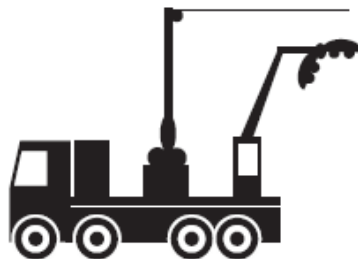


Produktivitätsmodell „Kombiseilgerät“

Teil A: Grundlagen

Renato Lemm
Fritz Frutig
Dario Pedolin
Oliver Thees (Leitung)



FE Waldressourcen und Waldmanagement
Gruppe „Forstliche Produktionssysteme“
Eidg. Forschungsanstalt WSL
18. Febr. 2019

Das Produktivitätsmodell „Kombiseilgerät“ ist Teil einer Sammlung von Produktivitätsmodellen der Holzernte, welche von der Eidg. Forschungsanstalt WSL entwickelt und unter dem Namen „HeProMo“ auf dem Internet zur Verfügung gestellt werden (<http://www.waldwissen.net>). Das Modell „Kombiseilgerät“ wurde im Jahr 2017 erstellt. Teil A des Dokumentes beschreibt das abgebildete Ernteverfahren und Teil B die statistische Herleitung des Modells.

Bearbeiter	Datum	Kommentar
D. Pedolin	21.10.2015	Erste Auswertung
R. Lemm / F. Frutig	03.02.2017	Überarbeitung
D. Pedolin	16.03.2017	Neue Auswertung Daten
R. Lemm / F. Frutig	07.07.2017	Überarbeitung
R. Lemm	19.04.2018	Änderungen
F. Frutig	18.02.2019	Schlussredaktion

Inhaltsübersicht

1	Datengrundlagen	4
2	Produktionssystem – Beschreibung	4
2.1	Produktionsfaktoren	4
2.2	Produktionsprozess	4
2.3	Input- und Outputzustand.....	5
2.3.1	Input-Zustand	5
2.3.2	Output-Zustand	5
2.4	Arbeitsbedingungen	5
2.4.1	Technik und Personal	5
2.4.2	Gelände und Erschliessung	5
2.4.3	Waldbestände und waldbauliche Massnahmen.....	5
2.5	Berechneter Output	6
3	Produktionssystem - mathematische Darstellung	6
3.1	Systemübersicht "Kombiseilgerät Montage und Demontage, Fällen und Rücken ".....	6
3.2	Zeitaufwand des Personals pro Aufstellung für Montage und Demontage	7
3.3	Maschinenzeit pro Aufstellung für Montage und Demontage	8
3.4	Produktivität des Personals beim Fällen und Rücken	8
3.5	Produktivität der Maschine beim Fällen und Rücken	9
3.6	Zusätzliche Aufwände	9
3.7	Zeitsystem und Umrechnungen im Produktivitätsmodell "Kombiseilgerät"	10
3.7.1	Zeitsystem	10
3.7.2	Berechnung der System- und Faktorzeiten.....	10
4	Berechnung von Zeitbedarf und Kosten	11
4.1	Zeitbedarf der Produktionsfaktoren	11
4.2	Kosten der Produktionsfaktoren pro m ³ o.R.....	12
5	Gesamtbetrachtung Stammholz- und Energieholzanfall.....	13
5.1	Berechnung Energieholzanfall.....	13
	Beispiele für Energieholzanteile (berechnet mit Produktivitätsmodelle Energieholz) ..	14
5.2	Berechnungsansatz der Kosten pro m3 für Stammholz und für Energieholz	16
6	Abkürzungen und Definitionen.....	16
7	Beispiele für den Einsatz eines Kombiseilgerätes	17
8	Literatur.....	20
9	Beurteilung der Qualität des Modells Kombiseilgerät	21

Wichtig für die Anwendung des Modells

In diesem Grundlagenbericht wird der Masseinheit m^3 für die Holzvolumina (z.B. Holzmenge, Volumenmittelstamm) der Zusatz o.R. (ohne Rinde) angefügt. Die Produktivitäten wurden jeweils auf das vermessene Holz bezogen, d.h. Holz ohne Rinde. Deshalb wird die aufzuarbeitende Holzmenge auf das Volumen „ohne Rinde“ umgerechnet.

Für die Umrechnung von Holzmenge und Volumenmittelstamm gilt:

$$\text{Holzmenge}_{\text{ohne Rinde}} = K_{\text{BA}} * \text{Holzmenge}_{\text{in Rinde}}$$

Umrechnungsfaktoren K_{BA} vom Zustand „in Rinde“ in den Zustand „ohne Rinde“:

Fichte/Tanne:	0.88
Föhre:	0.87
Lärche:	0.87
Buche:	0.92
Esche:	0.86
Ahorn:	0.90
Eiche:	0.85

Im Modell wird als Defaultwert ein Einheitsfaktor von 0.89 verwendet (gemäss Volumenanteilen der Baumarten aus dem LFI).

Quelle:

http://bfw.ac.at/ort1/Vortraege_als_pdf/Vortraege_Neueinsteiger/Holzmessen_Neueinsteiger.pdf
3.Juli 2015

1 Datengrundlagen

Die dem vorliegenden Modell zugrunde liegenden Daten stammen aus einem grossen Forstbetrieb im Gebiet der Schweizer Voralpen/Alpen. Das Gebiet kann in zwei Regionen mit unterschiedlichen geologischen Verhältnissen eingeteilt werden. Die Daten wurden in den Jahren 2005 bis 2015 erhoben. Das für die Analyse benutzte kombinierte Datenset umfasst 104 Holzschläge, welche mit zwei verschiedenen Kombiseilgeräten ausgeführt wurden. Die insgesamt gerückte Holzmenge betrug 66'762 m³ ohne Rinde. In den originalen Datensätzen sind jeweils die gesamte Länge aller Linien sowie die Summe aller Stützen eines Einsatzortes (Holzschlages) erfasst. Für die Modellierung wurde für die Datensätze mit mehreren Seillinien im gleichen Holzschlag die durchschnittliche Anzahl Stützen pro Aufstellung und die durchschnittliche Linienlänge pro Aufstellung berechnet.

Die in den Originaldaten erfasste Anzahl Erschwernisse wurde in drei Erschwernis-Kategorien zusammengefasst: Keine Erschwernisse = Anzahl 0; Erschwernisse vorhanden = 1. Von den 104 ausgewerteten Datensätzen umfassten 33 keine Erschwernisse, 55 ein Erschwernis und 16 zwei Erschwernisse. 61 Seillinien wurden in Bergaufrückung und 43 in Bergabrückung ausgeführt. Zum Einsatz kamen ein Kombiseilgerät mit 3 Tonnen Nutzlast (53 Seillinien) und ein solches mit 4 Tonnen Nutzlast (51 Seillinien).

2 Produktionssystem – Beschreibung

Die zu entnehmenden Bäume werden im Bestand mit der Motorsäge gefällt, mit dem Kombiseilgerät als Vollbäume oder Vollbaumteile an die Waldstrasse gerückt und dort mit dem aufgebauten Prozessor entastet, eingeschnitten und abgelegt.

Mit den Daten aus dem bereinigten Datensatz wurden für die Prozesskette "Kombiseilgerät" Modelle für vier verschiedene Teilprozesse erstellt:

- Zeitaufwand für Montage und Demontage der Seilkrananlage
- Produktivität des Personals beim Fällen der Bäume und dem Rücken/Aufarbeiten der Vollbäume mit dem Kombiseilgerät
- Maschinenzeiten bei Montage/Demontage
- Maschinenzeiten beim Rücken.

2.1 Produktionsfaktoren

- Maschine: Zwei Kombiseilgeräte mit einer Nutzlast von 3 bzw. 4 Tonnen, aufgebaut auf einem 3- und einem 4-Achs-Lastwagen.
- Bedienungsequipe: 3-4 Personen, im Ablauf der Arbeitsschritte geübt.

2.2 Produktionsprozess

- Die Prozesskette umfasst den Auf- und Abbau des Kombiseilgerätes, das Fällen der zu entnehmenden Bäume mit der Motorsäge sowie das Rücken, Entasten, Einschneiden und Ablegen der Sortenstücke mit dem Kombiseilgerät.

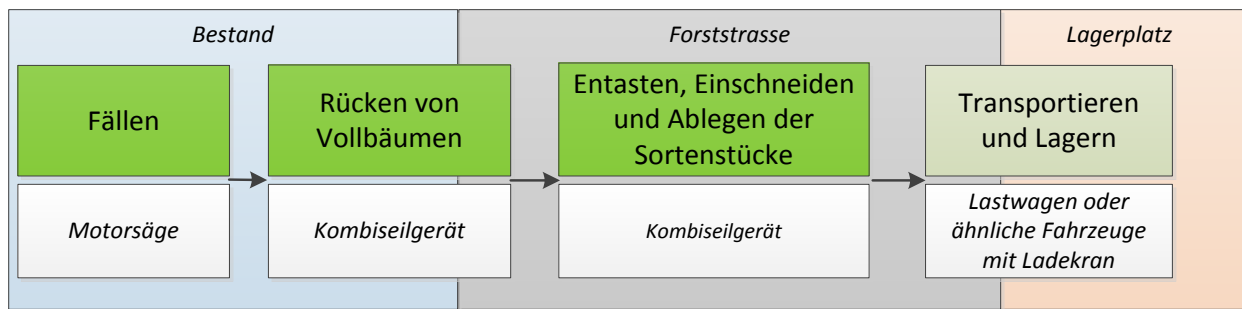


Abbildung 1: Teilprozesse des Produktionsprozesses "Fällen und Aufarbeiten mit Kombiseilgerät".

Hinweis:

Nicht in den Originaldatensätzen enthalten sind drei Aufwandpositionen, welche in der Regel dem Holzschlag mit Kombiseilgerät zuzurechnen sind:

- Planungsarbeiten für die Seillinie (abstecken und allenfalls ein Seillinienprojekt erstellen). Auf der grafischen Benutzeroberfläche wird ein Eingabefeld vorgesehen, bei dem Zeitaufwand oder auch direkt Kosten als Pauschalwert eingegeben werden können.
- die in der Regel laufend stattfindende Holzabfuhr vom Ablegeplatz beim Kombiseilgerät auf ein weiter entferntes Polter oder direkt zum Abnehmer. Gleichzeitig erfolgt hier meistens eine Sortierung des aufgearbeiteten Holzes. Auf der grafischen Benutzeroberfläche wird ein Eingabefeld vorgesehen, bei dem der Aufwand direkt als Erfahrungswert (Kosten) eingegeben werden kann. Gemäss Betriebsabrechnungen belaufen sich die Kosten für diesen Vortransport durchschnittlich auf rund 5 CHF/m³ o.R.
- Motorsägenlaufzeit
Für die Kostenberechnung wird in Kapitel 3.6 die Motorsägenlaufzeit berücksichtigt.

2.3 Input- und Outputzustand

2.3.1 Input-Zustand

- Die zu entnehmenden Bäume stehen noch im Bestand, in der Regel sind sie angezeichnet.

2.3.2 Output-Zustand

- Die Rundholzabschnitte sowie die Industrie- und Energieholzabschnitte liegen auf Rohpoltern beim Kombiseilgerät, bereit zum Abtransport zum Verbraucher oder zum Vortransport auf ein Polter.

2.4 Arbeitsbedingungen

2.4.1 Technik und Personal

- Kombiseilgerät, 1-2 Motorsägen
- Der Maschinist muss auf der eingesetzten Maschine und bezüglich der übrigen Bedingungen geübt sein.

2.4.2 Gelände und Erschliessung

- Lastwagenbefahrbare Strasse von der aus die Bestandesfläche mit dem Tragseil des Kombiseilgerätes erreicht werden kann (Bergauf- oder Bergabbrücken). Das Gelände muss begehbar sein (Fällen motormanuell und Montage/Demontage des Kombiseilgerätes), maximale Hangneigung ca. 100%.

2.4.3 Waldbestände und waldbauliche Massnahmen

- Waldbestände: Nadelholz-, Laubholz- oder Mischbestände; Stangen- und Baumhölzer. Laubholzbestände mit grobstämmigen Bäumen eignen sich bedingt für die Aufarbeitung mit Prozessor.
- Durchforstungen, Abräumungen und Flächenräumungen.

2.5 Berechneter Output

- Technische Arbeitsproduktivität des Kombiseilgerätes (aufgearbeitete Holzmenge in m^3 o.R. pro Maschinenstunde PMH_{15}).
- Produktivität des Personals (aufgearbeitete Holzmenge in m^3 o.R. pro Stunde (PPH_{15}) der Equipe. Da Fällen und Rücken nicht getrennt erfolgen, wird die Produktivität bezogen auf die Equipe und nicht auf das Kombiseilgerät ausgewiesen. Aus der Anzal Personen in einer Equipe (3, 3.5 oder 4) wird die Gesamtarbeitszeit berechnet, was wiederum Grundlage für die Kostenberechnung bildet.

3 Produktionssystem - mathematische Darstellung



3.1 Systemübersicht "Kombiseilgerät Montage und Demontage, Fällen und Rücken "

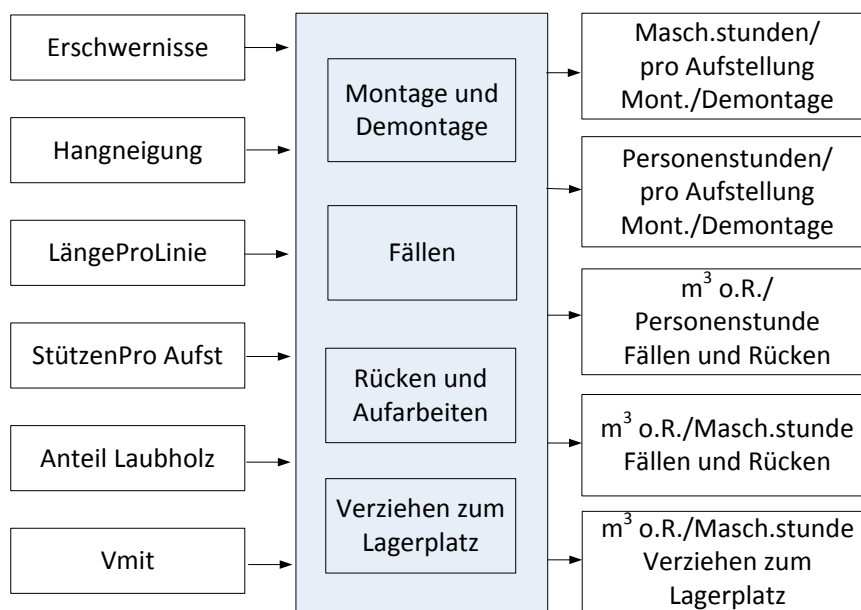


Abbildung 2: Übersicht zum Produktionssystem "Kombiseilgerät".

3.2 Zeitaufwand des Personals pro Aufstellung für Montage und Demontage

Der Zeitaufwand in den Grundlagendaten umfasst die Zeit, welche die Equipe (meist 3-4 Arbeitskräfte) aufgewendet hat, um das Kombiseilgerät zu montieren und zu demontieren. Nicht enthalten sind die indirekten Zeiten, Wegzeiten und Pausen sowie Zeitbedarfe infolge von Störungen. Im Modell wurden diese reinen Arbeitszeiten um die entsprechenden Faktoren erhöht.

$Zeitaufwand_{Personal_M/D} [PPH_{15}]$

$$= a + b_{Länge.pro.Linie} * Länge.pro.Linie + c_{Hangneigung} * Hangneigung + d_{Stützen.pro.Aufstellung} * Stützen.pro.Aufstellung + e_{Erschwernisse} * Erschwernisse$$

Formel 1

Umrechnung auf $m^3 o. R. / PSH_{15}$ (soweit sinnvoll)

$$Produktivität_{Personal_M/D} \left[m^3 o. R. / PSH_{15} \right] = \frac{Holzmenge \text{ in } m^3 o. R.}{Zeitaufwand_{Personal_M/D}}$$

Formel 2

Legende:

$Zeitaufwand_{Personal_M/D} [PPH_{15}]$: Zeitaufwand des Personals insgesamt für die Montage/Demontage des Kombiseilgerätes in Stunden ohne indirekte Zeiten und Störungen sowie Wegzeiten und Pausen

a, b, c, d, e : Koeffizienten gemäss Tabelle 1

$Produktivität_{Personal_M/D} [m^3 o. R. / PPH_{15}]$: Produktivität der Equipe für Montage und Demontage

$Holzmenge \text{ in } m^3 o. R. = Holzmenge \text{ ohne Rinde pro Linie}$

$Länge.pro.Linie$: Länge einer Seillinie in Metern

$Hangneigung$: Hangneigung in Prozent wird als absolute Grösse eingegeben z.B. 50% = 50

$Stützen.pro.Aufstellung$: Anzahl Stützen pro Aufstellung

$Erschwernisse$: 0 = keine; 1 = vorhanden

Hinweis zu "Erschwernisse":

In den Originaldaten wurde die Anzahl Erschwernisse pro Aufstellung erfasst: 1, 2, 3, 4 und mehr. Die statistische Auswertung zeigte jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen der Anzahl Erschwernisse, weshalb wir uns auf die beiden Kategorien "Keine Erschwernisse" und "Erschwernisse vorhanden" beschränkten. Erschwernisse können durch Gelände, Vegetation oder Witterung bedingt sein, wie z.B. Regen, Schneeüberdeckung, Blocküberlagerung, raue Geländeoberfläche, dichter Unterwuchs, ...

Tabelle 1: Koeffizienten für die Berechnung des gesamten Personaleinsatzes ohne Indirekte Arbeitszeit sowie Wegzeiten und Pausen bei der Montage/Demontage.

Koeffizienten	Wert	Einheiten
a	-15.8938	$[PPH_{15}]$
$b_{Länge.pro.Linie}$	0.0573	$[PPH_{15}/m]$
$c_{Hangneigung}$	0.2645	$[PPH_{15}/\%]$
$d_{Stützen.pro.Aufstellung}$	9.2746	$[PPH_{15}]$
$e_{Erschwernisse}$	10.9707	$[PPH_{15}]$

3.3 Maschinenzeit pro Aufstellung für Montage und Demontage

Der Zeitaufwand umfasst die Maschinenarbeitsstunden, welche bei der Montage und Demontage des Kombiseilgerätes anfallen.

$$\begin{aligned} \text{Zeitaufwand}_{\text{Maschine_M/D}} [\text{MAS}] \\ = a + b_{\text{Länge.pro.Linie}} \\ * \text{Länge.pro.Linie} + d_{\text{Stützen.pro.Aufstellung}} * \text{Stützen.pro.Aufstellung} \end{aligned}$$

Formel 3

Umrechnung auf $\text{m}^3 \text{ o. R.} / \text{MAS}$ (soweit sinnvoll)

$$\text{Produktivität}_{\text{Maschine_M/D}} \left[\frac{\text{m}^3 \text{ o. R.}}{\text{MAS}_5} \right] = \frac{\text{Holzmenge in m}^3 \text{ o. R.}}{\text{Zeitaufwand}_{\text{Maschine_M/D}}}$$

Formel 4

Legende

$\text{Zeitaufwand}_{\text{Maschine_M/D}} [\text{MAS}]$: Maschineneinsatz_Zeit für die Montage und Demontage des Kombiseilgerätes in Maschinen_Arbeitsstunden (MAS) ohne indirekte Zeiten und Störungen

a, b, d : Koeffizienten gemäss Tabelle 2

$\text{Produktivität}_{\text{Maschine_M/D}} [\text{m}^3 \text{ o. R.} / \text{MAS}]$: Produktivität der Maschine für Montage u. Demontage

Holzmenge in $\text{m}^3 \text{ o. R.} = \text{Holzmenge ohne Rinde pro Linie}$

Länge.pro.Linie: Länge einer Linie in Meter

Stützen.pro.Aufstellung: Anzahl Stützen pro Aufstellung

Tabelle 2: Koeffizienten für die Berechnung der Maschinenarbeitszeit bei der Montage/Demontage.

Koeffizienten	Wert	Einheiten
a	1.5166	[MAS]
$b_{\text{Länge.pro.Linie}}$	0.0070	[MAS/m]
$d_{\text{Stützen.pro.Aufstellung}}$	1.2922	[MAS]

3.4 Produktivität des Personals beim Fällen und Rücken

Die Produktivitäten beim Fällen und Rücken geben an, wieviel $\text{m}^3 \text{ o. R.}$ die gesamte Equipe in einer Stunde leistet. In der Regel sind in einer Equipe etwa 3-4 Personen im Einsatz. Nicht enthalten sind die indirekten Zeiten sowie Wegzeiten und Pausen. Diese werden im Modell erst bei den Kosten erfasst.

$$\begin{aligned} \text{Produktivität}_{\text{Personal_F/R}} \left[\frac{\text{m}^3 \text{ o. R.}}{\text{PSH}_{15}} \right] \\ = (a + c_{\text{Hangneigung}} * \text{Hangneigung} + e_{\text{Erschwernisse}} * \text{Erschwernisse} \\ + f_{\text{Laubholz_Anteil}} * \text{Laubholz_Anteil}) \end{aligned}$$

Formel 5 (Equipe)

Legende

$\text{Produktivität}_{\text{Personal_F/R}} \left[\frac{\text{m}^3 \text{ o. R.}}{\text{PSH}_{15}} \right]$: Produktivität der gesamten Equipe beim Fällen und Rücken

des Kombiseilgerätes, ohne indirekte Zeiten sowie Wegzeiten und Pausen (Anzahl durch die Equipe aufgearbeitete m^3 pro Stunde PSH_{15}).

a, c, e, f : Koeffizienten gemäss Tabelle 3

Hangneigung: Hangneigung in Prozent wird als absolute Grösse eingegeben z.B. 50% = 50

Erschwernisse: 0 = keine; 1 = vorhanden; LaubholzAnteil: Anteil Laubholz in Prozent z.B. 50% = 50

Tabelle 3: Koeffizienten für die Berechnung der Produktivität **der Equipe** pro Personalstunde, jeweils ohne indirekte Arbeitszeiten und Störungen sowie Wegzeiten und Pausen beim Fällen und Rücken.

Koeffizienten	Wert	Einheiten
a	4.0613	[m ³ o. R./PPH ₁₅]
$c_{\text{Hangneigung}}$	-0.0150	[m ³ o. R./PPH ₁₅]
$e_{\text{Erschwernisse}}$	-0.4276	[m ³ o. R./PPH ₁₅]
$f_{\text{Laubholz_Anteil}}$	-0.0097	[m ³ o. R./PPH ₁₅]

3.5 Produktivität der Maschine beim Fällen und Rücken

Die Produktivität gibt an, wieviel m³ ohne Rinde pro Maschinenarbeitsstunde gefällt und gerückt werden. Nicht enthalten sind die Zeitbedarfe von Störungen. Diese werden erst bei den Kosten berücksichtigt.

Die Maschinenlaufzeit beim Fällen und Rücken wird nicht anhand einer aus den Grundlagendaten hergeleiteten Formel bestimmt, sondern wird gestützt auf die Grundlagendaten aus der Dauer der Arbeit der Equipe hergeleitet. Diese Dauer der Arbeit bezieht sich auf die Dauer der Arbeit ohne zugehörige Wegzeit, Pausen und indirekte Zeiten. Der Faktor der Maschinenlaufzeit im Verhältnis zur Dauer der Arbeit der Equipe konnte anhand der Grundlagendaten mit 0.8 ermittelt werden. D.h. die Maschine läuft durchschnittlich während 80% der Zeit, in der die Equipe mit Fällen und Rücken beschäftigt ist (reine Arbeitszeit, ohne Wegzeiten, Pausen etc.).

$$\text{Produktivität}_{\text{Maschine F/R}} \left[\frac{\text{m}^3 \text{ o. R.}}{\text{MAS}} \right] = (1/0.8) \times \text{Produktivität}_{\text{Personal F/R}} \left[\frac{\text{m}^3 \text{ o. R.}}{\text{PSH}_{15}} \right]$$

Formel 6

Legende

$\text{Produktivität}_{\text{Maschine F/R}} [\text{m}^3 \text{ o. R.}/\text{MAS}]$: Produktivität der Maschine beim Fällen und Rücken

$\text{Produktivität}_{\text{Personal F/R}} \left[\frac{\text{m}^3 \text{ o. R.}}{\text{PSH}_{15}} \right]$: Produktivität der Equipe beim Fällen und Rücken

des Kombiseilgerätes, ohne indirekte Zeiten sowie Wegzeiten und Pausen.

Die Berechnung erfolgt nach Formel 5.

3.6 Zusätzliche Aufwände

Zusätzlich muss noch die **Motorsägenlaufzeit** für Fällen, abzopfen von Kronen, Trennschnitte etc. ermittelt werden. In den Datensätzen finden sich keine Angaben dazu, weshalb wir die Annahme treffen, dass die **Motorsägenlaufzeit 50% des Aufwandes einer Person** für "Fällen und Rücken" beträgt (Zeitaufwand ohne Indirekte Zeiten sowie Weg- und Pausenzeiten).

$$\text{Produktivität}_{\text{Motorsäge}} \left[\frac{\text{m}^3 \text{ o. R.}}{\text{MAS}} \right] = 1/0.5 \times \text{Produktivität}_{\text{Personal F/R}}$$

Formel 7

Einsatz eines Fahrzeuges mit Kran, um das Holz vom Kombiseilgerät zum Lagerplatz zu bringen. Defaultmässig wird dieser Wert auf 50% der Laufzeit des Kombiseilgerätes gesetzt.

$$\text{Produktivität}_{\text{Verzugsfahrzeug}} \left[\frac{\text{m}^3 \text{ o. R.}}{\text{MAS}} \right] = \text{Produktivität}_{\text{Maschine F/R}} \times 1/\text{Anteil}_{\text{Verzugsfahrzeug}}$$

Legende:

$\text{Anteil}_{\text{Verzugsfahrzeug}}$: Anteil an der Maschinenlaufzeit (Kombiseilgerät) während der das Verzugsfahrzeug eingesetzt wird. Defaultwert 0.5

3.7 Zeitsystem und Umrechnungen im Produktivitätsmodell “Kombiseilgerät”

3.7.1 Zeitsystem

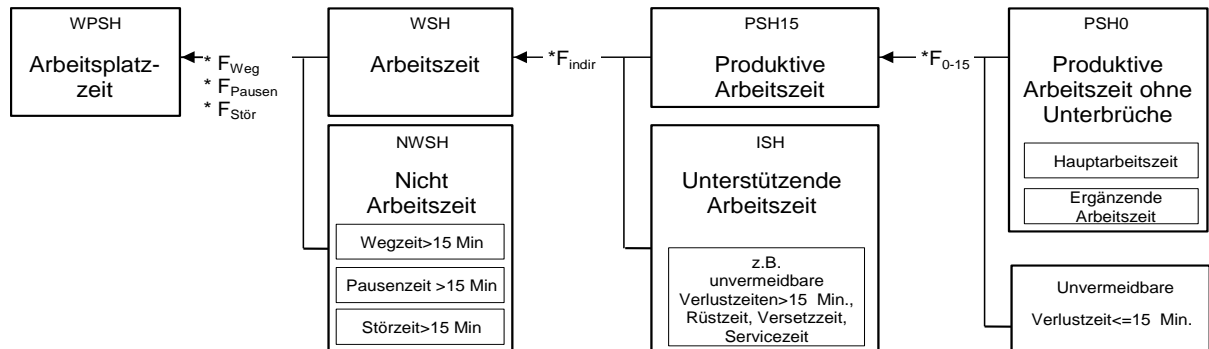


Abbildung 3: Verwendetes Zeitsystem (Björheden und Thompson 1995, Heinemann 1997; verändert).

Die in Abbildung 3 aufgeführten Zeiten können grundsätzlich für das Produktionssystem als Ganzes sowie für die beteiligten Produktionsfaktoren (Maschinen, Personal) ermittelt werden. Je nachdem spricht man zum Beispiel von der System-, von der Maschinen- oder von der Personalarbeitszeit. In Anlehnung an die Originalgrundlagen wurden die Abkürzungen von den englischen Begriffen abgeleitet (Tabelle 4).

Tabelle 4: Übersicht über die verwendeten Zeitbegriffe.

Betrachtetes Objekt	Arbeitsplatzzeit				
		Nicht Arbeitszeit (non work time)	Arbeitszeit (Work time)		
	workplace...	non work...	work...	indirect...	productive...
System (...system hour)	WPSH	NWSH	WSH	ISH	PSH
Maschine (...machine hour)	WPMH	NWMH	WMH	IMH	PMH
Personal (...personal hour)	WPPH	NWPH	WPH	IPH	PPH

$PMH_{15} = MAS$

3.7.2 Berechnung der System- und Faktorzeiten

Personal Montage/Demontage:

Gesamter Zeitaufwand des Personals mit Unterbrüchen bis 15 Min (PPH_{15}), jedoch ohne Indirekte Arbeitszeiten, Störungen sowie Wegzeiten und Pausen.

$$WPH = PPH_{15} \times F_{indir}$$

$$WPPH = PPH_{15} \times F_{indir} \times F_{Weg} \times F_{Pausen} \times F_{Stör}$$

Personal Fälen und Rücken:

Gesamte Arbeitszeit des Personals mit Unterbrüchen bis 15 Minuten (PPH_{15}), jedoch ohne Indirekte Arbeitszeiten, Störungen sowie Wegzeiten und Pausen.

$$WPH = PPH_{15} \times F_{indir}$$

$$WPPH = PPH_{15} \times F_{indir} \times F_{Weg} \times F_{Pausen} \times F_{Stör}$$

Maschine Fälen und Rücken sowie Montage/Demontage:

Maschinenarbeitszeit des Kombiseilkranes mit Unterbrüchen bis 15 Min (PMH_{15} oder MAS), jedoch ohne indirekte Zeiten und Störungen

$$WMH = MAS = PMH_{15}$$

Der Zeitbedarf für Motorsägen in der Arbeitsphase „Fällen und Rücken“ beträgt etwa 50% des Aufwandes einer Person für "Fällen und Rücken" (Zeitaufwand ohne Indirekte Zeiten sowie Weg- und Pausenzeiten).

Der Zeitbedarf für das Verzugsfahrzeug inkl. Fahrer beträgt etwa 50% des Aufwandes einer Person für "Fällen und Rücken" (Zeitaufwand ohne Indirekte Zeiten sowie Weg- und Pausenzeiten).

F_{indir} = frei wählbar; im Modell 1.1 gesetzt

$$F_{Weg} = 1 + \frac{\text{bezahlte Wegzeit pro Tag}}{\text{bez. WPH (Arbeitszeit) pro Tag}}$$

$$F_{Pausen} = 1 + \frac{\text{bez. Pausenzeiten pro Tag}}{\text{bez. WPH (Arbeitszeit) pro Tag}}$$

$$F_{Stör} = 1 + \frac{\text{Störzeiten} > 15 \text{ Min}}{WSH} \quad \text{im Modell 1.0 gesetzt, kann individuell berücksichtigt werden}$$

4 Berechnung von Zeitbedarf und Kosten

4.1 Zeitbedarf der Produktionsfaktoren

Tabelle 5: Formeln zur Berechnung des **Zeitbedarfs von Personal und Maschine bei der Montage und Demontage** des Kombiseilkranes für eine Aufstellung. PSH_{15} bezieht sich auf den Zeitaufwand für die Equipe.

Input		Formel	Output	
<i>Zeitaufw._{Pers._M}</i> <i>Formel 1</i>		Personal: Arbeitsplatzzeit=Dauer der Arbeit Montage/Demontage $WPPH = \text{Zeitaufw.}_{\text{Pers._M/D}} \times F_{indir} \times F_{Weg} \times F_{Pausen} \times F_{Stör}$ Umfasst die Summe der Arbeitszeiten der einzelnen Arbeiter	WPPH	Arbeitsstunden
		Fällen und Rücken pro m³ o.R. $WPSH = \frac{F_{indir} \times F_{Weg} \times F_{Pausen} \times F_{Stör}}{\text{Produktivität}_{\text{Pers._F/R in m3 o. R.}} / PSH_{15}}$ Umfasst die Summe der Arbeitszeiten der einzelnen Arbeiter inkl. Störzeiten, indirekte Zeiten sowie Wegzeiten und Pausen		
<i>Zeitaufw._{Masch._M}</i> <i>Formel 3</i>	[MAS]	Maschinen: Produktive Arbeitszeit Kombiseilgerät: Montage/Demontage $\text{Zeitaufw}_{\text{Maschine}_M/D} [MAS] = \text{Formel 3}$		[Maschinen-arbeitsstunden]

$Zeitaufw_{Masch_F/R}$ Formel 6	[MAS]	Fällen und Rücken pro m³ o.R. $Zeitaufw_{Maschine_F/R}$ $= 0.7$ $\times Zeitaufw_{Pers_F/R} \left[\frac{m^3 o.R.}{PSH_{15}} \right]$	MAS	
$Zeitaufw_{Motorsäge}$ Formel 7		Motorsäge: $Zeitaufw_{Motorsäge} = 0.5 / Produktivität_{Pers_F/R}$		Motorsägen- laufzeit]
$Zeitaufw_{Verzugsf}$ Formel 8	[MAS]	Verzugsfahrzeug: Transport vom Absenkplatz beim Kombiseil- gerät zum Lagerplatz [Zeit pro m³ o.R.] $Zeitaufw_{Verzugsf}$ $= Anteil_{Verzugsfahrzeug}$ $\times Zeitaufw_{Maschine_F/R}$	MAS	Verzugsfahrzeug Arbeitssunden]
		Faktoren		
F_{indir}	[-]	$F_{indir} = \text{frei wählbar; im Modell 1.1}$		
$F_{Stör}$	[-]	$F_{Stör} = \text{frei wählbar; im Modell 1.00}$		
F_{Weg} F_{Pausen}	[-] [-]	$F_{Weg} \times F_{Pausen} = \text{frei wählbar;}$ im Modell $\frac{540 \text{ Min}}{(540-60) \text{ Min}} = 1.125 \text{ Default}$		
$F_{Stör}$	[-]	$F_{Stör} = \text{frei wählbar; im Modell 1.00}$		

4.2 Kosten der Produktionsfaktoren pro m³ o.R.

Kosten der Equipe Montage u. Demontage pro m³ o.R. $= Zeitaufw_{Pers_M/D} \times F_{indir} \times F_{Weg} \times F_{Pausen} \times F_{Stör}$ $\times \text{Kostenansatz einer Person / Holzmenge_ohne_Rinde}$
$Zeitaufw_{Pers_M/D}$ ist die gesamte Arbeitszeit aller Personen jedoch ohne indirekte Arbeitszeiten, Wegzeiten und Pausen sowie Störungen.
Kosten Kombiseilgerät Montage u. Demontage pro m³ o.R. $= Zeitaufwand_{Maschine_M/D}$ $\times \text{KombiseilgerätKostenansatz / Holzmenge_ohne_Rinde}$
Kosten Personal Fällen u. Rücken pro m³ o.R. $= \frac{F_{indir} \times F_{Weg} \times F_{Pausen} \times F_{Stör}}{Produktivität_{Personal_F/R} \text{ in } m^3 o.R. / PSH_{15}} \times \text{Kostenansatz einer Person}$
$Produktivität_{Personal_F/R}$ ist die Produktivität der gesamten Equipe
Kosten Kombiseilgerät Rücken pro m³ o.R. $= \frac{1}{Produktivität_{Maschine_F/R}} \times \text{Kombiseilgerätkostenansatz}$
Kosten Motorsäge Fällen u. Rücken pro m³ o.R. $= \frac{1}{Produktivität_{Personal_F/R}} \times 0.5 \times \text{Motorsägekostenansatz}$

Faktor 0.5 bedeutet, dass die Motorsäge während 50% der produktiven Arbeitszeit eines Arbeiters im Einsatz ist.

Kosten Verzugsfahrzeug pro m³ o. R.

$$= \frac{1}{(\text{Produktivität}_{\text{Maschine_F/R}})} \times \text{Anteil}_{\text{Verzugsfahrzeug}} \times \text{Verzugsfahrzeugkostenansatz}$$

Gesamtkosten Kombiseilgerät pro m³ o. R. = Summe der Teilkosten pro m³ o. R.

5 Gesamtbetrachtung Stammholz- und Energieholzanfall

5.1 Berechnung Energieholzanfall

Mit dem Kombiseilgerät wird nebst Schaftholz auch Energieholz gerückt. Das Produktivitätsmodell rechnet jedoch so, wie wenn die Kosten für Montage/Demontage, Fällen, Rücken und Aufarbeiten nur dem Stammholz angelastet würden. Das Energieholz kommt also gratis auf den Aufarbeitungsplatz. Dort muss es noch gehackt und abtransportiert werden.

Deshalb soll hergeleitet werden, wieviel Energieholz zusätzlich zum Stammholz anfällt und gerückt wird (Herleitung siehe HeProMo „Produktivitätsmodelle Energieholz“ Dokument A).

Beispiele für Energieholzanteile (berechnet mit Produktivitätsmodelle Energieholz)

Tabelle 7: Fichte Alpen (Schaftholz-Tarif LFI 204) aus der Oberschicht im Baumholz II ($d_{dom}=50$ cm) auf einem sehr guten Standort (GWL 4500) in einer Höhe über Meer von 1600 m, kein Zwiesel. Anteil des Schaftholzes minus Stock (Abzug für Stock 3%; Anteil Energieholz 10%), Anteil Astderbholz (100%) und Anteil Reisig (100%), die als Energieholz verwendet werden und Ernteverluste EV.

Bhd [cm]	LFI Fichte Alpen 1600 sehr gut d_{dom} 50 cm SchaftholzTarif	Schaftholz ohne Stock	Reisig mit Ernteverlust	AstDerbholz mit Ernteverlust	Energieholz VEH (m^3)	Energieholz VEH in % von Schaftholz
14	0.094	0.091	0.010	0.000	0.019	20%
18	0.196	0.191	0.020	0.000	0.038	19%
22	0.345	0.334	0.034	0.000	0.065	19%
26	0.539	0.523	0.050	0.000	0.098	18%
30	0.778	0.755	0.068	0.000	0.137	18%
34	1.058	1.026	0.087	0.000	0.181	17%
38	1.373	1.332	0.106	0.000	0.228	17%
42	1.720	1.669	0.125	0.000	0.278	16%
46	2.093	2.031	0.142	0.000	0.329	16%
50	2.487	2.412	0.158	0.000	0.380	15%
54	2.896	2.809	0.173	0.000	0.431	15%
58	3.317	3.217	0.185	0.000	0.481	15%
62	3.744	3.631	0.195	0.000	0.529	14%
66	4.173	4.048	0.204	0.000	0.576	14%
70	4.602	4.464	0.210	0.000	0.620	13%
74	5.028	4.877	0.214	0.000	0.662	13%
78	5.446	5.283	0.216	0.000	0.702	13%
82	5.856	5.680	0.217	0.000	0.739	13%
86	6.255	6.067	0.216	0.000	0.774	12%
90	6.641	6.442	0.214	0.000	0.806	12%
94	7.013	6.803	0.210	0.000	0.836	12%
98	7.371	7.150	0.205	0.000	0.863	12%

Tabelle 8: Buche Mittelland (Schaftholz-Tarif LFI 217), aus der Oberschicht im Baumholz II ($d_{dom}=50$ cm) auf einem sehr guten Standort (GWL 4500) Höhe über Meer (hat keinen Einfluss), kein Zwiesel. Anteil vom Schaftholz ohne Stock (Abzug für Stock 3%; Anteil Energieholz 10%), Anteil Astderbholz (100%) und Anteil Reisig (100%), die als Energieholz verwendet werden und Ernteverluste EV.

Bhd [cm]	LFI Buche Mittelland sehr gut d_{dom} 50 cm; SchaftholzTarif	Schaftholz ohne Stock	Reisig mit Ernteverlust	Astderbholz mit Ernteverlust	Energieholz VEH (m^3)	Energieholz VEH in % von Schaftholz
14	0.110	0.107	0.013	0.001	0.024	21%
18	0.230	0.223	0.023	0.003	0.047	20%
22	0.390	0.378	0.036	0.008	0.079	20%
26	0.610	0.592	0.050	0.018	0.122	20%
30	0.870	0.844	0.064	0.038	0.180	20%
34	1.190	1.154	0.077	0.077	0.260	21%
38	1.550	1.504	0.089	0.144	0.371	24%
42	1.950	1.892	0.100	0.259	0.533	27%
46	2.390	2.318	0.108	0.443	0.764	32%
50	2.860	2.774	0.115	0.720	1.090	38%
54	3.350	3.250	0.119	1.109	1.527	45%
58	3.880	3.764	0.121	1.618	2.085	53%
62	4.420	4.287	0.122	2.233	2.749	62%
66	4.980	4.831	0.121	2.926	3.491	70%
70	5.550	5.384	0.119	3.659	4.273	77%
74	6.130	5.946	0.115	4.397	5.059	82%
78	6.710	6.509	0.111	5.118	5.828	86%
82	7.300	7.081	0.106	5.808	6.565	89%
86	7.890	7.653	0.100	6.463	7.267	92%
90	8.480	8.226	0.095	7.084	7.936	93%
94	9.060	8.788	0.089	7.674	8.572	94%
98	9.640	9.351	0.083	8.238	9.181	95%

Will man das Energieholz in der Berechnung der Holzerntekosten berücksichtigen, müssen die Gesamtkosten auf die Volumenanteile Verkaufsmass Stammholz und Menge Energieholz aufgeteilt werden.

5.2 Berechnungsansatz der Kosten pro m3 für Stammholz und für Energieholz

Kosten werden proportional zum Erlös aufgeteilt.

Kosten pro m³ o. R.: $100 \frac{\text{CHF}}{\text{m}^3}$ aus Modell Kombiseilgerät

Verkauft Volumen=400 m³ o. R.; Erlöss 90 CHF/m³ o. R.

Verkauft Volumen Energieholz 160 m³ i. R.; Erlöss 70 CHF/m³ i. R.

Die Kosten werden Erlösproportional aufgeteilt.

$K1 = \text{Kosten pro m}^3 \text{ Rundholz o. R.}$

$K2 = \text{Kosten pro m}^3 \text{ Energieholz i. R.}$

D.h. $400 \cdot 100 = 400 \cdot K1 + 160 \cdot K2$

$K1 = 90/70 \cdot K2$

$K2 = 400 \cdot 100 / (400 \cdot 90/70 + 160 \cdot 70) = 59.30$

$K1 = 76.30$

$K1 = \text{Kosten pro m}^3 \text{ Rundholz o. R.} = 76.30 \left[\frac{\text{CHF}}{\text{m}^3 \text{ o. R.}} \right]$

$K2 = \text{Kosten pro m}^3 \text{ Energieholz i. R.} = 59.30 \left[\frac{\text{CHF}}{\text{m}^3 \text{ i. R.}} \right]$

6 Abkürzungen und Definitionen

Tabelle 9: Verzeichnis der Abkürzungen.

Abk.	Definition	Default-Werte	Definitions-bereich	Einheit
BHD _{mit}	Mittlerer Brusthöhendurchmesser (arithmetisches Mittel der Brusthöhendurchmesser der Einzelbäume in cm)			[cm i. R.]
F _{indir} F _{Pausen} F _{Weg} F _{Stör}	Multiplikationsfaktoren für: indirekte Arbeitszeiten Pausen > 15 Min. Wegzeiten > 15 Min. Störzeiten > 15 Min.	1.1 Für Weg +Pausen 1.00	≥ 1 ≥ 1 ≥ 1 ≥ 1	[-] [-] [-] [-]
m ³ i. R.	Kubikmeter in Rinde, entspricht der anhand eines Tarifes geschätzten Holzmenge			[m ³ i. R.]
m ³ o. R.	Kubikmeter ohne Rinde entspricht dem Verkaufsmass (Liegendmass)			[m ³ o. R.]
MAS	Maschinen-Arbeits-Stunde gleich PMH ₁₅			[MAS]
PMH ₁₅ _ Kombi-seilgerät	Produktive Maschinenarbeitszeit (MAS) inkl. unvermeidbare Verlustzeiten < 15 Min. des Kombiseilgerätes pro m ³ o. R.		≥ 0	[Std]
Produktivität Personal	Aufgearbeitetes Holzvolumen in m ³ o. R. pro Stunde (Arbeitszeit der Equipe)			$\left[\frac{\text{m}^3 \text{ o. R.}}{\text{PSH}_{15}} \right]$
Produktivität Maschine	Aufgearbeitetes Holzvolumen in m ³ o. R. pro Stunde (Arbeitszeit)			$\left[\frac{\text{m}^3 \text{ o. R.}}{\text{PMH}_{15}} \right]$

7 Beispiele für den Einsatz eines Kombiseilgerätes

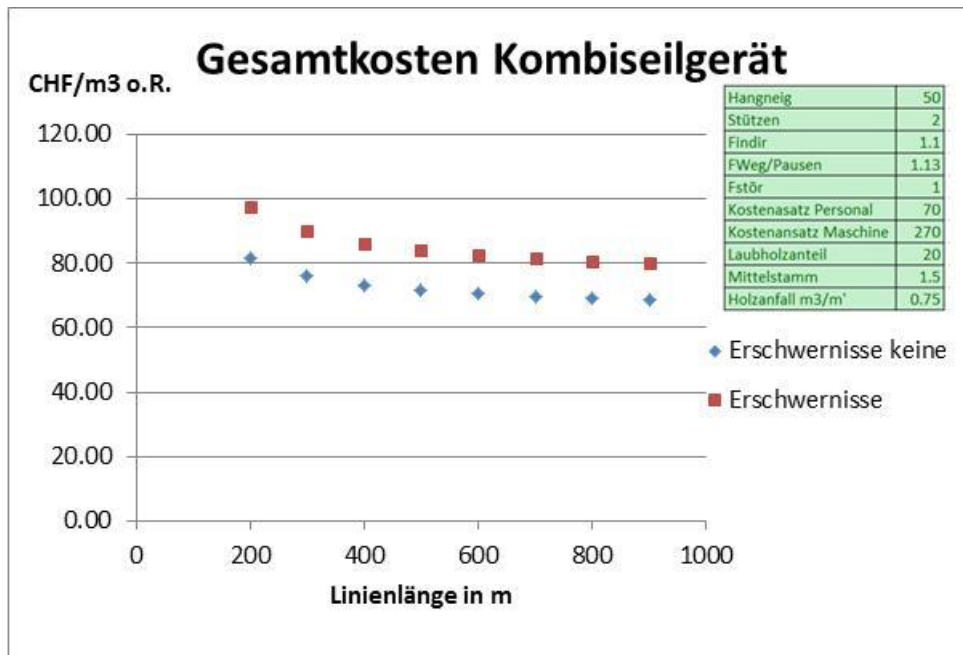


Abbildung 4: Gesamtkosten von Personal und Maschine für Montage/Demontage sowie Fällen und Rücken in Abhängigkeit der Linienlänge, ohne Kosten für Verzugsfahrzeug. Die Holzmenge beträgt 0.75 m³ pro Laufmeter Linienlänge.

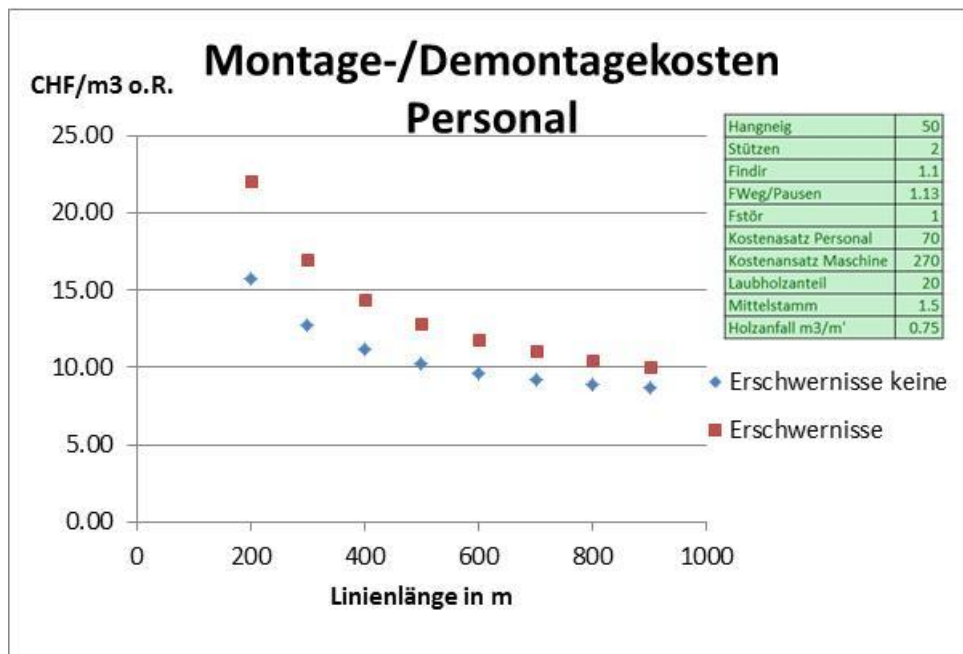


Abbildung 5: Personalkosten für Montage/Demontage des Kombiseilgerätes in Abhängigkeit der Linienlänge.

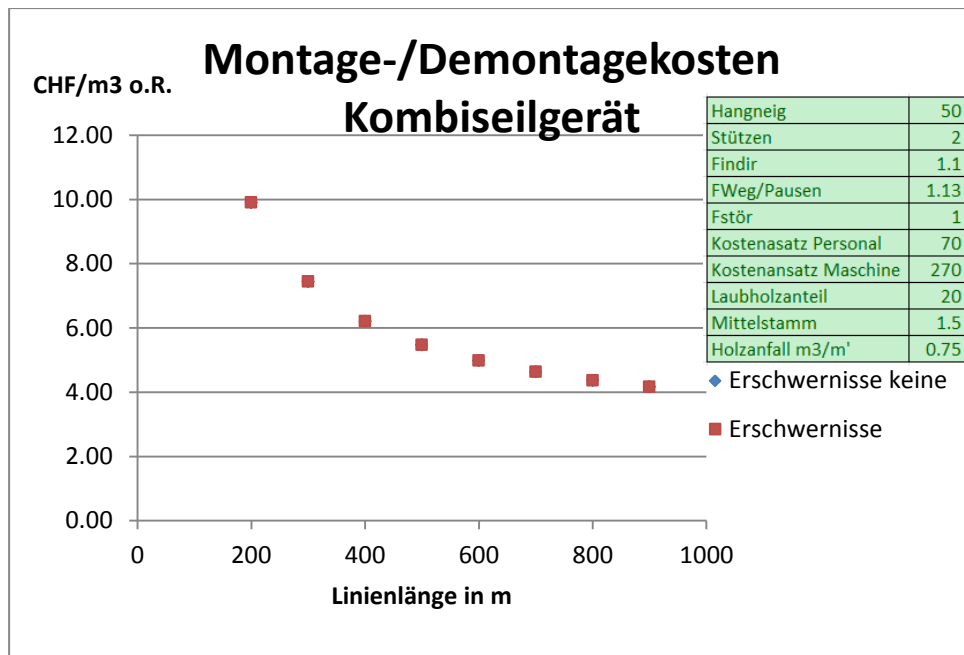


Abbildung 6: Maschinenkosten für Montage/Demontage des Kombiseilgerätes in Abhängigkeit der Linienlänge. Die Holzmenge beträgt 0.75 m³ pro Laufmeter Linienlänge. Die Erschwernisse haben hier keinen Einfluss.

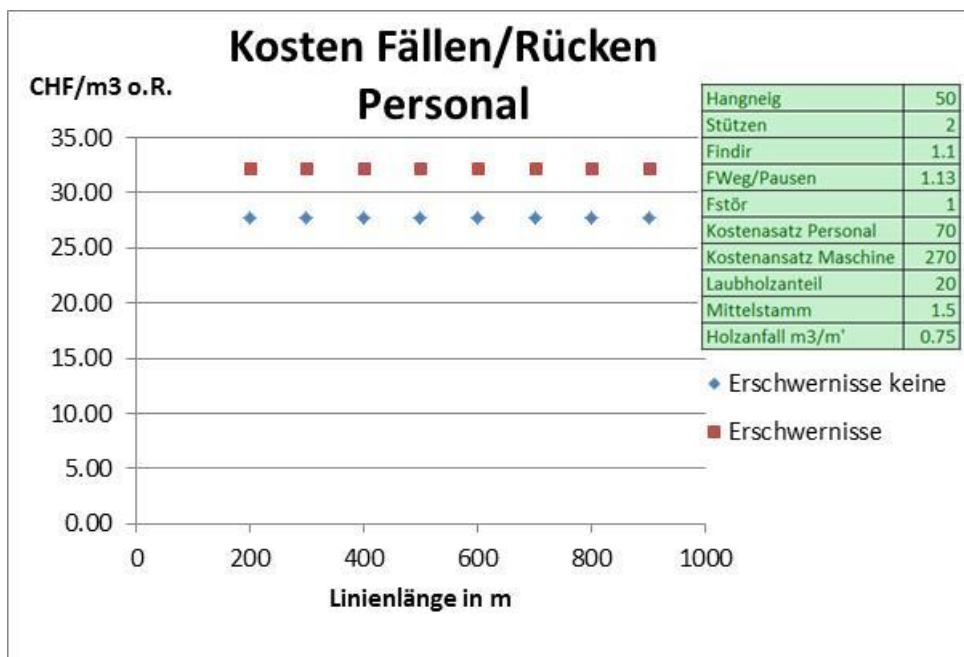


Abbildung 7: Personalkosten für das Rücken mit Kombiseilgerät in Abhängigkeit der Linienlänge. Die Holzmenge beträgt 0.75 m³ pro Laufmeter Linienlänge.

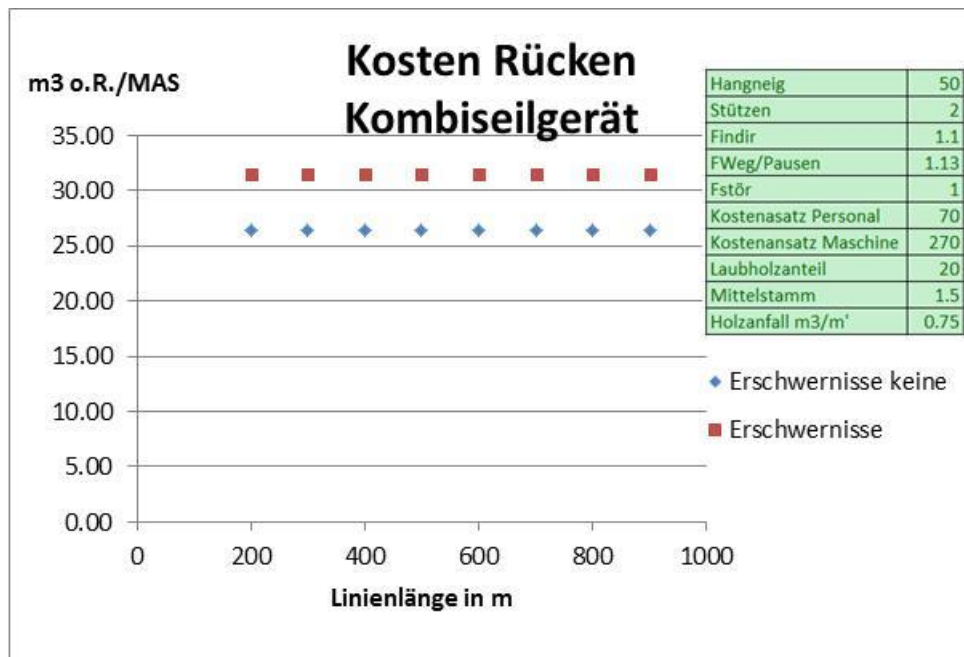


Abbildung 8: Kosten Kombiseilgerät für das Rücken in Abhängigkeit der Linienlänge. Die Holzmenge beträgt 0.75 m^3 pro Laufmeter Linienlänge.

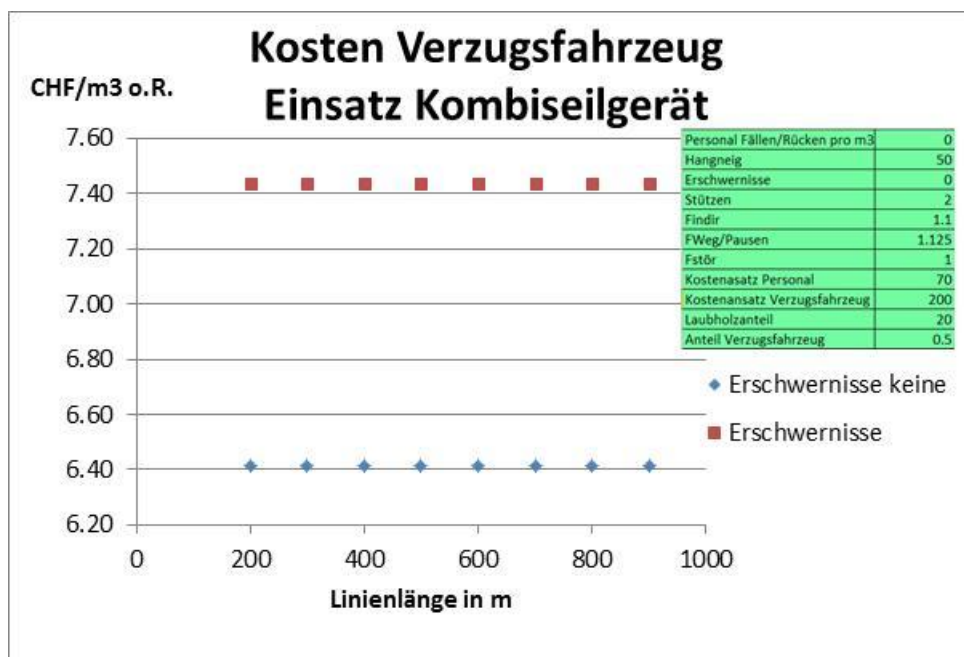


Abbildung 9: Kosten für das Verziehen des Holzes mit einem entsprechenden Fahrzeug beim Einsatz eines Kombiseilgerätes. Die Abhängigkeit von den Erschwernissen ergibt sich durch die Annahme in unserem Beispiel, dass das Verzugsfahrzeug während 50% der Fäll- und Rückezeit im Einsatz ist.

8 Literatur

Björheden, R., Apel, K., Shiba, M., Thompson, M. (1995): IUFRO forest work study nomenclature. Swedish University of Agricultural Science. Dept. of Operational Efficiency, Garpenberg.

Erni, V.; Lemm, R.; Frutig, F.; Breitenstein, M.; Riechsteiner, D.; Oswald, K.; Thees, O. (2003): HeProMo – Produktivitätsmodelle für Holzerntearbeiten. Windows-Software. Version 1.01. Eidg. Forschungsanstalt WSL. Birmensdorf.

Heinimann, H.R. (1997): An International Nomenclature For Forest Work Study, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Operational Efficiency, Sweden. Skript Forstl. Verfahrenstechnik, ETH Zürich.

Park, H., Stefanski, L.A. (1998): Relative error prediction. Statistics & Probability Letters, 40(3):227-236.

9 Beurteilung der Qualität des Modells Kombiseilgerät

Kriterien	Bewertung			Bemerkungen
Datengrundlage aus den Jahren	2007 bis 2015			
Technische Aktualität (Verfahren)	aktuell	teilw.veraltet	veraltet	
Umfang der Datengrundlage	gross	mittel	klein	104 Holzschläge mit 1 oder mehreren Seillinien, 2 verschiedene Kombiseilgeräte, 66'000 m ³ Holz
Anwendbarkeit auf CH-Verhältnisse	gut	mittel	schlecht	
Dokumentation der Anwendung	gut	mittel	gering	
Modell anhand der Grundlagendaten überprüft	ja	nein		
Detaillierungsgrad des Modells	gut	mittel		

Gesamturteil:



X

Beurteilung durch: R. Lemm, F. Frutig

Datum: 08. Dezember 2018