



Universität für Bodenkultur Wien
University of Natural Resources
and Life Sciences, Vienna

Masterarbeit

Produktivitätsanalyse bei der Forwarder-Rückung am Steilhang mit T-WINCH 10.2 Unterstützung

verfasst von

Michael Seiwald, BSc

im Rahmen des Masterstudiums
Forstwissenschaften

zur Erlangung des akademischen Grades
Diplom-Ingenieur

Wien, Juli 2021

Betreut von:

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Karl Stampfer
Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Thomas Holzfeind
Department für Wald und Bodenwissenschaften

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und alle aus ungedruckten Quellen, gedruckter Literatur oder aus dem Internet im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt übernommenen Formulierungen und Konzepte gemäß den Richtlinien wissenschaftlicher Arbeiten zitiert, durch Fußnoten gekennzeichnet bzw. mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

Wien, 18.07.2021
Ort, Datum

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
1.1	Problemstellung.....	1
1.2	Zielsetzung	2
2	STAND DER TECHNIK / LITERATURRECHERCHE.....	3
2.1	Bodenstrukturveränderung	3
2.1.1	Typen von Bodenverformungen	3
2.1.2	Auswirkungen von Bodenstrukturveränderungen	3
2.1.3	Maßnahmen zur Verringerung von Bodenschäden.....	4
2.2	Anbieter von funkferngesteuerten Traktionshilfsseilwinden.....	6
2.2.1	T-MAR LOG CHAMP 250 TRACTION WINCH	6
2.2.2	WELTE W60.....	6
2.2.3	Dreipunktanbauwinde von Haas.....	6
2.2.4	EMS Tractionline	7
2.2.5	Herzog MW 500 Synchronwinch.....	7
2.2.6	ROB (remote Operated Bulldozer).....	8
3	MATERIAL UND METHODEN	9
3.1	Produktivitätsmodell Forwarder / T-WINCH 10.2	9
3.2	Standorts- und Bestandesbeschreibung.....	10
3.3	ARBEITSWEISE	11
3.4	Maschinenbeschreibung.....	14
3.4.1	T-WINCH 10.2.....	14
3.4.2	Komatsu 875	15
3.5	Datenerhebung- Zeitstudie.....	16
3.6	Datenerhebung- Maschinendaten.....	19
3.7	Datenauswertung	19
4	ERGEBNISSE	20
4.1	Deskriptive Statistik	20
4.1.1	Deskriptive Statistik ohne T-WINCH 10.2	20
	Deskriptive Statistik mit T-WINCH 10.2	21
4.1.2	Deskriptive Statistik Gesamt	23
4.2	Prozessanalyse T-WINCH 10.2	25
4.3	Produktivitätsmodell	25
4.3.1	Effizienz Fahren.....	25
4.3.2	Effizienz Laden	26

4.3.3	Effizienz Entladen.....	27
4.3.4	Gesamtproduktivität.....	28
4.4	Auswertung der Maschinendaten hinsichtlich ihrer Anteile von Motorbetrieb, Traktionsbetrieb und Fahrbetrieb.....	30
4.5	Maschinenkostenkalkulation.....	30
4.5.1	Kosten T-WINCH 10.2.....	31
4.5.2	Kosten für das Seil der T-WINCH 10.2.....	31
4.5.3	Kosten Forwarder Komatsu 875	31
4.5.4	Kosten Maschinist.....	32
4.5.5	Gesamtkosten	32
5	DISKUSSION	33
5.1	Systemvergleich mit Forwardern mit integrierten Traktionshilfsseilwinden	33
5.2	Einsatzempfehlungen	33
6	ZUSAMMENFASSUNG.....	35
7	LITERATURVERZEICHNIS	36
7.1	Abbildungsverzeichnis	39
7.2	Tabellenverzeichnis	40
7.3	Formelverzeichnis.....	41
8	ANHANG	42
8.1	Produktivitätsmodell	42
8.1.1	Teilmodell Fahren	42
8.1.2	Teilmodell Laden.....	43
8.1.3	Teilmodell Entladen	43
8.2	Auswertung der Maschinendaten hinsichtlich ihrer Anteile von Motorbetrieb, Traktionsbetrieb und Fahrbetrieb.....	44
8.3	Formulare für die Erhebungen	44

ABSTRACT

Integrated winches are nowadays indispensable in the transition area to steep slopes. Fully mechanized timber harvesting is associated with lower costs and less stand and ground damage. Radio-controlled auxiliary traction winches are currently still a marginal phenomenon, but it is expected that they will provide better utilization compared to integrated winches and thus reduce costs in the long term.

The aim of this study was to investigate which parameters influence the productivity of forwarder recovery with a radio remote controlled auxiliary traction winch. How are the shares of traction operation and travel operation distributed in specific operations of the radio-controlled traction assist winch? What machines and operating costs are to be calculated for this winch technology? Finally, it should be clarified which concrete application recommendations for practical use can be derived from the available results.

The following parameters were investigated: Piece volume, slope, driving distance, extraction distance and the use of the T-WINCH 10.2. Furthermore, the engine data of the T-WINCH 10.2 was read out from five different forestry contractors in order to obtain the proportions of driving operation and traction operation of various operating areas over a longer period of time.

A total of 1159.8 min of recording time was included to determine productivity. The recordings included 46 trips. The average piece volume was 0.17 Efm, the average load volume was 10.65 Efm, and the average terrain slope was 29.57 %. The average driving distance was 169.48 m.

A total of 3344.5 operating hours were included in the evaluation of the shares of traction operation and driving operation. The shares of driving operation were between 15,99 and 22,34 %, and those of traction operation were between 59,68 and 68,72 %, depending on the contractor.

The main factors influencing the productivity analysis were the driving distance, extraction distance and the piece volume. Productivity was found to be 27.95 Efm/PSH₁₅. It was demonstrated that productivity decreases with increased driving distance and extraction distance. An overall increase in productivity was also demonstrated with increasing piece volume.

The cost calculation resulted in a total of €133.53/PSH₁₅ for the Komatsu 875, the T-WINCH 10.2, and labor costs, with € 40.76/PSH₁₅ attributable to the T-WINCH 10.2 and € 63.42/PSH₁₅ to the Komatsu 875. Labor costs contributed 29.35 €/PSH₁₅ to the total costs. This results in 4.78 €/per Efm.

Keywords: T-WINCH 10.2, Komatsu 875, productivity, forwarder, auxiliary traction winch, utilization rate

KURZFASSUNG

Integrierte Winden sind in der heutigen Zeit im Übergangsbereich zum Steilhang nicht mehr wegzudenken. Vollmechanisierte Holzernte ist mit geringeren Kosten sowie geringerer Bestandes- und Bodenverwundung verbunden. Funkferngesteuerte Traktionshilfsseilwinden sind derzeit noch eine Randerscheinung, man verspricht sich davon jedoch eine bessere Auslastung gegenüber integrierten Winden und somit langfristig eine Kostensenkung.

Es sollte untersucht werden, welche Parameter die Produktivität bei der Forwarderrückung mit einer funkferngesteuerten Traktionshilfsseilwinde beeinflussen. Wie verteilen sich die Anteile von Traktionsbetrieb und Fahrbetrieb bei konkreten Einsätzen der funkferngesteuerten Traktionshilfsseilwinde? Welche Maschinen und Einsatzkosten sind für diese Rücketechnologie zu kalkulieren? Abschließend sollte geklärt werden, welche konkreten Einsatzempfehlungen für die Praxis aus den vorliegenden Ergebnissen abgeleitet werden können.

Untersucht wurden die Parameter: Stückvolumen, Geländeneigung, Fahrdistanz, Ladedistanz und der Einsatz der T-WINCH 10.2. Weiteres wurden von fünf unterschiedlichen Forstunternehmern die Motordaten der T-WINCH 10.2 ausgelesen, um die Anteile von Fahrbetrieb und Traktionsbetrieb diverser Einsatzräume über einen längeren Zeitraum zu erhalten.

Insgesamt flossen 1159,8 min Aufnahmezeit für die Ermittlung der Produktivität mit ein. Die Aufnahmen umfassten 46 Fuhren. Das durchschnittliche Stückvolumen betrug 0,17 Efm, das durchschnittliche Fuhrevolumen 10,65 Efm, die mittlere Geländeneigung 29,57 %. Die mittlere Fahrdistanz betrug 169,48 m.

Es flossen 3344,5 Betriebsstunden in die Auswertung der Anteile von Traktionsbetrieb und Fahrbetrieb mit ein. Die Anteile des Fahrbetriebes betragen zwischen 24,95 und 35,59 %, jene des Traktionsbetriebes zwischen 64,41 und 75,05 %, je nach Unternehmer.

Die wichtigsten Einflussfaktoren für die Produktivitätsanalyse waren die Fahrdistanz, die Ladedistanz und das Stückvolumen. Es ergab sich eine Produktivität von 27,95 Efm/PSH₁₅. Es konnte nachgewiesen werden, dass bei erhöhter Fahrdistanz und Ladedistanz die Produktivität sinkt. Bei steigendem Stückvolumen wurde eine Erhöhung der Produktivität nachgewiesen.

Die Kostenkalkulation ergab einen Gesamtwert von 133,53 €/PSH₁₅ für den Komatsu 875, die T-WINCH 10.2 und die Lohnkosten, wobei 40,76 €/PSH₁₅ auf die T-WINCH 10.2 und 63,42 €/PSH₁₅ auf den Komatsu 875 entfallen. Die Lohnkosten trugen mit 29,35 €/PSH₁₅ zu den Gesamtkosten bei. Somit ergeben sich 4,78 €/Efm.

Schlüsselwörter: T-WINCH 10.2, Komatsu 875, Produktivität, Forwarder, Traktionshilfsseilwinde, Auslastung

VORWORT

Ich möchte mich sehr herzlich bei meinen Eltern für die Unterstützung in all den Jahren bedanken. Ohne ihren Rückhalt wäre es mir nicht gelungen, mein Studium abzuschließen. Weiters gilt mein Dank meinen Betreuern Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Karl Stampfer und Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Thomas Holzfeind. Sie gaben mir zu jedem Zeitpunkt die nötigen Informationen und standen mir stets mit Rat und Tat zur Seite. Einen unverzichtbaren Beitrag leisteten das Unternehmen ecoforst, sowie Holzernteunternehmer Florian Tauchner. Ohne sie würde es diese Masterarbeit nicht geben. Zu guter Letzt gilt mein Dank meiner Freundin Barbara, die mich immer wieder ermutigte und bestärkte, die Arbeit zügig fertigzustellen.

Im Zuge dieser Arbeit konnte ich mein Wissen in Bezug auf die vollmechanisierte Holzernte erweitern und festigen. Ich bin vom Einsatz von Seilwinden überzeugt und glaube, dass bei richtiger logistischer Planung der Einsatz einer funkferngesteuerten Traktionshilfsseilwinde der richtige Schritt in die Zukunft ist.

1 EINLEITUNG

1.1 Problemstellung

Der Einsatz von Harvester und Forwarder ist heutzutage Standard in der mitteleuropäischen Forstwirtschaft. Ihren Ursprung hat die vollmechanisierte Holzernte in Skandinavien (EBERL, 2003). Bis dato gab es nur das teilmechanisierte Arbeitssystem, sprich Fällung mittels Motorsäge und Rückung mithilfe einer Forstseilwinde. Dies verursacht zwar geringe Bodenschäden, jedoch hohe Bestandesschäden. Dies trifft aber nur zu, solange der Traktor mit Winde nur von der Forststraße aus rückt (RAAB, 1999). Die Bestandesschäden sind im Gebirge höher als im Flachland. Durch die Geländeneigung geraten die Stämme leichter ins Rutschen und verursachen durch Anschläge am verbleibenden Bestand Schäden an der Rinde (RAAB, 1999). Die physische Beanspruchung nimmt mit zunehmender Steilheit zu, wodurch sich die Unfallgefahr erhöht. Generell sind bei der teilmechanisierten Holzernte die Kosten sehr hoch (OHRNER & WEIXLER, 1993).

Der reale Holzpreis sank seit den 1960er bis in die 2000er Jahre kontinuierlich, seither unterliegt er großen Schwankungen, jedoch steigen die realen Lohnkosten in der Forstwirtschaft seit den 1960er Jahren stark an (NELLEN, 2011). Zur Effizienzsteigerung wurden die Holzerntesysteme mechanisiert. Der Einsatz von Harvester und Forwarder führt zu hohen Systemkosten, erfordert eine hohe Produktivität und eine hohe Maschinenauslastung (FENZ & STAMPFER, 2007).

Der Einsatz der vollmechanisierten Holzernte ist durch die Geländeneigung und die Geländeverhältnisse limitiert. Fast die Hälfte (46,5 %) der österreichischen Wälder weisen eine Geländeneigung von mehr als 40 % auf (VISSER & STAMPFER, 1998). Die maximale befahrbare Geländeneigung ist vom Maschinentyp, der Bodenrauhigkeit, der Bodentragfähigkeit und von der Bodenbeschaffenheit abhängig. Über alle Bodenverhältnisse liegt die Grenze der Steigfähigkeit bei Radfahrzeugen bei ca. 30 %, bei günstigen Bodenverhältnissen lassen sich auch 40 % erreichen (STAMPFER & STEINMÜLLER, 2001). Nach FEHRLE (1999) liegt die maximale Geländeneigung bei Radharvestern bei 35 % und nach SAUTER et al. (1998) sind 50 bis 60 % bei guten Wetterverhältnissen und Bodentypen möglich.

Die Steigfähigkeit von Holzerntemaschinen wurde erhöht, um das Einsatzgebiet auszuweiten. Ein erster Schritt, um die Steigfähigkeit gegenüber Radharvestern zu erhöhen, war die österreichische Entwicklung des Raupenharvesters Valmet 911 Snake. Dieser Harvester ersetzte die Reifen durch vier unabhängige Raupenlaufwerke. Dies führte zu mehr Bodenkontakt und einem ruhigeren Fahrverhalten, was sich wiederum positiv auf die Bodenschonung auswirkte. Mit diesem Raupenharvester können Hänge bis zu 70 % Neigung befahren werden. Diese Werte sind jedoch bei Schneelage zu reduzieren (STAMPFER & STEINMÜLLER, 2001).

Seit 2004 stehen Forstunternehmern integrierte Traktionshilfsseilwinden zur Verfügung. Die Traktionshilfsseilwinde erhöht die Steigfähigkeit und dient der Schlupfreduktion, was den Untergrund schont und einer Bodenverdichtung entgegenwirkt. Eine Schlupfreduktion durch den Windeneinsatz verringert ebenfalls den Treibstoffverbrauch (MOITZI, 2006). Traktionshilfsseilwinden können nicht nur im steilen Gelände Vorteile mit sich bringen, auch auf nassen und schlecht tragfähigen Böden sind Vorteile bei traktionsunterstützten Holzerntemaschinen gegeben (HOLZFEIND et al., 2020).

Die neuesten Entwicklungen stellen funkferngesteuerte Traktionshilfsseilwinden dar. Sie sind nicht mehr an der Arbeitsmaschine installiert, sondern funkferngesteuert und von der Maschine getrennt. Zu beachten ist hierbei, dass bei Überstellungen die Kosten höher sind, da es sich um zwei separate Maschinen handelt. Ihre Bedienung läuft mittels Funksteuerung. Das Seil wird zum laufenden Seil und der Seilführung muss mehr Beachtung gewidmet werden. Der Vorteil solcher Systeme ist, dass kein zusätzliches Gewicht an Harvester oder Forwarder installiert ist, da die Maschine von der Traktionshilfsseilwinde separiert ist. Die Gewichtsverteilung bewirkt, dass die Bodenverdichtung geringer ausfällt. Weiters ist eine Installation hangabwärts möglich. Das

Abhängen an der unteren Gassenausfahrt ist erleichtert und die funkferngesteuerte Traktionshilfsseilwinde ist universell einsetzbar (WEISE, 2016).

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, eine Produktivitäts- und Effizienzanalyse für einen Forwarder Komatsu 875 mit einer funkferngesteuerten Traktionshilfsseilwinde T-WINCH 10.2 zu machen. Im Rahmen von Arbeitsstudien sowie durch die Auswertung von Maschinendaten und Literaturergebnissen sollen im Detail folgende Fragestellungen beantwortet werden:

- Welche Parameter beeinflussen die Produktivität bei der Forwarderrückung mit einer funkferngesteuerten Traktionshilfsseilwinde?
- Wie schauen die Anteile von Traktions- und Fahrbetrieb der Traktionshilfsseilwinde bei konkreten Einsätzen aus?
- Welche Maschinen- und Einsatzkosten sind für diese Rücketechnologie zu kalkulieren?
- Welche konkreten Einsatzempfehlungen können für die Praxis aus den vorliegenden Ergebnissen abgeleitet werden?

2 STAND DER TECHNIK / LITERATURRECHERCHE

2.1 Bodenstrukturveränderung

Forstmaschinen sind nicht mehr aus der Forstwirtschaft wegzudenken, aber sie hinterlassen Spurrinnen im Wald, welche hauptsächlich durch das hohe Eigengewicht der Maschine entstehen (SCHULDT, 2014). Dies steht im Widerspruch zum Bodenschutz (BORCHERT, 2008). Durch ihr hohes Gewicht wird laut LÜSCHER et al. (2019) der Waldboden zusammengepresst und verdichtet. Dies führt zu einem Hohlraumverlust. SCHÄFFER (2002) schrieb, dass die vollmechanisierte Holzernte noch Jahrzehnte später Auswirkungen auf den Bodenlufthaushalt hat.

Das Ökosystem Waldboden bildete in tausenden Jahren Tonminerale für die Wasser- und Nährstoffspeicherung aus. Diese plättchenartigen Minerale sind porös gelagert. Zwischen den Tonmineralen befinden sich Poren. Diese werden in drei Kategorien unterteilt: in Grobporen (Belüftung), in Mittelporen (Wasserspeicherung) und Feinporen (Nährstoffspeicherung). Durch Nässe werden die Tone plastisch und können bei mechanischer Belastung verformt werden und je nach Bodentyp bis zu 60 % Luftanteil durch Komprimierung verlieren (NEMESTOTHY, 2012). Dies kann schon bei einmaliger Befahrung zur Reduktion von Bodenaktivität und somit zu Zuwachsverlusten führen (BORCHERT, 2013).

2.1.1 Typen von Bodenverformungen

Die elastische Verformung entsteht bei sehr trockenen Böden. Es kommt lediglich zu Stollenabdrücken, welche sichtbar bleiben. Die Bodenfunktionen sind nur gering eingeschränkt. Bei feuchten Böden entsteht durch eine plastische Verformung eine sogenannte „Sackungsverdichtung“. Dies ist eine deutliche Vertiefung im befahrenen Bereich. Diese Sackungsverdichtung bewirkt eine deutliche Verringerung des Porenvolumens. Es kommt zu einer Störung der Bodenbelüftung sowie zu einer Drainagierung. Sind die Böden sehr feucht, entstehen Spurgleise durch die einsinkende Maschine. Dies ist jedoch weniger eine Verdichtung, vielmehr eine viskoplastische Verformung. Dies geschieht, wenn der Boden nur schwer Wasser abgeben kann, entstanden durch verlorene Tragfähigkeit. Das Erdmaterial wird durch die einwirkenden Kräfte seitlich aus der Fahrrinne gedrückt und ist deutlich durch eine Erhebung im Boden erkennbar. Diese Aufwölbungen sind klassische Merkmale dieses Grundbruches. Als Ergebnis kommt es zu einer senkrechten Ausrichtung der Poren zu ihrer einwirkenden Kraft. Der Boden wird wasserundurchlässig und es bilden sich Lacken in den Spurrinnen (BORCHERT et al., 2013). Durch das Durchdrehen der Reifen, der sogenannte Schlupf, können ebenfalls Spurrinnen entstehen, da das Bodenmaterial aus der Spurrinne geschleudert wird (WEISE, 2008). Die Gefahr von Schlupf steigt mit höherer Geländeneigung und Bodenrauhigkeit an. Felsen und Wurzelstöcke sind oftmals Auslöser für durchdrehende Reifen, dadurch kommt es zu einer Zerstörung des Oberbodens. Nach starken Niederschlagsereignissen kann das Wasser nicht mehr oberflächlich abfließen und es kommt zu Auswaschungen in den oberen Bodenhorizonten (HARTGE & HORN, 1991).

2.1.2 Auswirkungen von Bodenstrukturveränderungen

Durch Verdichtung werden die Poren im Boden versiegelt, dadurch sinkt die Luftleitfähigkeit. Dies bewirkt ein verringertes Wurzelwachstum (KOROTAEV, 1992). Es kommt auch zu einer Senkung der Bodenmikroflora, welche einen wesentlichen Einfluss auf die Stoffkreisläufe hat. Der Verlust der Artenvielfalt führt zu einer Veränderung des Streuabbaus und der Humusbildung (LÜSCHER & FREY, 2008). MARGANNE (1997) zeigte in einer 20-jährigen Versuchsreihe in Douglasien- und Pinus ponderosa Beständen, dass der Volumenzuwachs um bis zu 69 % sank, wenn 10 % des Wurzelraums

eine Verdichtung aufweisen. Dieser Effekt ist in Mitteleuropa bei Flachwurzlern wie der Fichte ebenfalls zu erwarten (NEMESTOTHY, 2015). UHL (2008) untersuchte in Laubholzbeständen die Auswirkungen von Bodenverdichtung. Es konnte ein signifikanter Zusammenhang vom Porenvolumen und der Wasserleitfähigkeit auf die Oberhöhenentwicklung festgestellt werden.

2.1.3 Maßnahmen zur Verringerung von Bodenschäden

2.1.3.1 Rückegassennetz anlegen

Die Befahrung des Waldbodens muss auf Gassen beschränkt werden. Üblich sind Gassenbreiten von 4 m und ein Abstand zwischen den Gassen von 20 m, somit bleiben 80 % des Bodens unbefahren (NEMESTOTHY, 2009). Diese Gassen bilden das Feinerschließungsnetz. Dabei werden Bodenstrukturveränderungen toleriert, Wurzelstöcke werden nicht entfernt, und das natürliche Erscheinungsbild des Waldes bleibt erhalten (ERLER et al., 2010). Die Rückegassen müssen langfristig erhalten bleiben, damit die Bodenverdichtung nur auf ausgewählten Bereichen stattfindet. Das Rückegassennetz selbst und die Befahrung dessen mit Forstmaschinen sollte digital dokumentiert werden. Am Beispiel vom Bucheggberg in der Schweiz, konnten nach dem Sturm Lothar die bestehenden Rückegassen nicht mehr aufgefunden werden, Luftbilddaufnahmen existierten nicht. Es erfolgte eine neue Feinerschließung. Es wurde das neue Rückegassennetz mit einem GPS- Datenlogger erfasst und anschließend in das Programm ArcGIS eingespielt. Dies erlaubt es, dass die Rückegassen auch nach Jahrzehnten oder nach zukünftigen Windwürfen wieder im Gelände aufgefunden werden können (HUNNINGHAUS & FLURY, 2011).

2.1.3.2 Verwundung des Oberbodens vermeiden

Laut NEMESTOTHY (2015) können Reisigauflagen in den Rückegassen die Wurzeln vor Verwundung schützen und lassen die Holzernte optisch schonender erscheinen. Bei einem Versuch mit einer Reisigauflage von 25 cm Stärke, sank der Kontaktflächendruck auf 25 000 kg je m². Ohne deren Einsatz waren Druckspitzen von 37 000 kg je m² messbar. Auch können durch Reisigauflagen die Traktionskräfte bodenschonend übertragen werden (JACKE et al., 2008). Beim Einsatz von Bogiebändern ist mit einer Erhöhung von Wurzelschäden gegenüber Reifen zu rechnen. Hierbei empfiehlt sich der Einsatz von Reisigauflagen (KREMER & SCHARDT, 2007).

2.1.3.3 Reifenbreite und Reifendruck anpassen

Harvester und Forwarder sind in den letzten Jahren immer schwerer geworden (Borchert et al., 2013). Dieses Gewicht verteilt sich auf die vorhandenen Achsen und Räder. Erhöht sich die Achslast erhöht sich die Radlast. Die Radlast ist die wichtigste Größe, welche bestimmt, wie tief der Druck in den Boden eindringt (BRANDHUBER, 2006). Die Aufstandsfläche spielt eine entscheidende Rolle. Je größer die Aufstandsfläche eines Reifens desto geringer der Bodendruck (BORCHERT, 2013). Dieser Druck verteilt sich in einer sogenannten Druckzwiebel (Abbildung 1).

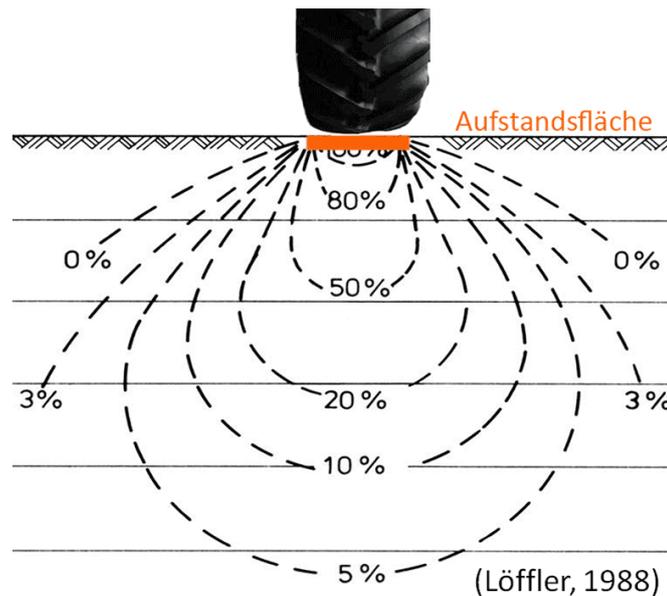


Abbildung 1: Druckverteilung im Boden (BORCHERT, 2013)

Je breiter ein Forstreifen desto größer seine Kontaktfläche mit dem Boden und desto besser ist die Lastverteilung auf dem Waldboden. Gleiches gilt beim Reifendruck. Die meisten Forwarder sind heutzutage mit Niederdruckbreitreifen ausgestattet. Sinkt der Reifendruck, erhöht sich die Kontaktfläche und es kommt ebenfalls zu einer besseren Lastverteilung. Die Wirkung des Reifeninnendruckes ist wesentlich grösser als die der breiteren Reifen (BORCHERT & METAN, 2008). Durch den verringerten Luftdruck ergeben sich weitere Vorteile. Die Zugkraft erhöht sich deutlich beim Absenken des Reifenfülldruckes (TOBISCH, 2001). Der Schlupf verringert sich bei abgesenktem Reifenfülldruck drastisch. Der verringerte Schlupf hat auch eine positive Auswirkung auf den Treibstoffverbrauch, dieser sinkt, die Traktion steigt und das ganze bei verminderten Bodenschäden (TRELLENBORG, 2003). Auch der Fahrkomfort steigt bei verringertem Reifenfülldruck, da die Schwingungsbelastung sinkt (HAUCK, 2004). Durch die größere Auflagefläche aufgrund geringeren Luftdrucks, sinkt der Reifen weniger ein, was den Rollwiderstand senkt und somit auch Treibstoff einspart (BURK & WEISE, 2005).

2.1.3.4 Traktionshilfsseilwindeneinsatz

Traktionshilfsseilwinden ermöglichen den Einsatz von Harvester und Forwarder im Übergangsbereich zwischen befahrbaren Gelände und Steilhang. In ihrem Einsatzbereich sind die Traktionshilfsseilwinden Seilgeräten ökonomisch überlegen (Holzfeind et al., 2017). Traktionshilfsseilwinden können durch ihre unterstützende Wirkung auf die Maschine den Schlupf verringern und die Spurrinnentiefe signifikant reduzieren. Somit wird eine bodenschonende Holzernte begünstigt (WRATSCHKO, 2006). Der Einsatz von Traktionshilfsseilwinden wird als sehr effizient angesehen, erfordert aber einen hohen Installationsaufwand und führt zu hohen Kosten (WEISE et al., 2009). Durch die räumliche Trennung von Traktionshilfsseilwinde und Holzerntemaschine, kann 2000-2500 kg an Maschinengewicht eingespart werden (OBERER, 2016).

2.2 Anbieter von funkferngesteuerten Traktionshilfsseilwinden

2.2.1 T-MAR LOG CHAMP 250 TRACTION WINCH

Die funkferngesteuerte Traktionshilfsseilwinde (Abbildung 2) der kanadischen Firma Tmar wird von einem Caterpillar C7.1 mit 202 kW, luftgekühlten Motor mit Turbolader angetrieben. Die Traktionshilfsseilwinde fasst bei einem Seildurchmesser von 11 mm, 1371 m Seil. Die Trommel wird hydraulisch mittels einer Scheibenbremse gestoppt. Das Gesamtgewicht beträgt 29 500 kg. Die Steuerung erfolgt mittels Funk (T-MAR INDUSTRIES LTD, 2019).



Abbildung 2: T-MAR LOG CHAMP 250 TRACTION WINCH (T-MAR INDUSTRIES LTD, 2019)

2.2.2 WELTE W60

Die funkgesteuerten Forstraupe W60 des deutschen Maschinenhersteller Welte hat ein Gewicht von 2700 kg. Die Raupe kann von Fahrzeugen mit einer Anhängelast von 3500 kg gezogen werden. Die Zugkraft beträgt 59 kN. Den Antrieb übernimmt ein 55 kW Hatz-Vierzylinder Dieselmotor. Die Raupenbreite beträgt 150 cm. Die Gummiraupenkette weist eine Breite von 35 cm auf einer Länge von 180 cm auf (BIERNATH, 2019).

2.2.3 Dreipunktanbauwinde von Haas

Die Dreipunktanbauwinde (Abbildung 3) des bayrischen Maschinenbauers Haas ist eine Anbauwinde, die vielseitig einsetzbar ist. Sie wird an einem Schlepper montiert und durch den integrierten Abstützsporn ist ein Abspannen des Trägerfahrzeuges nicht mehr notwendig. Der hohe Seileinzug gewährleistet einen geringeren Kontakt des Seiles mit dem Untergrund. Das Gewicht der Anbauwinde ohne Trägerfahrzeug variiert zwischen 2800 kg und 3500kg, je nach Ausstattung. Die Bedienung erfolgt mittels Funk. Die Zugkraft liegt bei maximal 88 kN. Die Seiltrommel fasst bei einem Durchmesser von 14 mm, 300 m Seil. Die maximale Spulgeschwindigkeit liegt bei 1,4 m/s (HAAS-MASCHINENBAU, 2019).



Abbildung 3: Dreipunktbauwinde (HAAS- Maschinenbau, 2019)

2.2.4 EMS Tractionline

Electrical & Machinery Services LTD aus Neuseeland entwickelte die Tractionline (Abbildung 4). Die Traktionshilfsseilwinde wird an einem herkömmlichen Bagger installiert. Die Traktionshilfsseilwinde ist mit dem Bagger elektronisch, hydraulisch und mit einer Treibstoffleitung verbunden. Die Traktionshilfsseilwinde arbeitet mittels Funkfernsteuerung. Bei einem Windengewicht von 4750 kg, kann sie mit 350 m Seil bespult werden. Die maximale Seilgeschwindigkeit liegt bei 1,1 m/s. Die Zugkraft liegt bei maximal 188 kN.

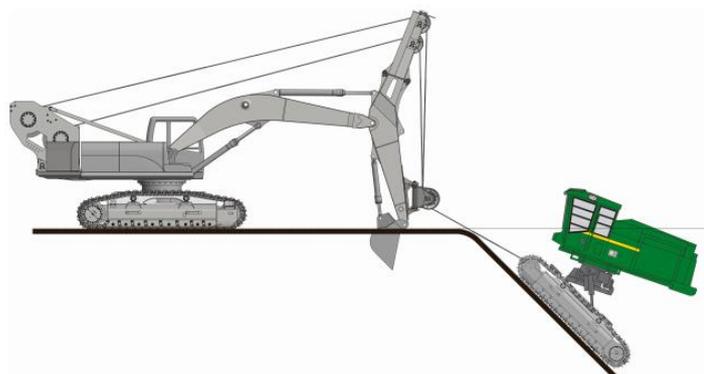


Abbildung 4: Tractionline (Electrical & Machinery Services LTD, 2015)

2.2.5 Herzog MW 500 Synchronwinch

Das Schweizer Unternehmen Herzog entwickelte den MW 500 Synchronwinch (Abbildung 5). Als Trägerfahrzeug dient ein Harvester der Marke Ponsse Ergo. Der Fahrer kann mittels Funkfernsteuerung auf die Traktionshilfsseilwinde zugreifen. Die Traktionshilfsseilwinde wiegt 1900 kg ohne Trägerfahrzeug. Die MW 500 Synchronwinch ist mit 2 Abspannwinden ausgestattet. Diese weisen bei jeweils 3000 kg Zugkraft eine Seilfassung von 50 m auf. Die Hauptwinde hat eine Zugkraft von 98 kN und fasst 500 m Seil bei einem Durchmesser von 14,5 mm.



Abbildung 5: Herzog MW 500 Synchronwinch (Herzog Forsttechnik AG 2021)

2.2.6 ROB (remote Operated Bulldozer)

Die neuseeländische Firma Rosewarne Cable Loggers entwickelte den ROB (remote Operated Bulldozer) (Abbildung 6). Die Trägerplattform ist ein Bulldozer. Durch sein Schild und seine niedrige Bauform stellt er ein ideales Trägerfahrzeug dar. ROB weist mit seinen 2 Traktionshilfsseilwinden eine Zugkraft von 206 kN auf. Die beiden Traktionshilfsseilwinden sind mit federbelasteten, ausfallsicheren Bremsen ausgestattet. Der ROB verfügt über eine automatische Maschinenabschaltung falls das Kühlwasser überhitzt oder Öl ausläuft.



Abbildung 6: ROB remote Operated Bulldozer (Rosewarne & May Limited, 2009)

3 MATERIAL UND METHODEN

3.1 Produktivitätsmodell Forwarder / T-WINCH 10.2

Das Stückvolumen ist ein wesentlicher Faktor, welcher die Produktivität beeinflusst. Es wird im Stückmassengesetz dargestellt. Bei gleichen Arbeitsbedingungen und gleicher Zeitspanne erhöht sich die Produktivität mit steigendem und sinkt mit abnehmendem Stückvolumen (LÖFFLER, 1991).

Die Produktivität des Forwarders kann als eine Funktion des Fuhrenvolumens, des Stückvolumens, der Geländeneigung, der Ladedistanz und der Rückedistanz angenommen werden (u.a. WRATSCHKO, 2006; AFFENZELLER, 2005).

Das Produktivitätsmodell wird in Teilmodelle unterteilt (HOLZFEIND, 2017; WRATSCHKO, 2006). Da die Teilmodelle getrennt voneinander stattfinden, ist diese Aufteilung vernünftig.

- Effizienz Fahren

Die Fahreffizienz ist hypothetisch durch die Fahrdistanz, den Einsatz der funkferngesteuerten Traktionshilfsseilwinde und der Geländeneigung geprägt.

$\text{Effiz.F.} = f(\text{Fahrdistanz, funkferngesteuerten Traktionshilfsseilwinde, Geländeneigung})$

- Effizienz Laden

Der Effizienz Laden unterstellt man, dass sie stark vom Stückvolumen, der Ladedistanz, dem Einsatz der funkferngesteuerten Traktionshilfsseilwinde und der Geländeneigung beeinflusst ist.

$\text{Effiz.L.} = f(\text{Stückvolumen, Ladedistanz, funkferngesteuerten Traktionshilfsseilwinde, Geländeneigung})$

- Effizienz Entladen

Die Modellhypothese besagt, dass ausschließlich das Stückvolumen einen Einfluss auf die Entladeeffizienz hat.

$\text{Effiz.E.} = f(\text{Stückvolumen})$

Für das Modell sind Kovariaten notwendig, welche im Gelände erhoben werden (Tabelle 1). Um ein Gesamtmodell zu erhalten, werden die drei Teilmodelle Effizienz Fahren, Effizienz Laden und Effizienz Entladen (Tabelle 2) miteinander addiert. Die Darstellung erfolgt ausschließlich über die produktive Systemstunde (PSH_0). Der Umrechnungsfaktor k_1 kann über die Aufnahmezeit ermittelt werden, oder man entnimmt ihn aus der Literatur und erhält die produktive Systemstunde (PSH_{15}) mit Unterbrechungen, welche kürzer als oder gleich 15 min sind. Der hierbei verwendete Wert entstammt der Literatur und wird mit 1,3 angegeben (STAMPFER, 2002). Zum Schluss wird der Kehrwert gebildet und durch 60 dividiert, um von Minuten auf Stunden zu kommen und man erhält die produktive Systemstunde mit Unterbrechungen kleiner 15 min (Formel 1).

$$PROD. = \frac{60}{1+k1+*Effiz.F.+Effiz.L.+Effiz.E.}$$

Formel 1**Tabelle 1: Beschreibung der untersuchten Kovariaten**

Bezeichnung	Beschreibung	Einheit
Fuhrevolumen	Volumen einer Fuhre	Efm
Stückvolumen	Durchschnittliches Volumen eines Bloches	Efm
Geländeneigung	Neigung der Trasse	%
Lastfahrtdistanz	Distanz vom letzten Aufladen bis zur Entladestelle	m
Leerfahrtdistanz	Distanz von der Entladestelle bis zur Ladestelle	m
Fahrtdistanz	Lastfahrtdistanz plus Leerfahrtdistanz	m
funkferngesteuerte Traktionshilfsseilwinde*	mit oder ohne T-WINCH 10.2	1/0
Ladedistanz	Distanz zwischen erstem und letztem Aufladen	m

*Die funkferngesteuerte Traktionshilfsseilwinde wurde über eine Dummy-Variable mit den Ausprägungen 1 (mit T-WINCH 10.2) und 0 (ohne T-WINCH 10.2) abgebildet.

Tabelle 2: Beschreibung der abhängigen Variablen

Bezeichnung	Beschreibung	Einheit
Leerfahrtzeit	Zeit für die Bewältigung der Leerfahrtdistanz	min
Ladezeit	Zeit für den Ladevorgang	min
Lastfahrtzeit	Zeit für die Bewältigung der Lastfahrtdistanz	min
Fahrtzeit	Zeit für die Bewältigung der Fahrtdistanz	min
Entladezeit	Zeit für den Entladevorgang	min
Effizienz Fahren	Die Effizienz Fahren ergibt sich aus der Division der Fahrtzeit durch das Fuhrevolumen.	min/Efm
Effizienz Laden	Die Effizienz Laden ergibt sich aus der Division der Ladezeit durch das Fuhrevolumen.	min/Efm
Effizienz Entladen	Die Effizienz Entladen ergibt sich aus der Division der Entladezeit durch das Fuhrevolumen	min/Efm

3.2 Standorts- und Bestandesbeschreibung

Die zwei erhobenen Bestände befinden sich im Wuchsgebiet 3.2 östliche Zwischenalpen Südteil. Die potentielle natürliche Waldgesellschaft ist der Fichten-, Tannen-, Buchenwald mit Lärchenbeimischung in der montanen Stufe (KILLIAN et al., 1994). Beide Untersuchungsgebiete liegen zwischen 1200-1300 Meter über Meeresspiegel. Die Einteilung der Wuchsklassen wurde nach den Standards der österreichischen Waldinventur (ÖWI) definiert (SCHIELER & HAUK, 2001). Bei der Bestandestaxation wurde eine okulare Schätzung der Überschirmung vorgenommen, um auf die Flächenanteile schließen zu können. Im Zuge einer Vollaufnahme auf 100 m² wurden bei allen Baumarten der BHD (Brusthöhendurchmesser) gemessen und je Baumart gemittelt.

Bestand 1 weist einen mittleren BHD von 39 cm und eine aktuelle Bestockung von zehn Anteilen Fichte mit einer Lärchenbeimischung unter 10 % auf. Dies entspricht einem Baumholz Klasse 2 (355-504 mm BHD) (SCHIELER & HAUK, 2001). Bestand 2 (Abbildung 7) besteht aus 6 Anteilen Fichte und 4 Anteilen Lärche, wobei unabhängig von der Baumart die Wuchsklasse Baumholz Klasse 1 (205-354 mm BHD) vorherrschend ist (SCHIELER & HAUK, 2001). Beide Bestände sind nordexponiert. Das Alter wurde durch Zählung der Jahrringe bei Baumstümpfen ermittelt, wobei Bestand 1 ein gemittelttes Alter von 65 Jahren und Bestand 2 ein gemittelttes Alter von 90 Jahren aufweist. Bestand 1 hat im Schnitt 49 % Gefälle und einen Maximalwert von 58 %, Bestand 2 hat eine durchschnittliche Geländeneigung von 21 %, wobei die maximale Neigung bei 25 % liegt.

Die Einteilung der Gründigkeit erfolgte in 3 Kategorien: seicht (< 0,3 m), mittel (0,3-0,7 m), tiefgründig (> 0,7 m) (BFW, 2020). Die Spurrinnen bei Bestand 1 wiesen nach mehrmaliger Befahrung bei einer Geländeneigung von 58 % eine Tiefe von 45 cm auf, wobei kein Grundgestein zum Vorschein trat. Damit kann die genaue Gründigkeit nicht bestimmt werden, zumindest eine mittlere Gründigkeit (0,3-0,7 m) kann mit Sicherheit angenommen werden. Bei Bestand 2 kann aufgrund der geringen Geländeneigung und der bodenschonenden Arbeitsweise keine Bodenverwundung nachgewiesen werden und es kann nicht auf die Gründigkeit des Bodens geschlossen werden. Die Gründigkeit floss in den weiteren Berechnungen wegen mangelnder Datenlage nicht weiter mit ein. Bei beiden Beständen wurde eine Auflichtung als waldbauliche Maßnahme durchgeführt.



Abbildung 7: Aufnahme einer Rückegasse (Foto: Verfasser)

3.3 ARBEITSWEISE

Nach der Überstellung mit einem Tieflader wird die T-WINCH 10.2 mittels einer Funkfernsteuerung (Abbildung 8) gestartet und mit dem Raupenfahrwerk an jede beliebige Position im Gelände manövriert (Abbildung 10). Falls sie in sehr schwierigem Gelände bewegt wird, kann zusätzlich das Traktionsseil als Sicherungsseil verwendet werden. Wenn ihre Position erreicht ist, erfolgt die Fixierung über das Raupenlaufwerk. Danach wird das Anbauschild hydraulisch abgesenkt, was zusätzlichen Schutz gegen das Abrutschen gewährleistet. Das Traktionsseil läuft über das Anbauschild. Durch die Zugspannung des Traktionsseils wird ein permanenter Druck auf das Schild erzeugt, um eine höhere Standfestigkeit zu erhalten. Es gibt zusätzlich die Möglichkeit die

T-WINCH 10.2 mithilfe von Abspanngurten an Bäumen zu befestigen. Nach der erfolgreichen Positionierung wird das Traktionsseil mittels eines Schäkels, welcher sich an dem Seil befindet, am Forwarder (Abbildung 9) befestigt. Der Maschinenführer kann nun die Traktionshilfsseilwinde mittels Funkfernsteuerung in den Traktionsbetrieb schalten.

Ein wesentlicher Sicherheitsaspekt ist eine Leine, die an der Rückseite der T-WINCH 10.2 befestigt ist. Diese wird im Untergrund oder an einem Baum fixiert. Beim Verlust der Bodenhaftung spannt sie sich und der Not-Aus wird betätigt. Dies stellt sicher, dass sich die T-WINCH 10.2 beim Verlust der Bodenhaftung nicht mit der zuvor eingestellten Zugkraftunterstützung zur Maschine zieht, sondern abstellt. Die jeweilige Zugkraftunterstützung wird durch den Maschinenführer voreingestellt, um eine exakte Zugkraft permanent zu gewährleisten. Richtungswechsel werden von der T-WINCH 10.2 automatisch erkannt.

Die T-WINCH 10.2 kann den Forwarder mit bis zu 1,1 m/s bei der Fahrt unterstützen. Befindet sich die verankerte Position an der Forststraße, arbeitet sich der Maschinenführer von dieser in den hangabwärtigen Bestand vor (Abbildung 11). Ist die Position der Traktionshilfsseilwinde oberhalb der Forststraße, wird nach der Verankerung das Traktionsseil manuell bis zur unterliegenden Forststraße ausgezogen und der Forwarder arbeitet sich hangaufwärts (Abbildung 12). Befindet sich die Rückemaschine wieder auf der Forststraße, wird der Traktionsbetrieb mittels Funk beendet, der Schäkel vom Forwarder ausgebolzt, das restliche Seil aufgespult und die T-WINCH 10.2 mittels Funksteuerung an die neue Gasse manövriert. Befindet sich die neue Position ebenfalls oberhalb der Forststraße, kann die Traktionshilfsseilwinde direkt dorthin fahren und man spart Zeit.

Der Maschinist kann während der gesamten Arbeit über die Funkfernsteuerung auf wichtige Maschinendaten, wie Betriebstemperatur, Hydraulikdruck usw. zugreifen. Nachdem die Maschine nicht mehr benötigt wird, beendet man den Traktionsbetrieb, schäkelt das Seil aus, spult dieses ein, wechselt auf den Fahrbetriebsmodus und fährt die Maschine auf den Tieflader (PROMINCZEL, 2019).



Abbildung 8: Funkfernsteuerung der T-WINCH 10.2 (Foto: Verfasser)



Abbildung 9: Komatsu 875 bei der Befahrung der bergseitigen Böschung (Foto: Verfasser)



Abbildung 10: Aufstellung T-WINCH 10.2 (Foto: Verfasser)

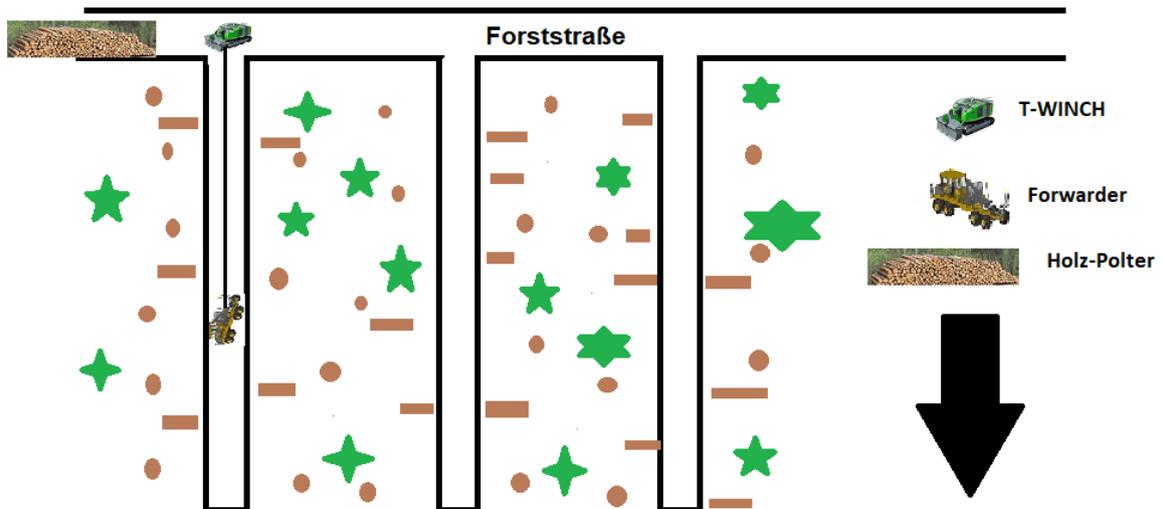


Abbildung 11: Arbeitsweise Forwarder mit T-WINCH 10.2 Unterstützung bei der Bergaufrückung (Grafik: Verfasser)

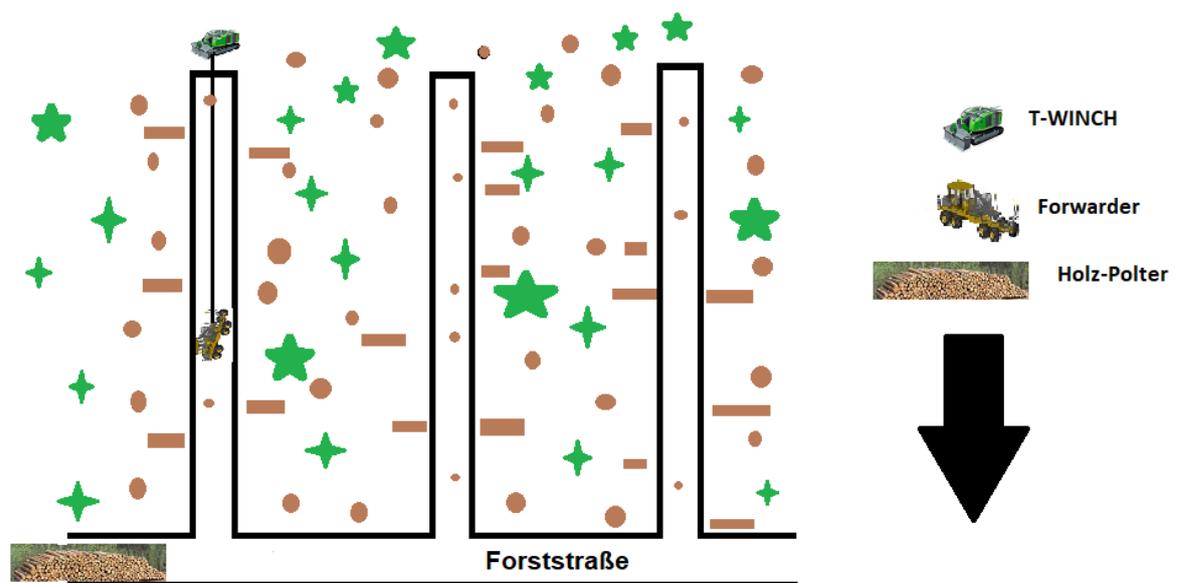


Abbildung 12: Arbeitsweise Forwarder mit T-WINCH 10.2 Unterstützung bei der Bergabrückung (Grafik: Verfasser)

3.4 Maschinenbeschreibung

3.4.1 T-WINCH 10.2

In dieser Studie kommt eine Traktionshilfsseilwinde T-WINCH 10.2 (Abbildung 13) zum Einsatz. Die Traktionshilfsseilwinde besitzt ein Raupenlaufwerk und wird mittels Funkfernsteuerung bedient. Die Motorleistung beträgt 125 kW, bei einem Gewicht von 10 000 kg (Tabelle 3). Die Seiltrommel fasst bei einem Durchmesser von 20 mm, 500 m Seil. Die Traktionshilfsseilwinde ist durch ihr Fahrwerk universell einsetzbar und somit nicht nur auf die Holzernte beschränkt.

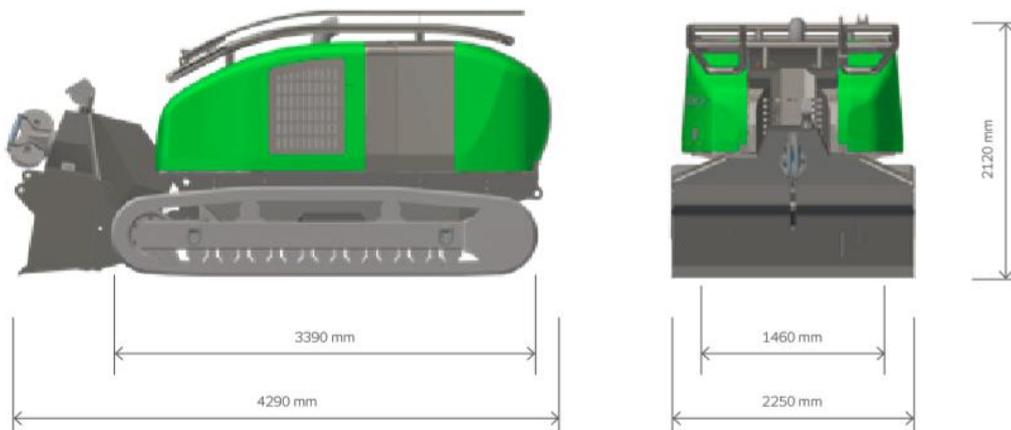


Abbildung 13: Beschreibung der Maße der T-WINCH 10.2 (ecoforst, 2019)

Tabelle 3: Technische Daten der ecoforst T-WINCH 10.2

T-WINCH 10.2		Einheiten
Länge	4290	mm
Breite	2250	mm
Höhe	2120	mm
Bodenfreiheit	514	mm
Gewicht je nach Ausstattung	10000	kg
Antrieb		
Dieselmotor	FPT N45 Tier IV Final	
Leistungsabgabe	125	kW
Hydraulik		
Windenhydraulik	1x 110	ccm
Windenmotor	1x115	ccm
Offene Pumpe, (Fahrerantrieb, Schild etc.)	1x75	ccm
Öl Volumen	190	l
Betriebsdruck		
Fahrerantrieb	270	bar
Traktionshilfsseilwinde	420	bar
Traktionshilfsseilwinde		
Maximale Zugkraft	100	kN
Maximale Geschwindigkeit	1.1	m/s
Seildurchmesser	20	mm
Seillänge	500	m

3.4.2 Komatsu 875

Der Komatsu 875 (Abbildung 14) ist mit einem leistungsstarken Turbodieselmotor mit 190 kW und 7,4 l Hubraum ausgestattet. Er kann 16 000 kg transportieren bei einem Eigengewicht von 17 800 kg in der 6 WD und 20 100 kg in der 8 WD Ausführung. Die Fahrtgeschwindigkeit ist zwischen 0 und 5,6 m/s stufenlos wählbar. Er besitzt einen abschaltbaren Allradantrieb und jeweils eine Differenzialsperre vorne und hinten (Tabelle 4).

Abmessungen (8 Räder mit kürzestem hinterem Rahmen und 710 mm Reifen)

- A. Breite
2 980 mm
- B. Gesamtlänge
10 360 mm
- C. Länge, Vorderachse zum Mittelgelenk
1 900 mm
- D. Länge, Mittelgelenk zur Hinterachse
3 480 mm
- E. Transporthöhe, inkl. Schläuche
und Reifenkompression
130F: 3 880 mm, 145F: 3 930 mm
- F. Bodenfreiheit, bei Steuergelenk
710 mm

Abbildung 14: Abmessungen des Komatsu 875 (Komatsu, 2020)**Tabelle 4 :Technische Daten des Komatsu 875**

Komatsu 875		Einheiten
Gewicht 6WD	17800	kg
8WD	20100	kg
Motor	AGCO POWER, 6-Zylinder-Turbodieselmotor mit Ladeluftkühler	
Hubraum	7,4	l
Leistung max.	190	kW
Drehmoment	1,13	kNm
Kraftstofftank	220	l
Kraftübertragung	Computerunterstützte hydrostatisch-mechanische Kraftübertragung. 6/8-Radantrieb. Verteilergetriebe mit 2 Stellungen (hoch und niedrig). Abschaltbarer Allradantrieb. Differenzialsperre hinten und vorne.	
Fahrgeschwindigkeit	0-5,6	m/s
Zugkraft	214 000	kN
Laderaum		
Zulässige Höchstlast	16.000	kg
6WD		
Ladefläche	4,5-6,4 m ² abhängig von Option und Markt	
Rungen	Versetzbar	
Kran und Greifer		
Kran	145F	
Reichweite	8,5 / 10,0	m
Hubmoment, brutto	145	kNm
Drehmoment, brutto	38	kNm

3.5 Datenerhebung- Zeitstudie

Zur Durchführung der Zeitstudie wurde eine GoPro Hero 5 Kamera mit Weitwinkelfunktion verwendet. Diese war auf der Fahrerkabine des Komatsu 875 montiert. Somit konnte der gesamte Arbeitsablauf (Tabelle 5) ohne Unterbrechungen lückenlos dokumentiert werden. Jene Arbeitstakte, die nicht durch das Sehfeld der Kamera erfasst wurden, sind mit einer Stoppuhr händisch dokumentiert worden.

Tabelle 5: Beschreibung der Arbeitstakte für den Forwarder

Arbeitstakte	Beschreibung
Fuhrenzeit (PSH₀)	Zykluszeit von Beginn der Leerfahrt des Forwarders bis zum Entladen der Fuhre an der Entladestelle ohne Unterbrechungen. Summe von Leerfahrt, Laden, Lastfahrt und Entladen.
U ≤15	Unterbrechungen, welche kürzer als oder gleich 15 min sind
U >15	Unterbrechungen, welche länger als 15 min sind
Leerfahrt	Vom Beginn der Fahrt bis zum Stillstand der Räder an der Ladestelle
Laden	Vom Beginn der Krantätigkeit an der Ladestelle bis zum Ende der Krantätigkeit an der Ladestelle
Lastfahrt	Vom Ende der Krantätigkeit an der Ladestelle bis zum Beginn der Krantätigkeit an der Entladestelle
Entladen	Vom Beginn der Krantätigkeit an der Entladestelle bis zum Ende der Krantätigkeit an der Entladestelle
Markierung der Fuhre	Vom Stillstand der Räder bis zur Bewegung der Räder nach der Markierung

Tabelle 6: Beschreibung der Arbeitstakte für die T-WINCH 10.2

Arbeitstakte	Beschreibung
PSH₀	Zykluszeit von Beginn der Aufstellung bis zum Abbau der T-WINCH 10.2. Summe von Aufstellung, Überstellung und Abbau.
U ≤ 15	Unterbrechungen, welche kürzer als oder gleich 15 min sind
U > 15	Unterbrechungen, welche länger als 15 min sind
Überstellung	Vom Stillstand des Forwarders, Fahrbetrieb der T-WINCH 10.2 bis zu ihrem neuen Aufstellungsort (Trasse), bis Fahrtätigkeit des Forwarders
Aufstellung	Vom Starten der T-WINCH 10.2 auf der Forststraße bis Fahrtätigkeit des Forwarders
Abbau	Vom Stillstand der Räder des Forwarders, bis die T-WINCH 10.2 auf der Forststraße ist
Seil An- Abhängen	Vom Stillstand der Räder des Forwarder bis zur Fahrtätigkeit des Forwarders nach dem Seil An- Abhängen

Es wurden noch weitere Einflussgrößen erhoben, welche für das Regressionsmodell benötigt werden (Tabelle 6).

Zur Vermessung des Fuhrenvolumens wurde das Stirnflächenverfahren angewendet. Es ist eine gebräuchliche, effiziente, waldseitige Vermessungsmethode. Normalerweise dient sie zur Messung am Holzpolter. Dafür werden senkrecht an der Stirnseite Markierungslinien gezogen und die Durchmesser der Bloche, welche die Linie berühren, mittels Maßband oder Kluppe gemessen und markiert (Abbildung 15). Die Ermittlung der Sortenlänge erfolgt durch Messung am Holzpolter, kürzere Bloche wurden separat abgelegt und konnten so ebenfalls erfasst werden. Die Anzahl der Stämme wird an der Stirnseite des Polters gezählt und dabei markiert, damit es nicht zu Doppelerhebungen kommt (FVA-BADEN-WÜRTTEMBERG, 1997). Am Entladeort wurde am Rungenkorb eine Linie in Querrichtung gespannt und die Bloche, welche die Linien berührten, an der Stirnseite markiert und nummeriert. Am Entladeort erfolgte die Messung der Durchmesser und der Länge, der zuvor markierten Stämme. Unter Anwendung der Formel für das Volumen von Zylindern und dem Rindenabschlag (Formel 2), wurde das Stückvolumen der markierten Bloche ermittelt. Der Rindenabschlag wurde den österreichischen Holzhandelsusancen entnommen (WBAG, 2006), danach das durchschnittliche Stückvolumen ermittelt. Mithilfe der Fotodokumentation konnte die Stückzahl im Nachhinein bestimmt werden, um die Arbeitskette nur kurz zu unterbrechen (Abbildung 16). Durch Multiplikation der Anzahl der transportierten Bloche je Fuhre und dem durchschnittlichen Stückvolumen ohne Rinde erhält man das Fuhrenvolumen.

Formel 2

$$\text{Stk. V.} = \left(\pi \times \left(\frac{d}{2} \right)^2 \times l \right) \times \text{Ra}$$

Stk. V.	Stückvolumen (Efm)
d	Durchmesser eines Bloches(m)
l	Länge eines Bloches (m)
Ra	Rindenabzug (%) (Fichte (0,88), Lärche (0,87))

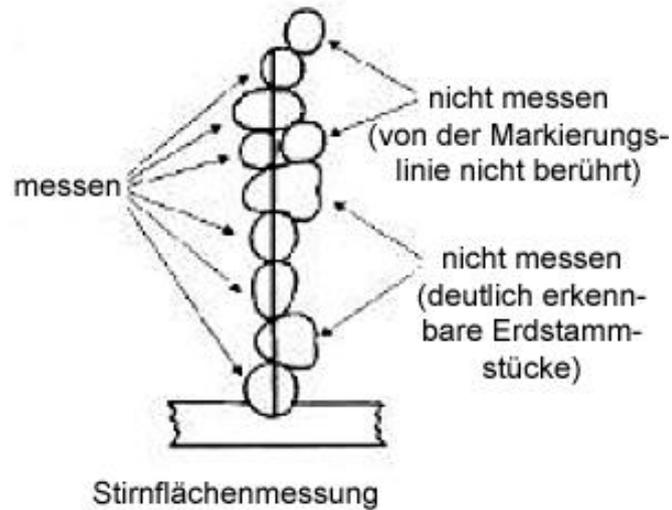


Abbildung 15: Anwendung Stirnflächenverfahren (FVA-Baden-Württemberg, 1997)



Abbildung 16 : Stirnflächenverfahren am Rungenkorb (Foto: Verfasser)

3.6 Datenerhebung- Maschinendaten

Die Daten wurden von verschiedenen Forstunternehmern aus Österreich und Deutschland zur Verfügung gestellt. Dazu wurde der interne Datenspeicher der verschiedenen T-WINCH 10.2 ausgelesen. Die Beschreibung der aufgezeichneten Zeiten ist in der (Tabelle 7) beschrieben.

Tabelle 7: Beschreibung der Arbeitstakte des internen Speichers der T-WINCH 10.2

Bezeichnung	Beschreibung	Einheit
Betriebsstunde	Beinhalten alle Tätigkeiten, wo der Motor der T-WINCH 10.2 in Betrieb ist	Bh
Fahrwerksbetriebsstunde	Bestehen aus jenen Zeiten, in denen das Raupenfahrwerk der funkferngesteuerten Traktionshilfsseilwinde in Bewegung ist	Bh
Traktionsbetriebsstunden	Sind bestimmt als jene Zeiten, wo sich die unterstützende Maschine unter Hilfestellung der T-WINCH 10.2 am Seil bewegt	Bh
sonstige Betriebsstunden	Alle Zeiten, welche weder den Fahrwerksbetriebsstunden noch den Traktionsbetriebsstunden zugeordnet werden können (z.B. Warmlaufen, oder Servicearbeiten)	Bh

3.7 Datenauswertung

Durch den Einsatz einer GoPro Hero 5 konnte eine genaue Abgrenzung der einzelnen Arbeitstakte durchgeführt werden. Die Auswertung des Filmmaterials erfolgte mit Hilfe von Microsoft Excel. Die deskriptive Statistik und die Prozessanalyse wurden mit IBM SPSS Statistics ausgewertet.

4 ERGEBNISSE

4.1 Deskriptive Statistik

Die Gesamtaufnahmezeit betrug 1381,7 min, wovon 1302,7 min mittels Videoaufnahmen durchgeführt wurden. 79 min dauerten Arbeitstakte, welche nicht durch die am Forwarder montierte Kamera erfasst wurden, wie z.B. das Tanken und die Aufstellung der T-WINCH 10.2 an ihrem Arbeitsort. 123,2 min aufgezeichnete Zeit waren nicht verwertbar, da die GoPro Hero 5 ausgefallen ist und die bereits aufgenommenen Zeiten keine vollständigen Arbeitstakte zeigten. Somit flossen 1159,8 min in die Zeitstudie ein (Tabelle 8).

Tabelle 8 : Darstellung der Gesamtzeit

Bezeichnung	Zeit [min]	Anteile [%]
Videoaufzeichnung	1302,7	94,28
Mit Stoppuhr gemessen	79	5,72
Gesamtmaterial	1381,7	100
Nicht verwertbar	123,2	8,92
Markierungen und Akku-Tausch	98,71	7,14
Verwertbar	1159,8	83,94

Es wurden 46 Fahren vollständig erhoben und diese dienen als Grundlage für die weiteren Berechnungen. 23 Fahren wurden mit der T-WINCH 10.2 und 23 Fahren ohne funkferngesteuerte Traktionshilfsseilwinde durchgeführt.

4.1.1 Deskriptive Statistik ohne T-WINCH 10.2

Der höchste Zeitanteil entstand durch das Laden mit 50,13 % (184,88 min), gefolgt vom Entladen mit 28,74 % (105,98 min). Dies deckt sich mit der Literatur (HOLZFEIND, 2017). Bei der Unterbrechung ($U > 15$) wurde ein Tank- und Abschmiervorgang des Forwarders durchgeführt. Der Leerfahrtanteil war mit 8,83 % (32,56 min) höher als die Lastfahrt mit 6,78 % (25,01 min). Da sich der Forwarder aufgrund der Geländeneigung und der Bodenbeschaffenheit nur leer leicht manövrieren ließ, wurden Überstellungen in andere Rückegassen nur leer durchgeführt, darum war die Leerfahrtdistanz länger als die Lastfahrtdistanz und somit auch die Zeit. In Summe entfielen 15,61 % (57,57 min) auf die Fahrtzeit (Tabelle 9).

Tabelle 9: Arbeitstakte ohne T-WINCH 10.2

Takte	Zeit[min]	Anteile [%]
Leerfahrtzeit	32,56	8,83
Ladezeit	184,88	50,13
Lastfahrtzeit	25,01	6,78
Entladezeit	105,98	28,74
Fahrtzeit	57,57	15,61
$U \leq 15$	2,29	0,62
$U > 15$	18,07	4,90
Gesamt	368,78	100

Die mittlere Leerfahrtdistanz war 62 m lang. Die Ladedistanz machte 47,74 m aus. Das durchschnittliche Fahrenvolumen konnte mit 10,71 Efm bei einem durchschnittlichen Stückvolumen von 0,2 Efm ermittelt werden. Die durchschnittliche Geländeneigung betrug 21,57 %, die mittlere Ladedistanz 47,74 m und die Lastfahrtdistanz 30,48 m. Die mittlere

Fahrdistanz war 92,48 m. In Summe betrug die durchschnittliche Fahrdistanz 92,48 m. Bei allen abhängigen Variablen konnte eine große Streuung nachgewiesen werden. Bei der Lastfahrdistanz war die Standardabweichung 30,85 m. Diese Streuung war dem Gelände geschuldet. Betrachtet man den Bereich zwischen der 5. und der 95. Perzentile, der unterschiedlichen Fahrdistanzen erkennt man wie unterschiedlich die einzelnen Fahren waren. Die kürzeste Fahrdistanz betrug 16,5 m und die längste 173,8 m (Tabelle 10).

Tabelle 10: Statistische Kennwerte für die Kovariaten ohne T-WINCH 10.2

Abhängige Variablen	Mittelwert	Standardabweichung	5. Perzentile	95 Perzentile	Einheit
Leerfahrdistanz	62,00	36,08	5,50	128,20	m
Ladedistanz	47,74	25,26	11,00	96,3	m
Lastfahrdistanz	30,48	30,85	3,20	93,00	m
Fahrdistanz	92,48	50,17	16,50	173,8	m
Stückvolumen	0,20	0,09	0,08	0,36	Efm
Fuhrevolumen	10,71	4,77	4,96	19,13	Efm
Neigung	21,57	6,97	3,10	25	%

Mehr als die Hälfte der Zeit entfiel auf das Laden, gefolgt von der Entladezeit mit 31 %. Durch die Umsortierung am Rungenkorb mit dem Kran nahm die Ladezeit die meiste Zeit in Anspruch. Kürzere zuvor aufgeladene Bloche mussten kurzfristig neben dem Forwarder abgelegt werden, bevor erneut längere Bloche aufgeladen wurden. Dies verlangte die Ladungssicherheit. Die Leerfahrtzeit und die Lastfahrtzeit machten jeweils weniger als 10% aus.

Betrachtet man die Forwardertätigkeit ohne T-WINCH 10.2 Unterstützung, dauerte die Leerfahrt im Mittel 1,42 min und die Lastfahrt 1,09 min. Somit belief sich die durchschnittliche Fahrtzeit auf 2,50 min. Diese kurzen Zeiten ergaben sich durch die kurzen Distanzen. Die Ladezeit war mit 8,04 min fast doppelt so hoch wie die Entladezeit (4,61 min). Auch hier ist die Standardabweichung bei allen abhängigen Variablen sehr hoch und es wird ersichtlich, wie unterschiedlich die Zeiten der unterschiedlichen Fahren waren. Es kam zu 3 Unterbrechungen ($U \leq 15$), welche durchschnittlich weniger als eine Minute dauerten. Es kam zu einer Unterbrechung ($U > 15$), dies war ein Tank- und Abschmiervorgang am Forwarder (Tabelle 11).

Tabelle 11: Statistische Kennwerte für die abhängigen Variablen ohne T-WINCH 10.2

Abhängige Variablen	n	Mittelwert	Standardabweichung	5. Perzentile	95 Perzentile	Einheit
Leerfahrtzeit	23	1,42	0,92	0,18	2,66	min
Ladezeit	23	8,04	3,61	3,21	11,99	min
Lastfahrtzeit	23	1,09	0,89	0,13	2,40	min
Entladezeit	23	4,61	1,64	2,18	7,19	min
Fahrtzeit	23	2,50	1,51	0,44	4,89	min
$U \leq 15$	3	0,76	0,45	0,22	1,19	min
$U > 15$	1	18,07	0	18,07	18,07	min

Deskriptive Statistik mit T-WINCH 10.2

Die längste Zeit nahm die Ladezeit mit 31,41 % (249,66 min) in Anspruch. Die Unterbrechungen ($U > 15$) betragen 19,01 %. Dieser hohe Wert war zum Großteil einer lückenhaften Kommunikation geschuldet, da der Fahrer die Information bekam, dass er das gesamte Holz auf der Straße ablagern kann, da noch am selben Tag ein Frächter kommt, welcher das Holz gleich abtransportiert. Dies geschah jedoch nicht und der Maschinist musste das abgeladene Holz unterhalb der Forststraße

deponieren, da sonst eine Befahrung der Forststraße nicht mehr möglich war. Tanken und Abschmieren des Forwarders dauerten 23,22 min. Die restliche Zeit der Unterbrechungen ($U > 15$) waren die Treibstoffzuführung bei der T-WINCH 10.2, zusätzlich die Fahrt zum 263 m entfernten Tankplatz plus die Rückverlegung mit 27,08 min. Ebenfalls musste der Forwarder betankt und abgeschmiert werden, was 23,22 min verlangte. Die Entladezeit hat einen Anteil von 11,70 % (92,97 min) an der Gesamtarbeitszeit. Die Leerfahrtzeit betrug 9,10 % (72,32 min) und die Lastfahrtzeit 8,25 % (65,54 min). Somit entfielen 17,35 % (137,86 min) auf die Fahrtzeit. Unterbrechungen ($U \leq 15$) dauerten insgesamt 8,08 % (64,23 min). Es brauchte 31,84 min, die T-WINCH 10.2 die schon bestehende 263 m lange Rückegasse bergab zu manövrieren. 3,89 % (30,88 min) entfielen auf die Überstellung des Forwarders zwischen den Einsatzorten und den Trassen. Einmal musste die T-WINCH 10.2 überstellt werden, dies zog sich 0,28 % (2,32 min) hin. Um die Trassen zu wechseln oder besser am Entladeort zu manövrieren, wurde das Zugseil an- und abgehängt. Dies dauerte 4,27 % (33,9 min) (Tabelle 12).

Tabelle 12: Arbeitstakte mit T-WINCH 10.2

Takte	Zeit [min]	Anteile [%]
Aufstellung T-WINCH 10.2	31,84	4,01
Leerfahrtzeit	72,32	9,10
Ladezeit	249,66	31,41
Lastfahrtzeit	65,54	8,25
Entladezeit	92,97	11,70
Überstellung Forwarder	30,88	3,89
Überstellung T-WINCH 10.2	2,32	0,28
An- und Abhängen Seil	33,90	4,27
Fahrtzeit	137,86	17,35
$U \leq 15$	64,23	8,08
$U > 15$	151,18	19,01
Gesamt	794,84	100

Das durchschnittliche Fuhrevolumen betrug 10,58 Efm bei einem Stückvolumen von 0,14 Efm. Die mittlere Neigung wies 37,57 % auf. Die Leerfahrtdistanz war im Mittel 138,57 m, die Ladedistanz 57 m und die Lastfahrtdistanz 107,91 m lang. Die Fahrtdistanz konnte im Durchschnitt mit 246,48 m ermittelt werden. Es ist auch hier durch die Standardabweichung ersichtlich, wie sehr die einzelnen Werte um den Mittelwert streuen. Die 95. und 5. Perzentile zeigen sehr deutlich, wie unterschiedlich die einzelnen Distanzen und Volumina sich bei den einzelnen Fahrten unterschieden (Tabelle 13).

Tabelle 13: Statistische Kennwerte für die Kovariaten mit T-WINCH 10.2 Unterstützung

Abhängige Variablen	Mittelwert	Standardabweichung	5. Perzentile	95. Perzentile	Einheit
Leerfahrtdistanz	138,57	75,66	28,20	259,00	m
Ladedistanz	57,00	45,06	19,10	161,5,	m
Lastfahrtdistanz	107,91	85,71	10,9	225,00	m
Fahrtdistanz	246,48	129,27	39,90	472,2	m
Stückvolumen	0,14	0,07	0,05	0,25	Efm
Fuhrevolumen	10,58	4,12	5,56	16,91	Efm
Neigung	37,57	5,89	25,70	45,00	%

Betrachtet man die PSH_0 der T-WINCH 10.2, entfielen 52 % auf die Ladezeit, 19 % auf die Entladezeit, 15 % auf die Leerfahrtzeit und 13 % auf die Lastfahrtzeit. Die Ladezeit nahm die Hälfte der Gesamtarbeitszeit bezogen auf PSH_{15} in Anspruch, dies deckt sich mit den Anteilen der Arbeitstakte ohne T-WINCH 10.2 Unterstützung. Die Erklärung für die kurze Entladezeit war die schnellere

Entladung, da der Maschinist mehr Platz an der Forststrasse hatte und somit zügiger arbeiten konnte.

Mit dem Einsatz der T-WINCH 10.2 betrug die Leerfahrt im Mittel 3,14 min und die Lastfahrt 2,85 min, in Summe dauerte die Fahrtzeit 5,99 min. Die Ladezeit nahm 10,85 min und die Entladezeit 4,04 min in Anspruch. Es kam zu drei Unterbrechungen ($U > 15$), wobei sich jede auf durchschnittlich 45,99 min hinzog. Diese waren unter anderem ein Tank- und Abschmiervorgang an Forwarder und der funkferngesteuerten Traktionshilfsseilwinde. Es kam auch zu 14 Unterbrechungen ($U \leq 15$), die durchschnittliche Stillstandzeit dauerte 4,58 min, wobei eine sehr große Schwankung dieser Unterbrechungen zu beobachten war, dies ist deutlich ersichtlich, betrachtet man den Bereich zwischen der 5. und der 95. Perzentile (Tabelle 14).

Tabelle 14: Statistische Kennwerte für die abhängigen Variablen mit T-WINCH 10.2

Abhängige Variablen	n	Mittelwert	Standardabweichung	5. Perzentile	95. Perzentile	Einheit
Leerfahrtzeit	23	3,14	1,77	0,53	5,54	min
Ladezeit	23	10,85	4,58	4,85	16,73	min
Lastfahrtzeit	23	2,85	2,34	0,40	7,38	min
Entladezeit	23	4,04	1,13	2,03	5,40	min
Fahrtzeit	23	5,99	3,10	0,94	11,18	min
$U \leq 15$	14	4,59	3,47	0,22	9,51	min
$U > 15$	3	50,39	36,32	18,57	94,12	min

4.1.2 Deskriptive Statistik Gesamt

Betrachtet man alle Fahren, bei denen die T-WINCH 10.2 eingesetzt wurde, und jene ohne derer Unterstützung zusammen, so ergab sich folgendes Bild: Der höchste Prozentsatz entstand durch das Laden mit 37,47 % (434,55 min), gefolgt vom Entladen mit 17,15 % (198,95 min). Die Leerfahrtzeit war mit 9,04 % (104,88 min) länger als die Lastfahrtzeit mit 7,81 % (90,55 min), somit entfielen 16,85 % (195,43 min) auf die Fahrtzeit. Über die gesamte Arbeitszeit entstanden Unterbrechungen ($U \leq 15$) im Ausmaß von 5,74% (66,54 min). Im Vergleich mit den Unterbrechungen ($U > 15$) mit 14,26 % (169,25) war der Prozentsatz mehr als doppelt so groß Da die T-WINCH 10.2 nur einmal überstellt wurde, schlug dieser Arbeitstakt nur mit 0,20 % (2,32 min) zu Buche. Da der Forwarder sowie die funkferngesteuerte Traktionshilfsseilwinde an den Ort des Arbeitseinsatzes gelangen mussten, ähnelten die Anteile für Aufstellung der T-WINCH 10.2 mit 2,75 % (31,84 min) denen für die Überstellung des Forwarders mit 2,66 % (30,88 min) (Tabelle 15).

Tabelle 15: Arbeitstakte Gesamt

Takte	Zeit [min]	Anteile [%]
Aufstellung T-WINCH 10.2	31,84	2,75
Leerfahrtzeit	104,88	9,04
Ladezeit	434,55	37,47
Lastfahrtzeit	90,55	7,81
Entladezeit	198,95	17,15
Überstellung Forwarder	30,88	2,66
Überstellung T-WINCH 10.2	2,32	0,20
An und Abhängen Seil	33,90	2,92
Fahrtzeit	195,43	16,85
$U \leq 15$	66,52	5,74
$U > 15$	169,25	14,26
Gesamt	1159,79	100

Im Mittel über alle Fahren hinweg, mit- und ohne Einsatz der funkferngesteuerten Traktionshilfsseilwinde konnte ein Fahrenvolumen 10,65 Efm bei einem durchschnittlichen Stückvolumen von 0,17 Efm ermittelt werden. Die mittlere Neigung wies 29,57 % auf. Bei 23 Fahren ohne die T-WINCH 10.2 plus 23 Fahren mit der T-WINCH 10.2 betrug die mittlere Leerfahrtdistanz 100,28 m, die gemittelte Ladedistanz 52,37 m und die durchschnittliche Lastfahrtdistanz 69,20 m. Die Fahrtdistanz war im Mittelwert 169,48 m lang, Betrachtet man den Bereich zwischen der 5. und der 95. Perzentile wird ersichtlich, dass die Strecken zwischen 431,5 m und 31,25 variieren (Tabelle 16).

Tabelle 16: Kennwerte für die Kovariaten Gesamt

Abhängige Variablen	Mittelwert	Standardabweichung	5. Perzentile	95. Perzentile	Einheit
Leerfahrtdistanz	100,28	71,34	5,00	256,5	m
Ladedistanz	52,37	37,23	12,80	147,75	m
Lastfahrtdistanz	69,20	75,98	3,70	225,00	m
Fahrtdistanz	169,48	124,67	31,25	431,5	m
Stückvolumen	0,17	0,09	0,05	0,36	Efm
Fahrenvolumen	10,65	4,39	4,84	18,25	Efm
Neigung	29,57	9,70	14,35	45,00	%

Betrachtet man bei allen Fahren die PSH₀, entfallen in Summe 52 % auf Ladezeit, 24 % auf die Entladezeit, 13 % auf die Leerfahrtzeit und 11 % auf die Lastfahrtzeit. Es zeigt sich, dass die Ladezeit länger dauert als die Leerfahrtzeit, die Lastfahrtzeit und die Entladezeit zusammen. Kurze Bloche, die sich bereits auf dem Rungenkorb befanden, mussten neben dem Forwarder abgelegt werden, bevor längere Bloche aufgeladen werden konnten. Erst danach konnten diese wieder aufgeladen werden. Dies erklärt zum Teil den hohen Prozentsatz der Ladezeit.

Die Leerfahrtzeit betrug im Mittel 2,30 min und die Lastfahrtzeit 1,97 min. In Summe dauerte die mittlere Fahrtzeit 4,24 min. Die Ladezeit war im Durchschnitt 9,45 min und die Entladezeit 4,33 min lang. Es wurden insgesamt 17 Unterbrechungen ($U \leq 15$) aufgezeichnet, welche einen Mittelwert von 4,02 min hatten. Im Bereich zwischen der 95. und 5. Perzentile, war die kürzeste Unterbrechung weniger als eine halbe Minute, die längste ca. 10 Minuten lang. Die Unterbrechungsgründe waren vielfältig, hauptsächlich jedoch Kontrollen des Maschinisten am Forwarder, der T-WINCH 10.2 oder Kommunikation mittels Funk mit den anderen im Ernteeinsatz befindlichen Personen. Es kam zu 4 Unterbrechungen ($U > 15$), im Mittel 42,3 min lang, Gründe dafür waren in 3 Fällen das Tanken und Abschmieren des Forwarders und der T-WINCH 10.2 (Tabelle 17).

Tabelle 17: Statistische Kennwerte für die abhängigen Variablen Gesamt

Abhängige Variablen	n	Mittelwert	Standardabweichung	5. Perzentile	95. Perzentile	Einheit
Leerfahrtzeit	46	2,30	1,66	0,12	5,28	min
Ladezeit	46	9,45	4,36	4,18	16,43	min
Lastfahrtzeit	46	1,97	1,98	0,14	6,02	min
Entladezeit	46	4,33	1,43	2,02	7,15	min
Fahrtzeit	46	4,24	3,00	0,56	10,12	min
$U \leq 15$	17	4,02	3,61	0,28	10,12	min
$U > 15$	4	42,3	34,43	17,10	90,75	min

4.2 Prozessanalyse T-WINCH 10.2

Von 23 Fahren mit der funkferngesteuerten Traktionshilfsseilwinde wurden 5 bergauf und 18 bergab mit einer Gesamtzeit von 811,02 min durchgeführt. Die Unterbrechungen durch die Aufstellung der T-WINCH 10.2, das Seil An- und Abhängen für die bessere Befahrung an der Forststrasse, den Tankvorgang und die Überstellung in eine andere Rückegasse nehmen 95,14 min in Anspruch, was 11,74 % der Gesamtarbeitszeit am Seil entspricht. Aufgrund der vielseitigen Möglichkeiten der T-WINCH 10.2 lässt sich kein Modell für den Einsatz der T-WINCH 10.2 ableiten. In diesem Fall war es eine 263 m lange alte Rückegasse. Die Überstellung in eine andere Rückegasse lässt sich schwer in einem Modell darstellen, da sie von vielen Faktoren (Neigung, Bodenbeschaffung, Bewuchs) abhängig ist. Insgesamt wurde das Zugseil 30-mal an- oder abgehängt, was im Durchschnitt 1,13 min dauert (Tabelle 18).

Tabelle 18: Rüstzeiten der T-WINCH 10.2

Takte	n	Zeit [min]	Anteile [%]
Aufstellung	1	31,84	33,47
Seil An- Abhängen	30	33,9	35,63
Tanken	1	27,08	28,46
Überstellung Rückegasse	1	2,32	2,44
Gesamtzeit		95,14	100

4.3 Produktivitätsmodell

4.3.1 Effizienz Fahren

Um die Modellhypothese zu überprüfen, ob auf die abhängige Variable Effizienz Fahren die Geländeneigung, die Fahrdistanz und die funkferngesteuerte Traktionshilfsseilwinde einen Einfluss haben, wurde eine Kovarianzanalyse durchgeführt (Tabelle 19). Es konnte festgestellt werden, dass nur die Fahrdistanz einen Einfluss auf die Fahrtzeit hat.

Tabelle 19: Kovarianzanalyse: abhängige Variable= Effizienz Fahren

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Modell	14,038 ^a	3	4,679	72,901	,000
Fahrdistanz	3,00	1	3,00	46,735	,000
funkferngesteuerte Traktionshilfsseilwinde	0,008	1	,008	,131	,719
Geländeneigung	,007	1	,007	,112	,739
Fehler	2,760	43	0,064		
Gesamt	16,798	46			

Anschließend wurde eine lineare Regression gerechnet. Der Wert des korrigierten R-Quadrats bedeutet, dass 83,1 % der Varianz des Teilmodells „Effizienz Fahren“ durch die unabhängige Variable Fahrdistanz erklärt werden (Tabelle 20).

Tabelle 20: ANOVA Fahren

Modell	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Regression	14,027	1	14,027	227,8450	,000 ^c
nicht standardisierte Residuen	2,770	45	,062		
Gesamt	16,798^d	46			

R-Quadrat = ,914 (Korrigiertes R Quadrat = ,831)

Durch die Koeffizienten der Regressionsanalyse (Tabelle 21) lässt sich die Effizienz Fahren herleiten (Formel 3). Das Histogramm mit standardisierten Residuum befindet sich im Anhang (Abbildung 19).

Tabelle 21: Regressionskoeffizient für das Teilmodell Fahren

	Nicht standardisierte Regressionskoeffizient B	Koeffizienten Std.-Fehler	Standardisierte Koeffizienten Beta	T	Sig.
Fahrdistanz	,003	,000	,914	15,095	,000

Formel 3

$$\text{Effiz.F.} = (0,003 * \text{FD})$$

Effiz.F.	Effizienz Fahren (min/Efm)
FD	Fahrdistanz (m)

4.3.2 Effizienz Laden

Es wurde durch eine Kovarianzanalyse überprüft, ob die abhängige Variable Effizienz Laden von den unabhängigen Variablen Geländeneigung, Ladedistanz, dem Einsatz der funkferngesteuerten Traktionshilfsseilwinde und dem Stückvolumen signifikant beeinflusst werden. Es konnte festgestellt werden, dass nur die Ladedistanz und das Stückvolumen einen Einfluss auf die Ladeeffizienz haben (Tabelle 22).

Tabelle 22: Kovarianzanalyse: abhängige Variable= Ladeeffizienz

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Modell	51,492 ^a	4	12,873	110,573	,000
Stückvolumen^{-0,3}	3,243	1	3,243	27,852	,000
Geländeneigung	,230	1	,230	1,975	,167
funkferngesteuerte Traktionshilfsseilwinde	,248	1	,248	2,129	,152
Ladedistanz	1,242	1	1,242	10,666	,002
Fehler	4,890	42	,116		
Gesamt	56,382	46			

Anschließend wurde eine lineare Regression gerechnet. Der Wert des korrigierten R-Quadrats bedeutet, dass 90,4 % der Varianz des Teilmodells „Effizienz Laden“ durch die unabhängigen Variablen Ladedistanz und Stückvolumens erklärt werden (Tabelle 23).

Tabelle 23: ANOVA Ladeeffizienz

Modell	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Regression	51,218	2	25,609	218,223	,000 ^c
nicht standardisierte Residuen	5,164	44	,117		
Gesamt	56,382 ^d	46			

R-Quadrat = ,908 (Korrigiertes R Quadrat = ,904)

Durch die Koeffizienten der Regressionsanalyse (Tabelle 24) lässt sich die Effizienz Laden herleiten (Formel 4). Das Histogramm mit standardisierten Residuum befindet sich im Anhang (Abbildung 20).

Tabelle 24: Regressionskoeffizient für das Teilmodell Laden

	Nicht standardisierte Regressionskoeffizient B	Koeffizienten Std.-Fehler	Standardisierte Koeffizienten Beta	T	Sig.
Stückvolumen ^{-0,3}	,448	,047	,739	9,450	,000
Ladedistanz	,004	,001	,249	3,187	,003

Formel 4

$$\text{Effiz.L.} = 0,448 * \text{StV}^{-0,3} + 0,004 * \text{LD}$$

Effiz.L.	Effizienz Laden (min/Efm)
LD	Ladedistanz (m)
StV	Stückvolumen (Efm)

4.3.3 Effizienz Entladen

Die Modellhypothese besagt, dass ausschließlich das Stückvolumen einen Einfluss auf die Effizienz Entladen hat. Diese Annahme konnte mit Hilfe einer Kovarianzanalyse bestätigt werden (Tabelle 25).

Tabelle 25: Kovarianzanalyse: abhängige Variable= Entladeeffizienz

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Modell	9,686 ^a	1	9,686	367,746	,000
Stückvolumen ^{-0,3}	9,686	1	9,686	367,746	,000
Fehler	1,185	45	,026		
Gesamt	10,871	46			

Anschließend wurde eine lineare Regression gerechnet. Der Wert des korrigierten R-Quadrats bedeutet, dass 88,9 % der Varianz des Teilmodells „Effizienz Entladen“ durch die unabhängige Variable Stückvolumen erklärt werden (Tabelle 26).

Tabelle 26: ANOVA Entladeeffizienz

Modell	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Regression	9,686	1	9,686	367,746	,000 ^c
nicht standardisierte Residuen	1,185	45	,026		
Gesamt	10,871 ^d	46			

R-Quadrat= ,891 (Korrigiertes R Quadrat = ,889)

Durch die Koeffizienten der Regressionsanalyse (Tabelle 27) lässt sich die Effizienz Entladen herleiten (Formel 5). Das Histogramm mit standardisierten Residuum befindet sich im Anhang (Abbildung 21).

Tabelle 27: Regressionskoeffizienten für das Teilmodell Entladen

	Nicht standardisierte Regressionskoeffizient B	Koeffizienten Std.-Fehler	Standardisierte Koeffizienten Beta	T	Sig.
StV ^{0,3}	,251	,013	,944	19,177	,000

Formel 5

$$\text{Effiz.E.} = 0,251 * \text{StV}^{-0,3}$$

Effiz.E.	Effizienz Entladen (min/Efm)
StV	Stückvolumen (Efm)

4.3.4 Gesamtproduktivität

Die Gesamtproduktivität ergibt sich aus der Addition der Teilmodelle Fahren, Laden und Entladen. Dieses Ergebnis muss noch mit dem Faktor k (1,3 für die produktive Systemstunde) multipliziert werden. Um von Minuten auf Stunden schließen zu können muss das Ergebnis noch durch 60 dividiert werden. Nimmt man das mittlere Stückvolumen mit 0,17 Efm, das durchschnittliche Fuhrevolumen mit 10,65 Efm, die mittlere Fahrdistanz mit 169,48 m und die mittlere Ladedistanz mit 52,37 m an, ergibt sich daraus eine Gesamtproduktivität von 27,95 Efm/PSH₁₅. (Formel 7).

Formel 6

$$PROD. = \frac{60}{k1 + *(Effiz.F. + Effiz.L. + Effiz.E.)}$$

Formel 7

$$PROD. = \frac{60}{1,3 * ((0,003 * FD) + (0,448 * \text{StV}^{-0,3} + 0,004 * LD) + (0,251 * \text{StV}^{-0,3}))}$$

Die Produktivität in Abhängigkeit vom Stückvolumen ist in der (Abbildung 17) dargestellt. Das durchschnittliche Fuhrenvolumen war 10,65 Efm bei einem durchschnittlichen Stückvolumen von 0,17 Efm groß. Die mittlere Leerfahrtdistanz war 100,28 m, die mittlere Ladedistanz 52,37 m und die mittlere Lastfahrtdistanz 69,20 m lang. Die Fahrtdistanz betrug im Durchschnitt 169,48 m (Tabelle 16). Es ist deutlich ersichtlich, dass bei steigendem Stückvolumen die Produktivität zunimmt.

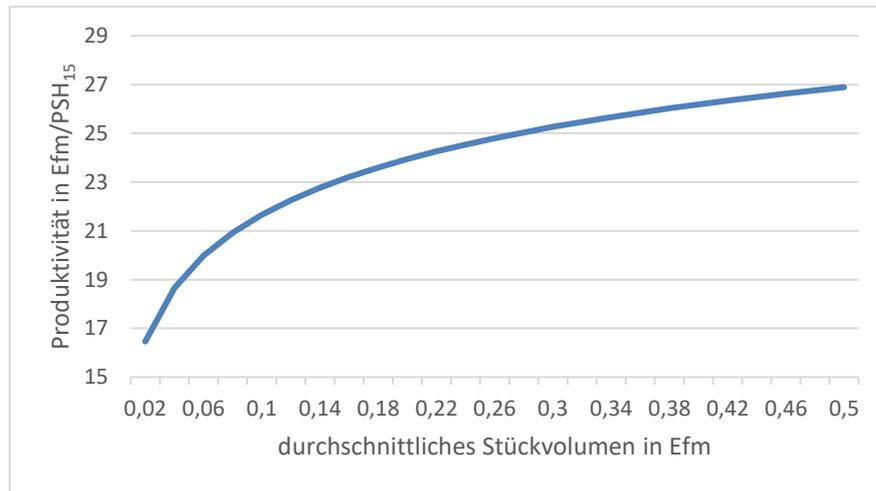


Abbildung 17: Produktivität in Abhängigkeit vom Stückvolumen

Die Produktivität in Abhängigkeit vom Fuhrenvolumen ist in der (Abbildung 18) dargestellt. Es ist deutlich sichtbar, dass bei steigendem Fuhren- und Stückvolumen die Produktivität zunimmt. Je größer das Fuhrenvolumen wird, desto geringer wird der Einfluss des Stückvolumens auf die Produktivität. Das durchschnittliche Fuhrenvolumen lag bei 10,65 Efm bei einem durchschnittlichen Stückvolumen von 0,17 Efm. Die mittlere Leerfahrtdistanz war 100,28 m, die mittlere Ladedistanz 52,37 m und die mittlere Lastfahrtdistanz 69,20 m lang. Die Fahrtdistanz betrug im Durchschnitt 169,48 m (Tabelle 16).

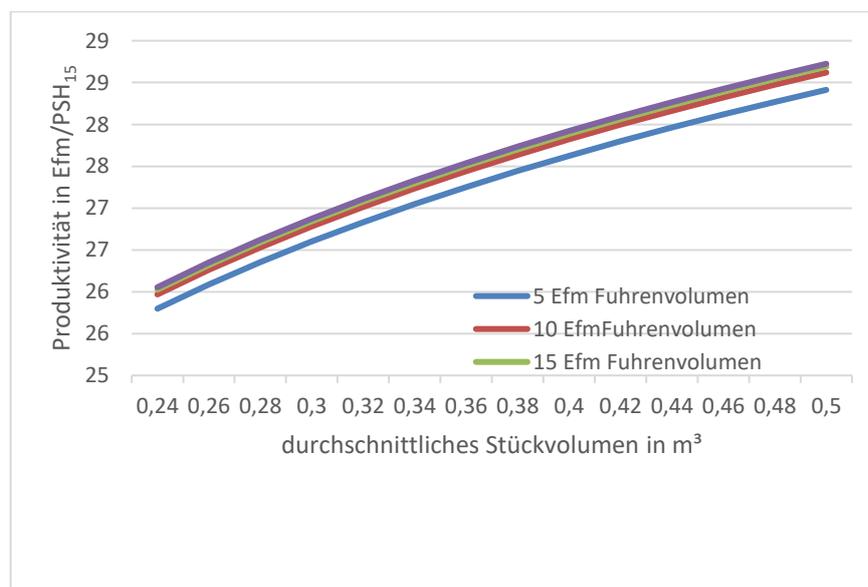


Abbildung 18: Produktivität in Abhängigkeit vom Fuhrenvolumen

4.4 Auswertung der Maschinendaten hinsichtlich ihrer Anteile von Motorbetrieb, Traktionsbetrieb und Fahrbetrieb

Es flossen 3344,5 Bh in die Auswertung mit ein, welche von fünf Forstunternehmern zur Verfügung gestellt wurden, wobei die ausgewertete Einsatzdauer der jeweiligen Maschinen zwischen 5 und 16 Monaten schwankte (Tabelle 35). Um die Daten anschaulicher darzustellen, wurden die Daten aller 5 Forstunternehmern auf die Nutzungsdauer von 12 Monaten umgerechnet (Tabelle 28). Das arithmetische Mittel des Traktionsbetriebes betrug 469,15 Bh, jenes des Fahrwerksbetriebes 146,92 Bh. Die Standardabweichung der Fahrwerksbetriebsstunden der fünf Unternehmer war 35,06 Bh und jene der Traktionsbetriebsstunden 96,06 Bh groß bezogen auf 12 Monate. Der Standardfehler der Fahrwerksbetriebsstunden machte 15,68 und der der Traktionsbetriebsstunden 42,98 Bh aus. In Tabelle 29 ist ersichtlich, wie sich die Zeiten bei Betrachtung der Fahrwerksbetriebsstunden und der Traktionsbetriebsstunden verteilen. Es zeigte sich, dass den größten Anteil die Traktionsbetriebsstunden ausmachten, sie schwanken zwischen 59,68 % und 64,86 %. Das restliche Drittel verteilt sich auf die Fahrwerksbetriebsstunden (15,99 %- 22,34 %) und die sonstigen Betriebsstunden (13,16 %- 18,89 %). Die sonstigen Betriebsstunden waren nur unwesentlich geringer als die Fahrwerksbetriebsstunden.

Tabelle 28: Darstellung der Betriebsstunden bezogen auf ein Jahr

Unternehmer	1	2	3	4	5	Einheit
Betriebsstunden	892,8	911,1	669	512,25	687,7	Bh
Fahrwerksbetriebsstunden	142,8	203,5	151,2	112,5	124,6	Bh
Traktionsbetriebsstunden	572,4	543,7	424,8	332,25	472,62	Bh
sonstige Betriebsstunden	177,6	163,9	93	67,5	90,48	Bh

Tabelle 29: Darstellung der Traktions- und der Fahrwerksbetriebsstunden Prozent bezogen auf ein Jahr

Unternehmer	1	2	3	4	5	Einheit
Betriebsstunden	100	100	100	100	100	%
Fahrwerksbetriebsstunden	15,99	22,34	22,60	21,96	18,12	%
Traktionsbetriebsstunden	64,12	59,68	63,50	64,86	68,72	%
sonstige Betriebsstunden	19,89	17,98	13,90	13,18	13,16	%

4.5 Maschinenkostenkalkulation

Die Gesamtkosten betragen 133,53 €/PSH₁₅. Enthalten sind die Sachkosten für den Forwarder und die T-WINCH 10.2 sowie der Lohn des Forwarderfahrers (Tabelle 34).

Der Zinsfaktor und die Reparaturkostenquote wurden für beide Maschinen einer Fallstudie entnommen (AFFENZELLER & STAMPFER, 2008). Der Anschaffungspreis der T-WINCH 10.2 und der durchschnittliche Verbrauch von 4 l/PSH₁₅ wurden von ecoforst übermittelt. Die normale Nutzungsdauer der T-WINCH 10.2 sowie die Auslastungsschwelle, welche im Durchschnitt zwischen 800 und 1200 liegt und mit 1000 PSH₁₅ angenommen wurde, stammen ebenfalls von der Firma ecoforst (Tabelle 30). Das Zugseil der funkferngesteuerten Traktionshilfsseilwinde weist einen höheren Verschleiß auf und wurde deshalb separat von der T-WINCH 10.2 berechnet (Tabelle 31). Die Anschaffungskosten sowie die Nutzungsdauer und jährliche Auslastung des Komatsu 875 wurden von der Komatsu-Zweigniederlassung Österreich bereitgestellt (Tabelle 32). Die Lohnkosten (Tabelle 33) stammen aus dem Kollektivvertrag, gewerblicher Forstunternehmen Arbeiter/innen gültig ab 01.09.2019 (WKO, 2020). Es wurden keine Überstellungs- Versicherungs- und Unterstellkostender T-WINCH 10.2 und des Komatsu 875 berücksichtigt.

4.5.1 Kosten T-WINCH 10.2

Tabelle 30: Kostenkalkulation für die T-WINCH 10.2

Merkmale	Einheit	Wert
Anschaffungskosten	[€]	165.000
Normale Nutzungsdauer (H)	[PSH ₁₅]	10.000
Veralterungszeitraum (N)	[Jahre]	10
Auslastungsschwelle (SW=H/N)	[PSH ₁₅]	1000
Jährliche Auslastung (J)	[PSH ₁₅]	1000
Zinsfaktor (p)	%	4,5
Reparaturkostenquote		0,8
Sachkosten		
Verzinsung $((An/2*p/100)/J)$	[€/PSH ₁₅]	3,71
Abschreibung $(Ab=An/(J*N))$ da $J < SW$	[€/PSH ₁₅]	16,5
Reparaturkosten $R=AG*r/H$ wenn $J \geq SW$ $R=(AG*r*N*J)/H^2$ wenn	[€/PSH ₁₅]	13,2
Kraftstoff (4l/MAS a' € 1,00)	[€/PSH ₁₅]	4
Schmiermittelkosten (25 % der Kraftstoffkosten)	[€/PSH ₁₅]	1
Summe Sachkosten T-WINCH 10.2	[€/PSH ₁₅]	38,41

4.5.2 Kosten für das Seil der T-WINCH 10.2

Tabelle 31: Kostenkalkulation für das Seil der T-WINCH 10.2

Merkmale	Einheit	Wert
Anschaffungskosten	[€]	4500
Normale Nutzungsdauer (H)	[PSH ₁₅]	2000
Veralterungszeitraum (N)	[Jahre]	2
Jährliche Auslastung (J)	[PSH ₁₅]	1000
Auslastungsschwelle (SW=H/N)	[PSH ₁₅]	1000
Zinsfaktor (p)	%	4,5
Sachkosten		
Verzinsung $((An/2*p/100)/J)$	[€/PSH ₁₅]	0,1
Abschreibung $(Ab=An/(J*N))$ da	[€/PSH ₁₅]	2,25
Summe Sachkosten Seil	[€/PSH ₁₅]	2,35

4.5.3 Kosten Forwarder Komatsu 875

Tabelle 32: Kostenkalkulation für den Forwarder

Merkmale	Einheit	Wert
Anschaffungskosten	[€]	400.000
Normale Nutzungsdauer (H)	[PSH ₁₅]	20.000
Veralterungszeitraum (N)	[Jahre]	10
Auslastungsschwelle (SW=H/N)	[PSH ₁₅]	2000
Jährliche Auslastung (J)	[PSH ₁₅]	1500
Zinsfaktor (p)	%	4,5
Reparaturkostenquote		0,8
Sachkosten		
Verzinsung $((An/2*p/100)/J)$	[€/PSH ₁₅]	6
Abschreibung $(Ab=An/(J*N))$ da $J < SW$	[€/PSH ₁₅]	26,67
Reparaturkosten $(R=(An*r*N*J)/H^2)$ da $J < SW$	[€/PSH ₁₅]	12
Kraftstoff (15l/MAS a' € 1,00)	[€/PSH ₁₅]	15
Schmiermittelkosten (25 % der Kraftstoffkosten)	[€/PSH ₁₅]	3,75
Summe Sachkosten Forwarder		63,42

4.5.4 Kosten Maschinist

Tabelle 33: Lohnkosten Maschinist

Bezeichnung	Einheit	Wert
Lohnkosten Maschinenführer	[€]	29,35

4.5.5 Gesamtkosten

Tabelle 34: Gesamtkosten

Bezeichnung	Einheit	Wert
Summe Sachkosten T-WINCH 10.2	[€]	40,76
Summe Sachkosten Forwarder	[€]	63,42
Lohnkosten Maschinenführer	[€]	29,35
Gesamtkosten	[€]	133,53

Die Gesamtkosten betragen 133,53 €/PSH₁₅. Bei einer Produktivität von 27,95 Efm/PSH₁₅, ergeben sich 4,78 €/Efm.

5 DISKUSSION

5.1 Systemvergleich mit Forwardern mit integrierten Traktionshilfsseilwinden

Vergleicht man die Ergebnisse dieser Masterarbeit mit anderen Studien, die mit Seilforwardern durchgeführt wurden, ergibt sich eine höhere Produktivität mit 27,95 Efm/PSH₁₅. Das sind um 12,35 Efm/PSH₁₅ mehr als bei WRATSCHKO (2006) und um 14,22 Efm/PSH₁₅ mehr als bei HOLZFEIND (2017). Dies ist aber nur zum Teil der Vielseitigkeit dieser neuen Technologie geschuldet. Das zum Teil sehr flache Gelände, die kurzen Distanzen und das Platzangebot am Entladeplatz sind die Parameter, die eine hohe Produktivität herbeiführen. Es war bei HOLZFEIND (2017) das mittlere Stückvolumen mit 0,10 Efm auch deutlich geringer als in dieser Arbeit mit 0,17 Efm. Da das Stückvolumen maßgeblich die Produktivität bestimmt, kann das hohe Stückvolumen zum Teil die hohe Produktivität dieser Arbeit erklären. Der Komatsu 875 ist mit 20 000kg Nutzlast deutlich größer als der 1110 E John Deere mit 12 000 kg Nutzlast, welchen HOLZFEIND (2017) untersuchte, und der Gremo 950 R mit 10 000kg Nutzlast, den WRATSCHKO (2006) analysierte. Auch dies spielt bei der höheren Produktivität dieser Arbeit mit eine Rolle.

In dieser Arbeit wurde festgestellt, dass die Fahrtdistanz, das Stückvolumen und die Ladedistanz die wesentlichen Parameter sind, welche die Produktivität der T-WINCH 10.2 mit dem Forwarder KOMATSU 875 beeinflussen. Bei WRATSCHKO (2006) war das Ergebnis ähnlich und durchwegs vergleichbar, er konnte noch feststellen, dass die Geländeneigung eine Signifikanz aufwies. Auch das Forschungsergebnis von HOLZFEIND (2017) lieferte vergleichbare Ergebnisse, auch hierbei konnte eine Signifikanz der Geländeneigung nachgewiesen werden. Eine Erklärung könnte die auf Bodenschonung bedachte Arbeitsweise des Forwarderfahrers sein, denn er erhöhte auch in flacherer Geländeneigung die Fahrtgeschwindigkeit nicht, sondern arbeitete unabhängig vom Gelände mit einer niedrigen Geschwindigkeit. Somit konnte nicht nachgewiesen werden, dass die Geländeneigung einen Einfluss auf die Produktivität hat.

Die Fahrwerksbetriebsstunden (15,99 %- 22,34 %) und die sonstigen Betriebsstunden (13,16 %- 18,89 %), betrugten gemeinsam ein Drittel der gesamten Betriebsstunden (Tabelle 28). Ein direkter Vergleich der Aufstellzeiten mit integrierten Traktionshilfsseilwinden lässt sich nicht herstellen. HOLZFEIND (2017) dokumentierte, dass 9,5 % der Gesamtarbeitszeit auf die Installation der integrierten Traktionshilfsseilwinde der Firma Haas an Ankerbäumen entfiel. Es konnte nicht festgestellt werden, inwieweit sonstige Betriebsstunden Zeiten für die Installation enthielten, da hierfür keinerlei genauere Aufschlüsselung möglich war.

Stellt man einen Kostenvergleich an, zeigt sich, dass bei einer integrierten Traktionshilfsseilwinde „Highgrade“ der Firma Haas mit 88 kN Zugkraft Anschaffungskosten in Höhe von 75.000 € anfallen (HOLZFEIND, 2017), bei der T-WINCH 10.2 belaufen sich die Anschaffungskosten auf 160.000 € (Tabelle 29), was Mehrkosten von 213 % entspricht. Das Seil der T-WINCH 10.2 ist auf eine Nutzungsdauer von 2000 PSH₁₅ ausgelegt, bei einem Preis von 4500 €. Im Vergleich mit dem Seil der integrierten Traktionshilfsseilwinde der Firma Haas, bei einer Nutzungsdauer von 500 PSH₁₅ und einem Preis von 1350 € (HOLZFEIND, 2017), sind die Kosten der integrierten Traktionshilfsseilwinde bei gleicher Nutzungsdauer um 900 Euro höher als bei der T-WINCH 10.2.

5.2 Einsatzempfehlungen

Die Auswertungen der durchgeführten Aufnahmen legen den Schluss nahe, dass die T-WINCH 10.2 für Unternehmer geeignet ist, die über einen größeren Fuhrpark verfügen. Der Unternehmer sollte über Aufträge verfügen, die nicht ausschließlich Seilunterstützung benötigen. Er muss seine Einsätze so wählen, dass zuerst der Harvester im moderaten Seilgelände arbeitet, erst danach beginnt der Forwarder seine Tätigkeit. Somit kann er die T-WINCH 10.2 dort einsetzen, wo sie

notwendig ist. Damit erspart sich der Unternehmer teure Standzeiten. Besonders für Einsätze in jüngeren Beständen ist die T-WINCH 10.2 integrierten Traktionshilfsseilwinden vorzuziehen, da bei der Verwendung der funkferngesteuerten Traktionshilfsseilwinde keine Ankerbäume benötigt werden. Sehr zu empfehlen ist die T-WINCH 10.2 für Unternehmer, die sich nicht nur auf die Holzernte fokussieren, sondern auch andere Maschinen wie z.B. Schreitbagger am Hang einsetzen. Ist mit steileren Böschungswinkeln zu rechnen, erweist sich die T-WINCH 10.2 einer integrierten Traktionshilfsseilwinde als überlegen, da die integrierte Traktionshilfsseilwinde an der hinteren Unterseite der Maschine montiert ist, somit sinkt der befahrbare Böschungswinkel. Dies schont die Traktionshilfsseilwinde und wirkt einer Waldbodenverwundung entgegen. Ein weiterer Vorteil für den Unternehmer zeigte sich beim Entladen auf der Forststraße. Der Maschinist kann sich vom Zugseil abhängen, um auf der Forststraße besser manövrieren zu können. Dies ist bei einer integrierten Traktionshilfsseilwinde nur mit einem erhöhten Zeitaufwand möglich. Das An- oder Abhängen dauerte im Schnitt 1,13 min (Tabelle 12). Ein weiterer Aspekt ist, dass nach geräumter Trasse bei einer Bergabrückung diese nicht mehr leer befahren werden muss, um an die Ankerbäume zu gelangen. Dies erweist sich als bodenschonend und ökonomisch.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Ziel dieser Arbeit war, zu untersuchen, welche Parameter bei der Forwarderrückung mit einer funkferngesteuerten Traktionshilfsseilwinde die Produktivität bestimmen. Es sollte geklärt werden, wie sich die Anteile von Fahrwerks- und Traktionsbetriebsstunden bei konkreten Einsätzen der funkferngesteuerten Traktionshilfsseilwinde verteilen. Wie hoch sind die Maschinen- und Einsatzkosten für diese Rücketechnologie. Schlussendlich sollte aufgrund der vorhandenen Ergebnisse eine konkrete Einsatzempfehlung erfolgen.

Der gesamte Arbeitsablauf wurde mit einer am Forwarder montierten GoPro Hero 5 Kamera dokumentiert. Jene Arbeitstakte, die nicht durch das Sehfeld der Kamera erfasst werden konnten, sind mit einer Stoppuhr händisch dokumentiert worden. Weiteres wurden die Motordaten der T-WINCH 10.2 bei fünf Forstunternehmern ausgelesen, um die Anteile von Fahrbetrieb und Traktionsbetrieb bei unterschiedlichen Einsatzbedingungen und über einen längeren Zeitraum zu erhalten. Im Rahmen einer Arbeitsstudie wurde der Einfluss von Stückvolumen, Geländeneigung, Fahrdistanz, der Einsatz der T-WINCH 10,2 und Ladedistanz auf die Produktivität bei der Forwarderrückung mit und ohne Traktionshilfsseilwindenunterstützung untersucht.

Getestet wurde die 10 000 kg schwere, funkferngesteuerte Traktionshilfsseilwinde T-WINCH 10.2 der österreichischen Firma ecoforst mit einer maximalen Einzugsgeschwindigkeit von 1,1 m/s und der Forwarder Komatsu 875 in der 8 WD Ausführung mit 190 kW welcher mit 16 000 kg beladen werden kann.

Insgesamt flossen 1159,8 min Aufnahmezeit für die Ermittlung der Produktivität mit ein. Die Aufnahmen umfassten 46 Fahren, wovon 23 mit T-WINCH 10.2 Unterstützung und 23 Fahren ohne Hilfestellung der T-WINCH 10.2 durchgeführt wurden. Das durchschnittliche Stückvolumen betrug 0,17 Efm, das durchschnittliche Fahrenvolumen 10,65 Efm, die mittlere Geländeneigung 29,57 %. Die mittlere Fahrdistanz betrug 169,48 m.

Es flossen 3344,5 Betriebsstunden in die Auswertung der Anteile von Traktions- und Fahrwerksbetrieb mit ein. Die Anteile von Fahrwerksbetrieb betragen zwischen 15,99 und 22,34 %, jene vom Traktionsbetrieb zwischen 59,68 und 68,72 % je nach Unternehmer. Sonstige Betriebsstunden machten zwischen 13,16 und 18,89 % aus.

Die wichtigsten Einflussfaktoren für die Produktivitätsanalyse waren die Fahrdistanz, die Ladedistanz und das Stückvolumen. Es ergab sich eine Produktivität von 27,95 Efm/PSH₁₅. Es konnte nachgewiesen werden, dass bei erhöhter Fahrdistanz die Produktivität sinkt. Bei steigendem Stückvolumen wurde ebenfalls eine Erhöhung der Produktivität nachgewiesen.

Die Kostenkalkulation ergab einen Gesamtwert von 133,53 €/PSH₁₅ für den Komatsu 875, die T-WINCH 10.2 und die Lohnkosten, wobei 40,76 €/PSH₁₅ auf die T-WINCH 10.2 und 63,42 €/PSH₁₅ auf den Komatsu 875 entfallen. Die Lohnkosten trugen mit 29,35 €/PSH₁₅ zu den Gesamtkosten bei. Es wurden keine Einstellkosten berücksichtigt. Somit ergeben sich 4,7 €/Efm.

Der Einsatz von funkferngesteuerten Traktionshilfsseilwinden stellt eine Alternative zu integrierten Traktionshilfsseilwinden dar. Der Vorteil der T-WINCH 10.2 ist ihre vielseitige Anwendbarkeit, jedoch ist ihr Preis auch höher als jener von integrierten Traktionshilfsseilwinden. Speziell bei Durchforstungen ist der Einsatz der funkferngesteuerten Traktionshilfsseilwinde integrierten Traktionshilfsseilwinden vorzuziehen, da keine Ankerbäume notwendig sind. Im moderaten Seilgelände (< 70 %) stellt die T-WINCH 10.2 einen Ersatz gegenüber Seilkränen dar, da die langen Aufstellzeiten entfallen. Arbeitet man nicht von der Forststraße aus, können sich die Aufstellzeiten deutlich erhöhen, abhängig von Bestand und Gelände.

7 LITERATURVERZEICHNIS

- AFFENZELLER, G., & STAMPFER, K. (2008). Energieholzbereitstellung mit Forwarder und Fällersammler Moipu 400E. Kooperationsplattform Forst Holz Papier (FHP).
- AFFENZELLER, G. (2005). Integrierte Harvester-Forwarder-Konzepte (Harwarder). Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Institut für Forsttechnik, Wien.
- BIERNATH, J. (2019). Welte: Vorlieferraupe mit Hatz Vierzylinder. Forstmaschinenprofi, S.39.
- BORCHERT, H., & METAN, M. (2008). Kein Luftdruck für alle Fälle. LWF aktuell (67), S.22-23.
- BORCHERT, H. (2008). Bodenschutz bei der Holzernte. LWF aktuell (67), S.3-4.
- BORCHERT, H. (2013). Auf den Boden achten. Redaktion LWF.
- BORCHERT, H., KREMER, J., & HUBER, C. (2013). Schutz des Waldbodens beim Einsatz von Forstmaschinen. LWF Wissen (72), S.39-45.
- BRANDHUBER, R. (2006). Bodenbelastung durch Landmaschinen. Wirkungsmechanismen und Risikobeurteilung. Ackerbau vor neuen Herausforderungen. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Schriftenreihe (21).
- BRANDTNER, N. (2018). Produktivitätsevaluierung des seilgestützten Harvesters John Deere 1170E. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Institut für Forsttechnik, Wien.
- BREITENSTEIN, M. (2009). Neue Holzerntetechnik für den Gebirgswald. Wald und Holz (11/ 9), S.23-26.
- BRODA, E. (1979). Die Biomassenproduktion Im Lichte der Grundlagenforschung über Photosynthese. Institut für physikalische Chemie, Universität Wien.
- BURK, J., & WEISE, G. (2005). Einfluss von Reifendruckregelanlagen auf den Kraftstoffverbrauch von Tragschleppern. Forstliche Information (4), S.49-51.
- EBERL, W. (2003). Leistungsfähige Holzernteverfahren. Forst und Holz. Zuschnitt (8).
- FEHRLE, M. (1999). Bessere Lastbildung bei der Hubschrauberbringung. Arbeit im Wald. Österreichische Forstzeitung (6), S.10.
- FENZ, B., & STAMPFER, K. (2007). Motormanuelle Holzernte mit Waldhackgutbereitstellung. Fallstudien im Laubholz-Montecuccoli'sches Gut Mitterau. Universität für Bodenkultur, Institut für Forsttechnik, Wien.
- FREY, B., & LÜSCHER, P. (2008). Mikrobiologische Untersuchungen in Rückegassen. Bodenmikroorganismen wirken als Zeiger für stark verdichtete Fahrspuren. LWF aktuell (15), S.5-7.
- GRUBER, P.H. (2018). Erstellung eines Produktivitäts- und Treibstoffverbrauchsmodelles für die Rückung mittels Traktoranhänger. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Institut für Forsttechnik, Wien.
- HAAS MASCHINENBAU (2019). Prospekt Three point winch.
- HARTGE, K., & HORN R. (1991). Einführung in die Bodenphysik. 2. Auflage Stuttgart, Enke Verlag.
- HOFFMEIER, C. (2010). Welchen Einfluss haben die verschiedenen Arbeitsverfahren auf den Kraftstoffverbrauch eines Harvesters am Beispiel Valmet 911.3. Bachelorarbeit, Hochschule für Forstwirtschaft, Rottenburg.
- HOLZFEIND, T. (2017). Produktivitätsevaluierung des seilgestützten Forwarders John Deere 1110E. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Institut für Forsttechnik, Wien.
- HOLZFEIND, T., HOLZLEITNER, F., STAMPFER, K. (2017). Verlässliche Seilschaft. Österreichische Forstzeitung (11), S.3-7.

- HOLZFEIND, T., VISSER, R., CHUNG, W., HOLZLEITNER, F., & ERBER, G. (2020). Development and Benefits of Winch-Assist Harvesting. *Current Forestry Reports* (6), S.201-209.
- HUNNINGHAUS M., & FLURY, E. (2011). GPS-Technologie soll die Bodenverdichtung minimieren. *Wald Holz* (92), S.9-21.
- JACKE, H., BROKMEIER, H., SENGPIEL, A. (2008). PrAllCon-Slash: Druckverteilung von Forstreifen unter Reisigarmierung. IFA Mitteilung: Reihe A, Heft 5
- KANZIAN, C. (2003). Modelle zur Abschätzung der Installationszeit von Seilgeräten. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Institut für Alpine Naturgefahren und Forstliches Ingenieurwesen, Wien.
- KILIAN, W., MÜLLER, F., & STARLINGER, F. (1994). Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. Forstliche Bundesversuchsanstalt, Wien.
- KOMATSU (2019). Komatsu 875. Technische Daten.
- KOROTAEV, A. (1992). Bodenverdichtung und Wurzelwachstum der Bäume. *Forstarchiv* (63), S.116-119.
- KREMER, J., SCHARDT, M. (2007). Vergleich der Bogiebänder Eco-Track und Eco-Baltic. *LWF aktuell* 59, S. 3-5.
- LÜSCHER, P., FRUTIG, F., SCIACCA, S. SPIEVAK, S., & THEES, O. (2019). Physikalischer Bodenschutz im Wald. Bodenschutz beim Einsatz von Forstmaschinen. Merkblatt für die Praxis (45), S.12.
- LÖFFLER, H. (1991). Forstliche Verfahrenstechnik. Holzernte (2). Forstliche Arbeitswissenschaften und Informatik, München.
- MARGANNE, M.A. (1997). Soil Compaction and Disturbance Following a Thinning of Second-Growth Douglas-fir with a Cut-to-Length and a Skyline System in the Oregon Cascades. Professional Paper submitted to the Department of Forest Engineering, Oregon State University, Corvallis.
- MERKBLÄTTER FVA (1997). Stichprobenverfahren zur Rundholzvermessung-Meßanweisungen. Freiburg/DE, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt, Baden-Württemberg.
- MESSNER, S. (2019). Entrindung mit dem Harvesteraggregat in Fichten Durchforstungsbeständen. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Institut für Forsttechnik, Wien.
- MOITZI, G. (2006). Möglichkeiten zur Kraftstoffeinsparung. Online-Fachzeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- NELLEN, B. (2011). Preisentwicklung beim Tannen und Fichtenholz in der Schweiz von 1919 bis 2010. Bachelorarbeit, Fachhochschule Nordwestschweiz.
- NEMESTOTHY, N. (2009). Boden unter Druck. Sind Bodenschutz und Holzernte vereinbar? *BFW Praxisinformation* (19), S.9-13.
- NEMESTOTHY, N. (2015). Bedeutung von Bodenverdichtung für Ertrag und Nachhaltigkeit. *BFW-Praxisinformation* (39), S.8-13.
- NEMESTOTHY, N. (2012). Pflegelinien und Rückegassen. Die Fahrgassen für die Waldbewirtschaftung. BFW-FAST Ort, Forsttechnik, Gmunden
- OBERER, F. (2016). Die Technik hat sich etabliert. *Wald und Holz* (7/16), S.24-26.
- OHRNER, G., & WEIXLER, H. (1993). Der neue Bayrische Hochgebirgstarif. *AFZ* (17).
- PLESSL, W. (2013). Maschinendatenbasiertes Produktivitäts- und Treibstoffverbrauchsmodell für Harvester. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Institut für Forsttechnik, Wien.
- RAAB, S. (1999). Arbeitsverfahren für die Pflege in der Fichte. Bericht aus der LWF (20), Freising, S.86.

- RAAB, S., FELLER, S., UHL, E., SCHÄFER, A., & OHRNER, E. (2002). Aktuelle Holzernteverfahren am Hang. Bayrische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF).
- RIEZINGER, A. (2008). Die Ermittlung der ökologischen Effizienz der Bereitstellungskette von Waldhackgut anhand ausgewählter Fallstudien. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Institut für Forsttechnik, Wien.
- SAUTER, U. H., MEHLIN, I., & GRAMMER R. (1998). Vollmechanisierte Holzernte am Steilhang mit Vollerntetechnik. *Der Wald* (14), S.722-724.
- SCHÄFFER, J. (2002). Befahren von Waldböden, ein Kavaliersdelikt? *Der Waldwirt* (29), S. 21-23.
- SCHIELER, K., & HAUKE, E. (2001). Instruktion für die Feldarbeit. Österreichische Waldinventur 2000/2002, Dienstanweisung, Wien, S.199.
- Schuldt, B. (2014). Bodenschutz auf Rückegassen. Bundesweiter Überblick zum Einsatz von mechanisierten Holzernteverfahren in Laubholzbeständen, Bachelorarbeit, Hochschule für Forstwirtschaft, Institut für Forsttechnik und Waldarbeitslehre, Rottenburg
- SEINTSCH, B., & DIETER, M. (2008). Waldstrategie 2020. Tagungsband zum Symposium des BMELV, Institut für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft, Berlin.
- STAMPFER, K. (2002). Optimierung von Holzerntesystemen im Gebirge. Habilitationsschrift, Institut für Forsttechnik, Wien.
- STAMPFER, K., STEINMÜLLER, T., & SVATON, R. (2001). Grenzen der Steigfähigkeit. Österreichische Forstzeitung (112), S.1-3.
- TOBISCH, R. (2001). Weniger Druck ist mehr! Forsttechnische Informationen (1), S.5-7.
- TRELLEBORG (2003). Reifenhandbuch. Niedrigdruckreifen. TWIN für Land und Forstwirtschaft, Industrie und Grünflächen. S67.
- UHL, E. (2008). Bodenstruktur und Bestandeswachstum. *LWF aktuell* (67), S.8-10.
- VISSER, R., & STAMPFER, K. (1998). Cable Extraction of Harvester-Felled Thinnings: An Austrian Case Study. *Journal of Forest Engineering*, S.39-46.
- WEISE, G. (2008). Entwicklung und Einsatz von Forstreifen. *LWF aktuell* (67), S.24-27.
- WEISE, G., AMMER, C., DREEKE, R., JACKE, H., WAGNER, T., WEHNER, T., Weis, J., FORBRIG, A., NICK, L., & URBANKE, B. (2009). Arbeitskreis „Maschinentechnische Maßnahmen zur Senkung der Beanspruchung und Belastung der Rückegassen“. Bodenschonende Holzernte. Abschlussbericht zum Auftrag des FCK an das KWF, S.24-36.
- WBAG (2006). Österreichische Holzhandelsusancen, Wien.
- WEISE, G. (2016). Traktionshilfsswinden-Besser im Hang. *Fachzeitschrift, Forstmaschinen& Zubehör* (5), KWF Groß-Umstadt.
- WINKLER, C. (1997). Vorstudie Ökoinventare von Holzerntesystemen. ETHZ-D-WAHO Forstliches Ingenieurwesen ETH, Zürich.
- WRATSCHKO, B. (2006). Einsatzmöglichkeiten von Seilforwardern. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Institut für Forsttechnik, Wien.

Elektronische Quellen:

BFW (2010). Glossar Bodenprofile. Abgerufen am 06.08.2020 von <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms2.web?dok=6731>

Ecoforst (2017). Technische Daten. Abgerufen am 04.09.2019 von <https://www.ecoforst.at/t-winch/technische-daten>

HAUK, B. (2004). Wie kann die Bodenbelastung bewertet werden. Ein neuer Ansatz aus dem KWF. Abgerufen am 16.11.2020 von http://kwf-online.de/deutsch/arbeit/boden/bodendruckbewertung_021120.pdf

Tmarequipment (2019). Technische Daten. Abgerufen am 16.10.2019 von <https://www.tmarequipment.com/yarders/log-champ-winch-assist/>

WKO.(2019). Kollektivvertrag gewerbliche Forstunternehmen, Arbeiter/innen, gültig ab 1.3.2019. Abgerufen am 20.09.2020 von https://www.wko.at/service/kollektivvertrag/kv-arbeiter-gewerbliche-forstunternehmen-2019.html#heading_Anlage_A_Lohntafel

Mündliche Mitteilung:

Prominczel, R. (2020): Systemvergleich mit konventionellen integrierten Traktionshilfsseilwinden

Prominczel, R. (2019): Arbeitsweise der T-WINCH 10.2.

Tauchner, OG. (2020): Einsatzerfahrung T-WINCH 10.2.

7.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Druckverteilung im Boden (BORCHERT, 2013)	5
Abbildung 2: T-MAR LOG CHAMP 250 TRACTION WINCH (T-MAR INDUSTRIES LTD, 2019).....	6
Abbildung 3: Dreipunktanbauwinde (HAAS- Maschinenbau, 2019)	7
Abbildung 4: Tractionline (Electrical & Machinery Services LTD, 2015)	7
Abbildung 5: Herzog MW 500 Synchronwinch (Herzog Forsttechnik AG 2021)	8
Abbildung 6: ROB remote Operated Bulldozer (Rosewarne & May Limited, 2009)	8
Abbildung 7: Aufnahme einer Rückegasse (Foto: Verfasser).....	11
Abbildung 8: Funkfernsteuerung der T-WINCH 10.2 (Foto: Verfasser)	12
Abbildung 9: Komatsu 875 bei der Befahrung der bergseitigen Böschung (Foto: Verfasser)	13
Abbildung 10: Aufstellung T-WINCH 10.2 (Foto: Verfasser)	13
Abbildung 11: Arbeitsweise Forwarder mit T-WINCH 10.2 Unterstützung bei der Bergaufrückung (Grafik: Verfasser).....	14
Abbildung 12: Arbeitsweise Forwarder mit T-WINCH 10.2 Unterstützung bei der Bergabrückung (Grafik: Verfasser).....	14
Abbildung 13: Beschreibung der Maße der T-WINCH 10.2 (ecoforst, 2019)	15
Abbildung 14: Abmessungen des Komatsu 875 (Komatsu, 2020)	16

Abbildung 15: Anwendung Stirnflächenverfahren (FVA-Baden-Württemberg, 1997)	18
Abbildung 16 : Stirnflächenverfahren am Rungenkorb (Foto: Verfasser).....	18
Abbildung 17: Produktivität in Abhängigkeit vom Stückvolumen	29
Abbildung 18: Produktivität in Abhängigkeit vom Fuhrevolumen.....	29
Abbildung 19: Histogramm standardisierter Residuum der Fahrteffizienz	42
Abbildung 20: Histogramm standardisierter Residuum der Ladeeffizienz	43
Abbildung 21: Histogramm standardisierter Residuum der Entladeeffizienz.....	43

7.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beschreibung der untersuchten Kovariaten.....	10
Tabelle 2: Beschreibung der abhängigen Variablen.....	10
Tabelle 3: Technische Daten der ecoforst T-WINCH 10.2	15
Tabelle 4 :Technische Daten des Komatsu 875.....	16
Tabelle 5: Beschreibung der Arbeitstakte für den Forwarder	17
Tabelle 6: Beschreibung der Arbeitstakte für die T-WINCH 10.2.....	17
Tabelle 7: Beschreibung der Arbeitstakte des internen Speichers der T-WINCH 10.2	19
Tabelle 8 : Darstellung der Gesamtzeit	20
Tabelle 9: Arbeitstakte ohne T-WINCH 10.2	20
Tabelle 10: Statistische Kennwerte für die Kovariaten ohne T-WINCH 10.2	21
Tabelle 11: Statistische Kennwerte für die abhängigen Variablen ohne T-WINCH 10.2	21
Tabelle 12: Arbeitstakte mit T-WINCH 10.2	22
Tabelle 13: Statistische Kennwerte für die Kovariaten mit T-WINCH 10.2 Unterstützung.....	22
Tabelle 14: Statistische Kennwerte für die abhängigen Variablen mit T-WINCH 10.2	23
Tabelle 15: Arbeitstakte Gesamt.....	23
Tabelle 16: Kennwerte für die Kovariaten Gesamt	24
Tabelle 17: Statistische Kennwerte für die abhängigen Variablen Gesamt.....	24
Tabelle 18: Rüstzeiten der T-WINCH 10.2.....	25
Tabelle 19: Kovarianzanalyse: abhängige Variable= Effizienz Fahren.....	25
Tabelle 20: ANOVA Fahren.....	26
Tabelle 21: Regressionskoeffizient für das Teilmodell Fahren.....	26
Tabelle 22: Kovarianzanalyse: abhängige Variable= Ladeeffizienz	26
Tabelle 23: ANOVA Ladeeffizienz	27
Tabelle 24: Regressionskoeffizient für das Teilmodell Laden	27
Tabelle 25: Kovarianzanalyse: abhängige Variable= Entladeeffizienz	27
Tabelle 26: ANOVA Entladeeffizienz	28

Tabelle 27: Regressionskoeffizienten für das Teilmodell Entladen	28
Tabelle 28: Darstellung der Betriebsstunden bezogen auf ein Jahr	30
Tabelle 29: Darstellung der Traktions- und der Fahrwerksbetriebsstunden Prozent bezogen auf ein Jahr	30
Tabelle 30: Kostenkalkulation für die T-WINCH 10.2	31
Tabelle 31: Kostenkalkulation für das Seil der T-WINCH 10.2	31
Tabelle 32: Kostenkalkulation für den Forwarder.....	31
Tabelle 33: Lohnkosten Maschinist.....	32
Tabelle 34: Gesamtkosten.....	32
Tabelle 35: Darstellung der Betriebsstunden.....	44

7.3 Formelverzeichnis

Formel 1	10
Formel 2	18
Formel 3	26
Formel 4	27
Formel 5	28
Formel 6	28
Formel 7	28

8 ANHANG

8.1 Produktivitätsmodell

8.1.1 Teilmodell Fahren

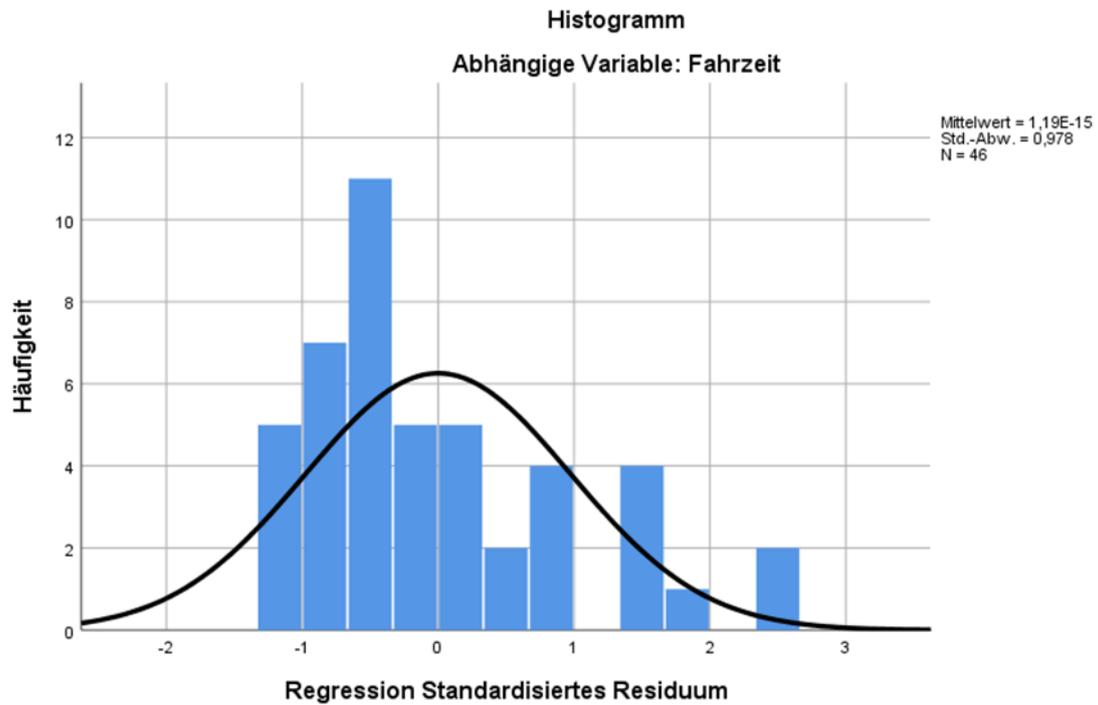


Abbildung 19: Histogramm standardisierter Residuum der Fahrteffizienz

8.1.2 Teilmodell Laden

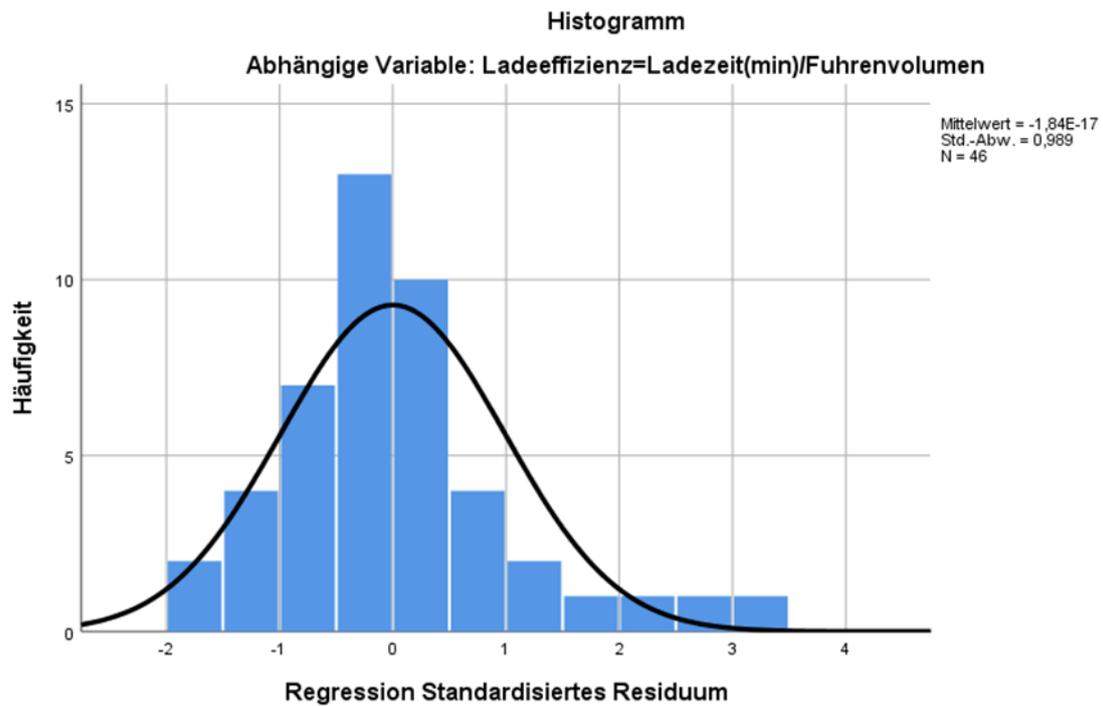


Abbildung 20: Histogramm standardisierter Residuum der Ladeeffizienz

8.1.3 Teilmodell Entladen

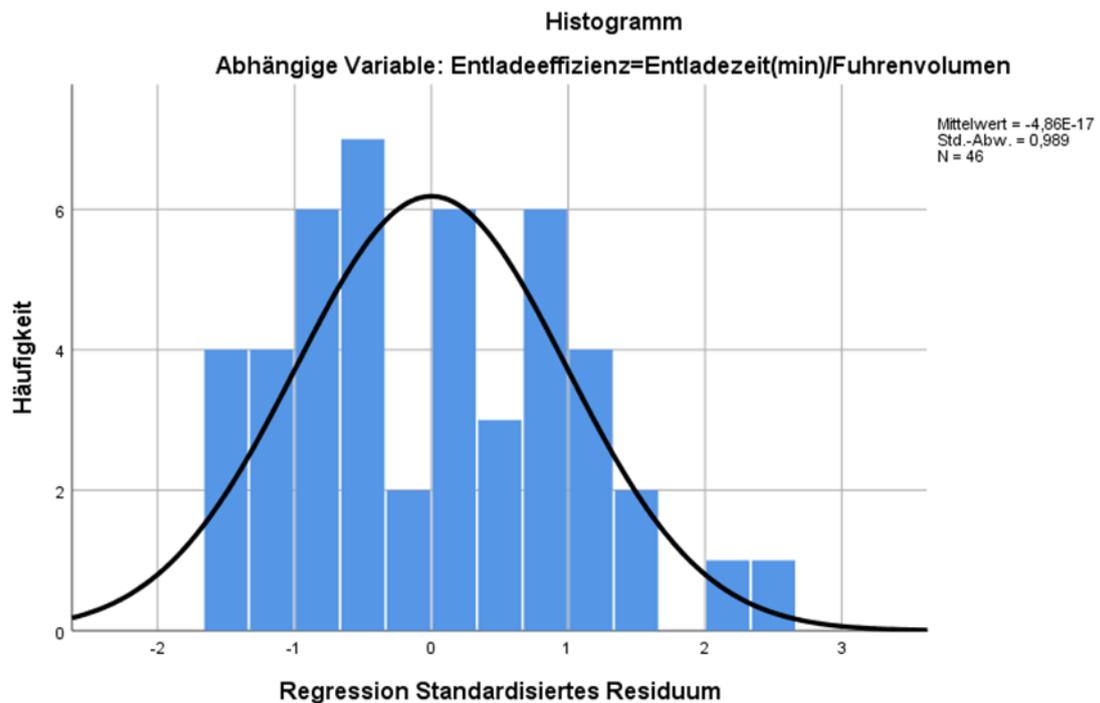


Abbildung 21: Histogramm standardisierter Residuum der Entladeeffizienz

8.2 Auswertung der Maschinendaten hinsichtlich ihrer Anteile von Motorbetrieb, Traktionsbetrieb und Fahrbetrieb

Tabelle 35: Darstellung der Betriebsstunden

Unternehmer	1	2	3	4	5
Betriebsstunden	372h	987h	557,5h	683h	745h
Traktionsbetriebsstunden	238,5h	589 h	354h	443h	512h
Fahrwerksbetriebsstunden	59,5h	220,5h	126h	150h	135h
Einsatzdauer	5 m	13 m	10 m	16 m	13 m

8.3 Formulare für die Erhebungen

Trassen-Formular		
Erheber:		Datum:
Trassennummer:		Uhrzeit:
Trassenneigung:		Bergaufrückung <input type="checkbox"/>
Trassenlänge:		Bergabrückung <input type="checkbox"/>
Art der Nutzung:		
Anmerkungen:		

Führen-Formular			
Erheber:		Datum :	
Trassennummer:		Uhrzeit:	
		Fotonummer:	
		Führennummer:	
Distanz zum ersten Aufladen:			
Distanz bis zum letzten Aufladen:			
Anzahl der Bloche mit Markierungen:			
Nummer	Durchmesser:	Baumart:	Länge:
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			

Standorts- und Bestandes-Formular	
Erheber	
Datum	
Uhrzeit	
Trassennummern	
<u>Merkmale</u>	
Ort	
Exposition	
Höhe	
Aktuelle Bestockung	
Alter	
Wuchsklasse	<ul style="list-style-type: none"> • Stangenholz: ab 105 bis 204 mm BHD • Baumholz I: ab 205 bis 354 mm BHD • Baumholz II: ab 355 bis 504 mm BHD • Starkholz: ab 505 mm BHD
Gründigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • flach = 0,15–0,30 m • mittel = 0,30–0,70 m • tief = 0,70–1,20 m