



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

# **Funkchoker bei der Seilrückung – Effizienzanalyse und ergonomische Beurteilung**

## **Diplomarbeit**

Erstellt von:

Thomas Leitner, Bakk. techn.

Betreuer:

Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Karl Stampfer  
Dipl.-Ing. Franz Holzleitner

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

Wien, Dezember 2009

Hinweis: Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wurde zum Teil auf geschlechtergerechte Formulierungen verzichtet. Die gewählte Form gilt jedoch für Frauen und Männer gleichermaßen.

# Inhaltsverzeichnis

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Einleitung .....                        | 1  |
| 1.1   | Problemstellung .....                   | 1  |
| 1.2   | Zielsetzung .....                       | 2  |
| 2     | Theoretische Grundlagen .....           | 3  |
| 2.1   | Choker Allgemein .....                  | 3  |
| 2.2   | Ludwig Choker .....                     | 4  |
| 2.3   | Funkchoker Marktübersicht .....         | 7  |
| 3     | Material und Methoden .....             | 9  |
| 3.1   | Modellhypothese .....                   | 9  |
| 3.2   | Versuchslayout .....                    | 9  |
| 3.3   | Arbeitssystem .....                     | 10 |
| 3.3.1 | Untersuchung I Thomüller .....          | 10 |
| 3.3.2 | Untersuchung II Schwab .....            | 16 |
| 3.4   | Bestandesbeschreibung .....             | 20 |
| 3.4.1 | Untersuchung I Thomüller .....          | 20 |
| 3.4.2 | Untersuchung II Schwab .....            | 21 |
| 3.5   | Datenerhebung .....                     | 21 |
| 3.5.1 | Datenerhebung Arbeitsstudie .....       | 21 |
| 3.5.2 | Datenerhebung Ergonomie .....           | 22 |
| 3.5.3 | Ablauf .....                            | 23 |
| 3.6   | Datenauswertung .....                   | 23 |
| 3.6.1 | Statistische Auswertung .....           | 23 |
| 3.6.2 | Ergonomische Auswertung .....           | 24 |
| 4     | Ergebnis .....                          | 25 |
| 4.1   | Ergebnis Untersuchung I Thomüller ..... | 25 |
| 4.1.1 | Effizienz/Produktivität .....           | 25 |
| 4.1.2 | Arbeitsbeanspruchung .....              | 29 |
| 4.1.3 | Kosten .....                            | 30 |

|  |    |
|--|----|
| 4.2 Ergebnis Untersuchung II Schwab..... | 31 |
| 4.2.1 Effizienz/Produktivität.....       | 31 |
| 4.2.2 Arbeitsbeanspruchung .....         | 34 |
| 4.3 Praktische Erfahrungen .....         | 35 |
| 5 Schlussfolgerungen.....                | 38 |
| 6 Zusammenfassung.....                   | 40 |
| 7 Literaturverzeichnis .....             | 41 |
| 8 Anhang.....                            | 44 |
| 8.1 Abbildungsverzeichnis .....          | 44 |
| 8.2 Tabellenverzeichnis .....            | 45 |

## **ABSTRACT**

Using radio controlled chokers in cable yarding can improve both productivity and safety during the unhooking phase part of the extraction cycle. However, the additional weight of the radio controlled chokers may also increase the work load of the choker-setters on the slope. A study has been completed in Austria on the Wanderfalke and on the Syncrofalke yarder. The factorial study design alternated extraction corridors with and without the use of radio controlled chokers. A standard choker for this system weighs 0.34 kg and cost 11 Euro each, whereas the radio controlled chokers from LUDWIG weighs 1.6 kg and cost 9,200 Euros for the set of four chokers. Work-load was measured by continuously monitoring the heart-rate of the workers. Results showed that was a slight productivity gain, but also an increased work-load for the choker-setter for short harvesting distance. For longer harvesting distances the results change. The gain in productivity and the increased work-load was not significant anymore. This is reflected in the comments from the yarder crew; the yarder operator thinks, that it is great not having to get down to unhook the turn, the choker-setter is not impressed with the extra weight and work load.

Keywords: radio controlled choker, productivity, heart rate, work load

## **KURZFASSUNG**

Die Verwendung von Funkchoker bei der Seilrückung kann die Produktivität und die Sicherheit während der Anlandung steigern. Jedoch kann das zusätzliche Gewicht des Funkchokers auch die Arbeitsbeanspruchung des Anhängers erhöhen. Eine Studie dazu wurde in Österreich auf einem Wanderfalken und auf einem Syncrofalken durchgeführt. Der Versuchsaufbau wurde so gestaltet, dass abwechselnd Trassen mit Funkchoker und Trassen mit Standardchoker aufgenommen wurden. Ein Standardchoker wiegt 0,34 kg und kostet € 11,-. Im Gegensatz dazu wurde der Ludwig Choker, mit einem Gewicht von 1,6 kg und einem Preis von € 9.200,- für einen Satz bestehend aus 4 Choker eingesetzt. Die Arbeitsbeanspruchung wurde durch Messung der Herzfrequenz des Anhängers ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, dass es einen Produktivitätsgewinn auf kurzen Rückedistanzen gibt, aber auch eine erhöhte Arbeitsbeanspruchung für den Anhänger. Bei langen Rückedistanzen hat sich das Ergebnis umgekehrt.

Schlüsselwörter: Funkchoker, Produktivität, Herzfrequenz, Arbeitsbeanspruchung

## VORWORT

Um solch eine Arbeit durchführen bzw. fertig stellen zu können, gilt es einer Vielzahl an Menschen zu danken. An erster Stelle muss ich hier Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Karl Stampfer erwähnen, der mir einerseits angeboten hat dieses interessante Thema zu bearbeiten und mir andererseits stets mit Rat und Tat beiseite stand. Weiters gilt mein Dank den anderen Institutsmitarbeitern (Affenzeller Günter, Bohrn Gerald, Holzleitner Franz, Kanzian Christian, Kühmaier Martin, Pertlik Ewald, Rottensteiner Christian, Lorenz Reinhard, Rader Eleonore), die mir auch ihre helfende Hände reichten.

Um die Daten aufnehmen zu können, darf ich mich bei Reza Mohammed Ghaffariyan, Barbara Krauskopf und Marion Schöberl bedanken, die mir dabei behilflich waren.

Natürlich muss ich mich auch bei den beteiligten Firmen bedanken, die sich bereit erklärt haben, im Zuge der Studie mitzuarbeiten:

Firma Thomüller & Handlos OG

Peter Schwab GmbH

Ein spezieller Dank gilt auch Herrn Ing. Loschek, der mir den Kontakt zu den beteiligten Firmen hergestellt hat. Ebenso muss Herr Peter Ruf (Fa. Giritzer System GmbH & Co KG) erwähnt werden, der mich auch sehr unterstützt hat.

Ganz herzlich bedanke ich mich noch bei meinen Studienkollegen und meinen Kollegen aus dem Boku-Heim, die mir immer wieder Mut gemacht haben, wenn ich vor einem Hindernis stand.

Zum Abschluss danke ich meiner Familie, die mir überhaupt das Studieren ermöglicht und mich auch bei der Fertigstellung der Arbeit unterstützt hat.

# 1 EINLEITUNG

## 1.1 Problemstellung

Forstwirtschaft ist ein sehr wichtiger Produktionsfaktor in Österreich wo allein 47,2 % des Staatsgebietes von Wald bedeckt sind (BMLFUW 2009).

Im Jahr 2008 wurden auf dieser Waldfläche 21,8 Millionen Erntefestmeter (Mio. Efm) ohne Rinde genutzt. Damit wurde neuerlich ein Rekorderntewert erreicht. Die Vorjahresnutzung liegt um 2,24 % über jener vom Jahr 2007, sowie um 14,5 % über dem fünfjährigen Durchschnitt (2004 – 2008 19,04 Mio. Efm) und um 29,8 % über dem zehnjährigen Durchschnitt (1999 – 2008 16,79 Mio. Efm). Ein Grund für den erhöhten Einschlag ist der Rekordwert an Schadholz aufgrund der Sturmkatastrophen im Jahr 2008 – 13,85 Mio. Efm (BMLFUW 2008).

Von den geernteten 21,8 Mio. Efm wurden 4,3 Mio. Efm durch Seilgeräte gebracht, d.h. knapp jeder fünfte geerntete Baum in Österreich wurde mit dem Seilgerät gerückt (BMLFUW 2008).

Um unter Gebirgsbedingungen effiziente Waldwirtschaft betreiben zu können, sind oft seilgestützte Holzerntesysteme involviert. In den letzten Jahrzehnten wurde verstärkt darauf geachtet, die Seilrückung durch technische Weiterentwicklung bzw. Systemoptimierung, effizienter, bestandesschonender und sicherer zu machen. Mit der Einführung der Funkfernsteuerung und Zielautomatik konnten Maschinist und Anhänger das Seilgerät abwechselnd steuern und somit war es möglich, einige Prozesse zu automatisieren (HEINIMANN ET AL., 2006). Ab diesem Zeitpunkt wurde auch versucht, das Abhängen der Last an der Entladestelle automatisch durchzuführen, denn je nach verwendetem Seilsystem werden zwischen 10 – 20 % der gesamten Zykluszeit dafür verwendet (HEMPHILL 1985).

Erste Versuche wurden in den 70iger Jahren in Österreich und Norwegen durchgeführt, wo mechanisch auslösende Choker zum Einsatz kamen (SAMSET 1985). Die Funktionalität der Choker war sehr unzuverlässig, daher hielt sich deren Einsatz in Grenzen. Durch den Einsatz von funkgesteuerten Auslösemechanismen erhoffte man sich größeren Erfolg. Doch anfangs war auch deren Zuverlässigkeit nicht überzeugend. Das größte Problem war aber das hohe Eigengewicht von 4 kg pro Funkchoker (HEMPHILL 1985). Erst durch Weiterentwicklungen im Bereich der Technik und Materialwissenschaften war eine Reduktion des Gewichts auf bis zu 1,6 kg pro Choker möglich.

Der Einsatz von Funkchoker beinhaltet großes Potenzial zur Erhöhung der Effizienz und Arbeitssicherheit bei der Seilrückung. Gerade bei Arbeitssystemen, wo das Seilgerät vom Fahrer des Verzugssystems gesteuert wird, könnte Zeit eingespart werden, da das Ein- und Aussteigen entfällt (STAMPFER ET AL. 2009).

Ein klassisches Ziel der Ergonomie ist es, gleichzeitig die Effizienz des Arbeitssystems und die Arbeitsbedingungen für den arbeitenden Menschen zu optimieren. Das heißt, eine Effizienzsteigerung des Systems darf nicht die Erhöhung der Arbeitsbeanspruchung des Anhängers zur Folge haben, da die Funkchoker ein erhöhtes Gewicht aufweisen (STAMPFER ET AL. 2009).

Untersuchungen hinsichtlich Produktivitätssteigerung, Arbeitsbeanspruchung beim Anhänger, Arbeitssicherheit und Rentabilität beim Einsatz von Funkchokern gibt es in der Literatur nicht.

## **1.2 Zielsetzung**

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Quantifizierung von Effizienz- bzw. Produktivitätsunterschieden beim Einsatz von Funkchokern einerseits und die Auswirkung auf die Arbeitsbeanspruchung andererseits. Im konkreten Fall muss die Beantwortung folgender Fragen erfolgen, welche für die Bewertung der Ludwig Choker wichtig sind:

- Welche Zeitersparnis und eventuell Kostenersparnis kann durch den Einsatz des Ludwig Chokers bei der Seilarbeit erzielt werden?
- In welchem Zeitraum können die höheren Anschaffungskosten durch die erhöhte Produktivität hereingebracht werden?
- Wie wirkt sich das höhere Eigengewicht des Ludwig Chokers (Funkchokers) gegenüber dem Standardchoker beim Anhänger im Bestand hinsichtlich der Arbeitsbeanspruchung aus?



## 2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN

### 2.1 Choker Allgemein

„To choke“ kommt aus dem englischen Sprachraum und heißt übersetzt ins Deutsche „würgen“(dict.leo.org 2009).

#### Definition Choker:

Ein Choker (Abbildung 1) ist ein Befestigungselement am Ende eines z. B. flexiblen Drahtseiles, womit man eine Schlinge (Abbildung 2) formen kann, welche an einem Baumstamm oder ganzen Baum angebracht wird (STOKES 1989).



Abbildung 1: Standardchoker (Quelle: [www.interforst.at](http://www.interforst.at) 2009)



 [grube-shop.de](http://grube-shop.de)

Abbildung 2: Standardchoker mit Schlinge (Nippel Choker Nippel)  
(Quelle: [www.grube-shop.at](http://www.grube-shop.at) 2009)

Man schiebt einen Nippel unter die Last durch und hängt diesen danach in den Choker ein. Durch den Zug schließt sich die Schlinge und würgt die Last während der gesamten Rückephase. Die Schlinge kann an jegliches Lastseil einer Rückeeinrichtung wie z. B. an einem Seilgerät, Forstspeziialschlepper oder Traktor mit Winde angebracht werden.

Um die Last wieder freizugeben, muss der Zug nachgelassen werden und der Nippel händisch aus dem Choker entfernt werden.

Der Ludwig Choker hat die gleiche Funktionalität wie ein konventioneller Choker – er muss auch händisch angebracht werden – hat aber den großen Vorteil, dass die Arretierung über ein Funksignal geöffnet werden kann und somit das händische Öffnen erspart bleibt.

## 2.2 Ludwig Choker

Der Ludwig Choker (Abbildung 3, Tabelle 1) wurde von dem Unternehmen Ludwig Girtzer System GmbH & Co KG entwickelt. Ein Vorteil ist, dass er auch im arretierten Zustand jederzeit händisch (ohne Spezialwerkzeug) wieder geöffnet werden kann.

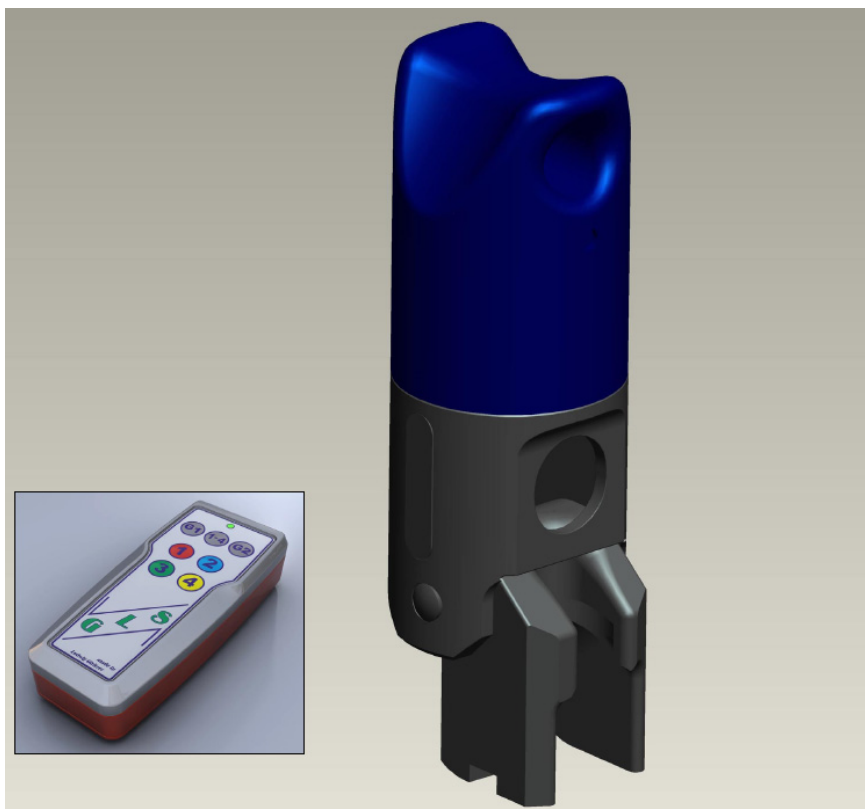
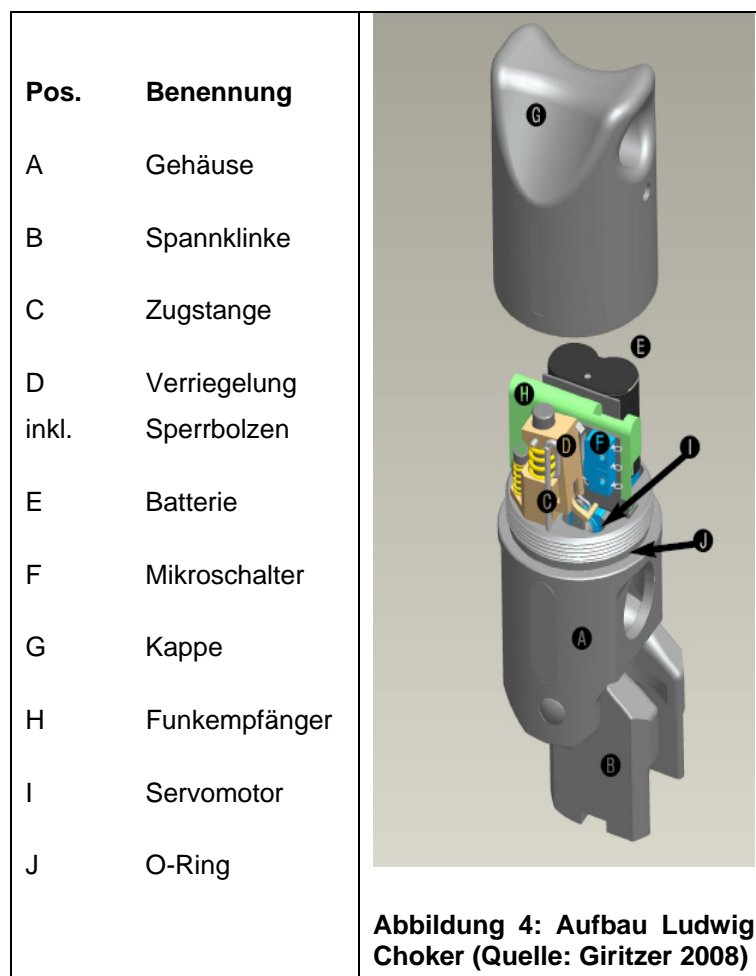


Abbildung 3: Ludwig Choker mit Funkgehäuse (Quelle: Girtzer 2008)

**Tabelle 1: Technische Daten Ludwig Choker (Quelle: Giritzer 2008)**

| Merkmal                        | Wert   | Einheit |
|--------------------------------|--------|---------|
| Choker-Durchmesser             | 60     | [mm]    |
| Choker-Länge                   | 160    | [mm]    |
| Funkgehäuse Breite             | 80     | [mm]    |
| Funkgehäuse Höhe               | 180    | [mm]    |
| Funkgehäuse Tiefe              | 42     | [mm]    |
| Gewicht Choker                 | 1,6    | [kg]    |
| Gewicht Funkgehäuse            | 1,0    | [kg]    |
| Technische Daten               |        |         |
| max. Seildurchmesser           | 13     | [mm]    |
| max. Durchmesser Choker-Nippel | 27     | [mm]    |
| max. zulässige Tragkraft       | 4,5    | [t]     |
| Funk                           |        |         |
| Betriebsfunkreichweite         | 30     | [m]     |
| Funkfrequenz                   | 433,92 | [MHz]   |

Abbildung 4 zeigt den Aufbau des Ludwig Chokers. Die Stromversorgung wird durch eine handelsübliche Batterie sichergestellt. Auf dem Funkempfänger ist ein Druckknopfschalter positioniert, der für eine etwaige Umprogrammierung des Chokers betätigt werden muss.



Beim Ludwig Choker muss im Gegensatz zum Standardchoker zuerst die Spannklinge vorgespannt und danach der Nippel gesetzt werden (Tabelle 2).

**Tabelle 2: Funktionalität des Ludwig Chokers (Quelle: Giritzer 2008)**

Der Choker wird gespannt. Durch das nach hinten drücken der Klinke fährt ein Stift heraus, der als Verriegelung dient. Gleichzeitig wird durch die Positionsveränderung dieses Stifts auch der Strom eingeschaltet. Der Choker ist somit empfangsbereit.



Die Klinke wird nun geschlossen. Der Choker ist in verriegelter Position.



Der Choker-Nippel wird gesetzt - wie auch beim manuellen Choker. Der Vorteil ist, man kann die Schlinge jederzeit wieder öffnen, ohne dazu ein Werkzeug zu benötigen.



Per Sender kann der Choker individuell oder im Verbund gelöst werden. Wenn im Verbund gelöst werden soll, muss man anstatt der Farbe den Knopf „1-4“ drücken. Konkret löst ein Servomotor die Verriegelung, sodass der Verriegelungsstift dank Federkraft nach oben schnellst und die Klinke samt Chokernippel freigibt.



Erfolgt die Betätigung des Senders vor dem Absetzen der Last, bleibt der Verriegelungsstift eingeklemmt. Zwar fährt der Servomotor, sodass die Verriegelung gelöst ist, aber die Federkraft, die den Stift nach oben drückt, reicht nicht aus, um den Stift zu bewegen. Dadurch bleibt die Last am Choker und es kommt nicht zum Herunterfallen des ganzen Baumes, was als mechanische Fehlauflösungssperre bezeichnet wird.




Die Anzahl der verwendeten Choker kann zwischen einen und acht variieren, die beliebig auf die Funkfernbedienung programmiert werden können.

### **2.3 Funkchoker Marktübersicht**

Weltweit gibt es drei Anbieter von Funkchokern (Tabelle 3). Nach derzeitigem Wissensstand werden die Funkchoker der Firma Johnson nicht mehr gebaut. Die Fortronics-Choker werden in Neuseeland erzeugt und hauptsächlich dort verkauft. Marktbeherrschend in Europa ist die Fa. Giritzer. Im amerikanischen Raum werden sowohl Fortronics als auch Ludwig Choker angeboten.

Das Produktangebot der Firma Giritzer orientiert sich selbstverständlich auch an Entwicklungen bei den Seilgeräteherstellern. So hat man auf die erhöhte Zugkraft bei den Seilgeräten reagiert und den „Ludwig Choker +“ entwickelt, der im Durchmesser geringfügig größer und dadurch auch im Gewicht ein wenig schwerer wurde. Laut Fa. Giritzer haben auch einige Kunden gefordert, dass sie die Ludwig Choker mit Kunststoffseilen bzw. Ketten bedienen können. Darum wird der „Ludwig Choker KS/KT“ auf den Markt gebracht, der über eine vergrößerte Öffnung für das Seil bzw. die Kette verfügt.

Tabelle 3: Funkchoker im Überblick (Quelle: Giritzer 2008; www.fortronic.com 2009; www.jlogging.com 2009)

| Name             | Ludwig Choker  | Ludwig Choker XL                     | Fortronics electronic choker System  | Johnson radio controlled chokers   |
|------------------|--|--------------------------------------|--|--|
| Hersteller       | Ludwig Giritzer System GmbH & Co. KG   | Ludwig Giritzer System GmbH & Co. KG | FORTRONIC LTD  | Johnson Industries Ltd.  |
| Internet Adresse | keine Vorhanden  | keine Vorhanden                      | www.fortronic.com  | www.jlogging.com   |
| Gewicht          | 1,6 kg   | 3 kg                                 | 2 kg   | 1,8 – 4 kg   |
| Seildurchmesser  | max 13 mm  | max 19 mm                            | 11 – 19 mm   | 12,7 – 19,1 mm   |
| Preis            | €9.200,- exkl. MwSt. (www.interforst.at)   | auf Anfrage                          | USD 17.000,- (Prof. Visser, Neuseeland)  | €10.782,91 exkl. MwSt. (Koller 2009)   |
| Anwendung        | siehe Tabelle 2  | siehe Tabelle 2                      | Verriegelungsbolzen hineindrücken (mit Verriegelungsstift), Nippel in die Halterung legen und Choker schließen. Um den Choker / Schlinge zu lösen benötigt man einen speziellen Stift. |  |
| Bild             |  |                                      |   |  |

### 3 MATERIAL UND METHODEN

#### 3.1 Modellhypothese

Bei Rückung mit Seilgeräten hat - äquivalent zu anderen Holzernthemöglichkeiten - das geerntete Baumvolumen, dem „Stück-Masse-Gesetz“ entsprechend, den größten Einfluss auf die Effizienz (HEINIMANN ET AL. 1998). Weitere Einflussfaktoren sind die Distanz, die der Laufwagen zurücklegen muss und der seitliche Zuzug, welche erhöhend auf den Zeitbedarf pro Fuhre wirken (HEINIMANN 1986, HOWARD 1989). Da bei der Arbeit von LIMBECK-LILIENAU (2002) keine Signifikanz für den seitlichen Zuzug innerhalb von 15 m nachgewiesen werden konnte, wird dieser hier nicht berücksichtigt.

Aufgrund der obigen Überlegungen wird mit nachstehender Modellhypothese gearbeitet:

$$\text{Effizienz} = \text{Funktion} (\text{Baumvolumen}; \text{Distanz}; \text{Choker})$$
**Formel 1**

#### 3.2 Versuchslayout

Das Versuchslayout (Abbildung 5) wurde als Block-Versuch angelegt. Darunter versteht man, dass ein Faktor A (Behandlungs-Faktor) von Interesse ist, und ein Faktor B die Versuche oder Beobachtungseinheiten in Blöcke einteilt (STAHEL 1995). Im konkreten Fall heißt das, dass der Bestand der Block ist und so gut wie möglich homogen sein soll, in Bezug auf Alter, Durchmesser, Baumarten, Neigung etc.. Dadurch kann gewährleistet werden, dass Unterschiede im Ergebnis nur auf den Behandlungsfaktor - Chokertypen (SC = Standardchoker, FC = Funkchoker) - zurück zu führen sind.

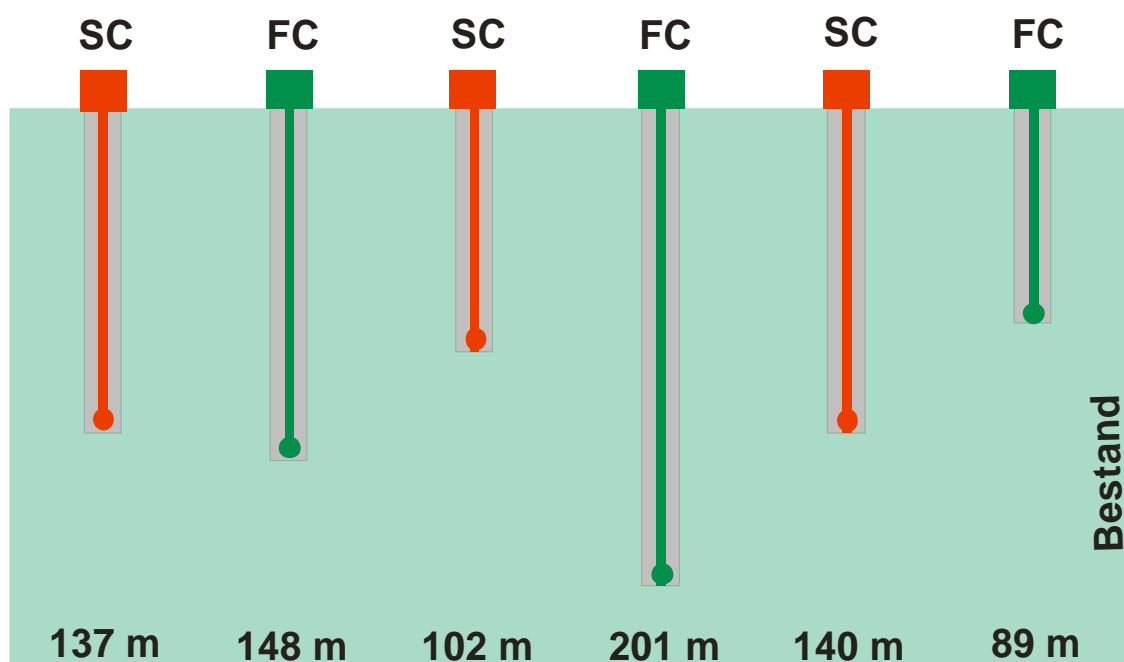


Abbildung 5: Versuchslayout



### 3.3 Arbeitssystem

#### 3.3.1 Untersuchung I Thomüller

Für die erste Untersuchung stellte sich die Firma Thomüller & Handlos OG zur Verfügung, die bereit waren mit dem Ludwig Choker zu arbeiten. Das Einsatzgebiet für die Aufnahmen war am Pogusch, in der Nähe von St. Lorenzen im Mürztal. Aufgrund der Sturmereignisse Emma und Paula kam es hier zu einer außerplanmäßigen Nutzung, weswegen der Waldbesitzer die Firma engagiert hatte. Gearbeitet wurde mit einem 3-Mann-System bergauf (Abbildung 6). Das anfallende Holz ist – bis auf Ausnahmen - im Baumverfahren mit dem Mastseilgerät „Wanderfalke“ vom Hersteller Mayr-Melnhof-Saurau gerückt worden. Ein Mann war für das Abstocken verantwortlich, ein weiterer für das Anhängen und Bedienen des Seilgerätes im Bestand und ein dritter Mann bediente das Seilgerät am Anlandeplatz und führte die Aufarbeitung mit einem Kesla 20 RH Harvester Aggregat mit Xtender durch, welches auf einen Fiat-Hitachi Radbagger aufgebaut ist (Abbildung 7).

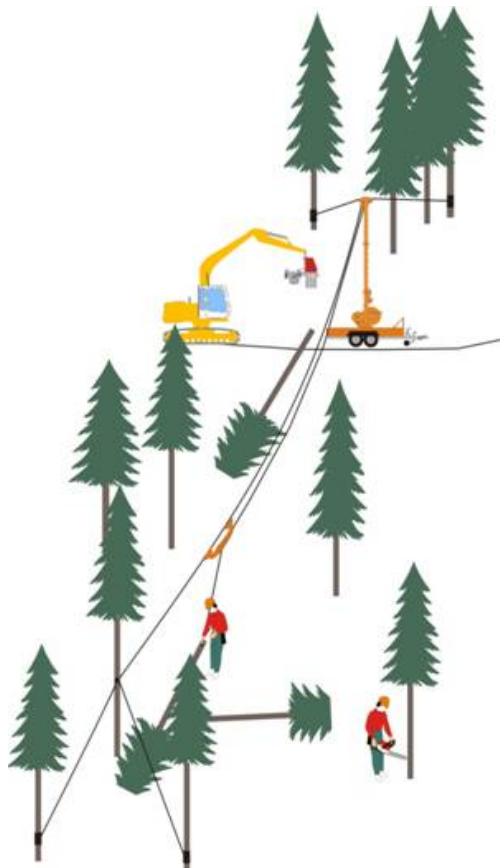


Abbildung 6: Arbeitssystem  
(Quelle: Stampfer 2009)



Abbildung 7: Wanderfalke und Radbagger  
mit Harvesterkopf (Quelle: Stampfer 2009)



Während der ganzen Aufnahme wurde mit demselben Team und derselben Aufgabenverteilung gearbeitet, um nicht kontrollierbare Einflüsse auf das Resultat so gut wie möglich auszuschließen.

Vor dem eigentlichen Ernten wurde die Trasse von der Firma Thomüller & Handlos OG besichtigt und etwaige Vorschlägerungen – Bäume, die direkt auf der Trasse bzw. zu dicht neben der Trasse lagen – durchgeführt. Danach konnte das Seilgerät fertig installiert und mit der Arbeit begonnen werden.

Der Maschinist am Anlandeplatz schickt den Laufwagen mittels Zielautomatik in den Bestand, wo der Anhänger ihn dann übernahm. Währenddessen stockte der Motorsägenführer die Bäume ab, die der Anhänger mittels zwei Standard- oder zwei Funkchoker am Lastseil befestigte. Nach dem Einziehen des Lastseiles konnte der Anhänger den Laufwagen wieder Richtung Seilgerät schicken. Der Maschinist übernimmt dann die Steuerung und löst die Last (händisch oder per Funk), bevor er den Laufwagen wieder in den Bestand schickt. Währenddessen der Laufwagen in Bewegung war oder die Last angehängt wurde, konnte der Maschinist, die zuvor angelieferten Bäume mittels Harvesterkopf aufarbeiten und sortieren.

#### Wanderfalke 1,5 t AM mit Sherpa U 1,5 t

Der Wanderfalke (Abbildung 8) ist ein auf Tandemanhänger aufgebautes Mast-Seilgerät mit drei Seilen für den Allterrainbetrieb. Das Seilgerät arbeitet im Umlaufsystem über einen am Trageil verfahrbaren Laufwagen durch Verwendung eines Zug- und eines Rückholseiles. Die beiden Seiltrommeln sind, wie auch die Trageiltrommel am Mast montiert, der dreigeteilt ist und für die Überstellung hydraulisch kippbar ist. Außerdem befinden sich am Mast auch noch vier Ankerwinden und die dazugehörigen Seilauflaufrollen am Mastkopf (MAYR-MELNHOF-SAURAU 2007).

Der Mast ist nach zwei Seiten um je 120 Grad drehbar und kann in aufgehobener Stellung ca. 12 Grad nach allen Seiten geschwenkt werden (MAYR-MELNHOF-SAURAU 2007).

Je ein Hydraulikmotor treibt die Arbeitstrommeln sowie die Trageiltrommel an. Aufgrund des hydrostatisch geschlossenen Kreislaufs des Zugseilwindenantriebs, kann die Laufrichtung geändert und die Geschwindigkeit stufenlos verstellt werden (MAYR-MELNHOF-SAURAU 2007).

Der Wanderfalke ist mit einer elektronischen Windensteuerung mit Ziel- und Sattelfahrautomatik und zusätzlich mit zwei Funkfernsteuerungen ausgerüstet. Eine Funkfernsteuerung „Slave“ für den Anhänger und eine Funkfernsteuerung „Master“ für den Maschinisten. Die Zielfahrautomatik ermöglicht das

selbstständige Fahren des Laufwagens zur Be- oder Entladestelle. Die Sattelfahrautomatik gewährleistet eine gedrosselte Laufwagengeschwindigkeit vor und auf der Stütze (MAYR-MELNHOF-SAURAU 2007).

Betrieben wird dieser Wanderfalke mit dem Laufwagen „Sherpa U 1,5t“ (Abbildung 8), welcher ferngesteuert ist und über eine abwechselnd wirkende Zugseil- bzw. Tragseilklemme verfügt. Somit kann der Laufwagen auch bei ausgefahrenem Zugseil verfahren werden (MAYR-MELNHOF-SAURAU 2007).

**Tabelle 4: Technische Daten Wanderfalke 1,5 t AM (Quelle: Handbuch Wanderfalke 2007)**

| <b>Merkmal</b>                  | <b>Wert</b>      | <b>Einheit</b> |
|---------------------------------|------------------|----------------|
| Motorleistung                   | 92               | [kw]           |
| Max. Zugkraft                   | 1,5              | [t]            |
| Masthöhe                        | 10               | [m]            |
| <b>Tragseil</b>                 |                  |                |
| Seilkraft Spannfach             | 59               | [kN]           |
| Geschwindigkeit                 | 0,8 – 2,5        | [m/s]          |
| <b>Fassungsvermögen Trommel</b> |                  |                |
| Durchmesser 16 mm               | 500              | [m]            |
| Durchmesser 15 mm               | 600              | [m]            |
| <b>Zugseil</b>                  |                  |                |
| Geschwindigkeit                 | 3,1 – 6          | [m/s]          |
| Fassungsvermögen Trommel        | Arbeitsfach: 500 | [m]            |
|                                 | Vorratsfach: 400 | [m]            |

**Tabelle 5: Technische Daten Sherpa U 1,5 t (Quelle: Handbuch Wanderfalke 2007)**

| <b>Merkmal</b> | <b>Wert</b> | <b>Einheit</b> |
|----------------|-------------|----------------|
| Nutzlast       | 15          | [kN]           |
| Eigengewicht   | 300         | [kg]           |



**Abbildung 8: Wanderfalke und Sherpa U 1,5 t (Quelle: Leitner 2008)**

### Kesla 20 RH mit Xtender

Der Harvesterkopf Kesla 20 RH (Abbildung 9) ist ein schnelles und wendiges Aggregat für die Durchforstung und Endnutzung von Beständen, wo der durchschnittliche Baumdurchmesser unter 30 cm liegt. Der Greifer öffnet sich maximal 45 cm. Trotz seiner leichten, aber stabilen Bauweise, hat das Aggregat für seine Größenklasse eine hohe Vorschub- und Schnittkapazität. Die Entastung erfolgt über fünf Entastungsmesser (KESLA 2009).

Der Kesla Xtender (Abbildung 10) ist eine Verlängerung für den Ausleger und vergrößert die Armreichweite des Baggers. Außerdem erleichtert er das Bewegen in unwegsamem Gelände (KESLA 2009).

Die Firma Thomüller & Handlos OG hat sich aber auch aufgrund einer besseren Manipulation des Holzpolters und des anfallenden Astmaterials, ohne das Harvesteraggregat zu sehr in Mitleidenschaft zu ziehen, für den Xtender entschieden.

**Tabelle 6: Technische Daten Kesla 20 RH (Quelle: Kesla 2009)**

| <b>Merkmal</b>                   | <b>Wert</b> | <b>Einheit</b> |
|----------------------------------|-------------|----------------|
| Breite bei geöffnetem Greifer    | 1.150       | [mm]           |
| Breite bei geschlossenem Greifer | 900         | [mm]           |
| Länge                            | 1.275       | [mm]           |
| Höhe (ohne Rotator)              | 1.220       | [mm]           |
| Gewicht (ohne Rotator)           | 570         | [kg]           |
| <b>Säge</b>                      |             |                |
| max. Ablängdurchmesser           | 450 (520)   | [mm]           |
| Schwertlänge                     | 18 (20)     | [Zoll]         |
| Öffnung der Walzen (max.)        | 450         | [mm]           |
| Vorschubkraft                    | 19          | [kN]           |
| Vorschubgeschwindigkeit (max.)   | 5           | [m/s]          |
| <b>Hydraulik</b>                 |             |                |
| Druck                            | 210 – 240   | [bar]          |
| Erforderliche Förderleistung     | 170 – 200   | [l/min]        |
| Kraftbedarf                      | 60 – 80     | [kW]           |

**Tabelle 7: Technische Daten Kesla Xtender (Quelle: Kesla 2009)**

| <b>Merkmal</b>                             | <b>Wert</b> | <b>Einheit</b> |
|--|-------------|----------------|
| Länge (Verlängerungsstück eingezogen):     | 2.615       | [mm]           |
| Max. Länge der Verlängerung                | 1.450       | [mm]           |
| Gewicht (richtet sich nach der Aufhängung) | 450         | [kg]           |

**Abbildung 9: Kesla 20 RH (Quelle: Kesla 2009)**





Abbildung 10: Kesla Xtender (Quelle: Leitner 2008)

### Fiat Hitachi FH 150 W.3

Fahrzeugtyp 595-A

Der Fiat Hitachi FH 150 W.3 (Abbildung 11) ist ein handelsüblicher Radbagger, auf dem zusätzliche hydraulische Arme für die seitliche Abstützung angebracht wurden. Außerdem wurde die Kreuzhebelsteuerung des Radbaggers um die Funktionen des Harvesteraggregates erweitert.

**Tabelle 8: Technische Daten Fiat Hitachi FH 150 W.3**

| Merkmal      | Wert   | Einheit |
|--------------|--------|---------|
| Eigengewicht | 10.205 | [kg]    |
| Leistung     | 87     | [kw]    |



Abbildung 11: Fiat Hitachi mit seitlicher Abstützung (Quelle: Leitner 2008)

### 3.3.2 Untersuchung II Schwab

Die ÖBf AG engagierte die Firma Peter Schwab GmbH, die Windwurfflächen in Jetzbach – nahe Saalfelden – aufzuarbeiten.

Vor dem Aufstellen des Seilgerätes wurden sämtliche Bäume abgestockt und Begradigungshiebe durchgeführt. Gerückt wurde das Holz bergauf mit dem Mastseilgerät „Syncrofalke“ vom Hersteller Mayr-Melnhof-Saurau, welcher auf einem Lkw aufgebaut ist (Abbildung 13). Alternierend sind drei Standard- oder drei Funkchoker eingesetzt worden.

Es haben drei Mann gearbeitet (Abbildung 12). Einer im Bestand, der für das Anhängen verantwortlich war, ein Mann am Anlandeplatz, der den Syncrofalken bediente und mit dem aufgebauten Kran die Last nach dem Anlanden auf die Seite hob und ein dritter, der die Ladungen mittels Prozessor aufarbeitete, da direkt auf dem Kran des Syncrofalken kein Prozessorkopf aufgebaut ist. Der Unternehmer entschied sich deswegen für dieses System, da er vor dem Kauf des Syncrofalkens bereits zwei Prozessoren hatte und er das Seilgerät hauptsächlich für Starkholznutzung im Sortimentsverfahren nutzt.

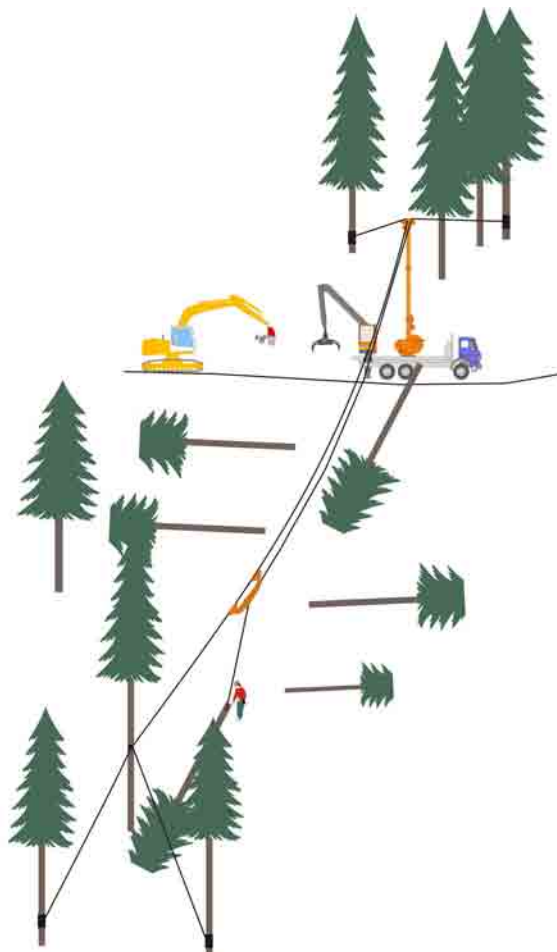


Abbildung 12: Arbeitssystem Schwab (Quelle: Stampfer 2009)

### Syncrofalke SY 39

Der Syncrofalke wurde als Aufbaugerät für Rückarbeiten entwickelt. Gearbeitet werden kann damit im Bergauf- und Bergabbetrieb sowie auch in der Ebene bei schwachen bis mittelschweren Holz. Es ist auch als Anhänger-Variante auf einem Tandemanhänger mit Stationärmotor erhältlich (MAYR-MELNHOF-SAURAU 2004).

Die Kombination des Seilgerätes mit Ladekran ist vorteilhaft, vor allem da der Ladekran mit einem Prozessorkopf bestückt werden kann. Die Konstruktion des Mastfußes ist so konzipiert, dass die Seileinheit jeweils um 120 Grad auf beiden Seiten des Trägerfahrzeuges gedreht werden kann. Außerdem ist das Kippen des Mastes um 12 Grad in alle Richtungen ebenfalls möglich (MAYR-MELNHOF-SAURAU 2004).

Die Arbeitsseile werden hydrostatisch angetrieben. Ein Hydraulikmotor treibt eine Welle an, auf der zwei Seiltrommeln mit einem Kerndurchmesser von einem Meter gelagert sind. Beide Trommeln laufen in dieselbe Richtung, wobei die Seile gegenläufig aufgespult werden. Daher kommt es fast zu einem Gleich- bzw. Synchronlauf. Da sich durch das Auf- bzw. Abspulen der Durchmesser der Trommeln leicht verändern kann, wird die Änderung durch einen zweiten Hydraulikmotor ausgeglichen, der auch für eine gleich bleibende Seilspannung sorgt (MAYR-MELNHOF-SAURAU 2004).

Die generelle Steuerung geschieht über eine Kabelfernsteuerung. Für die Bedienung während der Arbeit werden Funkfernsteuerungen verwendet – „Master“ am Anlandeplatz und „Slave“ für den Anhänger im Bestand (MAYR-MELNHOF-SAURAU 2004).

Betrieben wird der Syncrofalke mit dem Laufwagen Sherpa-U 3 to (Abbildung 14), welcher über eine wechselweise wirkende Zugseil- bzw. Tragseilklemme verfügt und das Verfahren des Laufwagens bei ausgezogenem Zugseil erlaubt (HANDBUCH SYNCROFALKE 2004).

**Tabelle 9: Technische Daten Syncrofalke SY 39 (Quelle: Handbuch Syncrofalke 2004)**

| <b>Merkmal</b>               | <b>Wert</b>       | <b>Einheit</b> |
|------------------------------|-------------------|----------------|
| Motorleistung Trägerfahrzeug | 380               | [kw]           |
| Max. Zugkraft                | 3                 | [t]            |
| Masthöhe                     | 10,5              | [m]            |
| <b>Tragseil</b>              |                   |                |
| Seilkraft Spannfach          | 89                | [kN]           |
| Geschwindigkeit              | 1,0 – 3,0         | [m/s]          |
| Fassungsvermögen Trommel     |                   |                |
| Durchmesser 18 mm            | min. 800          | [m]            |
| <b>Zugseil</b>               |                   |                |
| Seildurchmesser              | 11                | [mm]           |
| Geschwindigkeit              | 4,1 – 9,7         | [m/s]          |
| Fassungsvermögen Trommel     | Arbeitsfach: 1000 | [m]            |
|                              | Vorratsfach: 900  | [m]            |



Abbildung 13: Syncrofalke (Quelle: Leitner 2009)

Tabelle 10: Technische Daten Sherpa-U 3 to (Handbuch Syncrofalke 2004)

| Merkmal      | Wert | Einheit |
|--------------|------|---------|
| Nutzlast     | 30   | [kN]    |
| Eigengewicht | 380  | [kg]    |



Abbildung 14: Sherpa-U 3 to (Quelle: Leitner 2009)



SP 551 LF

Der Harvesterkopf SP 551 LF ist ein Universalgerät (Abbildung 15). Einsetzbar hauptsächlich in der Durchforstung, aber auch in der Endnutzung. Die beste Leistung bringt er in Beständen, wo der durchschnittliche Durchmesser zwischen 15 und 35 cm liegt. Die maximale Öffnung des Greifers liegt bei 500 mm. Die Entastung geschieht über zwei fixe bzw. vier bewegliche Messer (SP MASKINER 2009).

**Tabelle 11: Technische Daten SP 551 LF (SP Maskiner 2009)**

| <b>Merkmal</b>                   | <b>Wert</b> | <b>Einheit</b> |
|----------------------------------|-------------|----------------|
| Breite bei geöffnetem Greifer    | 1.500       | [mm]           |
| Breite bei geschlossenem Greifer | 900         | [mm]           |
| Höhe (ohne Rotator)              | 1.500       | [mm]           |
| Gewicht (ohne Rotator)           | 940         | [kg]           |
| <b>Säge</b>                      |             |                |
| max. Ablängdurchmesser           | 600         | [mm]           |
| Öffnung der Walzen (max.)        | 500         | [mm]           |
| Vorschubkraft                    | 25          | [kN]           |
| Vorschubgeschwindigkeit (max.):  | 6           | [m/s]          |
| <b>Hydraulik</b>                 |             |                |
| Druck                            | 230 – 250   | [bar]          |
| Erforderliche Förderleistung     | 195         | [l/min]        |

**Abbildung 15: Harvesterkopf SP 551 (Quelle: links SP Maskiner 2009, rechts Leitner 2009)**Akerman EW 230B

Das Trägerfahrzeug ist ein handelsüblicher Radbagger, der so umgerüstet wurde, dass die Funktionen des Harvesteraggregates angesteuert werden können (Abbildung 16).

**Tabelle 12: Technische Daten Akerman EW230B**

| <b>Merkmal</b> | <b>Wert</b> | <b>Einheit</b> |
|----------------|-------------|----------------|
| Eigengewicht   | 23.000      | [kg]           |
| Leistung       | 137         | [kw]           |

**Abbildung 16: Akerman EW230B  
(Quelle: Leitner 2009)**

### 3.4 Bestandesbeschreibung

#### 3.4.1 Untersuchung I Thomüller

Alle Aufnahmen fanden in St. Lorenzen im Mürztal/Steiermark statt. Die Bestände setzen sich rein aus Fichte mit Lärchen- und vereinzelt Laubholzbeimischungen (Esche, Buche) zusammen. Die Trassenlänge variierte zwischen 89 m und 201 m. Die Neigungen der Trassen lagen zwischen 50 % und 60 %. Das mittlere Baumvolumen betrug zwischen 0,42 m<sup>3</sup> und 0,86 m<sup>3</sup>. Die mittlere Laufwagendistanz lag zwischen 43,55 m und 119,06 m.

**Tabelle 13: Trassendaten Thomüller**

|   | <b>Standardchoker</b> |              |       | <b>Funkchoker</b> |              |       |
|---|-----------------------|--------------|-------|-------------------|--------------|-------|
|   |                       |              |       |                   |              |       |
| Alter [J]   | 85                    | 53           | 55    | 55                | 65           | 65    |
| Baumartenanteil [1/10]                              | Fi 10                 | Fi 9<br>LH 1 | Fi 10 | Fi 10             | Fi 9<br>Lä 1 | Fi 10 |
| Trassenlänge [m]                                    | 137                   | 102          | 140   | 148               | 201          | 89    |
| Neigung [%]   | 52                    | 58           | 50    | 60                | 55           | 50    |
| mittleres entnommenes Baumvolumen [m <sup>3</sup> ] | 0,86                  | 0,59         | 0,60  | 0,42              | 0,66         | 0,60  |
| Erntemenge [m <sup>3</sup> ]                        | 50,22                 | 220,45       | 76,30 | 56,68             | 103,11       | 76,30 |
| Erntemenge [m <sup>3</sup> /lfm]                    | 0,37                  | 2,16         | 0,55  | 0,38              | 0,51         | 0,86  |
| mittlere Rückedistanz [m]                           | 94,9                  | 67,89        | 62,06 | 94,24             | 119,06       | 43,55 |

### 3.4.2 Untersuchung II Schwab

Es handelte sich um Fichtenreinbestände, deren Alter 75 Jahre betrug. Die Trassenlänge erstreckte sich zwischen 204 und 243 m. Die Neigung betrug bei beiden Flächen 68 %. Das mittlere Baumvolumen lag bei 1,08 m<sup>3</sup> und wurde bei einer mittleren Distanz zwischen 144 m und 158 m gerückt.

**Tabelle 14: Trassendaten Schwab**

|   | Standardchoker | Funkchoker |
|---|----------------|------------|
| Alter [J]   | 75             | 75         |
| Baumartenanteil [1/10]                              | Fi 10          | Fi 10      |
| Trassenlänge [m]                                    | 204            | 243        |
| Neigung [%]   | 68             | 68         |
| mittleres entnommenes Baumvolumen [m <sup>3</sup> ] | 1,08           | 1,08       |
| Erntemenge [m <sup>3</sup> ]                        | 260            | 168        |
| Erntemenge [m <sup>3</sup> /lfm]                    | 1,27           | 0,69       |
| mittlere Rückedistanz [m]                           | 144            | 158        |

## 3.5 Datenerhebung

### 3.5.1 Datenerhebung Arbeitsstudie

Die Zeitstudie wurde mit dem Zeiterfassungsgerät Latschbacher EG 20 durchgeführt. Um die passenden Daten für die Auswertung zu erhalten, wurde das Fortschrittszeitverfahren (REFA 1984) mit den in der Tabelle 15 angeführten Arbeitstakten angewandt.

**Tabelle 15: Arbeitstakte für Zeitstudie**

| Arbeitstakt                  | Beschreibung   |
|------------------------------|--|
| Lehrfahrt                    | Anfahrt bis Stillstand Laufwagen                               |
| Anhängen                     | Vom Stillstand des Laufwagens bis zum Anfahren des Laufwagens  |
| Lastfahrt                    | Vom Anfahren des Laufwagens bis zum Stillstand am Anlandeplatz |
| Anlanden                     | Aus- und Einspulen des Zugseils                                |
| Choker lösen                 | In Bewegung setzen des Arbeiters bis Einspulation des Zugseils |
| Manipulation mit Bagger      | Verziehen der Stämme bei schwierigen Anlandungen               |
| Ablaufbedingte Wartezeit     | Laufwagen wartet, weil Prozessorfahrer noch nicht fertig ist   |
| Unterbrechungen ≤15 Minuten  | Arbeitsunterbrechungen kleiner gleich 15 Minuten               |
| Unterbrechungen > 15 Minuten | Arbeitsunterbrechungen größer 15 Minuten                       |

Zusätzlich zu den Zeitdaten musste noch die Rückedistanz sowie das Volumen der Bäume ermittelt werden.

Die Distanz konnte bequem vom Display des Seilgerätes abgelesen werden und wurde für jeden Zyklus auf einem Formular notiert. Somit konnte jedem Zyklus eine Rückedistanz zugeordnet werden.

Zur Ermittlung des Baumvolumens wurde die Formzahlfunktion von POLLANSCHÜTZ (1974) herangezogen. Hier müssen die Baumart, die Höhe und der Durchmesser als Eingangsgrößen eingesetzt werden. Die Höhe wurde über bestandesspezifische Höhenkurven hergeleitet. Zu diesem Zweck sind insgesamt 120 Wertepaare aus BHD und Höhe gemessen worden.

Die für die vorliegende Studie verwendeten Antwortvariablen, Faktoren sowie Kovariablen, sind in der Tabelle 16 ersichtlich.

**Tabelle 16: Variablen für das Versuchslayout**

| Typ                     | Name             | Definition   | Einheit               |
|-------------------------|------------------|--|-----------------------|
| <i>Antwortvariablen</i> | Zyklus           | Zeit für einen Zyklus,   | [min]                 |
|                         | Fuhrvolumen      | Gesamtes Fuhrvolumen eines Zyklus  | [m <sup>3</sup> ]     |
|                         | Effizienz        | Zyklus/Fuhrvolumen   | [min/m <sup>3</sup> ] |
|                         | Produktivität    | 60/Effizienz   | [m <sup>3</sup> /h]   |
| <i>Faktor</i>           | Choker           | Standardchoker (0), Funkchoker (1)   |                       |
| <i>Kovariablen</i>      | Bäume            | Anzahl der Bäume pro Fuhre   | [n]                   |
|                         | Baumvolumen      | durchschnittliches Baumvolumen   | [m <sup>3</sup> ]     |
|                         | Distanz          | Weg, den der Laufwagen zurückgelegt hat  | [m]                   |
| <i>Zeit</i>             | PSH <sub>0</sub> | Produktive Arbeitszeit, alle jene Arbeitstätigkeiten, die ausschließlich dem Arbeitsfortschritt dienen, ohne Unterbrechungen | [min]                 |

Die Produktive Arbeitszeit<sub>0</sub> (PSH<sub>0</sub>) umfasste alle Arbeitstätigkeiten, die dem direkten Arbeitsfortschritt dienen. Durch einen aus der Literatur und durch praktische Erfahrungen hergeleiteten Faktor von PSH<sub>0</sub> auf PSH<sub>15</sub> können auch Aussagen getätigt werden, die die Produktivität inklusive Unterbrechungen kleiner 15 Minuten betreffen. Unterbrechungen größer 15 Minuten gehen bei der Erstellung des Modells nicht mit ein.

### 3.5.2 Datenerhebung Ergonomie

Um Aussagen über die Arbeitsbeanspruchung machen zu können, benötigt man die Herzfrequenz des Arbeiters und Aufzeichnungen über seine Tätigkeiten über den Tag verteilt. Dazu wurde eine zweite Zeitstudie durchgeführt, die zur Protokollierung der Arbeitstätigkeiten des Anhängers diente (Tabelle 17).

**Tabelle 17: Arbeitstakte Anhänger**

| <b>Arbeitstakt</b>           | <b>Beschreibung</b>                                    |
|------------------------------|--|
| Ausziehen                    | Vom Ausspulen des Zugseils bis zum Erreichen der Last  |
| Anhängen                     | Vom Erreichen der Last bis zum Start des Zuzugs        |
| Zuzug                        | Vom Einzug des Seiles bis zum Losfahren des Laufwagens |
| Vorbereiten der Last         | Last wird für nächste Fuhre vorbereitet                |
| Arbeit mit Motorsäge         | Vom Aufnehmen bis zum Abstellen der MS                 |
| Ablaufbedingte Wartezeit     | Warten auf Rückkehr des Laufwagens                     |
| Unterbrechungen ≤ 15 Minuten | Arbeitsunterbrechungen kleiner gleich 15 Minuten       |
| Unterbrechungen > 15 Minuten | Arbeitsunterbrechungen größer 15 Minuten               |

Zur Aufzeichnung der Herzfrequenz, wurde für die vorliegende Arbeit auf ein Gerät aus dem Sportbereich zurückgegriffen. Es handelte sich dabei um die Trainingsuhr POLAR RS800G3, die eine „beat to beat“ Aufzeichnung des Herzschlags erlaubt.

### **3.5.3 Ablauf**

Für die Aufnahmen waren zwei Personen nötig. Eine befand sich am Anlandeplatz und führte die Zeitstudie für die Effizienzermittlung durch. Zusätzlich notierte sie die Rückedistanz. Die zweite Person befand sich im Bestand und ermittelte die Zeiten beim Anhänger und die Baumvariablen. Für jeden Baum einer Fuhre wurde der BHD gemessen, um später das Volumen errechnen zu können.

Die Kommunikation des Aufnahmeteams geschah über Funkgeräte. Daher waren die Aufnahmen auch im nicht einsehbarem Gelände (für die Person am Anlandeplatz) sehr genau, da Start und Ende gewisser Arbeitstakte von der Person im Bestand an den Anlandeplatz übermittelt werden konnten.

Nach jedem Arbeitstag sind die Daten aus der Zeitstudie auf den Computer überspielt, auf Plausibilität geprüft und danach mit den anderen Daten verknüpft worden. Dadurch konnte ein Datenverlust vermieden werden.

## **3.6 Datenauswertung**

### **3.6.1 Statistische Auswertung**

Das Ziel der statistischen Auswertung ist die Erstellung eines linearen Modells. Bevor das aber geschehen kann, müssen die wichtigsten Einflussfaktoren lokalisiert und danach auf deren Signifikanz getestet werden.

Ein Lösungsansatz dazu ist die Varianzanalyse, welche die Wirkung einer oder mehrerer unabhängiger Variablen auf eine bzw. mehrere abhängige Variablen untersucht. Da aber auch intervallskalierte unabhängige Variablen – als Kovariaten bezeichnet – verwendet wurden, muss die Auswertung über eine Kovarianzanalyse geschehen. Genauer noch mittels Univariater Kovarianzanalyse. Univariat bedeutet, dass es nicht mehr als eine abhängige Variable gibt (BACKHAUS ET AL. 2006).

Nachdem die auf den Zeitbedarf beeinflussenden Parameter herausgefiltert wurden, können die Koeffizienten mittels multipler linearer Regression geschätzt werden.

Für die statistische Auswertung wurde das Programm SPSS 15.0 für Windows angewandt. Mit dessen Hilfe war es möglich die Varianzanalyse bzw. die Regression zu rechnen.

### 3.6.2 Ergonomische Auswertung

Zuerst wurden die Daten der Herzfrequenzmessungen, die mittels dem POLAR RS800G3 durchgeführt wurden, mit den Daten der Zeitstudie synchronisiert und zugeordnet. Danach fand die Auswertung mit dem Programm Microsoft Excel 2003 statt. Hier wurden zuerst die Mittelwerte und Standardabweichungen eruiert und danach mittels T-Test analysiert. Indem ein Vergleich zweier unabhängiger Mittelwerte durchgeführt wird, konnte die Hypothese überprüft werden, dass es keinen Unterschied zwischen den mittleren Herzfrequenzen gibt.

Außerdem wurde auch die individuelle Dauerleistungsgrenze über die maximale Herzfrequenzreserve (HRR→Heart Rate Reserve) (Formel 2) nach BUCHBERGER (1984) und KIRK UND SULLMAN (2001) berechnet, die bei 40 % liegt.

Die Gesamtherzfrequenz ist der absolute Wert der Herzschlagfrequenz. Als Ruheherzfrequenz wurde die minimale Herzfrequenz während der Tagesaufzeichnung herangezogen.

|   |          |
|---|----------|
| $\% \text{ HRR} = \frac{\text{Gesamtherzfrequenz} - \text{Ruheherzfrequenz}}{(220 - \text{Lebensalter}) - \text{Ruheherzfrequenz}}$ | Formel 2 |
|---|----------|

## 4 ERGEBNISSE

### 4.1 Ergebnis Untersuchung I Thomüller

#### 4.1.1 Effizienz/Produktivität

Nach 100 Zyklen wurde statistisch untersucht (Formel 3), wie viele Zyklen benötigt werden, um Aussagen - mit einer Genauigkeit von 5 % um den Mittelwert – tätigen zu können.

$$N = t^2 * \text{Varianz} / (\text{Mittelwert} * p)^2$$

**Formel 3**

N.....Anzahl

t.....t-Wert aus der Tabelle (1,96)

p.....Genauigkeit in Prozent (5 %)

Bei einem Mittelwert von 4,66 min und einer Varianz von 2,73 min erhielt man für eine Genauigkeit von 5 % um den Mittelwert eine Mindestprobenanzahl von 193 Zyklen. Tatsächlich wurden 936 Zyklen untersucht.

Die durchschnittliche Zykluszeit betrug 4,64 min (Tabelle 18). In dieser Zeit wurden im Mittel 1,3 Bäume mit einem durchschnittlichen Fuhrevolumen von 0,69 m<sup>3</sup> ohne Rinde gerückt. Der Mittelwert der Rückedistanz lag bei 65,5 m. Umgerechnet auf eine produktive Systemstunde konnte eine durchschnittliche Produktivität von 8,71 m<sup>3</sup> ohne Rinde/PSH<sub>0</sub> erreicht werden.

**Tabelle 18: Numerische Variablen und deren statistische Beschreibung**

| Variable      | Mittelwert | 5. Perzentile | 95. Perzentile | Einheit                                       |
|---------------|------------|---------------|----------------|---|
| Zeit/Fuhre    | 4,64       | 2,61          | 7,97           | [min]   |
| Fuhrevolumen  | 0,69       | 0,21          | 1,31           | [m <sup>3</sup> ohne Rinde]                   |
| Produktivität | 8,71       | 1,92          | 20,32          | [m <sup>3</sup> ohne Rinde/PSH <sub>0</sub> ] |
| Rückedistanz  | 65.5       | 23.0          | 115.5          | [m]   |
| Bäume/Fuhre   | 1,3        | 1,0           | 2,0            | [n]   |
| Baumvolumen   | 0,60       | 0,16          | 1,20           | [m <sup>3</sup> ohne Rinde]                   |

Wie erwartet, konnte durch den Einsatz des Ludwig Chokers während der Tätigkeit des Lösens Zeit gut gemacht werden. Im Detail lag die durchschnittliche Dauer des Vorganges beim Einsatz des Standardchokers bei 0,33 Minuten. Im Vergleich dazu benötigte man für das Lösen beim Ludwig Choker nur 0,12 Minuten. Somit konnte eine Zeitersparnis von 0,21 Minuten pro Zyklus lukriert werden. Beim Anhängen ergab sich keine signifikante Veränderung durch den Einsatz des Funkchokers (Abbildung 17).

Eine weitere Auffälligkeit ergab sich bei der Leerfahrtgeschwindigkeit (m/sec) des Laufwagens. Während beim Einsatz des Standardchokers mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 2,3 m/sec gefahren wurde, sank sie beim Einsatz des Ludwig Chokers auf 1,6 m/sec. Da der Funkchoker aufgrund des höheren Eigengewichtes zu größerem Pendeln neigt und dadurch Beschädigungen am Choker entstehen können, musste der Maschinist die Geschwindigkeit bei der Leerfahrt mit dem Funkchoker reduzieren. Erschwerend kam hinzu, dass das Rückholseil direkt unter dem Tragseil gespannt war und somit der Laufwagen unruhiger ist und das Schwingen noch zusätzlich verstärkt wird.

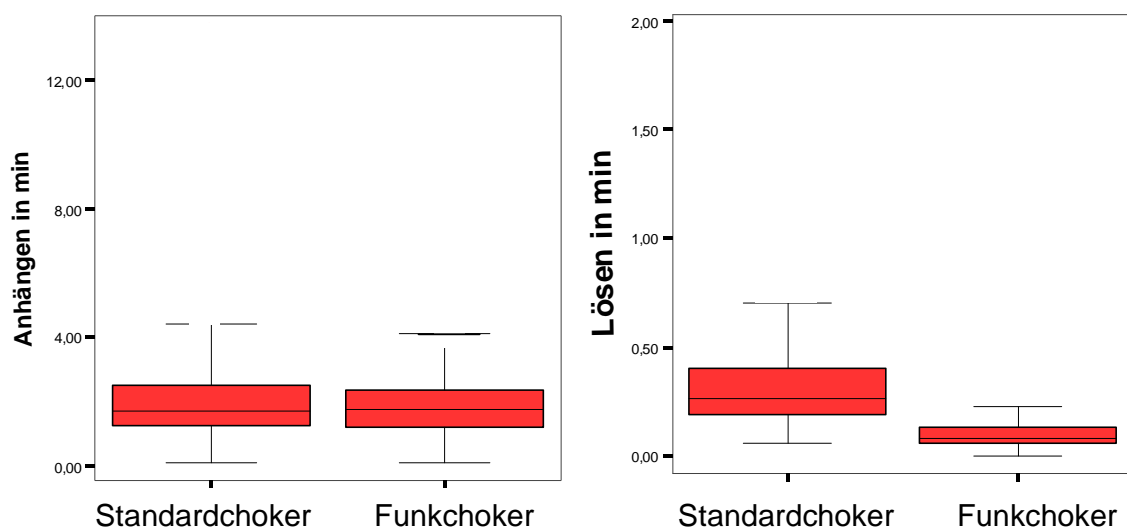


Abbildung 17: Zeitvergleich Anhängen bzw. Lösen

Für die weitere Analyse wird von folgendem Modell ausgegangen:

|   |                 |
|---|-----------------|
| $\text{Effizienz [min/m}^3\text{]} = \text{Baumvolumen [m}^3\text{]} + \text{Distanz [m]} + \text{Choker [0; 1]}$ | <b>Formel 4</b> |
|---|-----------------|

In Tabelle 19 sind die Ergebnisse der Kovarianzanalyse zusammengefasst. Da der Zusammenhang zwischen Effizienz und Baumvolumen nicht linear ist, wurde die Kovariable Baumvolumen durch die transformierte Variable Baumvolumen<sup>-0,9</sup> ersetzt.



**Tabelle 19: Kovarianzanalyse Thomüller**

| Größe                          | Quadratsumme | Freiheitsgrade | F-Wert   | Signifikanz<br>(p=0,05) |
|--------------------------------|--------------|----------------|----------|-------------------------|
| Korrigiertes Modell            | 17.725,45    | 3              | 828,79   | 0,000                   |
| Konstanter Term                | 29,13        | 1              | 4,09     | 0,044                   |
| Distanz                        | 3,91         | 1              | 0,55     | 0,459                   |
| Baumvolumen <sup>-0,9</sup>    | 17.598,64    | 1              | 2.468,59 | 0,000                   |
| Choker                         | 42,86        | 1              | 6,01     | 0,014                   |
| Fehler                         | 5.168,55     | 725            |          |                         |
| Gesamt                         | 60.322,60    | 729            |          |                         |
| Korrigierte<br>Gesamtvariation | 22.894,00    | 728            |          |                         |

R-Quadrat= 0,774 (korrigiertes R-Quadrat = 0,773)

Für das vorliegende Datenmaterial stellte sich heraus, dass die Kovariable Distanz keine Signifikanz zeigte. Die Begründung dafür liegt in der kurzen mittleren Rückedistanz von 65,5 m. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen AFFENZELLER UND STAMPFER (2007), wo ähnlich kurze Rückedistanzen untersucht wurden und es keinen signifikanten Einfluss der Rückedistanz auf den Zeitbedarf gab.

Die Koeffizienten für das Modell wurden mittels multipler linearer Regression geschätzt (Tabelle 20).

**Tabelle 20: Regressionsanalyse**

| Koeffizient                 | Wert   | Standardfehler | t-Wert | Signifikanz |
|-----------------------------|--------|----------------|--------|-------------|
| Konstanter Term             | 0,960  | 0,178          | 5,394  | 0,000       |
| Baumvolumen <sup>-0,9</sup> | 3,495  | 0,070          | 49,873 | 0,000       |
| Choker                      | -0,528 | 0,203          | -2,609 | 0,009       |

R-Quadrat = 0,774, korrigiertes R-Quadrat = 0,773

Somit ergibt sich als Modell für die Berechnung der Effizienz folgende Formel:

$$\text{Effizienz} = 0,960 + 3,495 * \text{Baumvolumen}^{-0,9} - 0,528 * \text{Choker}$$

**Formel 5**

Effizienz.....[min/m<sup>3</sup> ohne Rinde]

Baumvolumen<sup>-0,9</sup>.....[m<sup>3</sup> ohne Rinde]

Choker.....0 = Standardchoker; 1 = Funkchoker

Die Produktivität ist der Kehrwert der Effizienz. Als zusätzliches Element wird der Faktor  $k$  hinzugefügt, um Aussagen über die Produktivität tätigen zu können, welche Arbeitsunterbrechungen kleiner gleich 15 Minuten inkludiert.

$$Prod_{15} = \frac{60}{k * (0,960 + 3,495 * Baumvolumen^{-0,9} - 0,528 * Choker)} \quad \text{Formel 6}$$

$Prod_{15}$ .....Produktivität [ $m^3$  ohne Rinde/PSH<sub>15</sub>]

Baumvolumen<sup>-0,9</sup>.....[ $m^3$  ohne Rinde]

Choker.....0 = Standardchoker; 1 = Funkchoker

$k$ .....Umrechnungsfaktor von  $Prod_0$  auf  $Prod_{15}$  (1,3)

Abbildung 18 zeigt die Produktivität in  $m^3$  ohne Rinde/PSH<sub>15</sub> in Abhängigkeit von Baumvolumen und Chokertyp. Bei einem mittleren Baumvolumen von  $0,6 m^3$  ohne Rinde kommt man beim Einsatz des Standardchokers auf eine Produktivität von  $7,11 m^3$  ohne Rinde/PSH<sub>15</sub>. Im Gegensatz dazu kann man die Produktivität um  $0,62 m^3$  ohne Rinde/PSH<sub>15</sub> auf  $7,73 m^3$  ohne Rinde/PSH<sub>15</sub> steigern, wenn man den Ludwig Choker einsetzt. Das entspricht einer Produktivitätssteigerung von rund 9 %.

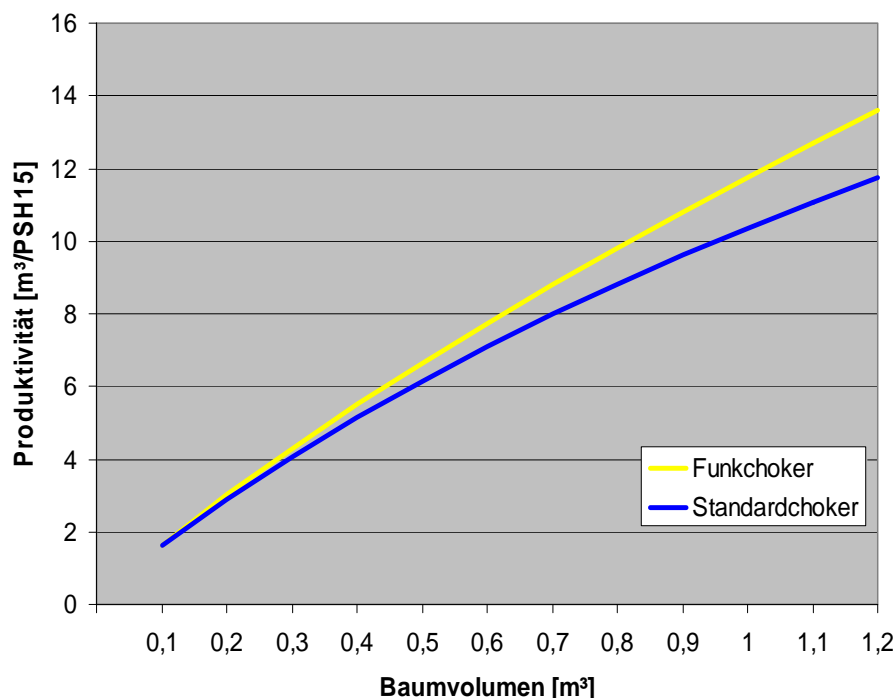


Abbildung 18: Produktivitätsverlauf ( $m^3$  ohne Rinde/PSH<sub>15</sub>) in Abhängigkeit von Baumvolumen und Chokertyp

### 4.1.2 Arbeitsbeanspruchung

Die durchschnittlichen Herzfrequenzen bei der Anwendung des Ludwig Chokers sind durchwegs höher als beim Standardchoker (Tabelle 21). Auch die statistische Auswertung unterstützt dieses Ergebnis, indem es eine signifikant höhere Arbeitsbeanspruchung beim Einsatz des Funkchokers gab.

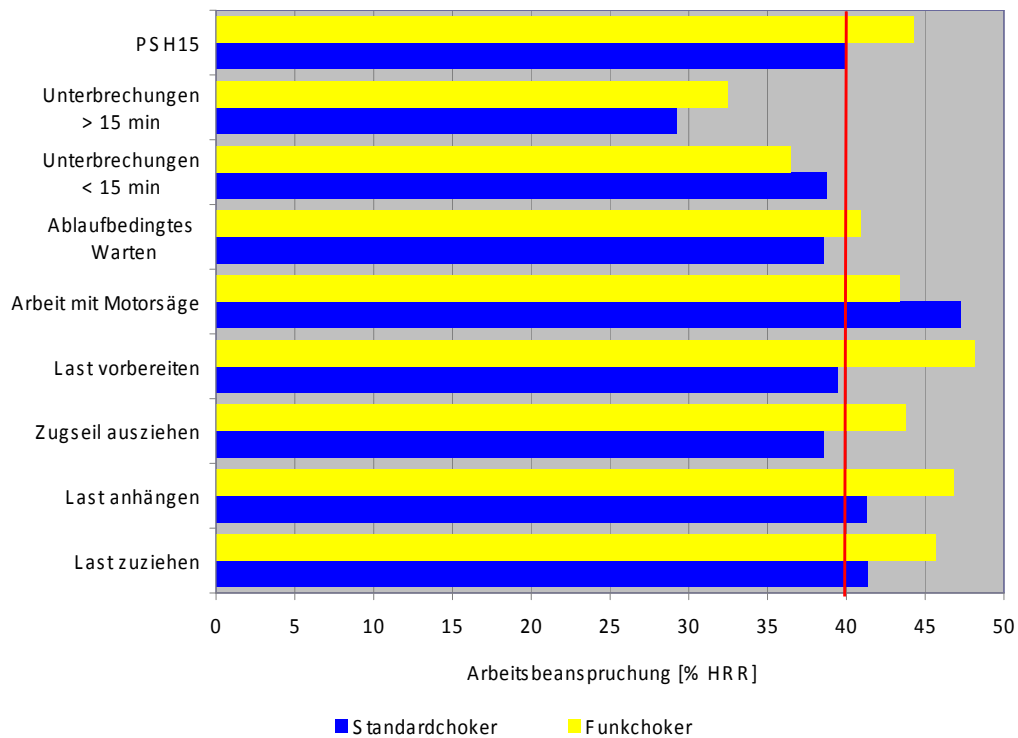
**Tabelle 21: Kennwerte der Arbeitsbeanspruchung in Schläge/min**

|                        | Standardchoker |          |     |     | Funkchoker |          |     |     |
|------------------------|----------------|----------|-----|-----|------------|----------|-----|-----|
|                        | $\bar{x}$      | $\sigma$ | MIN | MAX | $\bar{x}$  | $\sigma$ | MIN | MAX |
| PSH <sub>0</sub>       | 115            | 10,11    | 77  | 167 | 121        | 12,2     | 81  | 172 |
| PSH <sub>15</sub>      | 115            | 10,09    | 77  | 167 | 121        | 12,2     | 81  | 172 |
| Unterbrechung >15 min  | 102            | 8,29     | 94  | 111 | 106        | 9,24     | 98  | 126 |
| Unterbrechung ≤ 15 min | 114            | 16,73    | 89  | 143 | 111        | 13,4     | 89  | 135 |
| Ablaufbedingtes Warten | 114            | 10,98    | 80  | 156 | 117        | 12,7     | 85  | 165 |
| Arbeit Motorsäge       | 125            | 9,71     | 110 | 137 | 120        | 26,8     | 94  | 161 |
| Last vorbereiten       | 115            | 14,15    | 92  | 147 | 126        | 19,0     | 94  | 159 |
| Ausziehen              | 114            | 14,09    | 79  | 164 | 120        | 13,7     | 86  | 161 |
| Anhängen               | 117            | 13,84    | 80  | 167 | 124        | 15,4     | 81  | 172 |
| Zuzug                  | 117            | 13,89    | 77  | 164 | 123        | 17,9     | 81  | 165 |

Beim Arbeitstakt Zuzug müsste theoretisch die Herzfrequenz geringer sein, da man in der gesicherten Position steht. Da aber bei Herzfrequenzmessungen immer Nachwirkungen des vorangegangenen Arbeitstaktes inkludiert sind, ist auch während des Zuzugs die Herzfrequenz bei der Anwendung des Ludwig Chokers höher.

In Abbildung 19 ist ersichtlich, dass der Arbeiter die Dauerleistungsgrenze sehr oft überschreitet. Selbst bei der Arbeit mit dem Standardchoker liegt die Heart Rate Reserve (HRR) genau bei 40 %. Ein Grund dafür ist die fehlende Pausengestaltung des Arbeiters. Deswegen ergibt sich auch kein Unterschied in den Herzfrequenzen zwischen PSH<sub>0</sub> und PSH<sub>15</sub> (Tabelle 21).

Im Vergleich dazu die Werte von KIRK und SULLMAN (2001), die eine durchschnittliche HRR zwischen 31,9 und 38,5 % in Neuseeland bei Anhängern beobachtet haben.



**Abbildung 19: Arbeitsbeanspruchung beim Anhängen im Bestand**

#### 4.1.3 Kosten

Die Kosten für einen Satz Ludwig Choker liegen laut [www.interforst.at](http://www.interforst.at) (2009) bei netto € 9.200,00.

Die Firma Thomüller & Handlos OG hat das zu bearbeitende Waldgebiet pauschal zur Aufarbeitung übernommen und bekam pro m<sup>3</sup> ohne Rinde vom Waldbesitzer € 32,00. Hierbei waren aber nicht nur Arbeiten mit dem Seilgerät nötig, sondern auch Traktorrückungen und händische Lieferungen.

Wenn man bedenkt, dass mit dem Ludwig Choker eine erhöhte Produktivität von 0,62 m<sup>3</sup> ohne Rinde/PSH<sub>15</sub> bei vorliegendem Versuch lukriert werden konnte, beträgt die zusätzliche Einnahme € 19,84/PSH<sub>15</sub>. Der Mehrerlös dem Einkaufspreis gegenübergestellt würde bedeuten, dass sich die Ludwig Choker nach 464 PSH<sub>15</sub> amortisiert hätte. Allerdings wurden hierbei noch keine Reparatur- bzw. Erhaltungskosten mit einkalkuliert.

## 4.2 Ergebnis Untersuchung II Schwab

### 4.2.1 Effizienz/Produktivität

Die Mindestzyklenanzahl (Formel 3) für diesen Versuch ergab, bei einem Mittelwert von 3,70 min und einer Varianz von 1,27 min, 144 Zyklen. Beobachtet wurden 270 Zyklen.

Die durchschnittliche Zykluszeit betrug 4,09 Minuten (Tabelle 22). In dieser Zeit wurden im Mittel 1,78 Bäume pro Fuhre, bei einer durchschnittlichen Rückedistanz von 150,22 m, gerückt, was ein mittleres Fuhrevolumen von 1,62 m<sup>3</sup> ohne Rinde ergibt. Umgerechnet auf die Produktivität ergibt das im Durchschnitt 26,0 m<sup>3</sup> ohne Rinde/PSH<sub>0</sub>.

**Tabelle 22: Numerische Variablen und deren statistische Beschreibung**

| Variable      | Mittelwert | 5. Perzentile | 95. Perzentile | Einheit                                       |
|---------------|------------|---------------|----------------|---|
| Zeit/Fuhre    | 4,09       | 2,45          | 6,46           | [min]   |
| Fuhrevolumen  | 1,62       | 0,44          | 2,84           | [m <sup>3</sup> ohne Rinde]                   |
| Produktivität | 26,0       | 5,13          | 53,06          | [m <sup>3</sup> ohne Rinde/PSH <sub>0</sub> ] |
| Rückedistanz  | 150,22     | 69,75         | 202,25         | [m]   |
| Bäume/Fuhre   | 1,78       | 1             | 3              | [n]   |
| Baumvolumen   | 1,08       | 0,21          | 2,25           | [m <sup>3</sup> ohne Rinde]                   |

Beim Lösen der Choker gab es auch bei dieser Auswertung eine durchschnittliche Zeiteinsparung durch die Verwendung von Funkchokern. Die Zeitersparnis beträgt 0,23 min (Abbildung 20). Gleichzeitig konnte aber auch ein signifikanter Unterschied beim Anhängen zu Ungunsten der Funkchoker festgestellt werden.

Die Geschwindigkeiten des Laufwagens wurde ebenfalls analysiert und man konnte sehen, dass sich - aufgrund der Anordnung des Rückholseiles um den Bestand herum - der Laufwagen ruhiger verhalten hat und somit auch die Choker nicht so ins Schwingen kamen, dass sie sich um das Tragseil wickeln konnten, womit sich keine signifikanten Unterschiede bei den Geschwindigkeiten ergaben.

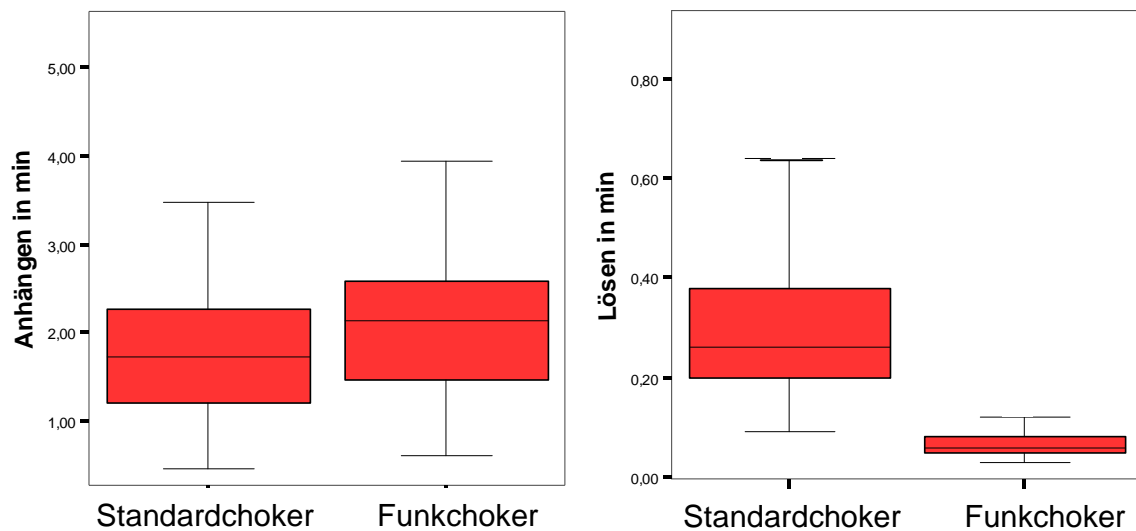


Abbildung 20: Zeitvergleich Anhängen bzw. Lösen

Für die weitere Analyse wurde von demselben Modell ausgegangen, wie es auch schon im Versuch I Thomüller der Fall war, und das unter Formel 4 ersichtlich ist.

In Tabelle 23 sind die Ergebnisse der Kovarianzanalyse ersichtlich. Die Kovariable Baumvolumen wurde, wie auch im Versuch I Thomüller, durch die transformierte Variable Baumvolumen<sup>-0,9</sup> ersetzt.

Tabelle 23: Kovarianzanalyse Schwab

| Größe                       | Quadratsumme | Freiheitsgrade | F-Wert   | Signifikanz (p=0,05) |
|-----------------------------|--------------|----------------|----------|----------------------|
| Korrigiertes Modell         | 1.768,47     | 3              | 385,42   | 0,000                |
| Konstanter Term             | 6,55         | 1              | 4,286    | 0,039                |
| Distanz                     | 10,36        | 1              | 6,77     | 0,010                |
| Baumvolumen <sup>-0,9</sup> | 1.695,44     | 1              | 1.108,52 | 0,000                |
| Choker                      | 0,105        | 1              | 0,069    | 0,794                |
| Fehler                      | 397,66       | 260            |          |                      |
| Gesamt                      | 4297,75      | 264            |          |                      |
| Korrigierte Gesamtvariation | 2.166,13     | 263            |          |                      |

R-Quadrat= 0,816 (korrigiertes R-Quadrat = 0,814)

Bei diesem Versuch ergibt sich kein signifikanter Einfluss des Chokertyps auf den Zeitbedarf bei der Seilrückung, aufgrund der negativen Voreingenommenheit des Anhängers, gegenüber dem Funkchoker, der den Zeitgewinn des Lösens durch längere Zeiten beim Anhängen wieder aufgebraucht hat.

Die Koeffizienten für das Modell (Tabelle 24) wurden mittels multipler linearer Regression geschätzt.

**Tabelle 24: Regressionsanalyse Schwab**

| Koeffizient                 | Wert   | Standardfehler | t-Wert | Signifikanz<br>(p=0,05) |
|-----------------------------|--------|----------------|--------|-------------------------|
| Konstanter Term             | -0,681 | 0,313          | -2,179 | 0,030                   |
| Baumvolumen <sup>-0,9</sup> | 2,318  | 0,069          | 33,35  | 0,000                   |
| Distanz                     | 0,005  | 0,002          | 2,70   | 0,007                   |

R-Quadrat = 0,816, korrigiertes R-Quadrat = 0,815

Somit ergibt sich als Modell für die Berechnung der Effizienz folgende Formel:

$$\text{Effizienz} = -0,681 + 2,318 * \text{Baumvolumen}^{-0,9} + 0,005 * \text{Distanz} \quad \text{Formel 7}$$

Effizienz.....[min/m<sup>3</sup> ohne Rinde]

Baumvolumen<sup>-0,9</sup>.....[m<sup>3</sup> ohne Rinde]

Distanz.....[m]

Umgeformt auf Produktivität<sub>15</sub> bedeutet das:

$$\text{Prod}_{15} = \frac{60}{k * (-0,681 + 2,318 * \text{Baumvolumen}^{-0,9} + 0,005 * \text{Distanz})} \quad \text{Formel 8}$$

Prod<sub>15</sub>.....Produktivität [m<sup>3</sup> ohne Rinde/PSH<sub>15</sub>]

Baumvolumen<sup>-0,9</sup>.....[m<sup>3</sup> ohne Rinde]

Distanz.....[m]

k.....Umrechnungsfaktor von Prod<sub>0</sub> auf Prod<sub>15</sub> (1,3)

Bei einem mittleren Baumvolumen von 1,08 m<sup>3</sup> ohne Rinde und einer mittleren Rückedistanz von 150,19 m ergibt sich eine Produktivität von 20,67 m<sup>3</sup> ohne Rinde/PSH<sub>15</sub> (Abbildung 21).

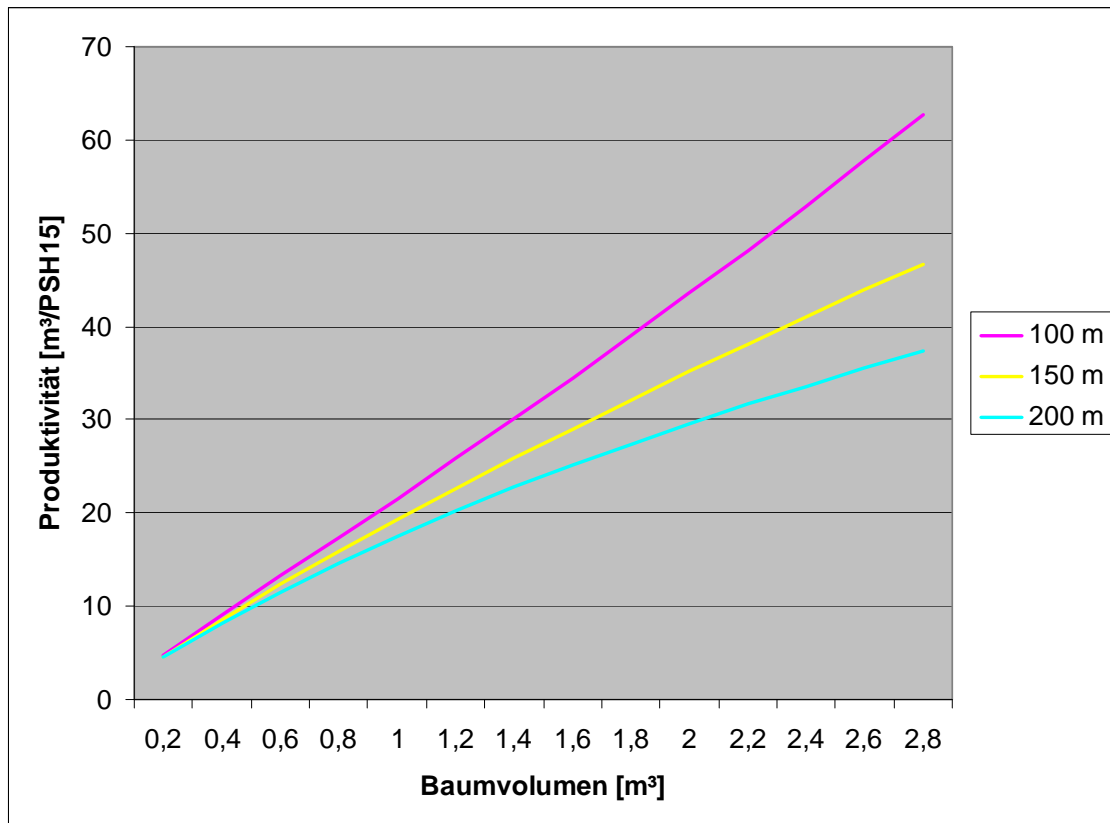


Abbildung 21: Produktivität in m<sup>3</sup> ohne Rinde pro PSH<sub>15</sub> in Abhängigkeit vom Baumvolumen und Rückedistanz

#### 4.2.2 Arbeitsbeanspruchung

Tabelle 25 zeigt, dass die durchschnittlichen Herzfrequenzen beim Einsatz des Ludwig Chokers nur minimal von jenen des konventionellen Chokers abweichen. Bei der statistischen Auswertung konnte man sehen, dass sich die Herzfrequenzen bezogen auf PSH<sub>0</sub> bzw. PSH<sub>15</sub> nicht signifikant unterscheiden. Es gab nur einen signifikanten Unterschied beim Arbeitstakt Anhängen, der der nachgelagerte Arbeitsschritt des Ausziehens ist. Dieser signifikante Unterschied ist auf das höhere Gewicht des Ludwig Chokers zurückzuführen.

Tabelle 25: Kennwerte der Arbeitsbeanspruchung in Schläge/min

|                        | Standardchoker |          |     |     | Funkchoker |          |     |     |
|------------------------|----------------|----------|-----|-----|------------|----------|-----|-----|
|                        | $\bar{x}$      | $\sigma$ | MIN | MAX | $\bar{x}$  | $\sigma$ | MIN | MAX |
| PSH <sub>15</sub>      | 135            | 10,99    | 115 | 166 | 136        | 7,17     | 110 | 153 |
| PSH <sub>0</sub>       | 135            | 10,89    | 115 | 167 | 136        | 7,27     | 110 | 153 |
| Unterbrechung ≤ 15 min | 118            | 16,67    | 118 | 118 | 133        | 15,44    | 117 | 147 |
| Ablaufbedingtes Warten | 130            | 15,46    | 99  | 167 | 125        | 9,66     | 93  | 151 |
| Ausziehen              | 135            | 11,22    | 110 | 170 | 133        | 11,61    | 101 | 154 |
| Anhängen               | 140            | 11,05    | 114 | 165 | 144        | 8,00     | 125 | 164 |
| Zuzug                  | 137            | 14,45    | 105 | 172 | 140        | 11,45    | 113 | 162 |



Die Heart Rate Reserve beim Einsatz des Ludwig Chokers liegt nur ganz knapp über jener des Standardchokers (Abbildung 22). Unabhängig vom Chokertyp bewegt sich der beobachtete Arbeiter ständig über der Dauerleistungsgrenze. Ein Grund dafür kann sein, dass es an körperlicher Fitness fehlt, oder der Arbeiter einen generell zu hohen Blutdruck bzw. Herzschlag hat.

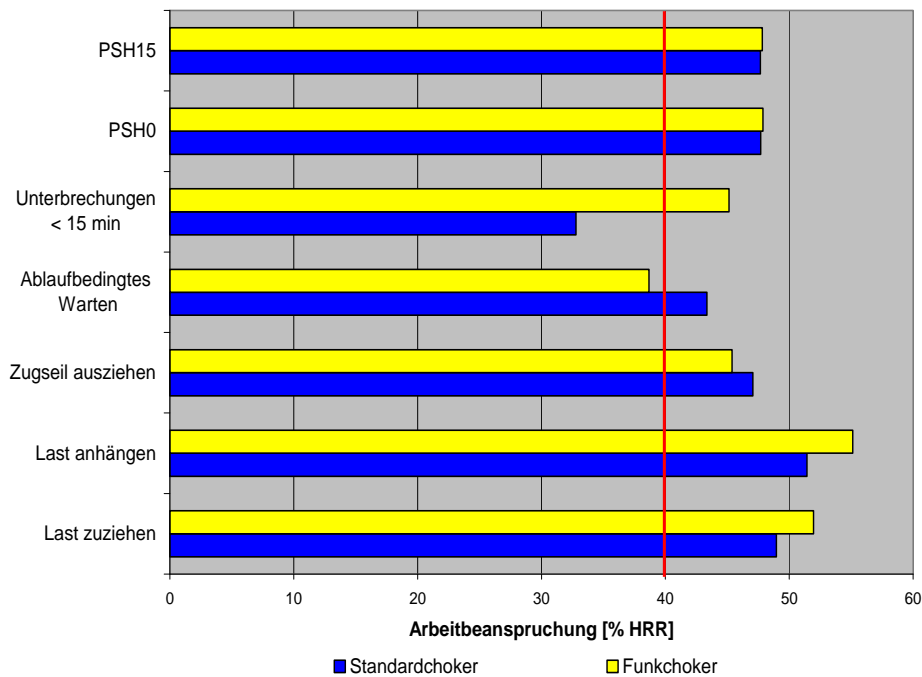


Abbildung 22: Arbeitsbeanspruchung des Anhängers im Bestand

### 4.3 Praktische Erfahrungen

Der Arbeiter am Anlandeplatz begrüßt die neue Technologie des Ludwig Chokers und dessen Vorteile. Beim Arbeitssystem des Versuchs Thomüller (Seilgerät auf Anhänger und Prozessor daneben) war klar zu sehen, dass das ständige Auf- und Absteigen vom Prozessor nicht nur anstrengend, sondern auch sehr gefährlich ist. Dem gegenüber stehen die Einwände des Anhängers. So z. B. wurde die unterschiedliche Schlingenlänge angesprochen. Von der Firma Giritzer wird empfohlen, die Choker auf den Schlingen versetzt anzubringen, sodass sie während der Leerfahrt nicht aneinander schlagen können (Abbildung 23).



**Abbildung 23: Versetzte Anordnung der Ludwig Choker (Quelle: Leitner 2008)**

Wenn der Anhänger die Schlingen beim Ausziehen in die Hand nimmt, ergreift er jene Schlinge, wo der Choker am kürzesten montiert ist (der rote Choker in Abbildung 23), um sie Kräfte schonend manipulieren zu können. Dadurch stehen die längeren Schlingen vor und das kann dazu führen, dass sich der Anhänger mit den Chokern selbst einen Schlag auf den Unterschenkel versetzt, was zu blauen Flecken führen kann. Beim zweiten Versuch wurde auf die versetzte Montage verzichtet, daher kam es auch zu keinen Beschwerden.

Ein Spezifikum des Versuchs Thomüller war, dass die Firma das Rückholseil direkt unter dem Tragseil montiert hatte. Dadurch war der Laufwagen unruhiger und es kam zu einem starken Schwingen der Choker. Aufgrund des Schwingens musste die Leerfahrtgeschwindigkeit reduziert werden, da die Choker des Öfftern über das Tragseil geworfen wurden. Selbiges konnte beim Versuch Schwab nicht beobachtet werden, da das Rückholseil um den Bestand herum aufgebaut war.

Weiters ist anzumerken, dass das Seil für die Schlingen nicht zu steif sein darf, denn wenn der Anhänger die Schlingen setzt und zuzieht, kann sich die Schlinge aufgrund des steifen Seiles und dessen Widerstand wieder öffnen (wichtig: die Schlinge, nicht der Choker) und somit leichter von der Ladung abrutschen. Das Problem des Abrutschens besteht auch bei kleineren Baumdimensionen. Da der Ludwig Choker länger als der Standardchoker ist, erhöht sich natürlich auch der Würgeradius (Abbildung 24).



**Abbildung 24: Größenvergleich der Choker und Würgeradius (Quelle: Leitner 2008)**

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Wartung. Während der Standardchoker wartungsfrei ist, bedarf es beim Ludwig Choker einer täglichen Pflege. Bei verschmutztem Untergrund oder bei Windwurfaufarbeitungen, wo sich Erdreich an der Oberfläche befindet, ist dies sogar mehrmalig am Tag nötig. Unter Wartung versteht man, dass der Innenraum des Chokers gereinigt wird und der Verriegelungsbolzen mit z. B. WD40 geschmiert werden muss. Geschieht das nicht, kann es zu einem nicht vollständigen Ausfahren des Bolzens führen und der Choker schließt nicht ordnungsgemäß. Außerdem ist darauf zu achten, dass die Kappe richtig verschraubt ist, um den Ludwig Choker nicht zu verlieren. Der für die Wartung verwendete Zeitbedarf ist aber vernachlässigbar und reduziert den Produktivitätsvorteil nicht.

Positiv anzumerken ist, dass es während der Aufnahmen keine Probleme mit dem Ludwig Choker gab. Zwischenfälle kamen durch Bedienungsfehler zustande, wie z. B. eine nicht korrekt verschraubte Kappe. Die Batterien mussten während der ganzen Aufnahme nur einmal gewechselt werden, da es verabsäumt wurde, die Choker vor dem Wochenende abzuschalten. Auch eine eventuell vorkommende Störung des Seilgerätefunks, durch das Funksignal des Chokers bzw. umgekehrt, konnte bei den Versuchen nicht beobachtet werden.

## 5 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Aufgrund der zuvor präsentierten Ergebnisse, kann der Ludwig Choker empfohlen werden. Bei Rückedistanzen bis zu 120 m bringt der Einsatz des Funkchokers erhebliche Produktivitätsvorteile gegenüber dem Standardchoker. Bei längeren Rückedistanzen ist mit ähnlichen Vorteilen zu rechnen, allerdings konnte das für den vorliegenden Fall wegen menschlicher Vorbehalte des Anhängers gegenüber den Funkchokern nicht nachgewiesen werden.

Die Zunahme der Arbeitsbeanspruchung für den Anhänger konnte nur bei kurzen Rückedistanzen nachgewiesen werden. Ganz generell ist die Arbeitsbeanspruchung des Anhängers auf hohem Niveau und die Dauerleistungsgrenze wird überschritten. Hervorgerufen wird diese Überschreitung großteils durch das Gehen im schwierigen Gelände. Dies in Kombination mit dem Faktor Fitness kann zum limitierenden Faktor werden. Abhilfe könnte hier die Job Rotation bringen, wie sie bereits bei den Österreichischen Bundesforsten und im Forstbetrieb Mayr-Melnhof angewendet wird. Voraussetzung dafür ist das Maschinist und Anhänger die gleiche Ausbildung haben, was logischerweise zu höheren Personalkosten führen kann (Ausnahme Forstbetrieb Mayr-Melnhof). STAMPFER ET AL. (1996) haben allerdings gezeigt, dass Job Rotation zu einer ausgeglicheneren Gesamtbeanspruchung und Unterschreitung der Dauerleistungsgrenze bei allen Teammitgliedern führt.

Ein zusätzlicher Bereich ist jener der Arbeitssicherheit, welcher sich monetär nur schwierig bewerten lässt. Bei Systemen, wo der Maschinist, für das Lösen der Ladung, das Trägerfahrzeug des Prozessor verlassen muss, ist das Gefahrenpotenzial erhöht und birgt zusätzliches Risiko von Verletzungen durch Sturz und Fall, hervorgerufen durch Eis, Schnee, Astmaterial bzw. Holz und Rindenabfälle an der Forststraße. Beim Lösen der Ludwig Choker befindet sich der Maschinist im Vergleich zu anderen Choker-Systemen nicht im Gefahrenbereich der Ladung. Zusätzlich ergibt sich ein Vorteil bei schwierigen bzw. steilen Anlandungen, wo der Anlandewinkel so ungünstig ist, dass selbst die Anlanderampen das Holz nicht mehr zurück halten können. Aufgrund des vereinfachten Löseprozesses geht dies schneller vor sich und minimiert dabei die Gefahr, dass die Ladung wieder zurück in den Bestand rutschen kann. Somit sind die Ludwig Choker nicht nur eine Bereicherung in Sachen Arbeitssicherheit am Anlandeplatz, sondern bringen auch einen zusätzlichen Sicherheits-Benefit für die Arbeiter im Bestand. Gerade bei kleinen Unternehmen – wie z. B. auch die Firma Thomüller und Handlos OG – wo jeder Mann dringend benötigt wird, um das Arbeitssystem aufrecht zu halten, können die Opportunitätskosten immens steigen, wenn die Maschine aufgrund eines Arbeitsunfalls eines Mitarbeiters für einige Zeit untätig steht. Das kann zu Liquiditätsengpässen bis hin zur Insolvenz führen.

Da der Faktor Mensch eine sehr große Rolle bei Untersuchungen spielt, wäre es interessant, Folgeuntersuchungen mit Unternehmen durchzuführen, die den Ludwig Choker schon über einen längeren Zeitraum (größer 1 Jahr) in Verwendung haben. Hier wird sich vermutlich ein Trainingseffekt ergeben, der wahrscheinlich auch Auswirkungen auf die Produktivität haben wird. Weiters wäre die Kombination Funkchoker und Kunststoffseile interessant. Die Fa. Giritzer hat beim Ludwig Choker KS/KT die Öffnung für die Seildurchführung vergrößert, sodass einerseits Ketten durchgeführt werden können, und andererseits ist die Öffnung auch groß genug, um Kunststoffseile mit der dafür benötigten Zugkraft zu verwenden.

## 6 ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den Einsatz von Funkchokern bei der Seilrückung in Bezug auf die Kriterien Effizienz, Rentabilität, Arbeitsbeanspruchung und Arbeitssicherheit zu evaluieren. Das Funkchokerset Ludwig kostet 9.200 Euro, der Einzelchoker hat ein Gewicht von 1,6 kg und sämtliche Choker können über Funk gelöst werden.

Zur Beantwortung der Fragestellungen wurden zwei empirische Studien auf Basis eines faktoriellen Versuchslayouts durchgeführt. Sowohl Produktivität als auch Arbeitsbeanspruchung bei der Windwurfauflistung im Baumverfahren mit den Seilgeräten Wander- und Syncrofalke sind ermittelt worden.

Bei der ersten Untersuchung in der Steiermark (Stichprobenumfang: 936 Zyklen) erwies sich der Zeitbedarfsvorteil der Funkchoker als signifikant. Bei einem durchschnittlichen Baumvolumen von 0,6 m<sup>3</sup> ohne Rinde konnte durch den Einsatz des Funkchokers die Produktivität um 0,62 m<sup>3</sup> ohne Rinde/PSH<sub>15</sub> oder rund 9 % gesteigert werden. Aufgrund der kurzen mittleren Rückedistanz (65,5 m) konnte kein signifikanter Einfluss der Rückedistanz auf den Zeitbedarf nachgewiesen werden. Die Anschaffungskosten der Choker amortisieren sich auf Basis dieses Versuches nach 464 produktiven Systemstunden (PSH<sub>15</sub>).

Beim zweiten Versuch in Salzburg (Stichprobenumfang: 270 Zyklen) lag die durchschnittliche Rückedistanz bei 150,2 m. Wie im ersten Versuch gab es Zeitvorteile von rund 0,2 Minuten beim Lösen des Funkchokers gegenüber dem Standardchoker. Bezogen auf den gesamten Ruckezyklus gab es keinen signifikanten Einfluss des Chokertyps auf den Zeitbedarf. Die negative Voreingenommenheit des Anhängers gegenüber der neuen Technologie ist der Grund für dieses Ergebnis.

Das höhere Gewicht der Funk- gegenüber den Standardchokern führte im ersten Versuch zu einer signifikant höheren Arbeitsbeanspruchung. Während mit den Standardchokern an der Dauerleistungsgrenze (40% Herzfrequenzreserve) gearbeitet wurde, erhöht sich dieser Wert um 5% bei Verwendung der Funkchoker. Beim zweiten Versuch überschritt der Anhänger mit beiden Chokervarianten die Dauerleistungsgrenze und ein signifikanter Unterschied konnte nicht mehr nachgewiesen werden. Mangelnde Pausengestaltung, Gehen im schwierigen Gelände und mangelnde Fitness waren die Hauptursachen für diese Überschreitung.

Aus Gründen der Effizienz und Arbeitssicherheit kann der Einsatz der Funkchoker in jedem Fall empfohlen werden. Beim Anhänger im Bestand sind durch das höhere Eigengewicht der Funkchoker ergonomische Belastungen gegeben, denen durch klassische arbeitsgestalterische Maßnahmen (Pausengestaltung, Job-Rotation usw.) zu begegnen ist.

## 7 LITERATURVERZEICHNIS

AFFENZELLER, G., STAMPFER, K. (2007): Energieholzmehrmengen bei Seilnutzungen im Baumverfahren. Fallstudien in der Prinz Reuss'schen Forstverwaltung Mautern sowie im Forstbetrieb Franz Mayr-Melnhof-Saurau, durchgeführt am Institut für Forsttechnik, Universität für Bodenkultur Wien. 34 S.

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

BUCHBERGER, J. (1984): Die Beurteilung von Arbeitsbeanspruchung aufgrund der kontinuierlich registrierten Herzschlagfrequenz. Illustrierte Zeitschrift für Arbeitsschutz, 6 S.

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2009): Daten und Zahlen 2009. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Stubenring 1, 1012 Wien, [www.lebensministerium.at](http://www.lebensministerium.at). 12 – 20.

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2009): Holzeinschlagsmeldung 2008. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Stubenring 1, 1012 Wien, [www.lebensministerium.at](http://www.lebensministerium.at). 112 S.

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT, Abteilung II 5 (Rupert Lindner, Otto Hofer, Rudolf Fehrer, Karin Brier und Maximilian Langer) (2008): Grüner Bericht 2008. Die Republik Österreich, vertreten durch den Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Stubenring 1, 1012 Wien. 48 S.

HEINIMANN, H. R. (1986): Seilkraneinsatz in den Schweizer Alpen. Eine Untersuchung über die Geländebeziehungen, die Erschließung und den Einsatz verschiedener Seilanlagen. Dissertation, ETH Zürich Nr. 7929. 169 S.

HEINIMANN, H. R., VISSER, R. J. M., STAMPFER, K. (1998): Harvester-cable yarder system evaluation on slopes – a Central European study in thinning operations. In COFE (Council on Forest Engineering). Portland, Oregon, USA, July 20 – 23, 1998: 39 – 44

HEINIMANN, H. R., STAMPFER, K., LOSCHEK, J., CAMINADA, L. (2006): Stand und Entwicklungsmöglichkeiten der Mitteleuropäischen Seilgerätetechnik. Centralblatt für das gesamte Forstwesen (Austrian Journal of Forest Sciences) 123 (3): 121-139.

HOWARD, A. F. (1989): A sequential approach to sampling design for time studies of cable yarding operations. Canadian Journal of Forest Research, 19, 8, 973 – 980.

KIRK, P.M., SULLMANN, M.J.M. 2001. Heart rate strain in cable hauler choker setters in New Zealand logging operations. *Applied Ergonomics* 32 (4): 389-398.

LIMBECK-LILIENAU (2002): Hochmechanisierte Holzernte mit schräger Seiltrasse. Diplomarbeit, Institut für Forsttechnik, Universität für Bodenkultur Wien. 67 S.

LUGMAYR, J., BAUER, R., GATTERBAUER, E., HAUER, H., KINDERMANN, G., PREIER, P., SCHNABEL, G., SCHÖNAUER, H. (2009): 700 Forstmaschinen mit Maschinenbeschreibung und Kostenkalkulation. Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW) Wien. 1 CD.

POLLANSCHÜTZ, J (1974): Formzahlfunktionen der Hauptbaumarten Österreichs. *Allgemeine Forstzeitung* 85: 341-343

REFA (1984): Anleitung für forstliche Arbeitsstudien, Datenermittlung, Arbeitsgestaltung. 2. Auflage. REFA, Darmstadt. 209 S.

STAHEL, W. A. (1995): Statistische Datenanalyse. Eine Einführung für Naturwissenschaftler. Vieweg Verlag. Braunschweig/Wiesbaden. 359 S.

STAMPFER, K., BAUMGARTNER, E., BERGER, Ch., PIECHL, St. und TRZESNIOWSKI, A. (1996): Menschengerechte forstliche Arbeitssysteme. Abschlussbericht zu einer Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung. Institut für Forsttechnik, Universität für Bodenkultur Wien. 87 S.

STAMPFER, K., LEITNER, T., VISSER, R.J.M. (2009): Efficiency and ergonomic benefits of using radio controlled chokers in cable yarding. Prknová H. (Eds.), FORMEC 2009, 42. International Symposium on Forestry Mechanization, Proceedings, Czech University of Life Sciences Prague Faculty of Forestry And Wood Sciences Department of Forest Harvesting Czech Republic. 377-384.

STOKES, B. J., ASHMORE, C., RAWLINS, C. L., SIROIS, D. L. (1989): Glossary of Terms Used in Timber Harvesting and Forest Engineering. Gen. Techn. Rep. SO-73. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 33 S.

STREHLKE, B. (1971): Anweisung zur Herleitung von Maschinenbetriebskosten in der Forstwirtschaft. Mitteilung des KWF Band XII. Eigenverlag KWF. 27 S.

Prof. VISSER: Persönliche Mitteilung per E-Mail vom 20. 10. 2009.



**Internetquellen:**

<http://dict.leo.org/ende?lp=ende&lang=de&searchLoc=0&cmpType=relaxed&sectHdr=on&spellToler=on&chinese=both&pinyin=diacritic&search=choke&relink=on>  
(20. 10. 2009)

<http://www.interforst.at> (20. 10. 2009)

<http://www.grube-shop.at/de/Fachkatalog/Hochm.-Holzernte/Seile/Windenseil/Chokerseil> (20. 10. 2009)

<http://www.fortonic.com>

<http://www.jlogging.com/chkguide.html>

<http://www.kollergmbh.com/download/zubehoerkatalog2009.pdf>

**Werksinformation**

LUDWIG GIRITZER SYSTEM GmbH & Co KG (2008): Persönliche Gespräche mit Peter Ruf.

LUDWIG GIRITZER SYSTEM GmbH & Co KG (2008): Benutzerinformation Funk-Chokersystem LUDWIG CHOKER. Ausgabe 04/2008

MAYR-MELNHOF-SAURAU, FORSTTECHNIK (2007): Handbuch Wanderfalke U-AM-Thomüller

MAYR-MELNHOF-SAURAU, FORSTTECHNIK (2004): Handbuch Syncrofalke

KESLA (2009): Harvesteraggregate. Joensuu, Finnland

SP MASKINER I LJUNGBY AB (2009): SP 551 LF III. Ljungby, Sweden

## 8 ANHANG

### 8.1 Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 1: Standardchoker .....  | 3  |
| Abbildung 2: Standardchoker mit Schlinge (Nippel Choker Nippel).....                     | 3  |
| Abbildung 3: Ludwig Choker mit Funkgehäuse .....   | 4  |
| Abbildung 4: Aufbau Ludwig Choker .....  | 5  |
| Abbildung 5: Versuchslayout .....  | 9  |
| Abbildung 6: Arbeitssystem .....   | 10 |
| Abbildung 7: Wanderfalke und Radbagger mit Harvesterkopf.....                            | 10 |
| Abbildung 8: Wanderfalke und Sherpa U 1,5 t .....  | 13 |
| Abbildung 9: Kesla 20 RH .....   | 14 |
| Abbildung 10: Kesla Xtender .....  | 15 |
| Abbildung 11: Fiat Hitachi mit seitlicher Abstützung.....                                | 15 |
| Abbildung 12: Arbeitssystem Schwab .....   | 16 |
| Abbildung 13: Syncrofalke.....   | 18 |
| Abbildung 14: Sherpa-U 3 to .....  | 18 |
| Abbildung 15: Harvesterkopf SP 551 .....   | 19 |
| Abbildung 16: Akerman EW230B .....   | 1  |
| Abbildung 17: Zeitvergleich Anhängen bzw. Lösen.....                                     | 1  |
| Abbildung 18: Produktivitätsverlauf (m <sup>3</sup> ohne Rinde/PSH <sub>15</sub> ) ..... | 28 |
| Abbildung 19: Arbeitsbeanspruchung beim Anhängen im Bestand.....                         | 30 |
| Abbildung 20: Zeitvergleich Anhängen bzw Lösen.....                                      | 1  |
| Abbildung 21: Produktivität in m <sup>3</sup> ohne Rinde pro PSH <sub>15</sub> .....     | 34 |
| Abbildung 22: Arbeitsbeanspruchung des Anhängers im Bestand.....                         | 35 |
| Abbildung 23: Versetzte Anordnung der Ludwig Choker .....                                | 36 |
| Abbildung 24: Größenvergleich der Choker und Würgeradius .....                           | 37 |

## 8.2 Tabellenverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 1: Technische Daten Ludwig Choker.....                            | 5  |
| Tabelle 2: Funktionalität des Ludwig Chokers.....                         | 6  |
| Tabelle 3: Funkchoker im Überblick.....                                   | 8  |
| Tabelle 4: Technische Daten Wanderfalke 1,5 t AM.....                     | 12 |
| Tabelle 5: Technische Daten Sherpa U 1,5 t.....                           | 12 |
| Tabelle 6: Technische Daten Kesla 20 RH.....                              | 14 |
| Tabelle 7: Technische Daten Kesla Xtender.....                            | 14 |
| Tabelle 8: Technische Daten Fiat Hitachi FH 150 W.3.....                  | 15 |
| Tabelle 9: Technische Daten Syncrofalke SY 39.....                        | 17 |
| Tabelle 10: Technische Daten Sherpa-U 3 to.....                           | 18 |
| Tabelle 11: Technische Daten SP 551 LF.....                               | 19 |
| Tabelle 12: Technische Daten Akerman EW230B.....                          | 20 |
| Tabelle 13: Trassendaten Thomüller.....                                   | 20 |
| Tabelle 14: Trassendaten Schwab.....                                      | 21 |
| Tabelle 15: Arbeitstakte für Zeitstudie.....                              | 21 |
| Tabelle 16: Variablen für das Versuchslayout.....                         | 22 |
| Tabelle 17: Arbeitstakte Anhänger.....                                    | 23 |
| Tabelle 18: Numerische Variablen und deren statistische Beschreibung..... | 25 |
| Tabelle 19: Kovarianzanalyse Thomüller.....                               | 27 |
| Tabelle 20: Regressionsanalyse.....                                       | 27 |
| Tabelle 21: Kennwerte der Arbeitsbeanspruchung in Schläge/min.....        | 29 |
| Tabelle 22: Numerische Variablen und deren statistische Beschreibung..... | 31 |
| Tabelle 23: Kovarianzanalyse Schwab.....                                  | 32 |
| Tabelle 24: Regressionsanalyse Schwab.....                                | 33 |
| Tabelle 25: Kennwerte der Arbeitsbeanspruchung in Schläge/min.....        | 34 |