bestandespflughlichkeit von der sauberen Schlagordnung und den ausgehaltenen Sortimenten abhängt. Der Kranrückeschlepper übernimmt das Vorrücken und tlw. Endrücken.

Der Forwarder rückt das Holz schließlich von den Raubeugen an der Rückegasse bis zum Lagerort an der Waldstraße.



Einsatzbedingungen

Baumarten- gruppe	BHD ausscheidender Bestand	Gelände- neigung	Störender Bewuchs	Gassen- abstände	Mittlere Rückentfernung
Laubholz	≤ 20 cm m. R.	≤ 35 %	0 - 25 %	≤ 20 m	≤ 300 m
Fichte	20 – 35 cm m. R.	36 – 50 %	26 – 50 %	> 20 m	> 300 m
Kiefer	36 – 50 cm m. R.	> 50 %	50 – 75 %		
	≥ 50 cm m. R.		76 – 100 %		

Betriebsmittel

- Motorsäge (Fällheber), Werkzeuggurt (Maßband, Keile), Axt zum Keilen, persönliche Schutzausrüstung
- Kranrückeschlepper
- Forwarder

Arbeitskräfte

- Qualifizierte Forstwirte mit durchschnittlichem Übungsgrad (2-Mann-Team), Motorsägenzertifikat vergleichbar ECC 3
- Qualifizierte Maschinenführer mit durchschnittlichem Übungsgrad

Arbeitsvorbereitung

- Deutliche Markierung der Entnahmebäume (evtl. wertvoller Zuwachsträger)
- In Raubeugen abgelegte Sortimente an der Rückegasse
- Ausweisen geeigneter Holzlagerplätze an der Waldstraße

Verfahrensablauf

- Baum aufsuchen, Baumansprache (Beurteilung des zu fällenden Baumes und der möglichen Gefahren), Freiräumen der Rückweiche/des Arbeitsplatzes-Bestimmung der Fällrichtung-Ggfls. Beischneiden der Wurzelanläufe, Anlage des Fallkerbs-Überprüfung der Fällrichtung, Sicherheitskontrolle-Fällschnitt (evtl. mit Keilen), Entasten, Sortimentieren-
- Vorrücken des Holzes durch Kranrückeschlepper bis zur Rückegasse
- Ablage der Sortimente an der Rückegasse
- Sortimentsweises Rücken des an der Rückegasse abgelegten Holzes
- Poltern an zugewiesenen Holzlagerplätzen

Beurteilung des Verfahrens

▪ Waldschutz

- Bestandsschäden durch Fällvorgang und Vorrücken möglich

▪ Arbeitsschutz

- Das motormanuelle Fällen ist wegen der Motorsägenarbeit und der Witterungseinflüsse physisch belastend.
- Die Maschinenführer verrichten ihre Arbeit in einer klimatisierten, lärm- und vibrationsarmen Kabine mit luftgefedertem Fahrersitz und ergonomisch ausgelegten Bedienungselementen. Dieser Arbeitsplatz ist weitgehend witterungsunabhängig. Leistungsfähige Arbeitsbeleuchtung ermöglicht den Einsatz unabhängig vom Tageslichtangebot.
- Erhöhte psycho-mentale Belastung durch Ein-Mann-Arbeit beim Rücken.

▪ Umweltverträglichkeit

- Da sowohl Kranrückeschlepper als auch Forwarder ausschließlich auf der Rückegasse arbeiten, werden Bodenschäden reduziert.
- Umweltverträglich bei Verwendung biologisch abbaubarer Hydraulikflüssigkeiten

▪ Optimaler Einsatzbereich

- Dieses Arbeitsverfahren ist in einem breiten Spektrum einsetzbar.

Literatur

MORAT, J., FORBRIG, A., GRAUPNER, J., (1998): Holzernteverfahren – Vergleichende Erhebung und Beurteilung der Holzernteverfahren in der Bundesrepublik Deutschland. KWF-Bericht 25/1998
 KWF Holzernteverfahren und –systeme: Auswahl - Vergleichende Erhebung - Beurteilung. 2017.
www.kwf-online.de

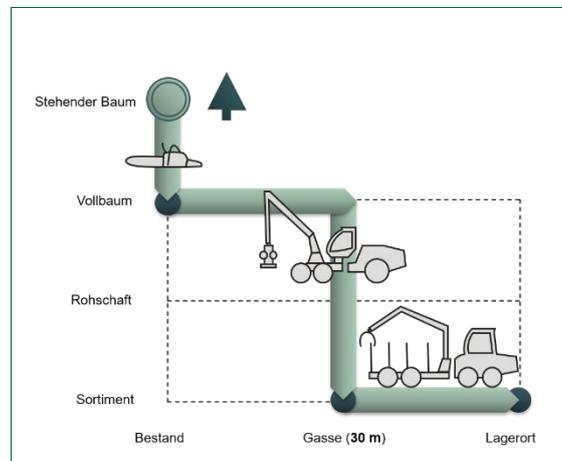
1.4.4.1. MITTELSCHWABEN – TEILFLÄCHE 1

Motormanueller Holzeinschlag, Aufarbeitung durch Harvester, Rücken mit Forwarder

Ziel der Maßnahme

Mit der Motorsäge werden die Bäume gefällt, Aufarbeitung durch Harvester. Das anschließende Rücken erfolgt gelöst vom Aufarbeiten, wobei die Bestandespfleglichkeit von der sauberen Schlagordnung und den ausgehaltenen Sortimenten abhängt.

Der Forwarder rückt das Holz schließlich von den Raubeugen an der Rückegasse bis zum Lagerort an der Waldstraße.



Einsatzbedingungen

Baumarten- gruppe	BHD ausscheidender Bestand	Gelände- neigung	Störender Bewuchs	Gassen- abstände	Mittlere Rückentfernung
Laubholz	≤ 20 cm m. R.	≤ 35 %	0 - 25 %	≤ 20 m	≤ 300 m
Fichte	20 – 35 cm m. R.	36 – 50 %	26 – 50 %	> 20 m	> 300 m
Kiefer	36 – 50 cm m. R.	> 50 %	50 – 75 %		
	≥ 50 cm m. R.		76 – 100 %		

Betriebsmittel

- Motorsäge (Fällheber), Werkzeuggurt (Maßband, Keile), Axt zum Keilen, persönliche Schutzausrüstung
- Harvester, für den entsprechenden Durchmesserbereich und die entsprechende Geländeneigung geeignet
- Forwarder

Arbeitskräfte

- Qualifizierter Forstwirt mit durchschnittlichem Übungsgrad (2-Mann-Team), Motorsägenzertifikat vergleichbar ECC 3
- Qualifizierter Maschinenführer mit durchschnittlichem Übungsgrad

Arbeitsvorbereitung

- Deutliche Markierung der Entnahmebäume (evtl. wertvoller Zuwachsträger)
- In Raubeugen abgelegte Sortimente an der Rückegasse
- Ausweisen geeigneter Holzlagerplätze an der Waldstraße

Verfahrensablauf

- Baum aufsuchen, Baumannsprache (Beurteilung des zu fällenden Baumes und der möglichen Gefahren), Freiräumen der Rückweiche/des Arbeitsplatzes-Bestimmung der Fällrichtung-Ggfls. Beischneiden der Wurzelanläufe, Anlage des Fallkerbs-Überprüfung der Fällrichtung, Sicherheitskontrolle-Fällschnitt (evtl. mit Keilen),
- Entasten und Aufarbeiten der ausgezeichneten stehenden Bäume durch Harvester
- Ablage der Sortimente an der Rückegasse
- Reisigarmierung der Rückegasse
- Sortimentsweises Rücken des an der Rückegasse abgelegten Holzes
- Poltern an zugewiesenen Holzlagerplätzen

Beurteilung des Verfahrens

▪ **Waldschutz**

- Erhöhte Bestandesschäden durch Vollbaummanipulation bei Harvesterbearbeitung möglich
- Einsatz des Harvesters wird durch Stärke des Holzes beschränkt
- Geringe Forstschutzrisiken durch Harvesterbearbeitung
- Reisigarmierung auf der Gasse

▪ **Arbeitsschutz**

- Das motormanuelle Fällen ist wegen der Motorsägearbeit und der Witterungseinflüsse physisch belastend.
- Der Maschinenführer verrichtet seine Arbeit in einer klimatisierten, lärm- und vibrationsarmen Kabine mit luftgefedertem Fahrersitz und ergonomisch ausgelegten Bedienungselementen. Dieser Arbeitsplatz ist weitgehend witterungsunabhängig. Leistungsfähige Arbeitsbeleuchtung ermöglicht den Einsatz unabhängig vom Tageslichtangebot.
- Erhöhte psycho-mentale Belastung durch Ein-Mann-Arbeit.

▪ **Umweltverträglichkeit**

- Da sowohl Kranvollernter als auch Forwarder ausschließlich auf der Rückegasse arbeiten, werden Bodenschäden reduziert und die technische Befahrbarkeit der Rückegasse durch die beim Entasten vor der Maschine entstehende Reisigmatte erhöht.
- Umweltverträglich bei Verwendung biologisch abbaubarer Hydraulikflüssigkeiten

▪ **Optimaler Einsatzbereich**

- Dieses Arbeitsverfahren ist in einem breiten Spektrum einsetzbar, am besten geeignet sind Bestände in ebenen Lagen.

Literatur

MORAT, J., FORBRIG, A., GRAUPNER, J., (1998): Holzernteverfahren – Vergleichende Erhebung und Beurteilung der Holzernteverfahren in der Bundesrepublik Deutschland. KWF-Bericht 25/1998

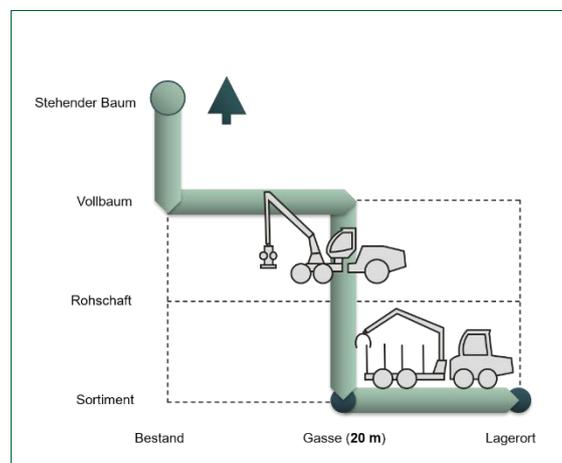
1.4.4.2 MITTELSCHWABEN – TEILFLÄCHE 2

Harvestereinsatz, Rücken mit Forwarder

Ziel der Maßnahme

Der Holzeinschlag erfolgt mit Harvester, der mehrere Arbeitsablaufabschnitte (Fällen, Entasten, Einschneiden, Vorrücken) verrichtet. Fällen und Einschneiden erfolgen grundsätzlich von der Rückegasse aus.

Der Forwarder rückt das Holz schließlich von den Raubeugen an der Rückegasse bis zum Lagerort an der Waldstraße.



Einsatzbedingungen

Baumarten- gruppe	BHD ausscheidender Bestand	Gelände- neigung	Störender Bewuchs	Gassen- abstände	Mittlere Rückentfernung
Laubholz	≤ 20 cm m. R.	≤ 35 %	0 - 25 %	≤ 20 m	≤ 300 m
Fichte	20 – 35 cm m. R.	36 – 50 %	26 – 50 %	> 20 m	> 300 m
Kiefer	36 – 50 cm m. R.	> 50 %	50 – 75 %		
	≥ 50 cm m. R.		76 – 100 %		

Betriebsmittel

- Harvester, für den entsprechenden Durchmesserbereich und die entsprechende Geländeneigung geeignet
- Forwarder

Arbeitskräfte

- Qualifizierte Maschinenführer mit durchschnittlichem Übungsgrad

Arbeitsvorbereitung

- Deutliche Markierung der Entnahmebäume (evtl. wertvoller Zuwachsträger)
- In Raubeugen abgelegte Sortimente an der Rückegasse
- Ausweisen geeigneter Holzlagerplätze an der Waldstraße

Verfahrensablauf

- Fällen, Entasten und Aufarbeiten der ausgezeichneten stehenden Bäume durch Harvester
- Ablage der Sortimente an der Rückegasse
- Reisigarmierung der Rückegasse
- Sortimentsweises Rücken des an der Rückegasse abgelegten Holzes
- Poltern an zugewiesenen Holzlagerplätzen

Beurteilung des Verfahrens

Waldschutz

- Erhöhte Bestandesschäden durch Vollbaummanipulation bei Harvesteraufarbeitung möglich

- Einsatz des Harvesters wird durch Stärke des Holzes beschränkt
- Geringe Forstschuttrisiken durch Harvesteraufarbeitung
- Reisigarmierung auf der Gasse

- **Arbeitsschutz**
 - Der Maschinenführer verrichtet seine Arbeit in einer klimatisierten, lärm- und vibrationsarmen Kabine mit luftgefedertem Fahrersitz und ergonomisch ausgelegten Bedienungselementen. Dieser Arbeitsplatz ist weitgehend witterungsunabhängig. Leistungsfähige Arbeitsbeleuchtung ermöglicht den Einsatz unabhängig vom Tageslichtangebot.
 - Erhöhte psycho-mentale Belastung durch Ein-Mann-Arbeit.

- **Umweltverträglichkeit**
 - Da sowohl Kranvollernter als auch Forwarder ausschließlich auf der Rückegasse arbeiten, werden Bodenschäden reduziert und die technische Befahrbarkeit der Rückegasse durch die beim Entasten vor der Maschine entstehende Reisigmatte erhöht.
 - Umweltverträglich bei Verwendung biologisch abbaubarer Hydraulikflüssigkeiten

- **Optimaler Einsatzbereich**
 - Dieses Arbeitsverfahren ist in einem breiten Spektrum einsetzbar, am besten geeignet sind Bestände in ebenen Lagen. Die Begrenzung des Einsatzbereiches durch BHD und Aststärke bestimmt die Leistungsklasse des Harvesters.

Literatur

MORAT, J., FORBRIG, A., GRAUPNER, J., (1998): Holzernteverfahren – Vergleichende Erhebung und Beurteilung der Holzernteverfahren in der Bundesrepublik Deutschland. KWF-Bericht 25/1998

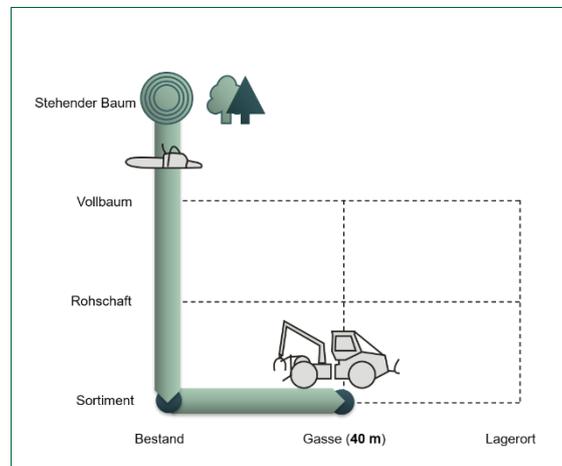
1.4.5 SÜDLICHER STEIGERWALD

Motormanueller Holzeinschlag, Vorrücken mit Kranrückeschlepper

Ziel der Maßnahme

Mit der Motorsäge werden die Bäume gefällt, Das anschließende Rücken erfolgt gelöst vom Aufarbeiten, wobei die Bestandespflughlichkeit von der sauberen Schlagordnung und den ausgehaltenen Sortimenten abhängt.

Der Kranrückeschlepper rückt das Holz bis zur Rückegasse vor.



Einsatzbedingungen

Baumarten- gruppe	BHD ausscheidender Bestand	Gelände- neigung	Störender Bewuchs	Gassen- abstände	Mittlere Rücke- entfernung
Laubholz	≤ 20 cm m. R.	≤ 35 %	0 - 25 %	≤ 20 m	≤ 300 m
Fichte	20 – 35 cm m. R.	36 – 50 %	26 – 50 %	> 20 m	> 300 m
Kiefer	36 – 50 cm m. R.	> 50 %	50 – 75 %		
	≥ 50 cm m. R.		76 – 100 %		

Betriebsmittel

- Motorsäge (Fällheber), Werkzeuggurt (Maßband, Keile), Axt zum Keilen, persönliche Schutzausrüstung
- Kranrückeschlepper

Arbeitskräfte

- Qualifizierte Forstwirte mit durchschnittlichem Übungsgrad (2-Mann-Team), Motorsägenzertifikat vergleichbar ECC 3
- Qualifizierte Maschinenführer mit durchschnittlichem Übungsgrad

Arbeitsvorbereitung

- Deutliche Markierung der Entnahmebäume (evtl. wertvoller Zuwachsträger)

Verfahrensablauf

- Baum aufsuchen, Baumansprache (Beurteilung des zu fällenden Baumes und der möglichen Gefahren), Freiräumen der Rückweiche/des Arbeitsplatzes-Bestimmung der Fällrichtung-Ggfls. Beischneiden der Wurzelanläufe, Anlage des Fallkerbs-Überprüfung der Fällrichtung, Sicherheitskontrolle-Fällschnitt (evtl. mit Keilen), Entasten, Sortimentieren
- Vorrücken des Holzes durch Kranrückeschlepper bis zur Rückegasse
- Ablage der Sortimente an der Rückegasse

Beurteilung des Verfahrens

▪ **Waldschutz**

- Bestandsschäden durch Fällvorgang und Vorrücken möglich

▪ **Arbeitsschutz**

- Das motormanuelle Fällen ist wegen der Motorsägenarbeit und der Witterungseinflüsse physisch belastend.
- Die Maschinenführer verrichten ihre Arbeit in einer klimatisierten, lärm- und vibrationsarmen Kabine mit luftgefedertem Fahrersitz und ergonomisch ausgelegten Bedienungselementen. Dieser Arbeitsplatz ist weitgehend witterungsunabhängig. Leistungsfähige Arbeitsbeleuchtung ermöglicht den Einsatz unabhängig vom Tageslichtangebot.
- Erhöhte psycho-mentale Belastung durch Ein-Mann-Arbeit beim Rücken.

▪ **Umweltverträglichkeit**

- Da der Kranrückeschlepper ausschließlich auf der Rückegasse arbeitet, werden Bodenschäden reduziert.
- Umweltverträglich bei Verwendung biologisch abbaubarer Hydraulikflüssigkeiten

▪ **Optimaler Einsatzbereich**

- Dieses Arbeitsverfahren ist in einem breiten Spektrum einsetzbar.

Literatur

MORAT, J., FORBRIG, A., GRAUPNER, J., (1998): Holzernteverfahren – Vergleichende Erhebung und Beurteilung der Holzernteverfahren in der Bundesrepublik Deutschland. KWF-Bericht 25/1998
 KWF Holzernteverfahren und –systeme: Auswahl - Vergleichende Erhebung - Beurteilung. 2017.
www.kwf-online.de

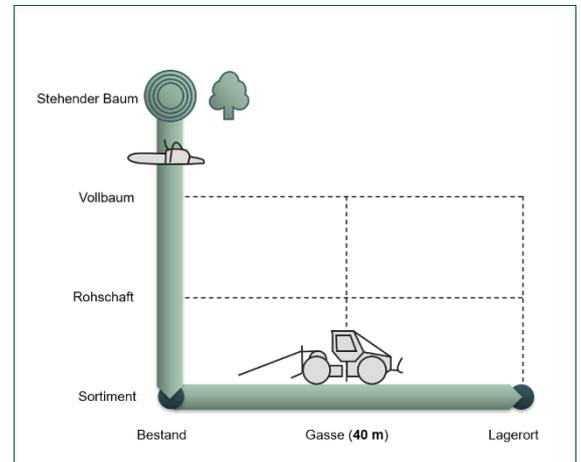
1.4.6. RHÖN

Motormanueller Holzeinschlag, Rücken mit Seilschlepper

Ziel der Maßnahme

Mit der Motorsäge werden die Bäume gefällt, Das anschließende Rücken erfolgt gelöst vom Aufarbeiten, wobei die Bestandespfleglichkeit von der sauberen Schlagordnung und den ausgehaltenen Sortimenten abhängt.

Der Seilschlepper rückt das Holz.



Einsatzbedingungen

Baumarten- gruppe	BHD ausscheidender Bestand	Gelände- neigung	Störender Bewuchs	Gassen- abstände	Mittlere Rückentfernung
Laubholz	≤ 20 cm m. R.	≤ 35 %	0 - 25 %	≤ 20 m	≤ 300 m
Fichte	20 – 35 cm m. R.	36 – 50 %	26 – 50 %	> 20 m	> 300 m
Kiefer	36 – 50 cm m. R.	> 50 %	50 – 75 %		
	≥ 50 cm m. R.		76 – 100 %		

Betriebsmittel

- Motorsäge (Fällheber), Werkzeuggurt (Maßband, Keile), Axt zum Keilen, persönliche Schutzausrüstung
- Seilschlepper

Arbeitskräfte

- Qualifizierter Forstwirt mit durchschnittlichem Übungsgrad (2-Mann-Team), Motorsägenzertifikat vergleichbar ECC 3
- Qualifizierte Maschinenführer mit durchschnittlichem Übungsgrad

Arbeitsvorbereitung

- Deutliche Markierung der Entnahmebäume (evtl. wertvoller Zuwachsträger)

Verfahrensablauf

- Baum aufsuchen, Baumansprache (Beurteilung des zu fällenden Baumes und der möglichen Gefahren), Freiräumen der Rückweiche/des Arbeitsplatzes-Bestimmung der Fällrichtung-Ggf. Beischneiden der Wurzelanläufe, Anlage des Fallkerbs-Überprüfung der Fällrichtung, Sicherheitskontrolle-Fällschnitt (evtl. mit Keilen), Entasten, Sortimentieren
- Rücken des Holzes durch den Seilschlepper.

Beurteilung des Verfahrens

- **Waldschutz**
 - Bestandesschäden durch Fällvorgang und Vorrücken möglich
- **Arbeitsschutz**
 - Das motormanuelle Fällen ist wegen der Motorsägearbeit und der Witterungseinflüsse physisch belastend.
 - Die Maschinenführer verrichten ihre Arbeit in einer klimatisierten, lärm- und vibrationsarmen Kabine mit luftgefedertem Fahrersitz und ergonomisch ausgelegten Bedienungselementen. Dieser Arbeitsplatz ist weitgehend witterungsunabhängig. Leistungsfähige Arbeitsbeleuchtung ermöglicht den Einsatz unabhängig vom Tageslichtangebot.
 - Erhöhte psycho-mentale Belastung durch Ein-Mann-Arbeit beim Rücken.
- **Umweltverträglichkeit**
 - Da der Seilschlepper ausschließlich auf der Rückegasse arbeitet, werden Bodenschäden reduziert.
 - Umweltverträglich bei Verwendung biologisch abbaubarer Hydraulikflüssigkeiten
- **Optimaler Einsatzbereich**
 - Dieses Arbeitsverfahren ist in einem breiten Spektrum einsetzbar.

Literatur

MORAT, J., FORBRIG, A., GRAUPNER, J., (1998): Holzernteverfahren – Vergleichende Erhebung und Beurteilung der Holzernteverfahren in der Bundesrepublik Deutschland. KWF-Bericht 25/1998
KWF Holzernteverfahren und –systeme: Auswahl - Vergleichende Erhebung - Beurteilung. 2017.
www.kwf-online.de

1.4.7. NÖRDLICHER STEIGERWALD

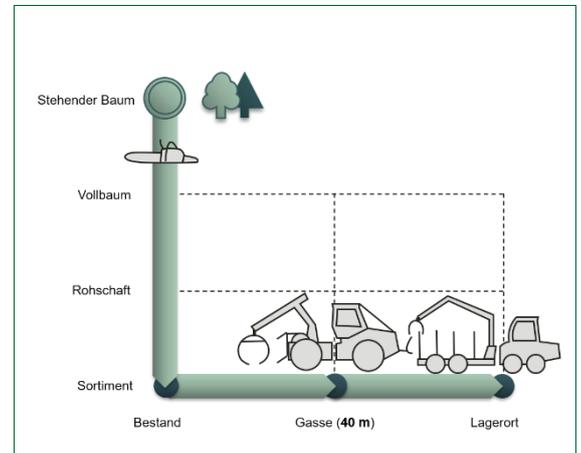
Motormanueller Holzeinschlag, Vorrücken mit Zangenschlepper, Rücken mit Forwarder

Ziel der Maßnahme

Mit der Motorsäge werden die Bäume gefällt, Das anschließende Rücken erfolgt gelöst vom Aufarbeiten, wobei die Bestandesspfléglichkeit von der sauberen Schlagordnung und den ausgehaltenen Sortimenten abhängt.

Der Zangenschlepper rückt das Holz bis zur Rückegasse vor.

Der Forwarder rückt das Holz schließlich von den Raubeugen an der Rückegasse bis zum Lagerort an der Waldstraße.



Einsatzbedingungen

Baumarten- gruppe	BHD ausscheidender Bestand	Gelände- neigung	Störender Be- wuchs	Gassen-ab- stände	Mittlere Rückentfernung
Laubholz	≤ 20 cm m. R.	≤ 35 %	0 - 25 %	≤ 20 m	≤ 300 m
Fichte	20 – 35 cm m. R.	36 – 50 %	26 – 50 %	> 20 m	> 300 m
Kiefer	36 – 50 cm m. R.	> 50 %	50 – 75 %		
	≥ 50 cm m. R.		76 – 100 %		

Betriebsmittel

- Motorsäge (Fällheber), Werkzeuggurt (Maßband, Keile), Axt zum Keilen, persönliche Schutzausrüstung
- Zangenschlepper
- Forwarder

Arbeitskräfte

- Qualifizierter Forstwirt mit durchschnittlichem Übungsgrad (2-Mann-Team), Motorsägenzertifikat vergleichbar ECC 3
- Qualifizierte Maschinenführer mit durchschnittlichem Übungsgrad

Arbeitsvorbereitung

- Deutliche Markierung der Entnahmebäume (evtl. wertvoller Zuwachsträger)
- In Raubeugen abgelegte Sortimente an der Rückegasse
- Ausweisen geeigneter Holzlagerplätze an der Waldstraße

Verfahrensablauf

- Baum aufsuchen, Baumansprache (Beurteilung des zu fällenden Baumes und der möglichen Gefahren), Freiräumen der Rückweiche/des Arbeitsplatzes-Bestimmung der Fällrichtung-

- Ggfls. Beischneiden der Wurzelanläufe, Anlage des Fallkerbs-Überprüfung der Fällrichtung, Sicherheitskontrolle-Fällschnitt (evtl. mit Keilen), Entasten, Sortimentieren
- Vorrücken des Holzes durch Zangenschlepper bis zur Rückegasse
 - Ablage der Sortimente an der Rückegasse
 - Sortimentsweises Rücken des an der Rückegasse abgelegten Holzes

Beurteilung des Verfahrens

▪ **Waldschutz**

- Bestandsschäden durch Fällvorgang und Vorrücken möglich

▪ **Arbeitsschutz**

- Das motormanuelle Fällen ist wegen der Motorsägenarbeit und der Witterungseinflüsse physisch belastend.
- Die Maschinenführer verrichten ihre Arbeit in einer klimatisierten, lärm- und vibrationsarmen Kabine mit luftgefedertem Fahrersitz und ergonomisch ausgelegten Bedienungselementen. Dieser Arbeitsplatz ist weitgehend witterungsunabhängig. Leistungsfähige Arbeitsbeleuchtung ermöglicht den Einsatz unabhängig vom Tageslichtangebot.
- Erhöhte psycho-mentale Belastung durch Ein-Mann-Arbeit beim Rücken.

▪ **Umweltverträglichkeit**

- Da der sowohl der Zangenseilschlepper als auch der Forwarder ausschließlich auf der Rückegasse arbeitet, werden Bodenschäden reduziert.
- Umweltverträglich bei Verwendung biologisch abbaubarer Hydraulikflüssigkeiten

▪ **Optimaler Einsatzbereich**

- Dieses Arbeitsverfahren ist in einem breiten Spektrum einsetzbar.

Literatur

MORAT, J., FORBRIG, A., GRAUPNER, J., (1998): Holzernteverfahren – Vergleichende Erhebung und Beurteilung der Holzernteverfahren in der Bundesrepublik Deutschland. KWF-Bericht 25/1998
KWF Holzernteverfahren und –systeme: Auswahl - Vergleichende Erhebung - Beurteilung. 2017.
www.kwf-online.de

1.4.8. ALTMÜHLTAL

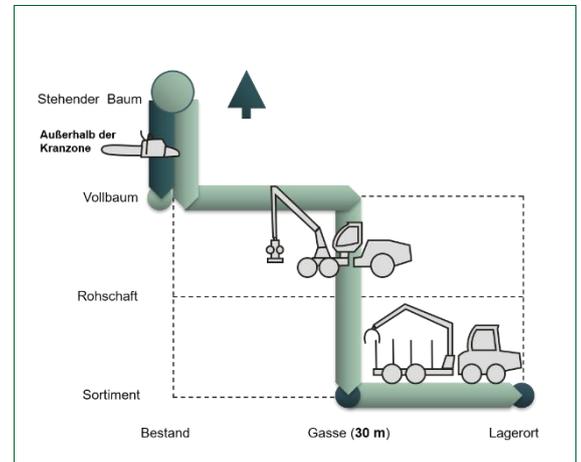
Motormanuelles Zufällen, Harvestereinsatz, Rücken mit Forwarder

Ziel der Maßnahme

Der Rückegassenabstand von mehr als 20 m verhindert eine vollständige maschinelle Bearbeitung des Bestandes, wenn die Fläche nicht zusätzlich befahren werden soll. Es verbleibt ein Zwischenbereich, der mit dem Harvesterausleger nicht erreichbar ist. Um den Harvestereinsatz optimal zu gestalten, wird die Möglichkeit des motormanuellen Zufällens genutzt.

Der Holzeinschlag erfolgt mit Harvestern, die mehrere Arbeitsablaufabschnitte (Fällen, Entasten, Einschneiden, Vorrücken) verrichten. Fällen und Einschneiden erfolgen grundsätzlich von der Rückegasse aus.

Der Forwarder rückt das Holz schließlich von den Raubeugen an der Rückegasse bis zum Lagerort an der Waldstraße.



Einsatzbedingungen

Baumarten- gruppe	BHD ausscheidender Bestand	Gelände- neigung	Störender Be- wuchs	Gassen-ab- stände	Mittlere Rückeeentfernung
Laubholz	≤ 20 cm m. R.	≤ 35 %	0 - 25 %	≤ 20 m	≤ 300 m
Fichte	20 – 35 cm m. R.	36 – 50 %	26 – 50 %	> 20 m	> 300 m
Kiefer	36 – 50 cm m. R.	> 50 %	50 – 75 %		
	≥ 50 cm m. R.		76 – 100 %		

Betriebsmittel

- Motorsäge (Fällheber), Werkzeuggurt (Maßband, Keile), Axt zum Keilen, persönliche SchutzausrüstungArbeitskräfte
- Harvester, für den entsprechenden Durchmesserbereich und die entsprechende Geländeneigung geeignet
- Forwarder

Arbeitskräfte

- Qualifizierter Forstwirt mit durchschnittlichem Übungsgrad (2-Mann-Team), Motorsägenzertifikat vergleichbar ECC 3
- Qualifizierte Maschinenführer mit durchschnittlichem Übungsgrad

Arbeitsvorbereitung

- Deutliche Markierung der Entnahmebäume (evtl. wertvoller Zuwachsträger)
- In Raubeugen abgelegte Sortimente an der Rückegasse
- Ausweisen geeigneter Holzlagerplätze an der Waldstraße

Verfahrensablauf

- Motormanuelles Zufällen von Bäumen, die vom Harvester nicht erreicht oder nicht schonend gefällt werden können. (Entastung und Aufarbeitung der Bäume durch Harvester). Außerhalb der Reichweite des Kranvollernters werden alle ausgezeichneten Bäume möglichst senkrecht zur Rückegasse in die Auslegerreichweite des Kranvollernters zugefällt. Die Bäume werden nicht gezopft.
- Aufarbeiten der zugefällten Bäume durch Harvester
- Fällen, Entasten und Aufarbeiten der ausgezeichneten stehenden Bäume durch Harvester
- Ablage der Sortimente an der Rückegasse
- Reisigarmierung der Rückegasse
- Sortimentsweises Rücken des an der Rückegasse abgelegten Holzes
- Poltern an zugewiesenen Holzlagerplätzen

Beurteilung des Verfahrens

▪ Waldschutz

- Erhöhte Bestandsschäden durch Vollbaummanipulation bei Harvesteraufarbeitung möglich
- Einsatz des Harvesters wird durch Stärke des Holzes beschränkt
- Geringe Forstschutzrisiken durch Harvesteraufarbeitung
- Reisigarmierung auf der Gasse

▪ Arbeitsschutz

- Das motormanuelle Zufällen ist wegen der Motorsägenarbeit und der Witterungseinflüsse physisch belastend
- Die Maschinenführer verrichten ihre Arbeit in einer klimatisierten, lärm- und vibrationsarmen Kabine mit luftgefedertem Fahrersitz und ergonomisch ausgelegten Bedienungselementen. Dieser Arbeitsplatz ist weitgehend witterungsunabhängig. Leistungsfähige Arbeitsbeleuchtung ermöglicht den Einsatz unabhängig vom Tageslichtangebot.

▪ Umweltverträglichkeit

- Da sowohl Kranvollernter als auch Forwarder ausschließlich auf der Rückegasse arbeiten, werden Bodenschäden reduziert und die technische Befahrbarkeit der Rückegasse durch die beim Entasten vor der Maschine entstehende Reisigmatte erhöht.
- Umweltverträglich bei Verwendung biologisch abbaubarer Hydraulikflüssigkeiten

▪ Optimaler Einsatzbereich

- Dieses Arbeitsverfahren ist in einem breiten Spektrum einsetzbar, am besten geeignet sind Bestände in ebenen Lagen. Die Begrenzung des Einsatzbereiches durch BHD und Aststärke bestimmt die Leistungsklasse des Harvesters.

Literatur

MORAT, J., FORBRIG, A., GRAUPNER, J., (1998): Holzernteverfahren – Vergleichende Erhebung und Beurteilung der Holzernteverfahren in der Bundesrepublik Deutschland. KWF-Bericht 25/1998

1.4.9. NÖRDLICHE SCHWÄBISCHE ALB

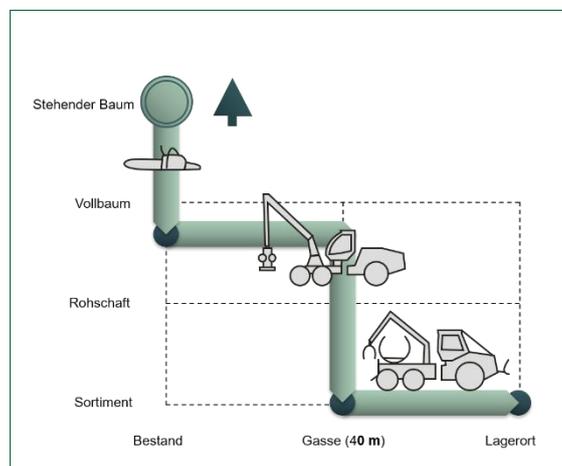
Motormanuelles Fällen, Harvestereinsatz, Rücken mit Kombinationsschlepper (Königsbronner Starkholzverfahren)

Ziel der Maßnahme

Das Fällen erfolgt manuell. Der Baum wird oberseits tlw. entastet und für den Harvestereinsatz vorbereitet.

Die Aufarbeitung erfolgt mit dem Harvester, der mehrere Arbeitsablaufabschnitte (Entasten, Einschneiden, Vorrücken) verrichtet. Der Harvestereinsatz erfolgt grundsätzlich von der Rückegasse aus.

Der Kombinationsschlepper rückt das Holz schließlich von den Raubeugen an der Rückegasse bis zum Lagerort an der Waldstraße.



Einsatzbedingungen

Baumarten- gruppe	BHD ausscheidender Bestand	Gelände- neigung	Störender Bewuchs	Gassen- abstände	Mittlere Rückentfernung
Laubholz	≤ 20 cm m. R.	≤ 35 %	0 - 25 %	≤ 20 m	≤ 300 m
Fichte	20 – 35 cm m. R.	36 – 50 %	26 – 50 %	> 20 m	> 300 m
Kiefer	36 – 50 cm m. R.	> 50 %	50 – 75 %		
	≥ 50 cm m. R.		76 – 100 %		

Betriebsmittel

- Motorsäge (Fällheber), Werkzeuggurt (Maßband, Keile), Axt zum Keilen, persönliche Schutzausrüstung
- Harvester, für den entsprechenden Durchmesserbereich und die entsprechende Geländeneigung geeignet
- Kombinationsrückeschlepper

Arbeitskräfte

- Qualifizierter Forstwirt mit durchschnittlichem Übungsgrad (2-Mann-Team), Motorsägenzertifikat vergleichbar ECC 3
- Qualifizierter Maschinenführer mit durchschnittlichem Übungsgrad

Arbeitsvorbereitung

- Deutliche Markierung der Entnahmebäume (evtl. wertvoller Zuwachsträger)
- In Raubeugen abgelegte Sortimente an der Rückegasse
- Ausweisen geeigneter Holzlagerplätze an der Waldstraße

Verfahrensablauf

- Motormanuell:

- Zielgerichtetes Fällen in Schlaglinien (2-3 Bäume) entgegen der Rückrichtung
- Hauptstamm oberseits entasten und vermessen
- Krone abtrennen und zur Aufnahme durch Harvesteraggregat ca. 3 Meter entasten
- außerhalb der Kranzone verbleibt „Kilbe“ am Stamm
- Aufarbeitung der Bäume durch Harvester
 - Entasten, Vermessen und Sortieren der Kronen
 - Pflégliches Vorliefern und Vorkonzentrieren der Hauptstämme aus der Naturverjüngung
 - Abtrennen der „Kilbe“ vom Hauptstamm (sofern vorhanden)
- Ablage der Sortimente an der Rückegasse
- Reisigarmierung der Rückegasse
- Sortimentsweises Rücken des an der Rückegasse abgelegten Holzes
- Poltern an zugewiesenen Holzlagerplätzen

Beurteilung des Verfahrens

▪ Waldschutz

- Durch das Fällen in Schlaglinien besserer Schutz der Naturverjüngung
- Erhöhte Bestandsschäden durch Manipulation der vorbereiteten Stämme bei Harvesteraufarbeitung möglich
- Einsatz des Harvesters wird durch Stärke des Holzes beschränkt
- Geringe Forstschuttrisiken durch Harvesteraufarbeitung
- Reisigarmierung auf der Gasse

▪ Arbeitsschutz

- Das motormanuelle Fällen ist wegen der Motorsägearbeit und der Witterungseinflüsse physisch belastend
- Der Maschinenführer verrichtet seine Arbeit in einer klimatisierten, lärm- und vibrationsarmen Kabine mit luftgefedertem Fahrersitz und ergonomisch ausgelegten Bedienungselementen. Dieser Arbeitsplatz ist weitgehend witterungsunabhängig. Leistungsfähige Arbeitsbeleuchtung ermöglicht den Einsatz unabhängig vom Tageslichtangebot.
- Erhöhte psycho-mentale Belastung durch Ein-Mann-Arbeit.
- Wenig unfallträchtige und ergonomisch unvorteilhafte motormanuelle Aufarbeitung in der Krone
- „gelöstes Verfahren“ - keine Arbeiten im Gefahrenbereich des Harvesters

▪ Umweltverträglichkeit

- Da sowohl Kranvollernter als auch Kombinationsrückeschlepper ausschließlich auf der Rückegasse arbeiten, werden Bodenschäden reduziert und die technische Befahrbarkeit der Rückegasse durch die beim Entasten vor der Maschine entstehende Reisigmatte erhöht.
- Umweltverträglich bei Verwendung biologisch abbaubarer Hydraulikflüssigkeiten

▪ Optimaler Einsatzbereich

- Dieses Arbeitsverfahren ist besonders für die Starkholzernte geeignet, ab besten in Beständen in ebenen Lagen. Die Begrenzung des Einsatzbereiches durch BHD und Aststärke bestimmt die Leistungsklasse des Harvesters.

Literatur

KIESER, W., KAUFMANN, F. (2016): KÖNIGSBRONNER STARKHOLZVERFAHREN. SICHER – PFLEGICH – EFFIZIENT. FORSTLICHES BILDUNGSZENTRUM KÖNIGSBRONN. ITZELBERG.

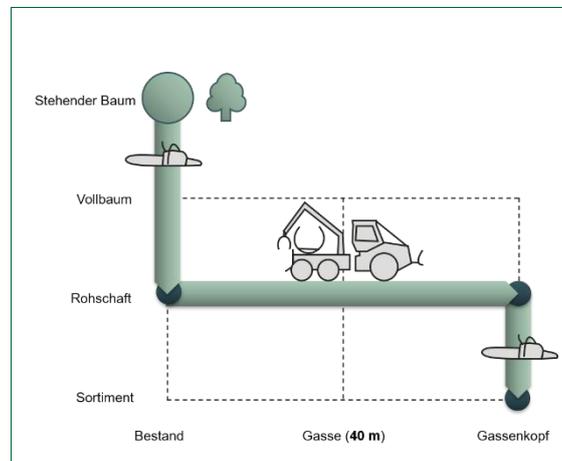
1.4.10.SÜDLICHE SCHWÄBISCHE ALB

Motormanueller Holzeinschlag, Rückung mit Kombinationsschlepper

Ziel der Maßnahme

Mit der Motorsäge werden die Bäume gefällt und aufgearbeitet. Das anschließende Rücken erfolgt gelöst vom Aufarbeiten, wobei die Bestandespfleglichkeit von der sauberen Schlagordnung abhängt.

Der Kombinationsschlepper rückt das Holz bis an den Gassenkopf. Dort wird es motormanuell sortimentiert.



Einsatzbedingungen

Baumarten- gruppe	BHD ausscheidender Bestand	Gelände- neigung	Störender Bewuchs	Gassen- abstände	Mittlere Rückentfernung
Laubholz	≤ 20 cm m. R.	≤ 35 %	0 - 25 %	≤ 20 m	≤ 300 m
Fichte	20 – 35 cm m. R.	36 – 50 %	26 – 50 %	> 20 m	> 300 m
Kiefer	36 – 50 cm m. R.	> 50 %	50 – 75 %		
	≥ 50 cm m. R.		76 – 100 %		

Betriebsmittel

- Motorsäge (Fällheber), Werkzeuggurt (Maßband, Keile), Axt zum Keilen, persönliche Schutzausrüstung
- Kombinationsschlepper

Arbeitskräfte

- Qualifizierter Forstwirt mit durchschnittlichem Übungsgrad (2-Mann-Team), Motorsägenzertifikat vergleichbar ECC 3
- Qualifizierter Maschinenführer mit durchschnittlichem Übungsgrad

Arbeitsvorbereitung

- Deutliche Markierung der Entnahmebäume (evtl. wertvoller Zuwachsträger)

Verfahrensablauf

- Baum aufsuchen, Baumansprache (Beurteilung des zu fällenden Baumes und der möglichen Gefahren), Freiräumen der Rückweiche/des Arbeitsplatzes-Bestimmung der Fällrichtung-Ggfls. Beischneiden der Wurzelanläufe, Anlage des Fallkerbs-Überprüfung der Fällrichtung, Sicherheitskontrolle-Fällschnitt (evtl. mit Keilen), Entasten
- Rücken der Rohschäfte bis zum Gassenkopf
- Sortimentierung des Holzes am Gassenkopf

Beurteilung des Verfahrens

▪ **Waldschutz**

- Bestandesschäden durch Fällvorgang und Vorrücken möglich

▪ **Arbeitsschutz**

- Das motormanuelle Fällen ist wegen der Motorsägenarbeit und der Witterungseinflüsse physisch belastend.
- Der Maschinenführer verrichtet seine Arbeit in einer klimatisierten, lärm- und vibrationsarmen Kabine mit luftgefedertem Fahrersitz und ergonomisch ausgelegten Bedienungselementen. Dieser Arbeitsplatz ist weitgehend witterungsunabhängig. Leistungsfähige Arbeitsbeleuchtung ermöglicht den Einsatz unabhängig vom Tageslichtangebot.
- Erhöhte psycho-mentale Belastung durch Ein-Mann-Arbeit beim Rücken.

▪ **Umweltverträglichkeit**

- Da der Kombinationsschlepper auf der Rückegasse arbeitet, werden Bodenschäden reduziert.
- Umweltverträglich bei Verwendung biologisch abbaubarer Hydraulikflüssigkeiten

▪ **Optimaler Einsatzbereich**

- Dieses Arbeitsverfahren ist geeignet für den Einschlag in Beständen mit starker Naturverjüngung.

Literatur

Teilfläche 2	Ø 7,5 m max. 10 m	Abstand Baum zur Rückegasse verlängert GAZ Harvester								
Südlicher Steigerwald	40 m Ø 7,7 m max. 25 m	je weiter der Abstand zum Baum, desto länger AAA "Rückweichen"	vorh.	Verkürzung der GAZ der Holzernnte und des AAA "Aufarbeiten" durch Gefahrenbäume	/	/	vorh.	sichtbehindernde Naturverjüngung, Verkürzung AAA "Rückweichen"	vorh.	nicht bekannt
Rhön	40 m Ø 9 m max. 22 m	je weiter der Abstand zum Baum, desto länger AAA "Rüsten"	vorh.	Verkürzung der GAZ und des AAA "Aufarbeiten"	vorh.	keine signifikanten Auswirkungen	vorh.	sichtbehindernde Naturverjüngung, Verlängerung der GAZ der FW und der AAA "Freiräumen" und "Aufarbeiten"	vorh.	behindert Gehen der FW je mehr Bewuchs am Boden, desto kürzer AAA "Rückweichen" (Vermutung: Vermeidung wg. schlechter Begehbarkeit)
Nördlicher Steigerwald	40 m Ø 12 m max. 32 m	je weiter der Abstand zum Baum, desto länger GAZ der FW	vorh.	keine signifikanten Auswirkungen	vorh.	keine signifikanten Auswirkungen	vorh.	keine signifikanten Auswirkungen	vorh.	Verkürzung AAA "Freiräumen"
Altmühltal	30 m Ø 11,6 m max. 29 m	je weiter der Abstand zum Baum, desto kürzer dauert AAA „Fällung“ durch Harvester	vorh.	Verlängerung AAA "Freiräumen"	vorh.	Verlängert GAZ FW und AAA "Zufällen" und "Rückweiche", verkürzt GAZ Harvester	vorh.	sichtbehindernde Naturverjüngung, Verlängerung AAA "Freiräumen"	vorh.	je mehr Bewuchs, desto kürzer AAA "Freiräumen" (Vermutung: Starker Bewuchs verhindert Verjüngung, die freigeräumt werden muss)
Nördliche Schwäbische Alb	40 m Ø 6 m max. 10 m	je weiter Abstand zum Baum, desto länger AAA "Freiräumen" und "Aufarbeiten"	vorh.	keine signifikanten Auswirkungen	vorh.	keine signifikanten Auswirkungen	vorh.	sichtbehindernde Naturverjüngung, Verlängerung der GAZ der FW und AAA "Freiräumen" und "Aufarbeiten"	vorh.	je mehr Bewuchs vorhanden, desto kürzer GAZ der FW und AAA "Freiräumen"
Südliche Schwäbische Alb	40 m Ø 12,3 m max. 22,2 m	nicht bekannt	vorh.	nicht markierte Bäume verlängern AAA "Freiräumen"	vorh.	keine signifikanten Auswirkungen	vorh.	keine signifikanten Auswirkungen	vorh.	nicht bekannt

Abkürzungen: RG = Rückegasse; vorh. = vorhanden; / = nicht vorhanden und keine Auswirkung; FW = Forstwirinnen und Forstwirte; AAA = Arbeitsablaufabschnitt, GAZ = Gesamtarbeitszeit

4. Erkenntnisse von Dritten und eigene Veröffentlichungen

4.1 Poster zu FORMEC

BestHarvest - Best Practice Harvesting Procedures to Meet Nature Protection Requirements in Germany

Ute Seeling, Hans-Ulrich Dietz, Marius Kopetzky

Kuratorium fuer Waldarbeit und Forsttechnik e.V. (KWF)

Introduction

Forests in Germany are increasingly characterised by

- higher proportions of hardwood
- increased stem diameters
- higher deadwood volumes
- mosaic-like arranged and overlapping protection status with different kinds of requirements and restrictions

Objectives

The objective is to find and define universal structural peculiarities of protected forest areas in Germany. For these areas best practice harvesting procedures will be developed, tested, evaluated and compared. Comparison will concern economical, ecological and ergonomic criteria to allow forest managers a fully knowledge-based choice of harvesting procedure for certain protected forest areas.

Method

- Research existing forest protection status and scan for effects on forest structure
- Interview practitioners to compile harvesting procedures for protected forest areas
- Discuss and improve gathered harvesting procedures with an experts committee
- Do time studies of chosen harvesting procedures to collect data on economical, ecological and ergonomic aspects
- Benchmark harvesting procedures for easy comparison in day-to-day decision making

Results - Preliminary

Forest structure in protected areas is often determined by scattered natural regeneration, wood debris, habitat trees and extended distances between skid trails (40 metres). Therefore mainly standard harvesting machinery (harvester and forwarder) and procedures are used in protected forest areas. But with an increased ratio of motor manual felling and support of small machinery (see Figure 1) to pull stems to the next skid trail.



Figure 1: Mini forestry crawler supporting a harvest in Germany

Conclusion - Preliminary

Scattered natural regeneration, coarse wood debris, habitat trees and extended distances between skid trails are often found forest structures in protected areas. They are mainly handled with standard harvesting procedures supported by motor manual felling and small machinery. This leads to higher risks of injury and to changes in costs, output, effect on the environment and personnel. Effects on economical, ecological and ergonomic aspects of standard harvesting procedures have yet to be examined in time studies.



Gefördert durch:
 Bundesministerium
 für Ernährung
 und Landwirtschaft.
 aufgrund eines Beschlusses
 des Deutschen Bundestages

4.2 Eingangstafel für den Exkursionspunkt zur 18. KWF-Tagung

Forstwirtschaft erleben

3.2.1 Klimawandel- und naturschutzbedingte Herausforderungen bei der Holzernte – BestHarvest



Partner im Vorhaben BestHarvest:






Exkursionspunkt mit brandweidlicher Unterstützung durch:

Beurteilung:

PEFC

FSC

Naturschutzfachliche Anforderungen

- Die Verteilung und Überlappung von Schutzgebietskategorien in Baden-Württemberg, Bayern und Thüringen werden vorgestellt.

Sichtbehinderung

- Zur Auswahl stehen mehrere Systeme, sowohl Helmfunksysteme als auch Warnkleidung, die das Arbeiten bei Sichtbehinderung einfacher und sicherer gestalten sollen.

Gefahrbaumfällung

- Es werden zwei Verfahren zur Gefahrbaumfällung vorgestellt und vorgeführt. Die Calmbacher Tabelle zur seilunterstützten Fällung, hier mit einer Vorrückeraupe, und ein ferngesteuerter Fällkeil.

Forschungsvorhaben gefördert durch:








www.kwf-online.de

