



**Universität für Bodenkultur Wien**  
Department für Wald- und Boden-  
wissenschaften

# **Produktivitätsevaluierung des seilgestützten Harvesters John Deere 1170E**

## **Masterarbeit**

Erstellt von:

Norbert Brandtner

Betreuer:

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Karl Stampfer

Dipl.-Ing. Dr. Franz Holzleitner

Dipl.-Ing. Thomas Holzfeind

Universität für Bodenkultur Wien  
Department für Wald- und Bodenwissenschaften  
Institut für Forsttechnik

Wien, 25. Mai 2018

# INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG .....	1
1.1	Problemstellung.....	1
1.2	Zielsetzung .....	3
2	STAND DER TECHNIK.....	4
2.1	Anbieter von Traktionshilfsseilwinden.....	4
2.1.1	Bauarten und Bauformen von Traktionshilfsseilwinden.....	5
2.1.2	Autonome Traktionshilfsseilwinden .....	5
3	UNTERSUCHUNGSOBJEKT UND METHODIK.....	8
3.1	Bestands- und Geländebeschreibung.....	8
3.2	Arbeitssystem .....	8
3.2.1	Maschinendaten Harvester John Deere 1170E.....	8
3.2.2	Traktionshilfsseilwinde Haas.....	10
3.2.3	Arbeitsweise.....	10
3.3	Modellhypothese für den Zeitbedarf Montage Traktionshilfsseil .....	12
3.4	Modellhypothese für die Produktivität des Harvesters 1170E.....	12
3.5	Datenerhebungskonzept.....	13
3.5.1	Zeitstudie Montage Traktionshilfsseil .....	13
3.5.2	Produktivitätsmodell seilgestützter Harvester.....	15
3.6	Datenaufbereitung .....	16
3.6.1	Zeitstudie Montage Traktionshilfsseil .....	16
3.6.2	Produktivitätsmodell seilgestützter Harvester.....	16
3.7	Statistische Analyse.....	17
3.8	Kalkulationsblatt Harvester John Deere 1170E mit Traktionshilfsseilwinde..	18
4	ERGEBNISSE.....	20
4.1	Deskriptive Statistik für den Zeitbedarf Gesamtmontage Traktionshilfsseil ..	20

4.2	Modell Zeitbedarf Montage Traktionshilfsseil.....	23
4.2.1	Ermittlung der Gesamtmontagekosten.....	25
4.3	Deskriptive Statistik für das Produktivitätsmodell Harvester .....	26
4.4	Produktivitätsmodell Harvester John Deere 1170E mit Traktionshilfsseilwinde .....	27
4.4.1	Modellentwicklung.....	27
4.4.1	Zeitbedarfsmodell.....	29
4.4.2	Modell Produktivität Harvester .....	31
4.5	Maschinenkostenkalkulation .....	32
4.6	Produktivitätsvergleiche für die Fällung und Aufarbeitung mit Harvester .....	35
4.7	Kostenvergleich mit einem alternativen Arbeitssystem.....	36
5	ZUSAMMENFASSUNG .....	38
6	LITERATURVERZEICHNIS .....	38
6.1	Abbildungsverzeichnis .....	41
6.2	Tabellenverzeichnis .....	42
6.3	Formelverzeichnis.....	43
6.4	Elektronische Quellen.....	43
6.5	Mündliche Mitteilung.....	44
7	ANHANG.....	45
7.1	Kalkulationsblatt seilgestützte vollmechanisierte Holzernte mit Traktionshilfsseilwinde .....	45
7.2	Formeln zur Erläuterung der Produktivität und der Systemkosten im Vergleich zu konventionellen Arbeitssystemen .....	46
7.3	Höhenkurven zur Volumsberechnung.....	47

## ABSTRACT

Harvesters, equipped with traction winches, get more and more popular in steep terrain harvesting due to cost savings and environmental advantages. The main aim of this thesis was to investigate productivity and costs of tethered fully mechanized timber harvesting to compare them with cable yarding systems. Both, an empirical model for installation time and a productivity model for tethered harvesters in steep terrain were developed within this thesis.

The installation time model was based on a dataset of 21 installation cycles. The average trail length was 76 m with a ranging from 33 m to 130 m. Slopes ranged from 47 to 71%. In total, the average installation time, was 24,8 min and the average dismounting time was 11.6 min. The installation model shows a gross installation time (installation + dismounting) of 36,4 min at a trail length of 76 m with result in 102,2 € assuming total system costs of a harvester with 168.4 €/PSH<sub>15</sub>. As result the productivity model harvester had a productivity about 14.0 Efm/PSH<sub>15</sub> (without bark) with an average tree volume of 0.30 cubic meter (without bark). Fully mechanized timber harvesting systems, in comparisons between cable yarding systems with the studied system, are advantageous in terms of costs.

Keywords: Harvesters equipped with tractions winches, steep terrain harvesting, productivity model harvesters.

## KURZFASSUNG

Traktionshilfsseilwinden, aufgebaut auf Harvester und Forwarder, sind in der vollmechanisierten Holzernte am Steilhang in den letzten Jahren unverzichtbar geworden und haben im Bereich der Forsttechnik eine hohe Bedeutung erlangt.

Das Ziel dieser Masterarbeit ist es, die seilgestützte vollmechanisierte Holzernte mit Harvester am Steilhang zu analysieren. Es sollen die Montage- und Demontagezeiten des Traktionshilfsseiles, sowie die am Steilhang erzielbare Produktivität unter Berücksichtigung derer Einflussfaktoren erhoben werden. Grundlage für die vorliegenden Untersuchungen sind detaillierte Vor-Ort-Zeitstudien in Kombination mit Maschinendaten. Basierend auf den erhobenen Prozessdaten wird mittels statistischer Analyse ein Zeitbedarfsmodell für die Montagezeiten des Traktionshilfsseiles und ein Produktivitätsmodell für die Holzernte erstellt.

Das Zeitbedarfsmodell wird anhand von 21 Montagezyklen erarbeitet. Bei einer Trassenlänge von 76 m ergibt sich eine durchschnittliche Gesamtmontagezeit, inklusive der Demontagezeit von 36,4 min mit Gesamtmontagekosten von 102,2 €.

Grundlage für das Produktivitätsmodell „Harvester“ bilden 1373 Bäume mit einem durchschnittlichen Baumvolumen von 0,30 Efm. Daraus resultiert eine Produktivität von 14,0 Efm/PSH<sub>15</sub>, ohne Berücksichtigung der Montagezeiten des Traktionshilfsseiles.

Gegenüberstellungen haben ergeben, dass die seilgestützte vollmechanisierte Holzernte in Bezug auf die Holzerntekosten gegenüber der hochmechanisierten im Vorteil ist.

Schlüsselwörter: seilgestützter Harvester, Harvester mit Traktionshilfsseilwinde, Seilharvester, vollmechanisierte Holzernte, Zeitstudie, Produktivitätsmodell.

## **Vorwort**

Mit Abschluss dieser Arbeit neigt sich meine Studienzzeit zu Ende. Ich möchte diese Gelegenheit nutzen und mich beim gesamten Team des Institutes für Forsttechnik bedanken, insbesondere bei Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Karl Stampfer und Dipl.-Ing. Dr. Franz Holzleitner, die mir dieses spannende Thema anvertraut haben.

Besonderer Dank gilt auch dem Holzernteunternehmen Huber und Tazreiter GmbH, die mir die Außenaufnahmen ermöglichten.

Ein herzliches Dankeschön auch an (die Kollegin) Angelika Faistauer, die mir bei der richtigen Wortwahl geholfen hat.

Nicht zuletzt auch ein herzliches Dankeschön an meinen Eltern, die mich über die Jahre hinweg bei der Ausbildung immer wieder unterstützt und mir die nötige Sicherheit gegeben haben.

Anhand dieser Diplomarbeit konnte ich meinen Wissenshorizont in Bezug auf die seilgestützte vollmechanisierte Holzernte wesentlich erweitern. Ich persönlich bin von dieser Technologie überzeugt - soweit sie vernünftig eingesetzt wird.

# 1 EINLEITUNG

## 1.1 Problemstellung

Traktionshilfsseilwinden, aufgebaut auf Harvester und Forwarder, sind in der vollmechanisierten Holzernte am Steilhang in den letzten Jahren unverzichtbar geworden und haben im Bereich der Forsttechnik eine hohe Bedeutung erlangt. Der zunehmende Einsatz dieser Technik wird einerseits mit einer verbesserten und bodenschonenden Befahrung des Geländes begründet, andererseits aber auch von wirtschaftlichen Überlegungen vorangetrieben (VISSER und STAMPFER, 2015).

Die Holzerntekosten am Steilhang sind im Vergleich zum befahrbaren Gelände wesentlich höher und können nur mit innovativen Ansätzen konkurrenzfähig gehalten werden (OBERER, 2016). So werden z.B. für eine Holzernte mit seilgestützten Harvestern und Forwardern deutlich geringere Kosten als bei jener mit Motorsäge und Seilgerät mit Prozessor erwartet (SEBULKE, 2011).

Die Mechanisierung am Steilhang begann mit der Entwicklung von speziellen Trägerplattformen für Feller-Buncher und Harvester. AROLA et al. (1981) und SCHIESS et al. (1983) haben den Schreitbagger Kaiser S1 als Feller-Buncher am Steilhang untersucht. In Europa ist die Entwicklung des Komatsu 911 Harvesters in der Version X3M (Snake) zu nennen, bei dem die Räder eines Standardharvesters gegen trapezförmige Raupenlaufwerke ausgetauscht wurden. Mit diesen Maschinen können unter günstigen Bedingungen Hangneigungen von bis zu 70% bewältigt werden (STAMPFER et al., 2001).

Sehr bald erkannte man allerdings, dass bei der Holzernte am Steilhang die Rückemöglichkeit der limitierende Faktor ist. Bei ersten Versuchen wurde der Steilhangharvester mit Seilgeräten kombiniert. Trotz der höheren Produktivität des Seilgerätes auf Grund der Vorbündelung des Holzes durch den Harvester und dem Wegfall des seitlichen Zuzugs (VISSER und STAMPFER, 1998; STAMPFER und STEINMÜLLER, 2004) setzte sich dieses Holzerntesystem in der Praxis nicht durch.

Deshalb wurde nach Lösungen gesucht, um den Forwarder am Steilhang einsetzen zu können. Nach mehreren technischen Adaptierungen wurde 2004 der erste marktreife Forwarder mit Traktionshilfsseilwinde des Typs Forcar FC200 fertiggestellt (HERZOG FORSTTECHNIK AG, 2016). Erste Untersuchungen zu seilgestützten Forwardern wurden von WRATSCHKO (2006) und CAVALLI et al. (2006) durchgeführt.

Bald folgten auch Traktionshilfsseilwinden für den Harvester (WEISE, 2016). Aktuell werden Radharvester und Forwarder unterschiedlicher Hersteller für

Einsätze am Steilhang mit Traktionshilfsseilwinden ausgerüstet, um auch in diesen Bereichen die Vorteile der vollmechanisierten Holzernte ausschöpfen zu können.

Traktionshilfsseilwinden können beim Harvester je nach Arbeitsweise entweder frontseitig oder am Heck der Maschine montiert werden. Der Antrieb und die Steuerung der Winde erfolgt vom Trägerfahrzeug aus und kann mit dem Fahrtrieb synchronisiert werden. Je nach Bauart erfolgt die Ausführung entweder als Trommelwinde oder als Spillwinde, ausgestattet mit Stahlseilen unterschiedlicher Durchmesser (SEBULKE, 2011).

Um einen effizienten Einsatz solcher Spezialmaschinen planen und durchführen zu können, bedarf es der Kenntnis wichtiger Kennzahlen hinsichtlich Produktivität und Wirtschaftlichkeit. Der Zeitbedarf für die Montage und Demontage des Traktionshilfsseiles ist dabei besonders kostenbeeinflussend. Bis dato gibt es keine wissenschaftlichen Arbeiten dazu. Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Analyse eines seilgestützten Harvesters, während HOLZFEIND (2017) einen seilgestützten Forwarder untersuchte.

## **1.2 Zielsetzung**

Das Ziel dieser Masterarbeit ist es, die Fällung und Aufarbeitung mit dem seilgestützten Harvester am Steilhang zu analysieren. Es werden die Montage- und Demontagezeiten des Traktionshilfsseiles sowie die erzielbare Produktivität unter Berücksichtigung der beeinflussenden Parameter erhoben. Grundlage für die vorliegenden Untersuchungen sind detaillierte Vor-Ort-Zeitstudien in Kombination mit Maschinendaten. Basierend auf den erhobenen Prozess- und Zeitdaten wird mittels statistischer Analyse ein Zeitbedarfsmodell für die Montagezeiten des Traktionshilfsseiles und ein Produktivitätsmodell für die Fällung und Aufarbeitung erstellt. Mit Hilfe des Produktivitätsmodelles soll anschließend eine Kostenanalyse bzw. ein Systemvergleich erstellt werden. Ob die seilgestützte vollmechanisierte Holzernte in einem moderaten Seilgelände eine gute Alternative zu einer hochmechanisierten Holzernte ist, soll anhand dieser Studie überprüft werden.

Im Detail gilt es folgende Fragen zu klären:

- 1) Wie hoch sind die Montage- und Demontagezeiten des Traktionshilfsseiles und welche Kosten entstehen dabei?
- 2) Mit welcher Produktivität kann bei der Fällung und Aufarbeitung mit seilgestütztem Harvester in Steillagen gerechnet werden?
- 3) Wie sieht der Vergleich in Bezug auf die Holzerntekosten mit hochmechanisierten Holzerntesystemen aus?

## 2 STAND DER TECHNIK

### 2.1 Anbieter von Traktionshilfsseilwinden

Traktionshilfsseilwinden sind seit der KWF-Tagung 2004 als eine der wesentlichsten Innovationen der letzten Jahre für die Anwendung in der forstlichen Verfahrenstechnik in Hanglagen verfügbar (WEISE, 2016). Beispielsweise produziert die Firma Herzog seit 2004 Traktionshilfsseilwinden für Forwarder und war somit einer der ersten Hersteller (SEBULKE, 2011). Folge dessen entwickelte man bald auch Traktionshilfsseilwinden für den Harvester. Aktuell gibt es im deutschsprachigen Raum einige Anbieter, die sich mit dieser Technologie auseinandersetzen. Die in der Tabelle 1 angeführten Hersteller bauen großteils ihre Geräte exklusiv für einen Forstmaschinenhersteller auf, wie zum Beispiel Ritter Maschinenbau für Komatsu oder die Firma Haas Maschinenbau für John Deere. Derzeit gibt es fünf Unternehmen, die sich auf die Herstellung von Traktionshilfsseilwinden bzw. seilgestützten Harvestern spezialisiert haben:

- Herzog Forsttechnik AG
- Haas Maschinenbau GmbH & Co. KG
- Komatsu Forest GmbH
- HSM Hohenloher Spezial-Maschinenbau GmbH & Co. KG
- Franz Hochleitner Einzelunternehmen

**Tabelle 1: Hersteller von Traktionshilfsseilwinden**

Hersteller	Haas	Komatsu	HSM	Herzog	Hochleitner
Windensystem	Spill	Spill	Trommel	Trommel	Spill
Zugkraft [kN]	0-90	0-70	0-150	0-100	0-300
Seildurchmesser [mm]	14	14	16	14/15	16-28
max. Seillänge [m]	300-500	350-500	450	280	200-450
Mindestbruchkraft [kN]	211,0	174,0	276,0	200,0/ 211,0	k. A
Montageort	Bei allen Herstellern front- und heckseitige Montage möglich				
Besonderheit	tiltbar		tiltbar		

### 2.1.1 Bauarten und Bauformen von Traktionshilfsseilwinden

Die **Bauart** erfolgt je nach Ausführung entweder als frontseitige oder heckseitige An- oder Aufbauvariante, was von der bevorzugten Arbeitsweise abhängig ist.

Zusätzlich werden Traktionshilfsseilwinden in zwei verschiedene **Bauformen** eingeteilt. Sie können entweder als Trommel- oder Spillwinden ausgeführt werden. Zum Beispiel werden von der Firma Herzog und HSM Trommelwinden sowie von der Firma Haas (Abbildung 1) als auch von Komatsu Forest Spillwinden angeboten. Beide Bauformen haben ihre Vor- und Nachteile. Bei Spill- oder Treibscheibenwinden läuft das Seil immer über den gleichen Wirkungsdurchmesser. Dies erfordert eine separate Speichertrommel für das Seil und benötigt somit einen höheren Platzbedarf für die Montage am Trägerfahrzeug. Trommelwinden haben im Gegensatz dazu nur eine Trommel, deren Kapazität die Seillänge bestimmt. Im Gegensatz zu Spill- oder Treibscheibenwinden sind sie als An- oder Aufbauwinden sehr kompakt (SEBULKE, 2011).



Abbildung 1: Traktionshilfsseilwinde Haas Frontaufbau (Foto HAAS)

### 2.1.2 Autonome Traktionshilfsseilwinden

Als Alternative zu den an- oder aufgebauten Traktionshilfsseilwinden gibt es autonome selbstfahrende Versionen (Tabelle 2). Als Beispiele kann man hier die Uni-Winch von der Firma Haas Maschinenbau (Abbildung 2), sowie die T-Winch von der Firma Ecoforst (Abbildung 3) oder von der Firma Herzog die MW500 Synchronwinch (Abbildung 4) anführen. Letztere wird meistens aus Kostensparnissen auf eine gebrauchte Trägermaschine aufgebaut. Der Unterschied zwischen in der Maschine integrierten Traktionshilfsseilwinden

gegenüber autonomen selbstfahrenden Traktionshilfsseilwinden ist, dass anstatt eines Baumes oder Wurzelstockes das Trägerfahrzeug selbst als Anker verwendet wird. In diesem Fall steht die Winde getrennt von der unterstützten Maschine, wobei sich jedoch einige Nachteile gegenüber integrierten Winden ergeben.

- Es sind zwei Maschinen mit separatem Antrieb erforderlich, wodurch auch höhere Überstellungskosten anfallen.
- Eine separate Steuerung der Maschine, ggf. mit anspruchsvoller Fernsteuerung ist erforderlich.
- Das Seil wird zum laufenden Seil, weshalb der Seilführung mehr Beachtung geschenkt werden muss.
- Bei einer Arbeitsweise bergauf ist die erstmalige Positionierung der autonomen Traktionshilfsseilwinde am oberen Trassenende mit einem höheren Aufwand verbunden, sofern die Maschine nicht von einer nahe liegenden Forststrasse überstellt werden kann.

Es ergeben sich aber auch Vorteile:

- Auf der Maschine wird kein zusätzliches Gewicht durch die Traktionshilfsseilwinde montiert.
- Verschiedene Maschinen können an eine Traktionshilfsseilwinde angehängt werden.
- Das Abhängen an der unteren Gassenausfahrt ist einfach möglich.

**Tabelle 2: Hersteller von autonomen Traktionshilfsseilwinden**

Hersteller	Uni-Winch	T-Winch	MW500 Synchronwinch
Windensystem	Spill	Trommel	Trommel
Zugkraft [kN]	0-90	0-80	100
Seildurchmesser [mm]	14	18,5	14,5
max. Seillänge [m]	300-400	500	500
Mindestbruchkraft [kN]	211,0	369,0	200,0
Besonderheit	tiltbar	Raupenfahrwerk	Abspannwinden



**Abbildung 2: Haas Maschinenbau Uni-Winch (Foto HAAS)**



**Abbildung 3: Ecoforst T-Winch (Foto KASTNER)**



**Abbildung 4: Herzog MW500 Synchronwinch (Foto HERZOG)**

## **3 UNTERSUCHUNGSOBJEKT UND METHODIK**

### **3.1 Bestands- und Geländebeschreibung**

Die vorherrschende Baumart ist bei allen dokumentierten Flächen die Fichte. Nebenbaumarten wie Kiefer oder Buche sind nur teilweise beigemischt. Waldbaulich werden Durchforstungen und Endnutzungen in nadelholzdominierten Beständen durchgeführt.

Das mittlere Vollumina aller bearbeiteten Bäume beträgt 0,30 Efm. Die durchschnittliche Geländeneigung bei der Erhebung vom Zeitbedarf Gesamtmontage wird mit 59% gemessen, wobei Maximalwerte bis 71% erreicht werden. Die durchschnittliche Geländeneigung beim Produktivitätsmodell Harvester aus den TimberLink Daten beträgt 52%.

Die gesamten Aufnahmen für den Zeitbedarf der Gesamtmontage des Traktionshilfsseiles sowie die Aufzeichnungen der TimberLink Daten für das Produktivitätsmodell, finden im Wuchsbezirk 5.2 nördliches randalpines Fichten-Tannen- (Buchen)waldgebiet, rund um Maria Zell statt. Erhobende Bestandesdaten sind im Anhang unter 7.3 Höhenkurven zur Volumsberechnung ersichtlich.

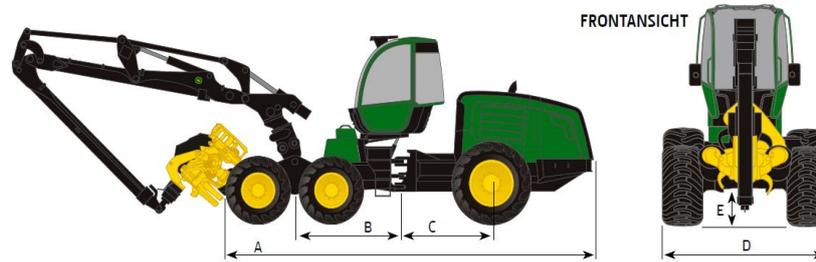
### **3.2 Arbeitssystem**

#### **3.2.1 Maschinendaten Harvester John Deere 1170E**

In dieser Studie kommt ein Harvester 1170 aus der Serie E von John Deere mit dem Aggregat H414 zum Einsatz. Mögliche Einsatzgebiete erstrecken sich von der Erstdurchforstung bis hin zur Endnutzung. Der Harvester 1170E mit dem 145 kW starken John Deere Power Tech Plus Motor ist mit 6,8 Liter Hubraum ausgestattet, der bereits bei niedrigen Drehzahlen ein hohes Drehmoment bereitstellt (Tabelle 3) (JOHN DEERE, 2016). Mit einer Kranreichweite von 11,3 m ist es möglich, einen Rückegassenabstand von mindestens 20 m einzuhalten.

Ein weiteres Merkmal der Maschine John Deere 1170E ist das Steuerungs- und Kommunikationssystem TimberMatic mit dem Softwareprogramm TimberLink. Es erfasst die Parameter der Maschine und des Aggregats sowie die Arbeitsschritte des Bedieners wie Fahren, Kranarbeiten, Schneiden oder Leerlauf. TimberLink ist somit ein Leistungs- und Zustandsüberwachungssystem für Forstmaschinen, welches die Wartung sowie die Verbesserung der Maschinenproduktivität, Kraftstoffeffizienz und Auslastungsgrad unterstützt. Ferner können aus den Daten Rückschlüsse auf die Arbeitsweise des Fahrers gezogen werden (JOHN DEERE, 2016).

**Tabelle 3: Maschinenbeschreibung John Deere 1170E (JOHN DEERE, 2016)**



<b>Merkmal</b>	<b>Wert</b>	<b>Einheit</b>
Länge (A)	7005	[mm]
Breite (710-er Bereifung) (D)	2820	[mm]
Vorderachse Knickgelenk	1950	[mm]
Hinterachse Knickgelenk	1750	[mm]
Radstand (B/C)	3700	[mm]
Äußerer Wendekreis (710-er Bereifung)	6440	[mm]
Transporthöhe	3605	[mm]
Bodenfreiheit (E)	635	[mm]
Maschinengewicht	167	[kN]
<b>Kran CH-6</b>		
Bruttohubmoment	157	[kNm]
Schwenkmoment	45	[kNm]
Max. Reichweite	10/11,3	[m]
Schwenkwinkel	220	[°]
Neigungswinkel rückw./vorw.	-14/+28	[°]
<b>Motor</b>		
Zylinder	6	
Max. Motorleistung bei 1900 U/min	145	[kW]
Hubraum	6,8	[l]
<b>Arbeitshydraulik</b>		
Pumpenleistung	160	[cm <sup>3</sup> ]
Arbeitsdruck	24/28	[Mpa]
<b>Getriebe</b>		
Hydrostatisch-mech. 2-Gang-Getriebe		
Achsen/ Hydromechanische Diff.		
Vorne/ Portaltandemachse		
Hinten/ einzelne Starrachse		
Zugkraft	150	[kN]
<b>Kabine</b>		
Selbstnivellierende und drehende Kabine		
Seitl. Neigung	0-17	[°]
Neigung nach vorne/hinten	0- 8	[°]
Drehwinkel	160	[°]
<b>Messung Steuerung</b>		
Timbermatic H-09		

### 3.2.2 Traktionshilfsseilwinde Haas

Der Harvester ist zusätzlich mit einer Traktionshilfsseilwinde der Firma HAAS Maschinenbau GmbH & Co. KG ausgestattet. Hierbei handelt es sich um eine Spillwinde, die als Aufbauvariante frontseitig montiert ist (Abbildung 5). Der Antrieb der Winde erfolgt über eine zusätzlich montierte Hydraulikpumpe. Der Fahrtrieb ist mit der Traktionshilfsseilwinde synchronisiert und erlaubt somit das gleichzeitige Fahren sowie Ein- und Ausspulen des Traktionshilfsseiles. Die maximale Zugkraft der Winde beträgt 90 kN. Die Zugkraft kann stufenlos eingestellt werden und wird auf den Fahrtrieb abgestimmt. Der Seildurchmesser beträgt 14 mm bei einer Seillänge von ca. 300 Laufmetern.



Abbildung 5: Harvester John Deere 1170E mit Traktionshilfsseilwinde der Fa. HAAS (Foto BRANDTNER)

### 3.2.3 Arbeitsweise

Bei der vollmechanisierten Holzernte mit Traktionshilfsseilwinde arbeiten Harvester und Forwarder getrennt voneinander (Abbildung 6). Bevor der Harvester mit der Arbeit beginnt, müssen die Trassen sowie ein geeigneter Ankerbaum festgelegt werden. Der Trassenabstand beträgt die doppelte Kranreichweite des Harvesters.

Sind die Trassen festgelegt, positioniert man den Harvester vor einer neuen Trasse, um mit der Montage des Hilfsseiles bzw. des Hauptseiles zu beginnen.

Für die Montage kommt die am Kranarm des Harvesters montierte Hilfsseilwinde, die mit einer Funkfernsteuerung bedient wird, zum Einsatz.

Der Fahrer montiert das Kunststoffseil der Hilfswinde beim Harvester am Ende des Stahlseiles und geht mit der durch die Montage entstandenen Seilschleife durch den unbearbeiteten Bestand bergauf zum oberen Trassenende. Dort wird das Kunststoffseil um eine Umlenkrolle gelegt. Danach wird mittels Funk die Hilfsseilwinde betätigt und das Stahlseil hinaufgezogen. Nachdem das Stahlseil das Trassenende erreicht hat, wird das Kunststoffseil vom Stahlseil gelöst und kann wieder eingezogen werden. Anschließend wird das Stahlseil an einem geeigneten Ankerbaum befestigt.

Ist das Hauptseil montiert, kann die eigentliche Arbeit beginnen. Die Bearbeitung der Rückegasse und des ausgezeigten Bestandes wird im gleichen Arbeitsschritt vollzogen. Hat sich der Harvester nach oben gearbeitet, muss er entweder wieder nach unten fahren, indem er das Hauptseil ausspult oder er kann ein weiteres Mal die Montage beginnen, um die Trasse fortzusetzen. Ist der Harvester nach der Bearbeitung der Trasse an der Forststrasse angekommen, muss der Maschinist das Hauptseil vom Ankerbaum lösen. Ist das Seil wieder vollständig eingespult, fährt der Harvester zu einer neuen Trasse und die Montage beginnt von Vorne.

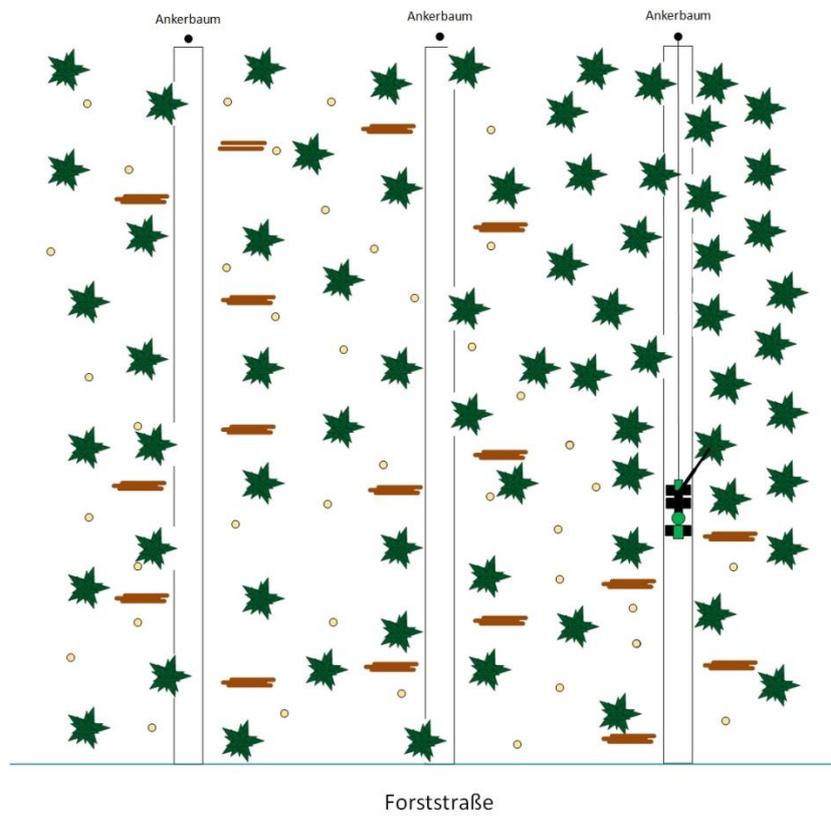


Abbildung 6: Darstellung der Arbeitsweise mit dem seilgestützten Harvester als frontseitige Aufbauvariante bergauf

### **3.3 Modellhypothese für den Zeitbedarf Gesamtmontage Traktionshilfsseil**

Zur Ermittlung der Gesamtmontage, die sich aus dem  $\text{Zyklus}_{\text{Montage}}$  und  $\text{Zyklus}_{\text{Demontage}}$  zusammensetzt wird mit Hilfe einer empirischen Studie ein lineares Modell erstellt. Die abhängige Variable Gesamtmontagezeit setzt sich aus der Summe der einzelnen Arbeitstakte zusammen.

Aufgrund von Erfahrungswerten wird allgemein davon ausgegangen, dass die Gesamtmontagezeit bei einer kurzen Trasse weniger Zeit beansprucht als bei einer längeren Trasse, sowie bei größer werdender Hangneigung zunimmt.

Aufbauend auf diesem Grundkonzept können folgende Einflussgrößen unterstellt werden:

Gesamtmontage =  $f$  (Neigung, Trassenlänge)

Eine grundlegende Voraussetzung zur Ermittlung der Gesamtmontagezeiten im Gelände ist, dass der zu bearbeitende Bestand so gut wie möglich homogen auf die äußeren Begebenheiten, wie Vegetationsdichte und Bodenbeschaffenheit ist. Dadurch kann gewährleistet werden, dass Unterschiede im Ergebnis nur auf die Trassenlänge und Neigung rückzuführen sind.

### **3.4 Modellhypothese für die Produktivität des Harvesters 1170E**

Die Herleitung von Produktivitätsmodellen ist notwendig, um zu erwartende Systemleistungen in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern vorhersagen zu können. Weiters ist das Verständnis der Einflussgrößen auf die Produktivität ein wichtiger Faktor für die Festlegung der Versuchsanordnung. Sie soll tatsächliche Verhältnisse möglichst präzise wiedergeben (DAXNER, 1998).

Für das Fällen und Aufarbeiten mit Harvestern gibt es zahlreiche Zeitbedarfs- und Produktivitätsmodelle, welche meist aus drei Komponenten bestehen: einem Modell für die (1) Fortbewegung, (2) Baumbearbeitung und (3) allgemeinen Zeiten (Stampfer, 2002). Bei Produktivitätsmodellen anhand von Maschinendaten besteht die Möglichkeit, die Komponenten (1) Fortbewegung und (2) Baumbearbeitung zusammenzufassen. Die (3) allgemeinen Zeiten werden über einen Umrechnungsfaktor (u.a. STAMPFER, 2002), der das Verhältnis von produktiven Arbeitszeiten zur Gesamtarbeitszeit wiedergibt, berechnet.

Das Grundschaema der vorliegenden Masterarbeit für das Produktivitätsmodell Harvester wird aus einer Effizienz der Harvestertätigkeit ermittelt. Als abhängige

Variable wird die Effizienz als Zeitbedarf je Kubikmeter und als Kovariaten werden das Einzelbaumvolumen je Zyklus und die Hangneigung festgelegt (Tabelle 6).

Aufbauend auf diesem Grundkonzept werden für die Modellhypothese folgende Einflussgrößen unterstellt:

$$\text{Harvestereffizienz} = f(\text{Baumvolumen, Neigung})$$

### 3.5 Datenerhebungskonzept

#### 3.5.1 Zeitstudie Gesamtmontage Traktionshilfsseil

Grundlage für die vorliegenden Untersuchungen sollen detaillierte Vor-Ort-Zeitstudien mit den abhängigen Variablen  $\text{Zyklus}_{\text{Montage}}$ ,  $\text{Zyklus}_{\text{Demontage}}$  und den Kovariaten Trassenlänge und Hangneigung sein (Tabelle 4).

Die Ermittlung der Gesamtmontagezeit wird mit dem Hardwaresystem Algiz 7 und einer Zeitstudiensoftware durchgeführt. Für die Datenaufnahme ist aufgrund des vorprogrammierten Handgerätes nur eine Person notwendig. Hier werden die einzelnen Arbeitstakte aus einer sicheren Entfernung beobachtet und eingegeben. Weiters werden die Arbeitstakte durch die Messung der Trassenlänge und Neigung ergänzt und anschließend in das Handgerät eingetragen. Die Aufnahme erfolgt mit dem Handlasergerät Tru Pulse 360.

**Tabelle 4: Beschreibung der Variablen- Gesamtmontagezeit**

Typ	Name	Beschreibung	Einheit
<b>Abhängige Variablen</b>	Zyklus-Montage	Montagezeit für die Arbeitstakte: Montage Hilfsseil, Montage Umlenkrolle, Montage Hauptseil und „verhängtes Hilfsseil“;	[min]
	Zyklus-Demontage	Montagezeit für den Arbeitstakt: Demontage Hauptseil;	[min]
<b>Kovariaten</b>	tlänge	Länge der Trasse	[m]
	neig	Durchschnittliche Geländeneigung der Trasse	[%]

Der erste Arbeitsschritt ist die **Montage des Hilfsseiles**, das mit der Ausspülung des 6 mm dicken Hilfsseiles beginnt. Der Arbeiter montiert das Kunststoffseil der

Hilfswinde beim Harvester am Ende des Stahlseiles und geht mit der Seilschlaufe zum oberen Trassenende bergauf. Um die Montage des Hilfsseiles zu erleichtern, wird die ausgespulte Seilschlaufe durch eine Umlenkrolle, die der Arbeiter an einem Gurt bei sich befestigt hat montiert, sodass eine Hand für die Bedienung der Funkfernsteuerung frei bleibt. Durch die Bedienung der Funkfernsteuerung und das gleichzeitige Ausspulen des Hilfsseiles, kann sich der Arbeiter mit dem Seil hangaufwärts bis zum Trassenende bewegen. Ist er am Ankerbaum angekommen, ist der Arbeitstakt zu Ende.

Nach dem Erreichen des Trassenendes beginnt der nächste Arbeitsschritt und zwar mit der **Montage der Umlenkrolle** an einem Baum. Die Umlenkrolle, die der Arbeiter bei sich trägt, wird an einem geeigneten Baum fixiert. Der Arbeitstakt ist beendet, sobald die Umlenkrolle am Baum fertig montiert ist.

Durch die Bedienung der Funkfernsteuerung beginnt die **Montage des Hauptseiles**. Bei diesem Arbeitstakt wird die hydraulische Seilwinde bedient, die mittels Hilfsseil über die Umlenkrolle das Hauptseil über die Trasse hinauf zieht (Abbildung 7). Im Anschluss wird das Hauptseil mit einer Rundschlinge am Ankerbaum befestigt. Nach der Montage geht der Fahrer wieder zur Maschine zurück. Sobald der Fahrer die Kabinentür geschlossen hat, ist der Arbeitstakt zu Ende.

Bei der Montage des Hauptseiles oder des Hilfsseiles kann es des Öfteren passieren, dass sich das Hilfsseil an Wurzelanläufen oder Felskanten verhängt und die Montage unterbrochen werden muss. Anschließend muss der Arbeiter das Hilfsseil wieder lösen, um die Montage fortsetzen zu können. Diese unregelmäßig anfallenden Zeiten werden unter dem Arbeitstakt „**verhängtes Hilfsseil**“ berücksichtigt. Der Arbeitstakt beginnt beim Weggehen des Fahrers zur Problemstelle und ist zu Ende, sobald mit der Montage fortgesetzt werden kann.

Nach der erfolgreichen Montage des Hauptseiles kann mit der Bearbeitung des Bestandes mit dem Harvester begonnen werden, der sich dem Trassenverlauf bis zum Trassenende hangaufwärts bewegt.

Ist der Harvester am Trassenende angelangt, folgt die **Demontage** des Hauptseiles. Bei diesem Arbeitsschritt fährt der Harvester die Trasse wieder rückwärts bis zum Trassenanfang hinunter, indem er gleichzeitig das Hauptseil ausspult. Ist der Harvester am Trassenanfang angelangt, wird das Hauptseil vom Baum gelöst und anschließend eingespult. Der Arbeitstakt ist beendet, sobald das Hauptseil vollständig eingespult ist. Anschließend kann mit der Bearbeitung einer neuen Trasse begonnen werden.



Abbildung 7: Darstellung der Montage des Hauptseiles (Foto BRANDTNER)

### 3.5.2 Produktivitätsmodell seilgestützter Harvester

Der mit der Software TimberLink ausgestattete Harvester dokumentiert mittels Sensortechnik alle Aktivitäten während der Arbeit inklusive Fahrereingaben. Die Zuweisung der einzelnen Arbeitsprozesse erfolgt mit Hilfe der von John Deere Forestry Oy entwickelten Datenaufbereitungsroutinen.

Die dem einzelnen Baum zuordenbaren Prozesszeiten ermöglichen eine detaillierte Produktivitätsanalyse. Die Gesamtzeit wird einerseits in Zeiten für die Baumbearbeitung, beginnend bei der Fällung, bis hin zum Ablegen des Wipfelstückes in der Rückegasse und andererseits in bewegungsabhängige Tätigkeiten eingeteilt. Anhand dieser Rohdaten kann ein einzelstammbasiertes Prozessprotokoll erstellt werden, welches als Datengrundlage für die Ermittlung der Produktivität des Harvesters herangezogen wird. Als Beobachtungseinheit wird der Einzelbaum festgelegt. Die festgelegten Variablen sind in der Tabelle 5 abgebildet.

Für die Datenerhebung gelten folgende Rahmenbedingungen:

- Das Arbeitssystem muss mit Boogie-Bändern und Traktionshilfsseilwinde ausgestattet sein.
- Es dürfen nur Einsätze mit üblichen Ausformungsvorlagen aufgenommen werden.

**Tabelle 5: Beschreibung der Variablen- Harvestereffizienz**

Typ	Name	Beschreibung	Einheit
<b>Abhängige Variablen</b>	Zyklus- Baum	Gesamte Zeit für die Bearbeitung eines Einzelbaumes (Fällschnitt, Aufarbeitung und Fortbewe-	[min]
	effiz	Bearbeitungszeit pro Volumseinheit	[min/Efm]
<b>Kovariaten</b>	baumvol	Volumen eines einzelnen Baumes	[Efm]
	neig	Neigung der zu bearbeitenden Trasse	[%]

### 3.6 Datenaufbereitung

#### 3.6.1 Zeitstudie Montage Traktionshilfsseil

Der Export der Daten aus dem Handgerät in ein EXCEL-File erfolgt nach den jeweiligen Feldarbeiten. Die Übertragung der aufgenommenen Daten in einen Rechner erlaubten eine anschließende Fehlerkorrektur.

#### 3.6.2 Produktivitätsmodell seilgestützter Harvester

Die aufgezeichneten TimberLink Maschinendaten werden mittels Spezialsoftware vom Onboard-Computer des Harvesters ausgelesen und auf einen USB- Stick kopiert und zur Entschlüsselung mittels MATLAB-Routinen zu John Deere nach Finnland übersendet. Von dort wird die Datenbank in Form von baumbezogenen Prozessdaten in ein EXCEL-File retourniert und kann somit bearbeitet werden.

Für die Modellentwicklung wird das Baumvolumen nach Pollanschütz für jeden Einzelbaum mittels Schaftholzformzahlfunktion berechnet und ergibt somit Vfms (POLLANSCHÜTZ, 1974), welches durch einen in der Forstwirtschaft üblichen Reduktionsfaktor von 0,8 auf Efm reduziert wird. Die Volumina werden basierend auf dem vom Aggregat aufgezeichneten Fälldurchmesser ermittelt.

Die erforderliche Neigung als Variable der Reggressionsanalyse wird aus den TimberLink Daten herangezogen. Sie wird mittels der Neigung des Kabinenausgleichs der Maschine, in einem Intervall von 20 min, in den TimberLink Daten notiert und in Sektoren eingeteilt. Der Unterschied der Sektoren beträgt jeweils 5 Grad und wird für die weiteren Berechnungen in Prozent umgerechnet. Die erhobenen durchschnittlichen Hangneigungen werden den jeweiligen Produktivitäten je Abschnitt zugeordnet.

Für die Datenaufbereitung gilt folgende Rahmenbedingung:

- Zur Datenaufbereitung werden nur Bäume mit einem BHD größer gleich 8 cm und mit einer Effizienz kleiner 37 min pro Efm ausgewertet.

### **3.7 Statistische Analyse**

Den Lösungsansatz findet man mit der Varianzanalyse, welche die Wirkung einer oder mehrerer unabhängiger Variablen auf eine bzw. mehrere abhängige Variablen untersucht. Die Auswertung muss über eine univariate Kovarianzanalyse geschehen, da die intervallskalierte unabhängige Variable als Kovariate bezeichnet wird. Unter Univariat versteht man, dass es nicht mehr als eine abhängige Variable gibt (BACKHAUS et al., 2006).

Für den Zeitbedarf Montage Traktionshilfsseil als auch für das Produktivitätsmodell Harvester wird eine Kurvenanpassung gerechnet, um die Parameter für das jeweilige Modell zu schätzen. Für die Berechnung wurde das Programm SPSS 23.0 für Windows angewandt.

Für die Modelle wird nach der Beschreibung zur Modellbildung bei forstlichen Zeitstudien von STAMPFER (2002) folgend vorgegangen:

- Evaluierung der Nichtlinearität der Kovariablen
- Analyse der Interaktionen (Wechselwirkungen) zwischen Faktoren und Kovariablen
- Schätzung der Parameter für die maßgeblichen Faktoren und Kovariablen (Regressionsanalyse)
- Überprüfung der Modellvoraussetzungen (Residuenanalyse)
- Notwendige Modellverfeinerungen
- Plausibilität
- Modellevaluierung

### 3.8 Kalkulationsblatt Harvester John Deere 1170E mit Traktionshilfsseilwinde

Mit dem Kalkulationsblatt (Anhang 7.1) können die jeweiligen Produktivitäten und Kosten des Harvesters bzw. des Forwarders anhand bestehender Produktivitätsmodelle verglichen werden. Weiteres dient die Kalkulation als Grundlage für nachfolgende Einsatzplanungen. Für das Produktivitätsmodell Harvester John Deere 1170E wird das erarbeitete Modell aus der Masterarbeit mit der Formel 7 und für den Forwarder das Produktivitätsmodell von WRATSCHKO (2006) Formel 9 verwendet.

Für die Berechnung der Gesamtmontagekosten wird aus der Masterarbeit die Formel 5 verwendet. Die Summe der entstehenden Kosten werden als Fixkosten angenommen.

Die Gesamtmontagekosten für das Traktionshilfsseil ergeben sich aus dem errechneten Zeitbedarf der Gesamtmontage Traktionshilfsseil in h, multipliziert mit den Systemkosten vom Harvester John Deere 1170E mit Traktionshilfsseilwinde (168,46 €/PSH<sub>15</sub>) (Formel 1).

#### Formel 1: Kosten Gesamtmontagezeit Traktionshilfsseil

$$Kosten = \frac{Gesamtmontagezeit}{60} * Systemk. Harv. + Traktsw.$$

*Kosten*.....Kosten der Gesamtmontagezeit Harvester [€]

*Gesamtmontagezeit*....Zeit für Zyklus<sub>Montage</sub> und Zyklus<sub>Demontage</sub> [min]

*Systemk. Harv+Traktsw*.....Systemkosten Harvester plus Traktionshilfsseilw. [€/PSH<sub>15</sub>]

**Formel 2: Berechnung der Volumina in Efm/Trasse**

$$Efm = \left[ Kr * 2 * \frac{TI * \cos(\alpha)}{10.000} \right] * \frac{(Efm) / ha * Ent. \%}{100}$$

- Efm.....Holzanfall pro Trasse [m<sup>3</sup>]  
 Kr.....Maschinenbezogene Kranreichweite [m]  
 TI.....Trassenlänge [m]  
 α.....Hangneigung in Grad [°]  
 Efm /ha.....Erntefestmeter (Vfm\*0,8) im Bestand [m<sup>3</sup>]  
 Ent.....geplanter Entnahmeprozentsatz [%]

Formel 3 beschreibt die Berechnung der Holzerntekosten in €/ Efm für Harvester und Forwarder, die sich aus den Systemkosten Harvester mit Traktionshilfsseilwinde (168,48 €/ PSH<sub>15</sub>) und Forwarder mit Traktionshilfswinde (116,80 €/ PSH<sub>15</sub>) (WRATSCHKO, 2006), dividiert durch die Produktivität der Maschine (Efm/ PSH<sub>15</sub>) plus den Montagekosten in € pro Efm zusammensetzen.

**Formel 3: Berechnung der Holzerntekosten für den Harvester und den Forwarder unter der Berücksichtigung der Montagekosten**

$$Einsatzk. = \frac{Systk. H}{Pr. H} + \frac{Systk. F}{Pr. F} + \frac{Montk. H + F}{Efm}$$

- Einsatzk.....Einsatzkosten [€/Efm]  
 Systk.H.....Systemkosten Harvester [€/PSH<sub>15</sub>]  
 Pr.H.....Produktivität Harvester [Efm/PSH<sub>15</sub>]  
 Systk.F.....Systemkosten Forwarder [€/PSH<sub>15</sub>]  
 Pr.F.....Produktivität Forwarder [Efm/PSH<sub>15</sub>]  
 Montk.H+F.....Gesamtmontagekosten für Harvester und Forwarder [€]  
 Efm.....Holzanfall pro Trasse [m<sup>3</sup>]

## 4 ERGEBNISSE

### 4.1 Deskriptive Statistik für den Zeitbedarf Gesamtmontage Traktionshilfsseil

Insgesamt wurden für den Zeitbedarf der Gesamtmontage des Traktionshilfsseiles 11,44 Stunden mit 21 Montagezyklen erhoben (Tabelle 6). Das entspricht einem Anteil von 13,7% an der produktiven Arbeitszeit PSH<sub>0</sub>. Die kürzeste Gesamtmontagezeit beträgt 12,4 min, und die längste Trasse dauerte 49,5 min. Die Demontagezeiten dauern im Durchschnitt 11,6 min. Die Variation der Montage lässt sich hauptsächlich durch die unterschiedlichen Trassenlängen erklären. Die durchschnittliche Trassenlänge beträgt 76 m bei einer durchschnittlichen Geländeneigung von 59%. Der Arbeitstakt Montage Hilfsseil dauerte im Durchschnitt 11,9 min und der Arbeitstakt Montage Hauptseil 6,2 min. Die Montage Umlenkrolle beansprucht durchschnittlich 3,1 min und der Arbeitstakt „verhängtes Hilfsseil“ 2,0 min (Tabelle 7).

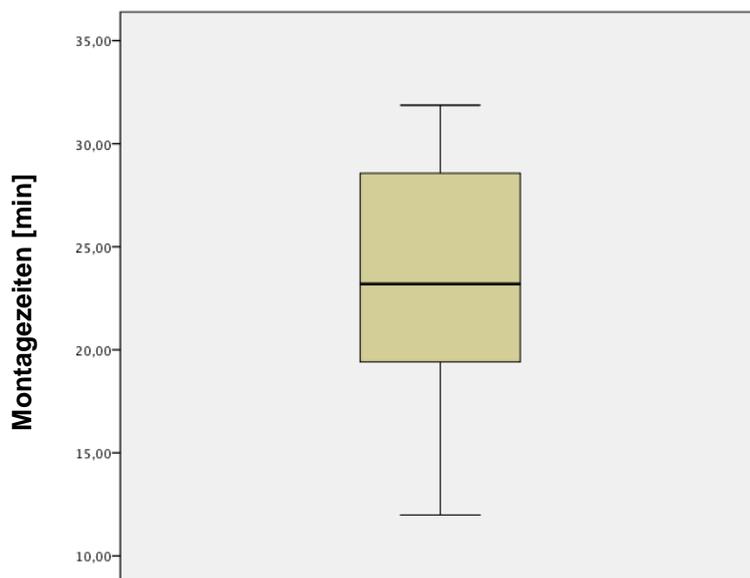
**Tabelle 6: Datengrundlage Zeitstudie**

Trasse	Ø Neig. [%]	Trassenlänge [m]	Montage [min]	Demontage [min]	Gesamtmontage [min]
1	62	130	31,87	8,29	40,16
2	60	130	30,40	5,64	36,03
3	71	90	28,56	3,35	31,91
4	65	65	26,40		26,40
5	64	40	11,98	3,35	15,33
6	60	60	20,23	19,53	39,76
7	71	75	19,42	17,50	36,92
8	58	98	20,30	15,82	36,12
9	62	92	23,19	6,46	29,65
10	60	89	29,00	11,13	40,13
11	65	85	30,17	12,56	42,73
12	50	89	27,21	15,71	42,92
13	47	105	30,61	18,93	49,54
14	52	47	19,59	9,37	28,96
15	60	51	12,40		12,40
16	53	61	23,87	6,05	29,91
17	55	63	19,40		19,40
18	56	59	18,47		18,47
19	58	53	23,00	14,83	37,83
20	55	52	25,63	15,21	40,84
21	60	53	17,73	13,21	30,94
			489,43	196,92	686,35

**Tabelle 7: Deskriptive Statistik für den Zeitbedarf Gesamtmontagezeit Traktionshilfsseil und den Einflussgrößen Trassenlänge und Neigung**

Variable	n	Mittelwert	Min.	Max.	Perz.5	Perz.95	SD	Einheit
Montage Gesamt	21	32,68	12,40	49,54	12,69	48,88	9,87	[min]
Montage	21	23,31	11,98	31,87	12,02	31,74	5,83	[min]
Demontage	17	11,58	3,35	19,53	3,35	19,05	5,35	[min]
Montage Hilfsseil	21	11,88	4,79	19,56	4,99	19,49	4,35	[min]
Montage Hauptseil	21	6,23	2,61	11,00	2,64	10,97	2,60	[min]
Montage Umlenkrolle	21	3,14	0,51	7,03	0,51	6,95	2,08	[min]
verhängtes Hilfsseil	14	2,04	0,00	6,04	0,00	5,98	2,00	[min]
Trassenlänge	21	75,57	40,0	130,0	40,70	130,0	25,96	[m]
Neigung	21	59,24	47,0	71,00	47,30	71,00	6,16	[%]

Die Hälfte der erhobenen Montagezeiten liegt zwischen 19,4 min und 28,8 min. Der Datensatz weist einen Median von 23,2 min auf (Abbildung 8). Dieser mittlere Zeitbedarf umfasst sämtliche Tätigkeiten vom Beginn der Montage des Hilfsseiles, bis hin zur fertigen Endmontage des Hauptseiles.



**Abbildung 8: Boxplot Montage des Traktionshilfsseiles**

Die Hälfte der erhobenen Demontagezeiten liegt zwischen 6,3 min und 15,8 min. Der Datensatz weist einen Median von 12,6 min auf und beinhaltet weder Extremwerte noch Ausreißer. Dieser mittlere Zeitbedarf umfasst sämtliche Tätigkeiten vom Aussteigen aus der Kabine, dem Lösen des Seiles bis zur Rückkehr zur Maschine in der betreffenden Trasse (Abbildung 9).

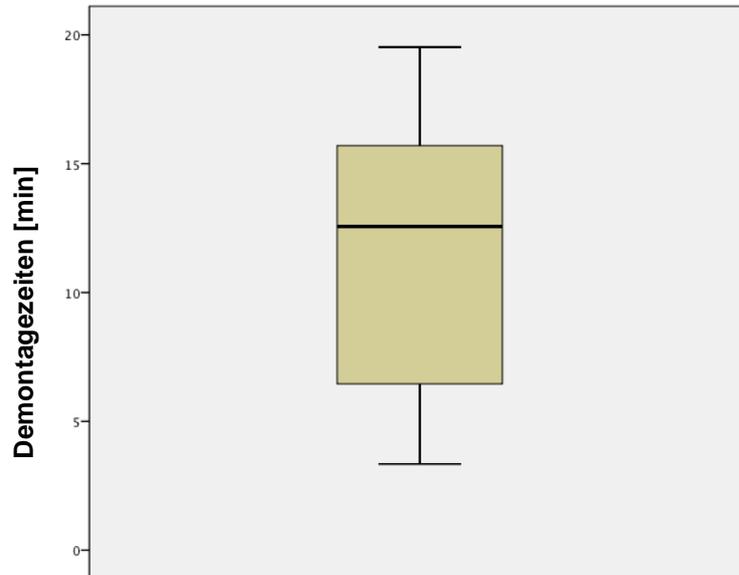


Abbildung 9: Boxplot Demontage des Traktionshilfsseiles

Der Arbeitstakt *Montage Hilfsseil* beansprucht mit 36,3% die längste Zeit im Vergleich zu den anderen Arbeitstakten. Die darauf folgende *Montage Umlenkrolle* benötigt 9,6% und die *Montage Hauptseil* 19,1% von der Gesamtmontagezeit des Traktionshilfsseiles. Der Arbeitstakt „*verhängtes Hilfsseil*“ benötigt im Durchschnitt 6,3% und der Arbeitstakt *Demontage Hauptseil* 28,7% (Abbildung 10).

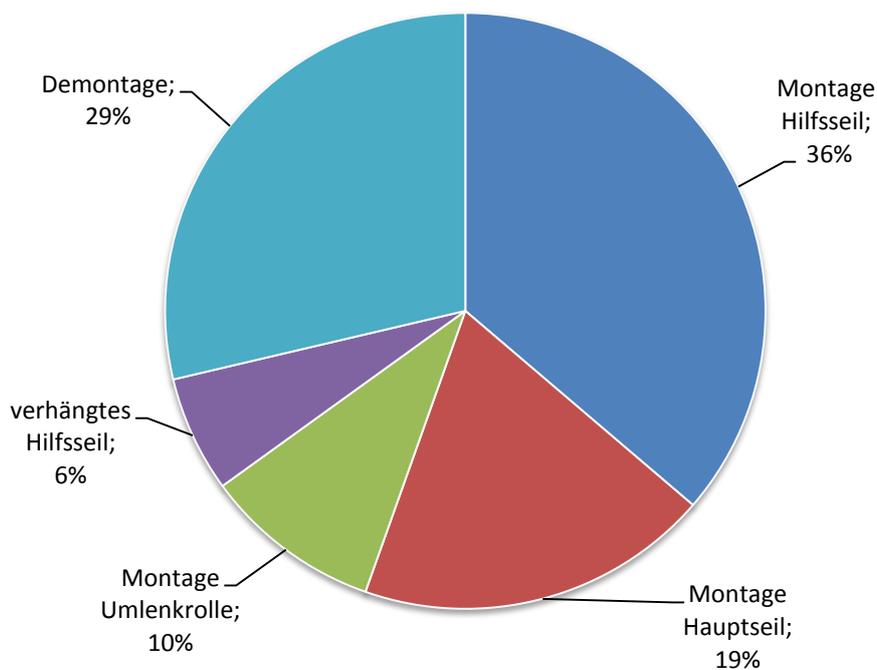


Abbildung 10: Zeitaufwand der Montage bzw. Demontage in %

## 4.2 Modell Zeitbedarf Montage Traktionshilfsseil

Von den aus der Modellhypothese untersuchten Einflussfaktoren erweist sich einzig die Variable Trassenlänge als signifikant. Die Hypothese, dass die Neigung einen signifikanten Einfluss auf die Montagezeiten hat, konnte mittels der Kovarianzanalyse nicht bestätigt werden (Tabelle 8).

**Tabelle 8: Kovarianzanalyse; abhängige Variable Montagezeit**

Modell	Quadratsumme	Freiheitsgrad	F-Wert	Signifikanz
Korrigiertes Modell	385,999	2	11,854	0,001
Konstanter Term	53,284	1	3,273	0,087
Trassenlänge	384,113	1	23,59	0,000
Neigung	6,964	1	0,428	0,521
Fehler	293,070	18		
Gesamt	12085,911			

Anschließend wird eine Regression mit Kurvenanpassung gerechnet, um die Koeffizienten für die Herleitung der Montagezeit zu ermitteln. Der Zusammenhang zwischen den einzelnen Koeffizienten wird auch graphisch abgebildet (Abbildung 11). Aus dem R-Quadrat mit 0,58 ist ersichtlich, dass die Trassenlänge 58% der Streuung erklärt. Mittels der Regressionsanalyse ergibt sich das Modell für den Zeitbedarf der Montage (Tabelle 9 und 10) (Formel 4).

**Tabelle 9: ANOVA Bearbeitungsmodell**

Modell	Quadratsumme	Freiheitsgrad	F-Wert	Signifikanz
Regression	406,527	1	28,341	0,000
Residuen	272,541	19		
Gesamt	679,069	20		

**Tabelle 10: Regressionskoeffizienten**

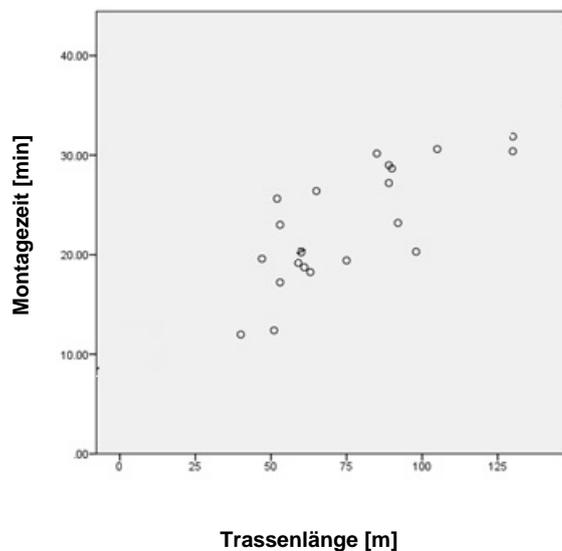
Koeffizient	Wert	Standardfehler	t-Wert	Signifikanz
Konstanter Term	37,288	2,753	13,543	0,000
1/ Trassenlänge	-950,898	178,619	-5,324	0,000

R-Quadrat = 0,60 (korrigiertes R-Quadrat = 0,58)

**Formel 4: Linearisiertes Regressionsmodell des Zeitbedarfs Montage**

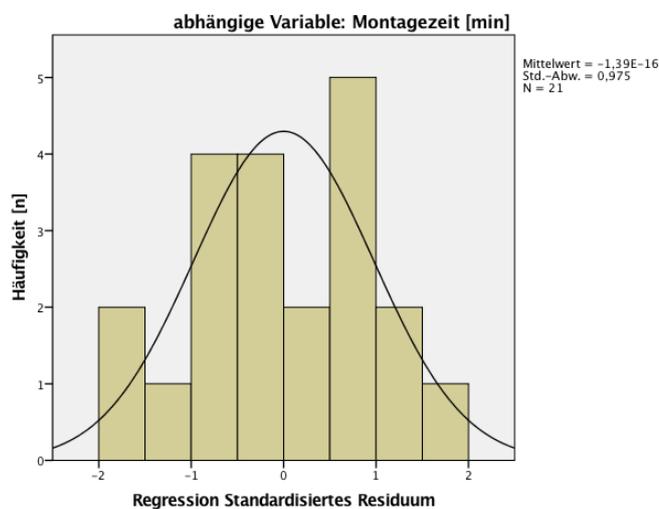
$$\text{Zeitbedarf Montage} = 37,288 - 950,898 * \frac{1}{Tl}$$

$\text{Zeitbedarf}_{\text{Montage}}$  .....Montage Hilfs- u. Hauptseil [min]  
 $Tl$ .....Trassenlänge [m]



**Abbildung 11: Streudiagramm der Montagezeiten in Abhängigkeit von der Trassenlänge**

Die Normalverteilung der Residuen ist eine wichtige Voraussetzung für die Modellannahme. Sie kann mittels P-P- Normalverteilungsplot oder in Form eines Histogramms optisch überprüft werden (Abbildung 12).



**Abbildung 12: Histogramm der standardisierten Residuen mit Normalverteilungskurve für das Modell Zeitbedarf Montage anhand der abhängigen Variable Montagezeit**

Die Montagezeit für das Hilfs- und Traktionshilfsseil beträgt bei einer durchschnittlichen Trassenlänge von 76 m 24,8 min.

Die Kovarianzanalyse ergab, dass die Kovariaten Trassenlänge und Hangneigung keinen signifikanten Einfluss auf die Demontagezeit aufweisen. Deshalb wird für die Demontagezeit keine Regression gerechnet. Für die 17 erfassten Zyklen ergibt sich eine mittlere Demontagezeit von 11,6 min. Unter Berücksichtigung der Demontage beträgt die Gesamtmontagezeit 36,4 min (Abbildung 13).

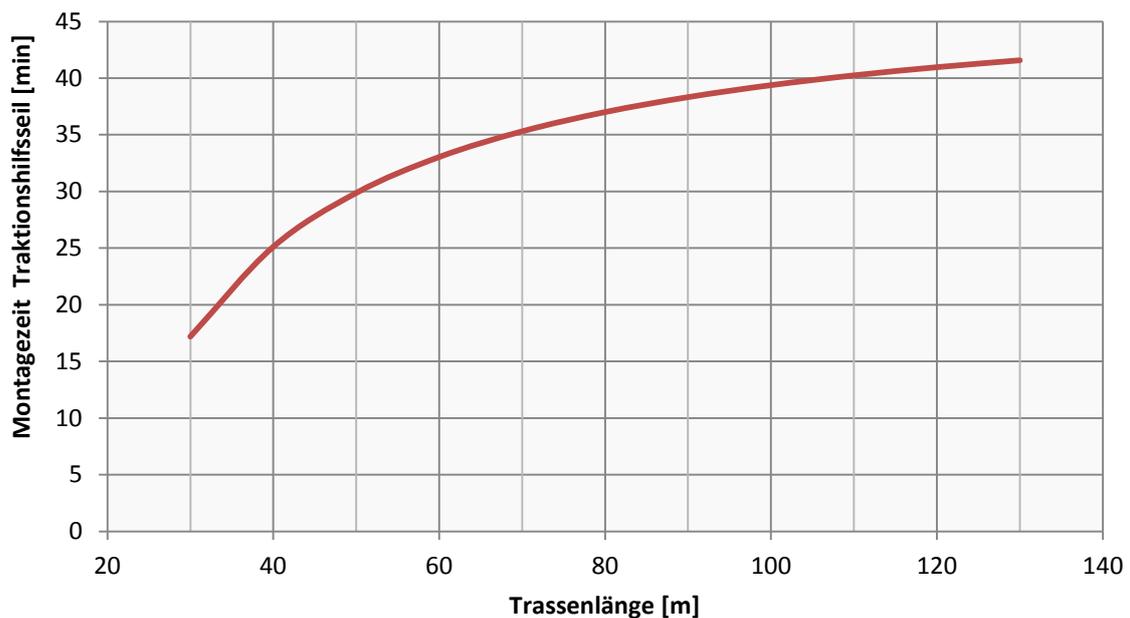


Abbildung 13: Zeitbedarf Gesamtmontage des Traktionshilfsseiles

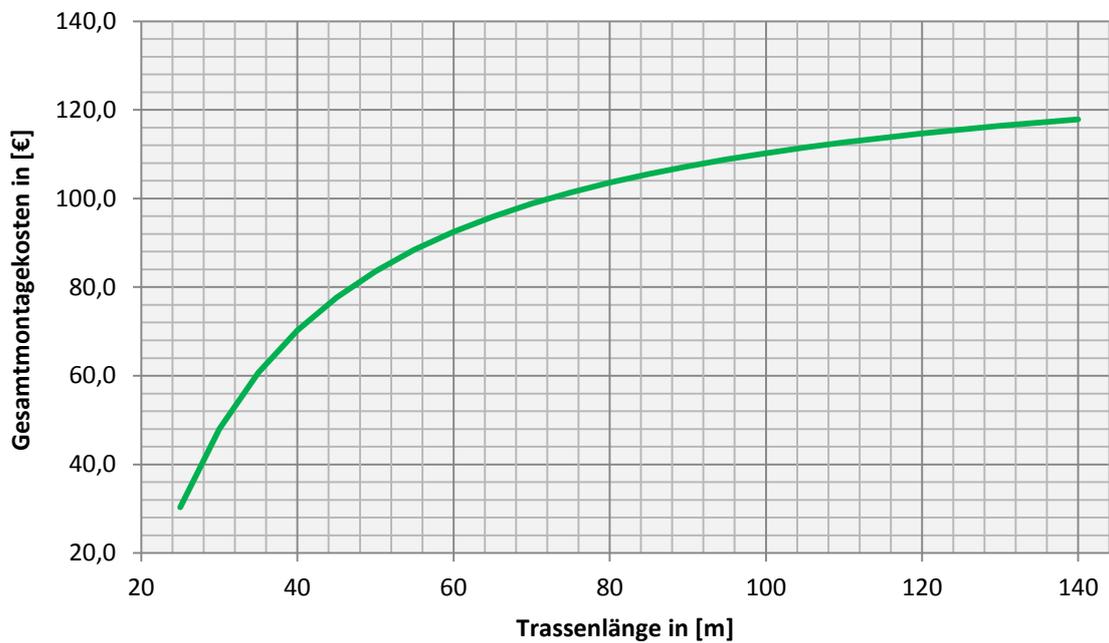
#### 4.2.1 Ermittlung der Gesamtmontagekosten

Basierend auf dem entwickelten Modell- Zeitbedarf Montage werden die Gesamtmontagekosten in Abhängigkeit von der Trassenlänge und den Systemkosten für Harvester mit Traktionshilfsseilwinde pro Stunde berechnet. Bei einer Trassenlänge von 76 Meter und Systemkosten für Harvester mit Traktionshilfsseilwinde und Fahrer ohne Unternehmerzuschlag mit 168,4 €/PSH<sub>15</sub>, ergibt sich eine Gesamtmontagezeit (inkl. Demontage) von 36,4 min mit Gesamtmontagekosten in der Höhe von 101,8 € (Formel 5) (Abbildung 14). Für die Demontage wird der erhobene Mittelwert mit 11,6 min angenommen.

**Formel 5: Berechnung der Gesamtmontagekosten**

$$Montk. = \frac{37,288 - 950,898 * \frac{1}{TI}}{60} * Systk. + \frac{Demontage}{60} * Systk.$$

Montk..... Gesamtmontagekosten [€]  
 TI..... Trassenlänge [m]  
 Systk..... Systemkosten [€/ PSH<sub>15</sub>]  
 Demont..... Zeit Demontage [min]



**Abbildung 14: Gesamtmontagekosten in Abhängigkeit von der Trassenlänge und den Systemkosten**

**4.3 Deskriptive Statistik für das Produktivitätsmodell Harvester**

Grundlage zur Erstellung des Modells bilden 1.758 Bäume mit einem Gesamtvolumen von 525,39 Efm. Der Harvester benötigt für den Arbeitsprozess dafür 83,57 Stunden inklusive der Gesamtmontagezeit von 11,44 Stunden. Für die statistische Auswertung werden, basierend auf den Maschinendaten, daraus 1.373 Bäume selektiert. Der mittlere Fälldurchmesser liegt bei 19,14 cm. Das mittlere Baumvolumen der geernteten Bäume beträgt 0,30 Efm. Die Nutzungen erfolgen mit dem minimalen Baumvolumen von 0,01 Efm und dem maximalen

Baumvolumen von 3,04 Efm. Die mittlere Bearbeitungszeit pro Baum beträgt 1,07 min. Der Zeitbedarf pro Efm beansprucht 8,10 min (Tabelle 11).

**Tabelle 11: Statistische Kennwerte für die 1373 Bäume der einzelstammbasierten Maschinendaten nach dem Filtern**

Variable	Mittelwert	Min.	Max.	Perz.5	Perz.95	SD	Einheit
Baumvolumen	0,30	0,01	3,04	0,02	1,19	0,40	[Efm]
Zeitbedarf/ Efm	8,10	0,11	37,50	0,89	26,90	8,13	[min/Efm]
Fälldurchmesser	19,14	8,10	53,50	9,6	36,23	8,01	[cm]
Hangneigung	52,69	25,0	58,0	47,0	58,0	6,55	[%]
Zeitbedarf/ Baum	1,07	0,12	18,95	0,26	3,04	1,20	[min]

#### **4.4 Produktivitätsmodell Harvester John Deere 1170E mit Traktionshilfsseilwinde**

Für das Produktivitätsmodell wird die Hangneigung als Variable in die Analyse miteinbezogen. Als abhängige Variable wird die Effizienz als Zeitbedarf je Efm und als Kovariate das Einzelbaumvolumen festgelegt. Anhand der Harvestereffizienz lässt sich durch den Kehrwert die Systemproduktivität herleiten. Der Wert 60 ergibt sich durch die Umrechnung von Minuten auf Stunden (Formel 7).

##### **4.4.1 Modellentwicklung**

Die gesamte Bearbeitungszeit beträgt 30,80 PSH<sub>15</sub>. In Summe werden 385 Daten gefiltert, wodurch sich eine Zeitreduktion von 6,3 h oder 20,7%, auf 24,42 h ergibt. Das Volumen der Bäume, die für die Auswertung herangezogen werden, wird durch die gewählten Filter von 525,39 Efm auf 520,78 Efm reduziert. Eine endgültige Plausibilitätskontrolle der Boxplots ist anhand der Abbildungen 15, 16 und 17 möglich.

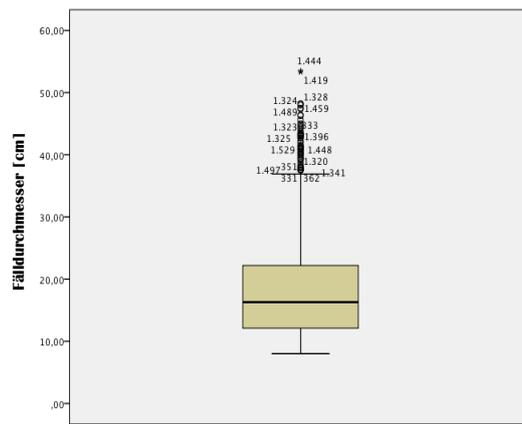


Abbildung 15: Gefilterte Daten anhand des Boxplots Fälldurchmesser

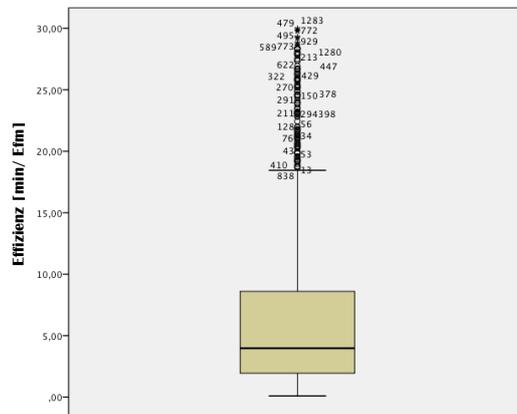


Abbildung 16: Gefilterte Daten anhand des Boxplots Effizienz

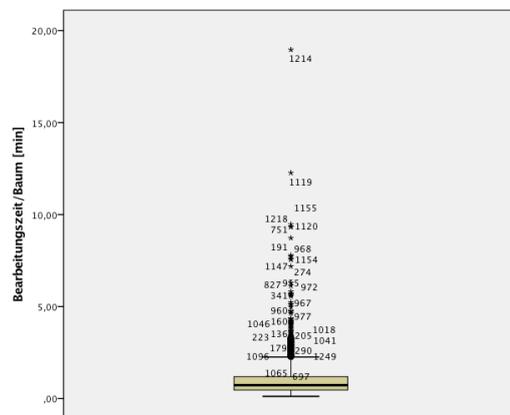


Abbildung 17: Gefilterte Daten anhand des Boxplots Zeitbedarf/ Baum

#### 4.4.1 Zeitbedarfsmodell

Von den aus der Modellhypothese untersuchten Einflussfaktoren erweist sich nur die Variable Baumvolumen (Baumvolumen-0,688) als signifikant (Tabelle 12). Da zwischen der Harvestereffizienz und dem Baumvolumen eine nichtlineare Abhängigkeit besteht, wird durch eine Kurvenanpassung die Variable Baumvolumen, mittels iterieren der Potenzzahl, ein linearer Zusammenhang hergestellt.

**Tabelle 12: Kovarianzanalyse; abhängige Variabel: Harvestereffizienz**

Quelle	Quadratsumme	Freiheitsgrad	F-Wert	Signifikanz
Korr. Modell	53186,458	2	970,224	0,000
Konst. Term	32,253	1	1,177	0,278
Baumvolumen <sup>-0,688</sup>	52901,943	1	1930,068	0,000
Hangneigung	103,047	1	3,760	0,053
Fehler	37523,431	1369		
Gesamt	180713,176	1372		
Korr. Gesamtvariation	90709,889	1372		

R-Quadrat = 0,79 (korrigiertes R-Quadrat = 0,62)

Mit dem entwickelten Modell in Tabelle 13 können 62% der Streuung des Zeitbedarfs ( $R^2 = 0,62$ ) durch den Parameter Baumvolumen erklärt werden. In Tabelle 14 sind die Koeffizienten der Parameter, die im Bearbeitungsmodell zur Anwendung kommen, angeführt. Das mittels linearer Regressionsanalyse berechnete Zeitbedarfsmodell ist in Formel 6 dargestellt.

**Formel 6: Modell Harvestereffizienz**

$$Effiz_{Harvester} = 1,386 * Baumvolumen^{-0,688}$$

Effiz<sub>Harvester</sub>..... Harvestereffizienz [min/ Efm]  
 Baumvolumen..... Baumvolumen [Efm]

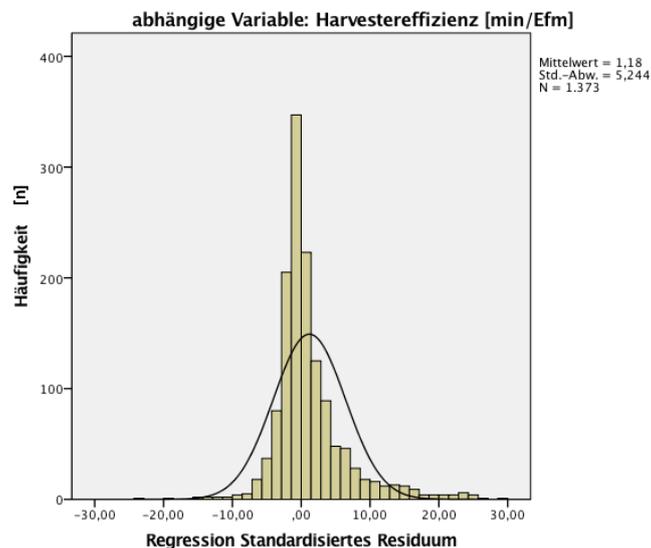
**Tabelle 13: ANOVA Modell Harvestereffizienz**

Modell	Quadratsumme	Freiheitsgrad	F-Wert	Signifikanz
Regression	923,497	1	2246,685	0,000
Residuen	563,548	1371		
Gesamt	1487,045	1372		

**Tabelle 14: Regressionskoeffizienten des Modelles Harvestereffizienz**

Koeffizient	Wert	Standardfehler	t-Wert	Signifikanz
Konstanter Term	1,386	0,044	31,166	0,000
In Baumvolumen	-0,688	0,015	-47,399	0,000

Die Normalverteilung der Residuen ist eine wichtige Voraussetzung für die Modellannahme. Sie kann mittels P-P- Normalverteilungsplot oder in Form eines Histogramms optisch überprüft werden (Abbildung 18).



**Abbildung 18: Histogramm der standardisierten Residuen mit Normalverteilungskurve für das Modell Harvestereffizienz**

#### 4.4.2 Modell Produktivität Harvester

Dem Produktivitätsmodell in Abhängigkeit vom Baumvolumen liegen die mittleren Werte mit einem durchschnittlichen Baumvolumen von 0,30 Efm zugrunde.

Für das Baumbearbeitungsmodell dient die Systemzeit ohne Unterbrechungen (PSH<sub>0</sub>). Für praktische Zwecke ist es üblich, Unterbrechungen bis zu 15 min einzubeziehen (PSH<sub>15</sub>), wodurch der Zeitbedarf höher wird. Für die Berechnung der PSH<sub>15</sub> wird somit der K-Faktor mit 1,35 in Anlehnung an STAMPFER (2002), angenommen.

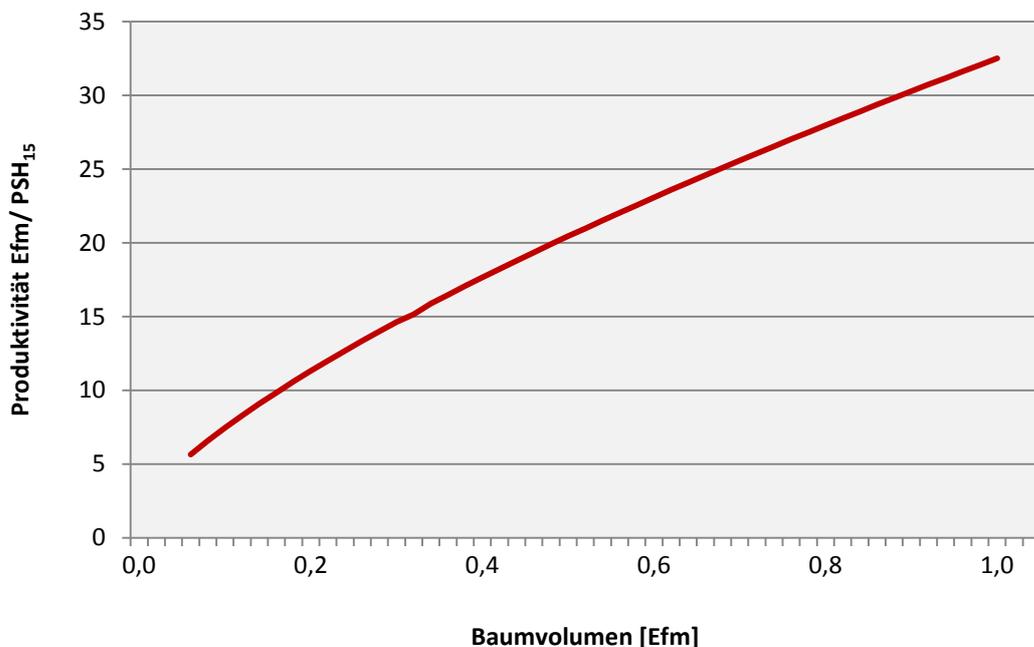
Die Herleitung der Systemproduktivität anhand der Harvestereffizienz findet man in der Formel 7.

**Formel 7: Systemproduktivität anhand der Harvestereffizienz**

$$Prod. = 60 / (K * 1,386 * Baumvol.^{-0,688})$$

Prod..... Systemproduktivität [Efm/ PSH<sub>15</sub>]  
Baumvol..... Baumvolumen [Efm]  
K..... Umrechnungsfaktor von Zeitbedarf PSH<sub>0</sub> auf PSH<sub>15</sub>

Im untersuchten Bestand erreicht der Harvester John Deere 1170E mit einem mittleren Baumvolumen von 0,30 Efm, eine Produktivität von 14,01 Efm/PSH<sub>15</sub> (Abbildung 19).



**Abbildung 19: Produktivität in Efm/PSH<sub>15</sub> für den Harvester John Deere 1170E bei der Harvestertätigkeit in Abhängigkeit vom Baumvolumen**

#### 4.5 Maschinenkostenkalkulation

Die Maschinen- sowie Systemkosten für den seilgestützten Radharvester John Deere 1170E, welche sich aus Sach- und Lohnkosten zusammensetzen, werden in der Tabelle 15 dargestellt. Die Kosten für die Traktionshilfsseilwinde, bei einer jährlichen Auslastung von 1.700 PSH<sub>15</sub>, werden in Tabelle 16 beschrieben.

Der Anschaffungspreis beläuft sich laut Firmenangaben von Huber & Tazreiter GmbH auf 395.000 € und die maximale wirtschaftliche Nutzungsdauer laut BFW (2016), auf 12.000 PSH<sub>15</sub>, wobei als normale Nutzungsdauer ein Wert von 9.000 PSH<sub>15</sub> angenommen wird (KATZENSTEINER, 2016). Mit dem John Deere 1170E wird eine jährliche Auslastung von 1.600-1.800 PSH<sub>15</sub> erreicht (KATZENSTEINER, 2016). Aufgrund dieser Information wird die jährliche Auslastung mit 1.700 PSH<sub>15</sub> gewählt.

Diese unterstellte Auslastung liegt für Maschinen der vollmechanisierten Holzernte im üblichen Bereich (STEINMÜLLER, 2002; SCHNÄBELE, 2004). Es wird ein Verfallzeitraum von 7 Jahren und ein Zinsfuß von 6% veranschlagt.

Die Versicherungsprämie wird mit 6.000 €/Jahr festgelegt. Zu berücksichtigen ist auch, dass es für diese Maschine keine Garagierkosten gibt, da sie ganzjährig im Einsatz ist. Der Kraftstoffverbrauch wird mit einem Durchschnittswert von 15 l/h zu einem Preis von 1,40 €/l berechnet.

Die Abschreibung kann linear erfolgen, da modellhaft während der gesamten Nutzungsdauer eine gleichmäßige Auslastung stattfindet (SCHNÄBELE, 2004). Die Lohnkosten belaufen sich auf 35 €/PSH<sub>15</sub> (KATZENSTEINER, 2016).

Eine Mehrauslastung der Maschine würde aufgrund der Tatsache, dass die jährliche Auslastung des Harvesters ohnehin über der Auslastungsschwelle liegt, keine nennenswerten Verringerungen der Systemkosten bedeuten.

Für die Berechnung des Seilverschleißes wird eine durchschnittliche Nutzungsdauer von 1.000 PSH<sub>15</sub> und eine Seillänge von 350 m mit je 3,0 € je lfm angenommen (KATZENSTEINER, 2016). Zu beachten ist auch, dass die Nutzungsdauer der Traktionshilfsseilwinde ebenfalls mit 9.000 PSH<sub>15</sub> angenommen wird.

Unternehmerlohn, Overheads sowie mögliche Kosten für PKW und diverses Zubehör sind in der Maschinenkostenkalkulation nicht enthalten.

**Tabelle 15: Maschinenkostenkalkulation John Deere 1170E nach FAO/ECE-Schema**

<b>Merkmal</b>	<b>Wert</b>	<b>Einheit</b>
Anschaffungskosten (An)	395.000	[€]
Normale Nutzungsdauer (H)	9.000	[PSH <sub>15</sub> ]
Veralterungszeitraum (N)	7	[Jahre]
Jährliche Auslastung (J)	1.700	[PSH <sub>15</sub> ]
Auslastungsschwelle (SW=H/N)	1.286	[MAS]
Zinsfuß (p)	6	[%]
Versicherungsprämie	6.000	[€/Jahr]
Unterstellkosten	0	[€/Jahr]
Reparaturkostenquote (r)	1	
Kraftstoff (15 l / PSH <sub>15</sub> (a`1,40 €)	21	[€/PSH <sub>15</sub> ]
Schmierstoffkosten (20%)	4,2	[€/PSH <sub>15</sub> ]
<b>Sachkosten</b>		
Verzinsung ((An/2*p/100)/J)	6,97	[€/PSH <sub>15</sub> ]
Versicherung	0,41	[€/PSH <sub>15</sub> ]
Unterstellkosten	0	[€/PSH <sub>15</sub> ]
Abschreibung (Ab=An/(H))	43,89	[€/PSH <sub>15</sub> ]
Reparaturkosten (R=(An*r)/H)	43,89	[€/PSH <sub>15</sub> ]
Treibstoff	21	[€/PSH <sub>15</sub> ]
Schmiermittel	4,2	[€/PSH <sub>15</sub> ]
Traktionshilfsseilwinde	13,10	[€/PSH <sub>15</sub> ]
<b>Summe Sachkosten</b>	<b>123,28</b>	<b>[€/PSH<sub>15</sub>]</b>
<b>Lohnkosten Harvesterfahrer</b>	<b>35</b>	<b>[€/PSH<sub>15</sub>]</b>
<b>Systemkosten</b>	<b>168,46</b>	<b>[€/PSH<sub>15</sub>]</b>

**Tabelle 16: Maschinenkostenkalkulation Traktionshilfsseilwinde Haas nach FAO/ECE-Schema**

<b>Merkmal</b>	<b>Wert</b>	<b>Einheit</b>
Anschaffungskosten (An)	75.000	[€]
Normale Nutzungsdauer (H)	9.000	[PSH <sub>15</sub> ]
Veralterungszeitraum (N)	7	[Jahre]
Jährliche Auslastung (J)	1.700	[PSH <sub>15</sub> ]
Auslastungsschwelle (SW=H/N)	1.286	[PSH <sub>15</sub> ]
Zinsfuß (p)	6	[%]
Reparaturkostenquote (r)	0,8	
Seilverschleißkosten / PSH <sub>15</sub>	1,1	[€/PSH <sub>15</sub> ]
Schmierstoffkosten / PSH <sub>15</sub>	0,5	[€/PSH <sub>15</sub> ]
<b>Sachkosten</b>		
Verzinsung ((An/2*p/100)/J)	1,32	[€/PSH <sub>15</sub> ]
Versicherung	0,18	[€/PSH <sub>15</sub> ]
Unterstellkosten	0	[€/PSH <sub>15</sub> ]
Abschreibung (Ab=An/(H))	8,33	[€/PSH <sub>15</sub> ]
Reparaturkosten (R=(An*r)/H)	1,67	[€/PSH <sub>15</sub> ]
Schmiermittel	0,5	[€/PSH <sub>15</sub> ]
<b>Systemkosten</b>	<b>13,10</b>	<b>[€/PSH<sub>15</sub>]</b>

Der Einfluss der jährlichen Auslastung auf die Systemkosten zeigt, dass bis zum Erreichen der jährlichen Auslastungsschwelle (1.286 PSH<sub>15</sub>) die Systemkosten stark abnehmen. Ist die Auslastungsschwelle jedoch erreicht, so sinken die Systemkosten nur mehr geringfügig (Abbildung 20).

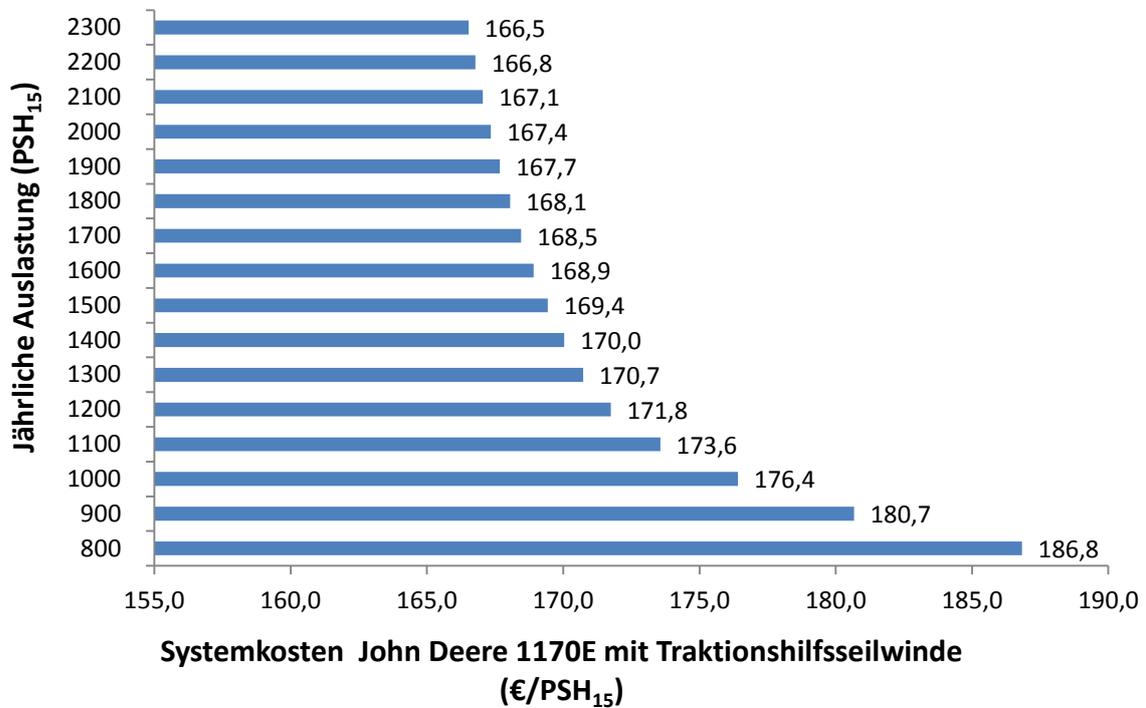


Abbildung 20: Systemkosten John Deere 1170E mit Traktionshilfsseilwinde in Abhängigkeit von der jährlichen Auslastung

Mit den errechneten Systemkosten (inklusive Traktionshilfsseilwinde) von 168,46 €/PSH<sub>15</sub> und einer Produktivität von 14,01 Efm/PSH<sub>15</sub> ergeben sich somit über die gesamten Aufnahmen Kosten von 12,0 €/Efm für die Fällung und Aufarbeitung.

## 4.6 Produktivitätsvergleiche für die Fällung und Aufarbeitung mit Harvester

Wie in Tabelle 17 ersichtlich unterscheiden sich die Produktivitätsangaben für diverse Harvester deutlich. Das Produktivitätsmodell Harvester John Deere 1270E ergibt bei einem mittleren Baumvolumen von 0,37 Efm eine Produktivität von 21,9 Efm/PSH<sub>15</sub> (PLESSL, 2013), wobei die durchschnittliche Hangneigung nur 10% beträgt. Das Modell von STAMPFER UND STEINMÜLLER (2004), mit der Maschine Valmet 911 Snake ergibt bei einer durchschnittlichen Hangneigung von 65% eine Produktivität von 20,9 Efm/ PSH<sub>15</sub>. Das durchschnittliche Baumvolumen beträgt 0,40 Efm. Die Produktivität des Harvesters Valmet 911 X3M (SCHNÄBELE, 2004) wird mit 18,8 Efm/ PSH<sub>15</sub> angegeben. Das durchschnittliche Baumvolumen beträgt 0,21 Efm und die Hangneigung 54,9%. Die hohe Produktivität in steiler Hanglage wird laut Literatur auf die gute Arbeitsweise und Routine des Maschinenführers rückgeführt. Der Vergleich mit dem Produktivitätsmodell der Maschine John Deere 1170E, im Zuge einer Erstdurchforstung mit einem durchschnittliche Baumvolumen von 0,09 Efm, ergibt eine Produktivität von 6,9 Efm/PSH<sub>15</sub> (ERBER et al., 2015). Vergleicht man die vorher angeführten Produktivitäten mit der untersuchten Maschine John Deere 1170E, so ergibt sich bei einem durchschnittlichen Baumvolumen von 0,30 Efm und einer mittleren Hangneigung von 59% bei dem erarbeiteten Modell eine Produktivität von 14,0 Efm/PSH<sub>15</sub>. Dieser Wert liegt im Vergleich zu den vorher erwähnten Produktivitäten, im unteren Bereich.

**Tabelle 17: Produktivitäten für Harvester aus der Literatur**

Maschine	Produktivität [Efm/PSH <sub>15</sub> ]	Ø Baumvol. [Efm]	Hangneigung [%]	Quelle
John Deere 1270E	21,9	0,37	10	PLESSL (2013)
Valmet 911 Snake	20,9	0,40	65	STAMPFER u. STEINMÜLLER (2004)
Valmet 911 X3M	18,8	0,21	55	SCHNÄBELE (2004)
John Deere 1170E	6,9	0,09	k.A	ERBER et al.(2015)

#### 4.7 Kostenvergleich mit einem alternativen Arbeitssystem

Da sich das Einsatzgebiet der seilgestützten vollmechanisierten Holzernte vor allem im moderaten Seilgelände befindet, ist ein Vergleich mit der hochmechanisierten Holzernte im Baumverfahren durchaus sinnvoll und zweckmäßig.

Weiters soll die Gegenüberstellung einen Überblick geben, welches Erntesystem aufgrund der vorhandenen Gegebenheiten als sinnvoll erscheint. Daraus folgend wird eine konstante Trassenlänge mit 130 m und eine einheitliche Hangneigung mit 60% angenommen. Die Hangneigung entspricht somit einem moderaten Seilgelände. Das durchschnittliche Baumvolumen wird mit 0,35 Efm festgelegt. Das Stückvolumen zur Ermittlung der Produktivität des Forwarders wird in Anlehnung aus der Arbeit von WRATSCHKO (2006) mit 0,16 Efm bzw. das Fuhrevolumen mit 10,0 Efm angenommen.

Für das Arbeitssystem hochmechanisierte Holzernte mit dem Seilgerät Syncrofalke im Baumverfahren, wird die Produktivität aus der Arbeit LIMBECK-LILIENAU (2002) herangezogen. Die Systemkosten werden mit 196,4 €/PSH<sub>15</sub> angenommen (STAMPFER und STEINMÜLLER, 2004). Für die seilgestützte vollmechanisierte Holzernte wird das Produktivitätsmodell des Harvesters John Deere 1170E aus der vorliegenden Arbeit (Formel 6 u.7) verwendet sowie das Produktivitätsmodell für den Forwarder aus der Arbeit von WRATSCHKO (2006).

Die erarbeiteten Produktivitätsangaben unterscheiden sich von den verglichenen Arbeitssystemen deutlich. In Abhängigkeit von den genannten Eingangsparametern ist der Unterschied in Bezug auf die Produktivität, wie zum Beispiel mit dem hochmechanisierten Arbeitssystem Syncrofalke mit 5,7 Efm/PSH<sub>15</sub> sehr deutlich gegenüber dem seilgestützten vollmechanisierten Holzerntesystem mit 15,9 Efm/PSH<sub>15</sub> für den Harvester und 13,3 Efm/PSH<sub>15</sub> für den Forwarder.

Für eine Berechnung der Holzerntekosten müssen zusätzlich die jeweiligen Montagekosten des Arbeitssystems berücksichtigt werden.

Für die seilgestützte vollmechanisierte Holzernte werden die Montagekosten für den Harvester anhand der Formel 3 und für den Forwarder aus dem Kalkulationsblatt (Anhang 7.1) festgelegt. Konkret werden die Montagekosten für den Forwarder mit der durchschnittlichen Montagezeit von 21,6 min (HOLZFEIND, 2017) und den Systemkosten von 116,8 €/PSH<sub>15</sub> berechnet. Mit dem errechneten Holzanfall von 47,9 Efm/Trassenlänge aus dem Kalkulationsblatt (Anhang 7.1) können die Montagekosten/Efm berechnet werden. Die Montagekosten für den Harvester betragen 2,4 €/Efm sowie 0,9 €/Efm für den Forwarder. In Summe

ergeben sich beim seilgestützten vollmechanisierten Holzerntesystem Montagekosten von 3,3 €/Efm.

Bei dem hochmechanisierten Holzerntesystem mit dem Seilgerät Syncrofalke wird bei einer Trassenlänge von 130 m, einem seitlichen Zuzug von jeweils 15 m und bei einer Bestockung von 650 Efm/ha ein Holzanfall von 71,8 Efm berechnet (Anhang 7.1). Die Installationszeit wird nach KANZIAN (2003) mit 7,5 Mannstunden zu je 35 € Lohnkosten berechnet. Zu beachten ist, dass bei dem verwendeten Modell „Zeitbedarf für die Montage und Demontage von Seilanlagen mit der Rückerichtung bergab“, nur eine Montage des Endmastes berücksichtigt wird. In diesem Fall kann man auf Grund der kurzen Rückedistanz auf die Montage einer Stütze verzichten. Somit ergeben sich in Summe Montagekosten von 3,7 €/Efm.

Vergleicht man die daraus resultierenden Holzerntekosten, inklusive Montagekosten mit 22,7 €/Efm, für das Arbeitssystem seilgestützte vollmechanisierte Holzernte mit dem hochmechanisierten Arbeitssystem mit 38,4 €/Efm, so wird der Kostenvorteil gegenüber der seilgestützten vollmechanisierten Holzernte klar dargestellt. Der konkrete Vorteil beträgt gegenüber der hochmechanisierten Holzernte 15,7 €/Efm. In Prozent ausgedrückt betragen die Holzerntekosten der seilgestützten vollmechanisierten Holzernte 59%, wenn 100% für das hochmechanisierte Arbeitssystem angenommen wird (Abbildung 21).

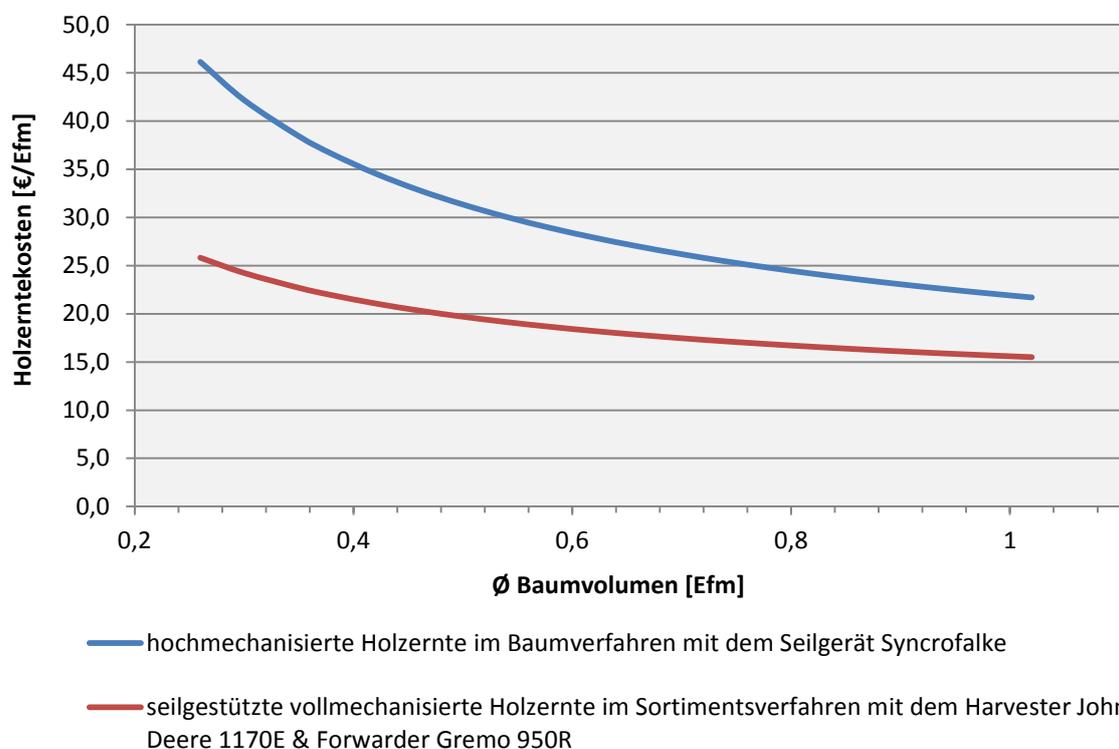


Abbildung 21: Holzerntekostenvergleich konventioneller Arbeitssysteme in €/Efm bei einer durchschnittlichen Trassenlänge von 130 Meter

## **5 ZUSAMMENFASSUNG**

Das Ziel dieser Masterarbeit bestand darin, die mechanisierte Fällung und Aufarbeitung mit Harvester am Steilhang zu analysieren. Einerseits galt es, die Montage- und Demontagezeiten des Traktionshilfsseiles zu erheben, sowie die am Steilhang erzielbare Produktivität und deren Einflussfaktoren zu analysieren. Der untersuchte Harvester war ein John Deere 1170E, ausgerüstet mit einer frontseitigen Traktionshilfsseilwinde der Firma Haas.

Grundlage für die vorliegenden Untersuchungen bildeten Vor-Ort-Zeitstudien in Kombination mit Maschinendaten. Basierend auf den erhobenen Prozessdaten wurden mittels statistischer Analyse ein Zeitbedarfsmodell für die Montagezeiten des Traktionshilfsseiles und ein Produktivitätsmodell für die Harvestertätigkeit (Fällung und Aufarbeitung) erstellt.

Das Zeitbedarfsmodell wurde anhand von 11,4 beobachteten Stunden mit einem Datenumfang von 21 Montagezyklen erarbeitet. Die durchschnittliche Trassenlänge betrug 76 m. Die Hangneigungen erstreckten sich von 47- 71%. Daraus ergab sich eine durchschnittliche Montagezeit von 24,8 min und eine durchschnittliche Demontagezeit von 11,6 min. Für die Berechnung der Montagekosten ergaben sich basierend auf dem erarbeiteten Modell Gesamtmontagekosten von 102,2 €.

Zur Feststellung der Produktivität des Harvesters am Steilhang wurde ein Produktivitätsmodell erstellt. Grundlage für das empirische Modell waren 1373 Bäume mit einem durchschnittlichen Baumvolumen von 0,30 Efm und einem Gesamtvolumen von 525,4 Efm. Für die Modellentwicklung konnte als signifikanten Einflussfaktor nur das Baumvolumen bestätigt werden. Unter Annahme der vorhin genannten Parameter ergibt sich eine Produktivität von 14,0 Efm/PSH<sub>15</sub>, ohne Berücksichtigung der Montagezeiten des Traktionshilfsseiles.

Beim Kostenvergleich des seilgestützten Arbeitssystems der vollmechanisierten Holzernte mit dem hochmechanisierten Arbeitssystem wurde ein Bestand mit 60% Hangneigung, eine Trassenlänge von 130 m und ein durchschnittliches Baumvolumen von 0,35 Efm angenommen. Vergleicht man die daraus resultierenden Holzerntekosten, inklusive Montagekosten mit 22,7 €/Efm, für das Arbeitssystem seilgestützte vollmechanisierte Holzernte mit dem hochmechanisierten Arbeitssystem inklusive Montagekosten mit 38,4 €/Efm, so wird der Kostenvorteil klar dargestellt. Zusammenfassend kann man sagen, dass die seilgestützte vollmechanisierte Holzernte klare Kostenvorteile gegenüber dem hochmechanisierten Arbeitssystem aufweisen kann.

## 6 LITERATURVERZEICHNIS

AROLA R., MIYATA E., STUROS J., STEINHILB H. (1981): Felling and Bunching Small Timber on Steep Slopes. Research Paper NC-203, North Central Forest Experiment Station, United States Department of Agriculture. 15 p.

BACKHAUS K., ERICHSON B., PLINKE W., WEBER R. (2006): Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. Springer Verlag. Berlin Heidelberg. 830 S.

CAVALLI R., ZUCOLLI BERGOMI L., WRATSCHKO B., & STAMPFER K. (2006): Productivity, costs and ecological impacts of a cable-forwarder employed under alpine conditions. FORMEC 2006- 39th International Symposium on Forestry Mechanization, 24-28. September 2006, Sofia 300 S.

ERBER G., HOCHBICHLER E., HOLZLEITNER F., KANZIAN C., LANGMAIER M., OBERMAYER B., & STAMPFER K. (2015): Einfluss zielorientierter waldbaulicher Auszeige und forsttechnischer Eingriffsplanung auf die Produktivität des Harvesters in Fichten-Durchforstungsbeständen, Universität für Bodenkultur Wien, 89 S.

HOLZFEIND T. (2017): Produktivitätsevaluierung des seilgestützten Forwarders John Deere 1110E, Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien. 57 S.

KANZIAN Ch. (2003): Modelle zur Abschätzung der Installationszeit von Seilgeräten. Diplomarbeit, Institut für Alpine Naturgefahren und Forstliches Ingenieurwesen, Universität für Bodenkultur Wien. 64 S.

LIMBECK- LILIENAU B. (2002): Hochmechanisierte Holzernte mit schräger Seiltrasse. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien 51 S.

OBERER F. (2016): Symbiose aus Rad und Seil, Fachzeitschrift: Forstmaschinenprofi; WALD UND HOLZ, Ausgabe 4, S 28.

PLESSL W.J.N. (2013): Maschinendatenbasiertes Produktivitäts- und Treibstoffverbrauchs-Modell für Harvester. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien. 37 S.

POLLANSCHÜTZ J. (1974). Formzahlfunktionen der Hauptbaumarten Österreichs. Allgemeine Forstzeitung, Jahrgang 85, Folge 153, S. 341-343.

SCHNÄBELE V. (2004): Auswirkungen von verschiedenen Arbeitsweisen mit Harvester Valmet 911.1 X3M auf die Produktivität, Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien. 39 S.

SEBULKE J. (2011): Holzernte mit Traktionshilfsseilwinden, Forst & Technik 3/ 2011 Maschinenbau. S 20.

SCHIESS P., SCHUH D., MIYATE E. S. & MANN C. N. (1983): Concept Evaluation of a Walking Feller-buncher: The Kaiser X5M Spyder. Forest Engineering Research, College of Forest Engineering, University of Washington, Seattle. 50 p.

STAMPFER K., DAXNER P. (1998): Ein Produktivitätsmodell für ein selbstfahrendes Seilgerät Typ „Woodliner“. Centralblatt für das gesamte Forstwesen, Heft 4, 249-260.

STAMPFER K., LIMBECK-LILIENAU B., KANZIAN CH., VIERTLER K. (2003): Baumverfahren im Seilgelände. Verfahrensbeispiele – Wanderfalke mit Prozessor Woody 50 und Syncrofalke mit Prozessor Wolf 50 B. FPP – Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier, Wien. S 27.

STAMPFER K., STEINMÜLLER T. & SVATON R. (2001): Grenzen der Steigfähigkeit, Österreichische Forstzeitung. S 1-3 Nr. 3.

STAMPFER K. (2002): Optimierung von Holzerntesystemen im Gebirge, Habilitationsschrift; Universität für Bodenkultur Wien. 96 S.

STAMPFER K. & STEINMÜLLER T. (2004): Harvester und Seilgeräte am Steilhang – Valmet 911.1 X3 M und Syncrofalke. Eigenverlag des Instituts für Forstechnik, Universität für Bodenkultur Wien. S. 25.

STEINMÜLLER T. (2002): Produktivitätsvergleich bei Raupenharvestern. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien. 49 S.

VISSER R., STAMPFER K. (1998): Cable extraction of harvester-felled thinnings: an Austrian case study. Journal of Forest Engineering. Jg., Nr. 1, S. 39- 46.

VISSER R., STAMPFER K. (2015): Ground-based Harvesting onto Steep Terrain: A Review, Croat. j. for. eng. 36/ 2; p.328.

WEISE G. (2016): Traktionshilfswinden – Besser im Hang, Fachzeitschrift, Forstmaschinen & Zubehör, KWF Groß- Umstadt, Ausgabe (5), S 7.

WRATSCHKO B. (2006): Einsatzmöglichkeiten von Seilforwardern, Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien. 63 S.

## 6.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Traktionshilfsseilwinde HAAS Frontaufbau .....	5
Abbildung 2: Haas Maschinenbau Uni-Winch (Foto HAAS) .....	7
Abbildung 3: Ecoforst T-Winch (Foto KASTNER) .....	7
Abbildung 4: Herzog MW500 Synchronwinch (Foto HERZOG).....	7
Abbildung 5: Harvester John Deere 1170E mit Traktionshilfsseilwinde der Fa. HAAS (Foto BRANDTNER) .....	10
Abbildung 6: Darstellung der Arbeitsweise mit dem seilgestützten Harvester als frontseitige Anbauvariante bergauf .....	11
Abbildung 7: Darstellung der Montage des Hauptseils (Foto BRANDTNER) .....	15
Abbildung 8: Boxplot Montage des Traktionshilfsseiles.....	21
Abbildung 9: Boxplot Demontage des Traktionshilfsseiles .....	22
Abbildung 10: Zeitaufwand der Montage bzw. Demontage in % .....	22
Abbildung 11: Streudiagramm der Montagezeiten in Abhängigkeit von den Trassenlängen .....	24
Abbildung 12: Histogramm der standardisierten Residuen mit Normalverteilungskurve für das Modell Zeitbedarf Montage Hilfs- u. Traktionshilfsseil .....	25
Abbildung 13: Zeitbedarf Gesamtmontage des Traktionshilfsseiles.....	25
Abbildung 14: Gesamtmontagekosten in Abhängigkeit von der Trassenlänge und Systemkosten .....	26
Abbildung 15: Gefilterte Daten anhand des Boxplotes Fälldurchmesser .....	28
Abbildung 16: Gefilterte Daten anhand des Boxplotes Effizienz min/ Efm. ....	28
Abbildung 17: Gefilterte Daten anhand des Boxplotes Bearbeitungsz./ Baum [s]	28
Abbildung 18: Histogramm der standardisierten Residuen mit Normalverteilungskurve für das Modell Produktivität Harvester.....	30
Abbildung 19: Produktivität in Efm/PSH <sub>15</sub> für den Harvester John Deere 1170E bei der Harvestertätigkeit in Abhängigkeit vom Baumvolumen.....	31

Abbildung 20: Systemkosten John Deere 1170E in Abhängigkeit von der jährlichen Auslastung .....	34
Abbildung 21: Holzerntekostenvergleich konventioneller Arbeitssysteme in €/Efm bei einer durchschnittlichen Trassenlänge von 100 Meter .....	37
Abbildung 22: Höhenkurve POLLANSCHÜTZ (1974); Bestand Kapfenberg.....	47
Abbildung 23: Höhenkurve POLLANSCHÜTZ (1974); Halltal_1 .....	47
Abbildung 24: Höhenkurve POLLANSCHÜTZ (1974); Spital .....	48
Abbildung 25: Höhenkurve POLLANSCHÜTZ (1974); Halltal_2 .....	48
Abbildung 26: Höhenkurve POLLANSCHÜTZ (1974); Kirchberg.....	49

## **6.2 Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Hersteller von Traktionshilfsseilwinden.....	4
Tabelle 2: Hersteller von autonomen Traktionshilfsseilwinden .....	6
Tabelle 3: Maschinenbeschreibung John Deere 1170E .....	9
Tabelle 4: Beschreibung der Variablen- Gesamtmontagezeit .....	13
Tabelle 5: Beschreibung der Variablen- Harvestereffizienz.....	16
Tabelle 6: Datengrundlage Zeitstudie.....	20
Tabelle 7: Deskriptive Statistik für den Zeitbedarf Montagezeit Traktionshilfsseil und den Einflussgrößen Trassenlänge und Neigung .....	21
Tabelle 8: Kovarianzanalyse; abhängige Variable Montagezeit .....	23
Tabelle 9: ANOVA Bearbeitungsmodell .....	23
Tabelle 10: Regressionskoeffizienten.....	23
Tabelle 11: Statistische Kennwerte für die 1373 Bäume der einzelstammbasierten Maschinendaten nach dem Filtern .....	27
Tabelle 12: Kovarianzanalyse; abhängige Variabel: Harvestereffizienz .....	29
Tabelle 13: ANOVA Modell Harvestereffizienz .....	30
Tabelle 14: Regressionskoeffizienten des Modelles Harvestereffizienz .....	30

Tabelle 15: Maschinenkostenkalkulation John Deere 1170E nach FAO/ECE-Schema.....	33
Tabelle 16: Maschinenkostenkalkulation Traktionshilfsseilwinde Haas nach FAO/ECE-Schema.....	33
Tabelle 17: Produktivitäten für Harvester aus der Literatur .....	35

### **6.3 Formelverzeichnis**

Formel 1: Kosten Gesamtmontagezeit Traktionshilfsseil.....	18
Formel 2: Berechnung der Volumina in Efm/Trasse.....	19
Formel 3: Berechnung der Holzerntekosten für den Harvester und den Forwarder unter der Berücksichtigung der Montagekosten.....	19
Formel 4: Linearisiertes Regressionsmodell des Zeitbedarfs Montage.....	24
Formel 5: Berechnung der Gesamtmontagekosten.....	26
Formel 6: Modell Harvestereffizienz .....	29
Formel 7: Systemproduktivität anhand der Harvestereffizienz .....	31
Formel 8: Produktivität Seilgerät Syncrofalke (LIMBECK- LILIENAU, 2002).....	46
Formel 9: Produktivität Seilforwarder Gremo 950R (WRATSCHKO, 2006) .....	46

### **6.4 Elektronische Quellen**

JOHN DEERE (2016): Technische Daten; Steuersysteme;  
[www.deere.de/de\\_DE/docs/html./publication](http://www.deere.de/de_DE/docs/html./publication). Abgerufen 20.11.2016

HERZOG FORSTTECHNIK AG. (2016). Abgerufen am 25. 6. 2017 von  
[www.herzog-forsttechnik.ch](http://www.herzog-forsttechnik.ch)

BFW. (2016). Forstmaschinen Database. Abgerufen am 21. 04 2016 von  
<http://bfw.ac.at/fmdb/maschinen.web?kat=1771&lang=1>

FRANZ HOCHLEITNER (2017): Technische Daten Traktionshilfsseilwinden; Abgerufen am 14.12.2017 von [www.franzhochleitner.com](http://www.franzhochleitner.com)

## **6.5 Mündliche Mitteilung**

KATZENSTEINER C. (2016): Lohnkosten der Arbeitnehmer; Nutzungsdauer für das Traktionshilfsseil, Auslastungsschwelle für Harvester John Deere 1170E;

BARWART S. (2018): Mindestbruchkraft der Traktionshilfsseilwinde T-Winch (Tabelle 2);

HERZOG L. (2018): Mindestbruchkraft der autonomen Traktionshilfsseilwinde MW500 Synchronwinch (Tabelle2);

SCHMELZ T. (2018): Mindestbruchkraft der Traktionshilfsseilwinde Komatsu (Tabelle 2);

KELLER M. (2018): Mindestbruchkraft der Traktionshilfsseilwinde HSM (Tabelle 2);

## 7 ANHANG

### 7.1 Kalkulationsblatt seilgestützte vollmechanisierte Holzernte mit Traktionshilfsseilwinde

Harvester John Deere 1170E mit Traktionshilfsseilwinde Haas und seilgestützten Forwarder Gremo 950 R

#### Eingangsparameter:

Systemkosten Harvester inkl.Traktionsw.u. Fahrer €/PSH <sub>15</sub>	168,46
Systemkosten Forwarder inkl. Traktionsw. u. Fahrer €/PSH <sub>15</sub>	116,80
Trassenlänge gesamt [m]	130,0
∅ Hangneigung %	60,0
∅ Baumvolumen [Efm]	0,35
∅ BHD [cm]	18,7
Kranreichweite Harvester [m]	10,0
Bestockung Efm/ha im Bestand	650,0
Entnahme durch Eingriff [%]	35,0
∅ Montagezeit für den seilgestützten Forwarder [min] (HOLZFEIND, 2017)	21,6

#### Ergebnisse:

##### Montagezeit für seilgestützten Harvester basierend auf Trassenlänge

Σ Gesamte Montagezeit [min]	41,6
-----------------------------	------

##### Kosten Montage für den seilgestützten Harvester und Forwarder

Σ Montagekosten seilgestützter Harvester und Forwarder [€]	158,7
Σ Montagekosten €/Efm	3,3

##### Holzerntemenge in Efm / Trassenlänge

Einsatzfl. in ha (Trassenlänge *cos α*Kranreichw.)	0,210
Σ Efm pro Trassenlänge gesamt	47,9

##### Holzerntekosten für den seilgestützten Harvester und Forwarder :

∅ Produktivität Harvester in Efm/PSH <sub>15</sub>	15,9
∅ Holzerntekosten Harvester €/Efm	10,6
∅ Produktivität Forwarder Efm/PSH <sub>15</sub>	13,3
∅ Holzerntekosten Forwarder €/Efm	8,8
Σ Holzerntekosten Harvester u. Forwarder + Montagekosten €/Efm	22,7

## 7.2 Formeln zur Erläuterung der Produktivität und der Systemkosten im Vergleich zu konventionellen Arbeitssystemen

### Formel 8: Produktivität Seilgerät Syncrofalke (LIMBECK- LILIENAU, 2002)

$$Prod\ Seil. = k * (-2,2262 + 15,7107 * baumvol^{0,5} - 0,8966 * ZEIT)$$

- Prod<sub>Seil.</sub>..... Systemproduktivität (inkl. Unterbrech. < 15 min.)  
 k..... Faktor von Zeitbedarf PSH<sub>0</sub> auf PSH<sub>15</sub>  
 baumvol..... Baumvolumen [Efm]  
 ZEIT..... Erntezeitpunkt: (0) Sommer; (1) Winter;

### Formel 9: Produktivität Seilforwarder Gremo 950R (WRATSCHKO, 2006):

$$PROD = \frac{60}{\left[ \left( \left( 1 + (k1 + k2) * \left( \frac{(0,075 * RD) * (0,196 * Neig.RD)}{Fuhrv} \right) \right) + 0,374 * Stückv.^a + 0,094 * Stückv.^b \right) \right]}$$

$$k1 = 0,3 \quad a = -0,7$$

$$k2 = 0,01 \quad b = -0,8$$

- PROD..... Produktivität [Efm/PSH<sub>15</sub>]  
 RD..... Rückedistanz [m]  
 Neig.RD..... Neigung Rückedistanz [%]  
 Fuhrv..... Fuhrenvolumen [Efm]  
 Stückv..... Stückvolumen [Efm]  
 a..... Potenzzahl für Stückvolumen (effiz. laden)  
 b..... Potenzzahl für Stückvolumen (effiz. entladen)  
 k1..... Umrechnungsfaktor von Zeitbedarf auf PSH<sub>0</sub>  
 k2..... Umrechnungsfaktor auf Zeitbedarf mit Seil um- und anhängen

### 7.3 Höhenkurven zur Volumsberechnung

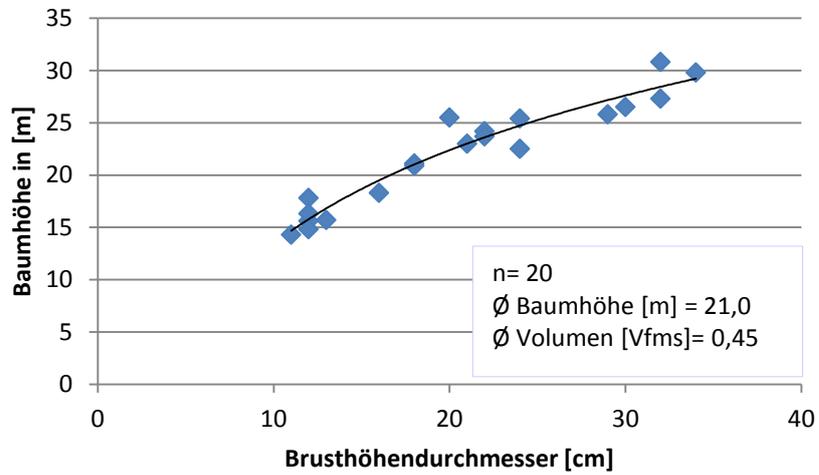


Abbildung 22: Höhenkurve POLLANSCHÜTZ (1974); Bestand Kapfenberg

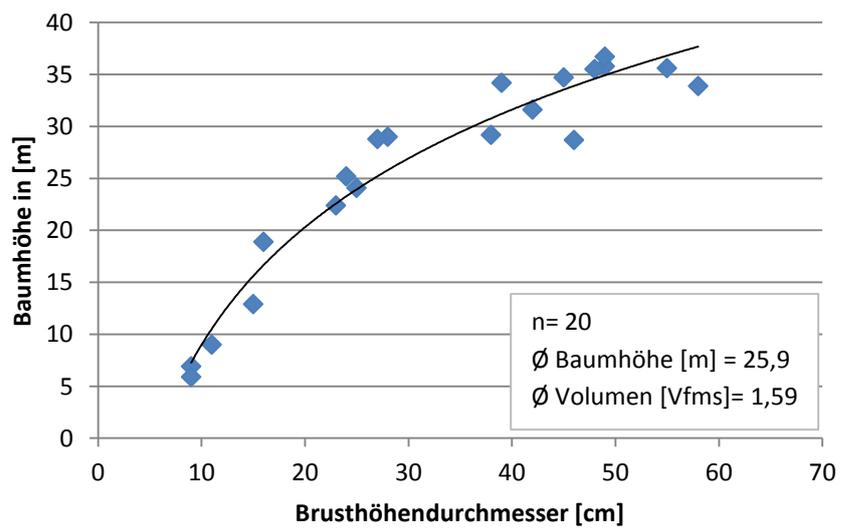


Abbildung 23: Höhenkurve POLLANSCHÜTZ (1974); Bestand Halltal\_1

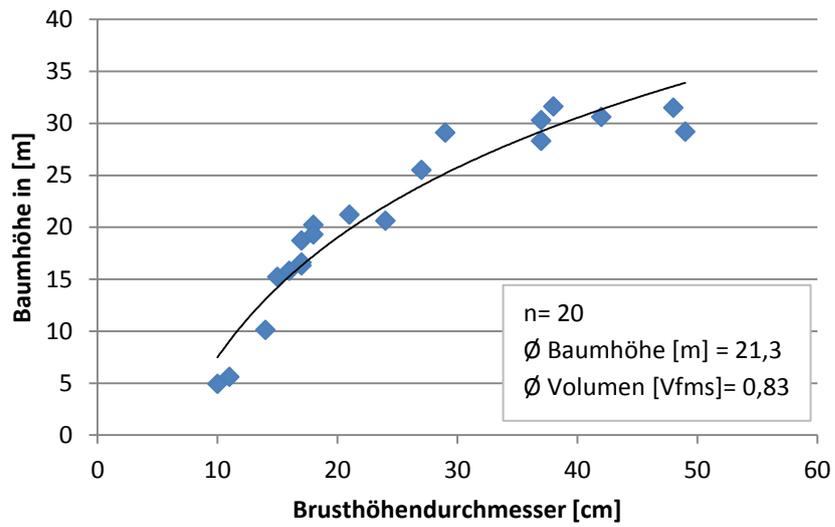


Abbildung 24: Höhenkurve POLLANSCHÜTZ (1974); Bestand Spital

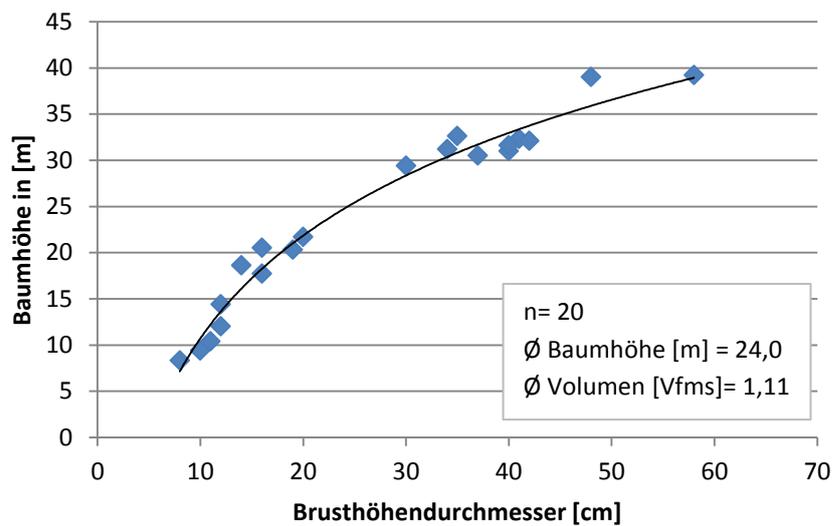


Abbildung 25: Höhenkurve POLLANSCHÜTZ (1974); Bestand Halltal\_2

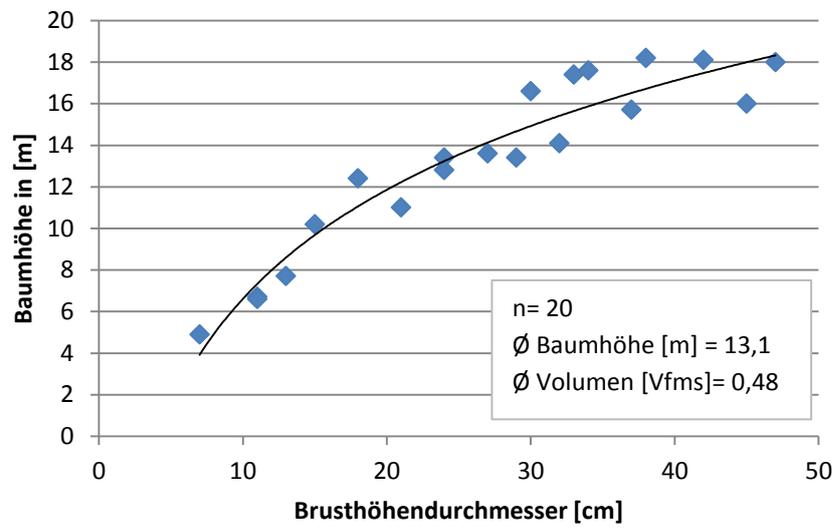


Abbildung 26: Höhenkurve POLLANSCHÜTZ (1974); Bestand Kirchberg