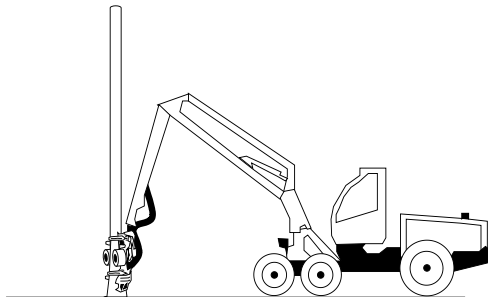


# Produktivitätsmodell „Radharvester“

## Teil A: Grundlagen

Renato Lemm  
Fritz Frutig  
Dario Pedolin  
Oliver Thees (Leitung)

FE Waldressourcen und Waldmanagement  
Gruppe „Forstliche Produktionssysteme“  
Eidg. Forschungsanstalt WSL  
29. Juni 2018



Das Produktivitätsmodell „Radharvester“ ist Teil einer Sammlung von Produktivitätsmodellen der Holzernte, welche von der Eidg. Forschungsanstalt WSL entwickelt wurde (Erni et al. 2003) und unter dem Namen „HeProMo“ auf dem Internet zur Verfügung gestellt wird (<http://www.waldwissen.net>). Das Modell „Radharvester“ wurde im Jahr 2014 erstellt. „Teil A“ des Dokumentes beschreibt das abgebildete Ernteverfahren und „Teil B“ die statistische Herleitung des Modells.

Version	Bearbeiter	Datum	Kommentar
1.0	F. Frutig, R. Lemm, D. Pedolin, O. Thees	15.12.2014	
	F. Frutig	29.06.2018	Redaktionelle Überarbeitung

# Inhaltsübersicht

<b>1</b>	<b>Datengrundlagen .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Produktionssystem - Beschreibung .....</b>	<b>4</b>
2.1	Produktionsfaktoren .....	4
2.2	Produktionsprozess .....	4
2.2.1	Arbeitsaufgabe .....	4
2.2.2	Arbeitsabläufe .....	5
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
<b>3</b>	<b>Produktionssystem - mathematische Darstellung .....</b>	<b>6</b>
3.1	Systemübersicht "Radharvester" .....	6
3.2	Zeitsystem und Umrechnungen im Produktivitätsmodell "Radharvester" .....	8
3.2.1	Zeitsystem .....	8
3.2.2	Berechnung der System- und Faktorzeiten .....	9
<b>4</b>	<b>Berechnung von Zeitbedarf und Kosten .....</b>	<b>9</b>
4.1	Zeitbedarf der Produktionsfaktoren pro $m^3$ o.R. ....	9
4.2	Kosten der Produktionsfaktoren pro $m^3$ o.R. ....	10
<b>5</b>	<b>Abkürzungen und Definitionen .....</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>11</b>
<b>7</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>14</b>
<b>8</b>	<b>Beurteilung der Qualität des Modells "Radharvester" .....</b>	<b>15</b>

### Wichtig für die Anwendung

In diesem Grundlagenbericht wird der Masseinheit  $\text{m}^3$  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. „ohne Rinde“. Um den Gesamtaufwand zu berechnen, muss auch aufzuarbeitende Holzmenge auf „ohne Rinde“ umgerechnet werden.

Für die Umrechnung von Holzmenge und Volumenmittelstamm gilt:

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

Umrechnungsfaktoren  $K_{\text{BA}}$  vom Zustand „in Rinde“ in den Zustand „ohne Rinde“<sup>1</sup>:

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

Quelle:

[http://bfw.ac.at/ort1/Vortraege\\_als\\_pdf/Vortraege\\_Neueinsteiger/Holzmessen\\_Neueinsteiger.pdf](http://bfw.ac.at/ort1/Vortraege_als_pdf/Vortraege_Neueinsteiger/Holzmessen_Neueinsteiger.pdf)

3.Juli 2014

---

<sup>1</sup> Im Modell verwendet Einheitsfaktor: 0.89 (gemäss Anteilen aus LFI)

# 1 Datengrundlagen

Das dem vorliegenden, neuen Modell zugrundeliegende Datenset besteht aus Datensätzen von zwei verschiedenen Betrieben. Aus einem der beiden Forsttechnischen Stützpunkte aus Deutschland sind nur die mittleren Volumina der bearbeiteten Stämme bekannt. Der mittlere BHD wurde anhand des Luzerner Tarif III (Schweizer, 2011) aus dem Massenmittelstamm hergeleitet.

Die eingesetzten Maschinen sind in Tabelle 4 aufgeführt. Die Maschinen wurden gemäss der neuen Klasseneinteilung für die FPA-Prüfung des KWF (Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik) in die zwei Klassen "mittel" und "gross" eingeteilt. Eine Clusteranalyse der Maschinendaten nach Leistung [kW] und maximalem Fälldurchmesser [mm] hat diese Klasseneinteilung bestätigt. Einzig der Radharvester "Ponsse Ergo" wurde nicht wie erwartet der Klasse "mittel", sondern der Klasse "gross" zugeteilt.

Das in der Analyse benutzte kombinierte Datenset umfasst 1040 Holzschläge mit dem Radharvester. Nach Entfernung der Fälle mit offensichtlich zu kleinen ( $< 2 \text{ m}^3/\text{MAS}$ ) bzw. zu grossen ( $> 50 \text{ m}^3/\text{MAS}$ ) Produktivitäten blieben noch 974 Fälle für die erste Analyse. Dabei wurden 46 Ausreisser (übermässig grosse Abweichung der gemessenen von den durch das erste Modell geschätzten Produktivitäten) identifiziert. Die verbliebenen 928 Fälle wurden für die eigentliche Schätzung der Modellkoeffizienten benutzt.

Tabelle 1: Datenherkunft (Maschinentypen und aufgearbeitete Holzmengen)

	Total	Total	Rheinland-Pfalz		Baden-Württemberg	
Maschine	N	m <sup>3</sup> o.R.	N	m <sup>3</sup> o.R.	N	m <sup>3</sup> o.R.
Ponsse Cobra H60	141	28504	141	28504	0	0
Ponsse Ergo H7	174	43682	174	43682	0	0
John Deere 1470D	171	98105	171	98105	0	0
Valmet 911.3	155	92036	120	58121	35	33914
Rottne H20	40	38820	0	0	40	38820
Valmet 921C	29	33316	0	0	29	33316
Tigercat H16 HP	127	127927	0	0	127	127927
Timberjack 1270A	46	14596	0	0	46	14596
HSM 405 H3 8WD	46	56653	0	0	46	56653

## 2 Produktionssystem - Beschreibung

### 2.1 Produktionsfaktoren

- Maschine: Ein-Griff-Harvester auf Radfahrgestell, Grössenklasse "mittel" und "gross"
- MaschinenführerIn: im Führen der Maschine geübt.

### 2.2 Produktionsprozess

#### 2.2.1 Arbeitsaufgabe

Die Arbeitsaufgabe besteht darin, stehende Bäume zu fällen, diese zu Rundholzabschnitten aufzuarbeiten (Entasten, Vermessen, Einschneiden, Zopfen, Ablegen des Zopfes und der Äste an der Rückegasse, Ablegen der Rundholzabschnitte auf die Rohpolter). Das Modell bildet keine Vorlieferprozesse ab.

### 2.2.2 Arbeitsabläufe

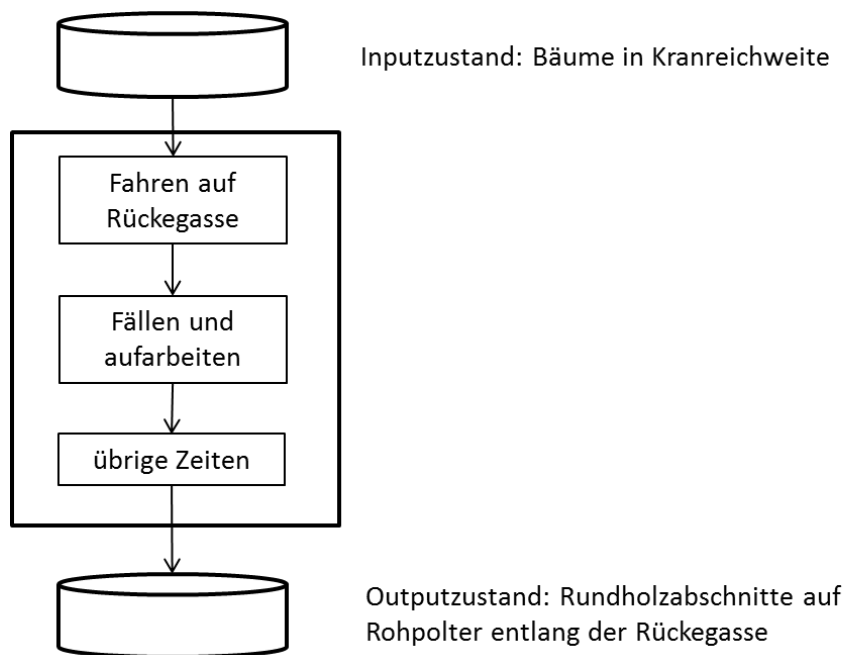


Abbildung 1: Teilprozesse des Produktionsprozesses "Fällen und Aufarbeiten mit Radharvester".

## 2.3 Input- und Outputzustand

### 2.3.1 Input-Zustand

- Stehende, zu fällende Bäume in Kranreichweite oder an die Rückegasse vorgelieferte Bäume.

### 2.3.2 Output-Zustand

- Rundholzabschnitte liegen auf Rohpolter entlang der Rückegasse.

## 2.4 Arbeitsbedingungen

### 2.4.1 Technik und Personal

- Radharvestertypen „mittel“ und „gross“ (siehe Tabelle 4)
- Der Maschinist muss auf der eingesetzten Maschine und bezüglich der übrigen Bedingungen geübt sein.

### 2.4.2 Gelände und Erschliessung

- Gelände: befahrbar (Hangneigung, Bodentragfähigkeit) für Maschinen mit Radfahrgestellen, Hangneigung für Rückegassen bis ca. 40% (Maschinen ohne Traktionshilfswinde)
- Erschliessung: Rückegassen, teilweise auch Einsatz direkt von der Waldstrasse aus.

### 2.4.3 Waldbestände und waldbauliche Massnahmen

- Waldbestände: Nadelholz-, Laubholz- oder Mischbestände; Stangen- und Baumhölzer
- Durchforstungen
- Endnutzungen (Abräumungen) und Flächennutzungen (z.B. nach Sturmereignissen). Für diese Fälle ist das Modell jedoch nicht überprüft.

## 2.5 Berechneter Output

- Produktivität (technische Arbeitsproduktivität) des Produktionsfaktors Radharvester als Zeitbedarf des Produktionssystems in PSH<sub>15</sub> pro aufgearbeitete Holzmenge in m<sup>3</sup> o.R.

## 3 Produktionssystem - mathematische Darstellung

### 3.1 Systemübersicht "Radharvester"

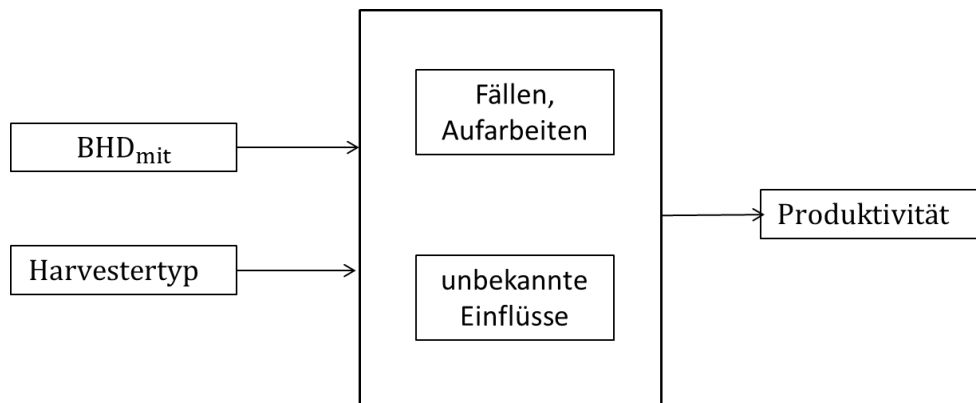


Abbildung 2: Übersicht zum Produktionssystem "Radharvester".

Die Formel für das Produktivitätsmodell 'Radharvester' lautet:

*Falls Harvestertyp gross und  $BHD_{mit} > 60\text{ cm}$  und  $< 75\text{ cm}$*

*Produktivität =  $a + b_{gross} + c \times \ln(60) + d_{gross} * \ln(60)$*

*Falls Harvestertyp gross und  $BHD_{mit} \geq 15\text{ cm}$  und  $\leq 60\text{ cm}$*

*Produktivität =  $a + b_{gross} + c \times \ln(BHD_{mit}) + d_{gross} * \ln(BHD_{mit})$*

*Falls Harvestertyp gross und  $BHD_{mit} < 15\text{ cm}$  → Harvester kann nicht sinnvoll eingesetzt werden*

*Falls Harvestertyp mittel und  $BHD_{mit} > 50\text{ cm}$  und  $< 75\text{ cm}$*

*Produktivität =  $a + b_{mittel} + c \times \ln(50) + d_{mittel} * \ln(50)$*

*Falls Harvestertyp mittel und  $BHD_{mit} \geq 12\text{ cm}$  und  $\leq 50\text{ cm}$*

*Produktivität =  $a + b_{mittel} + c \times \ln(BHD_{mit}) + d_{mittel} * \ln(BHD_{mit})$*

*Falls Harvestertyp mittel und  $BHD_{mit} < 12\text{ cm}$  → Harvester kann nicht sinnvoll eingesetzt werden*

*Zuschläge in % (Quelle: Thüringenforst 2010)*

*Die Prozentangaben beziehen sich auf Volumenanteile.*

*1. Förmigkeit*

*vollholzig = 5*

*normalholzig = 0 (Default)*

*abholzig = -5*

*2. Anteil Laubholz*

*0% = 0 (Default)*

*1 bis 25% = -2.5*

*26% bis 50% = -5*

*51% bis 75% = -7.5*

76% bis 100% = -10

### 3. Liegendes Holz

(Default = 0)

bis 25% vorgerücktes Holz = 12.5

26% bis 50% vorgerücktes Holz = 25

bis 25% zugefälltes Holz = -6.25

26% bis 50% zugefälltes Holz = -12.5

Summe Zuschläge 1 bis 3

Produktivität = Produktivität  $\times$  (1 + (Summe Zuschläge in %/100))

Einheit der Produktivität :  $\left[ \frac{m^3 \text{ o. R.}}{PMH_{15}} \right]$   $PSH_{15} = PMH_{15}$  siehe Tabelle 5

Das Modell umfasst alle Prozesse des Fällens und Aufarbeitens mit Radharvester. Die Koeffizienten sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2: Koeffizienten für das Produktivitätsmodell 'Radharvester'.

Koeffizienten	Wert	Einheiten
$a$	-34.4624	$\left[ \frac{m^3 \text{ o. R.}}{PSH_{15}} \right]$
$c$	14.7029	$\left[ \ln\left(\frac{1}{cm}\right) \times \left[ \frac{m^3 \text{ o. R.}}{PSH_{15}} \right] \right]$
<i>falls Harvestertyp „mittel“</i>		
$b_{\text{mittel}}$	0	$\left[ \frac{m^3 \text{ o. R.}}{PSH_{15}} \right]$
$d_{\text{mittel}}$	0	$\left[ \ln\left(\frac{1}{cm}\right) \times \left[ \frac{m^3 \text{ o. R.}}{PSH_{15}} \right] \right]$
<i>falls Harvestertyp „gross“</i>		
$b_{\text{gross}}$	-24.9268	$\left[ \frac{m^3 \text{ o. R.}}{PSH_{15}} \right]$
$d_{\text{gross}}$	9.5333	$\left[ \ln\left(\frac{1}{cm}\right) \times \left[ \frac{m^3 \text{ o. R.}}{PSH_{15}} \right] \right]$

Tabelle 3: Die minimalen (Min) und maximalen (Max) Werte, die für das Produktivitätsmodell 'Radharvester' als Datengrundlage dienten. Sie geben die unteren und oberen Grenzen des mittleren Brusthöhendurchmessers ( $BHD_{mit}$ ) an. Die obere Grenze für die Variable  $BHD_{mit}$  wird durch den Harvesterkopf bestimmt. Wirtschaftlich macht es keinen Sinn, Bestände mit einem  $BHD_{mit} < 12$  resp. 15 cm mit einem Radharvester zu pflegen.

Variable	Einheiten	Min	Max
$BHD_{mit}$	[cm]	12	100
$BHD_{mit}$ für Harvestertyp „mittel“	[cm]	12	75
$BHD_{mit}$ für Harvestertyp „gross“	[cm]	15	75

Das Modell für die Produktivität des Fällens mit Radharvester beinhaltet neben der Grössenklasse für den eingesetzten Maschinentyp den mittleren BHD der bearbeiteten Bäume. Die Arbeitsproduktivität der Harvesterarbeit hängt in erster Linie von der Grössenklasse der Maschine und dem mittleren BHD der Bäume ab. Die Zuschläge für Förmigkeit, Laubholz und Aufarbeiten von liegendem Holz basieren auf einer Kalkulationsgrundlage für den Holzeinschlag mit Harvester von Thüringenforst (2010).

Tabelle 4: Einteilung der Harvestertypen in die Klassen „mittel“ und „gross“.

Bezeichnung	Abk.	Grösse	[t]	[kW]	Räder	Kran [m]	Fäll.Durch. [mm]	Herk.	minBHD	maxBHD	Mittl.BHD	N
Ponsse Ergo H7	Erg.	mittel	19	205	8	10	750	RIP	18.6	44.7	25.7	174
Valmet 911.3	Val.	mittel	17	170	6	11	650	RIP	18.8	38.2	24.9	155
Ponsse Cobra H60	Cob.	mittel	17	157	8	8	640	RIP	18.5	35.4	24.2	141
Timberjack 1270 A	Timb.	mittel	16-17	152	6	10	660	BW	19.5	24.6	20.8	46
Valmet 921C	Val.C	mittel	19	155	6	9	650	BW	20.3	28.7	23.4	29
John Deere 1470D	JD	gross	20	180	6	7.9	710	RIP	18.7	46.9	28.4	171
Tigercat H16 HP	Tiger.	gross	20	181	6	10	710	BW	19.5	33.6	24.0	127
HSM 405 H3 8WD	HSM	gross	23	260	8	11	710	BW	20.3	28.7	25.3	46
Rottne H20	Rott.	gross	21	187	6	10	750	BW	20.3	31.6	25.8	40

In Tabelle 4 sind die den Grundlagendaten zugehörigen Harvestertypen mit ihren technischen Eigenschaften zusammengestellt. Ebenso findet man auch die Zuteilung in die Klassen „mittel“ und „gross“, wie sie für die Modellerstellung verwendet wurde.

Radharvester der Klasse "klein" kamen in den Grundlagendaten nicht vor.

## 3.2 Zeitsystem und Umrechnungen im Produktivitätsmodell "Radharvester"

### 3.2.1 Zeitsystem

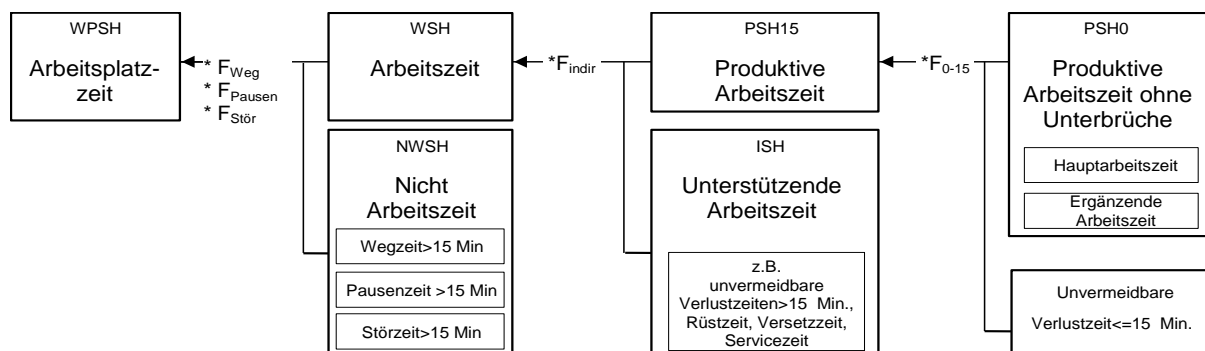


Abbildung 3: Verwendetes Zeitsystem (Björheden und Thompson 1995, Heinimann 1997; verändert).

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 5).

Tabelle 5: Übersicht über die verwendeten Zeitbegriffe.

Betrachtetes Objekt	Arbeitsplatzzeit				
	workplace...	non work...	Arbeitszeit (Work time)		
			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<sub>15</sub> = MAS



### 3.2.2 Berechnung der System- und Faktorzeiten

**System:**

$$PSH_{15} = PMH_{15}$$

$$WSH = PMH_{15} \times F_{indir}$$

$$WPSH = PSH_{15} \times F_{indir} \times F_{Weg} \times F_{Pausen} \times F_{Stör}$$

**Personal:**

$$PPH_{15} = PMH_{15}$$

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

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

**Maschinen:**

$$PMH_{15}$$

$$WMH = PMH_{15} \times F_{indir}$$

$$WPMH = PMH_{15} \times F_{indir} \times F_{Stör}$$

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

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

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

$$F_{Stör} = 1 + \frac{\text{Störzeiten} > 15 \text{ Min}}{WSH}$$

## 4 Berechnung von Zeitbedarf und Kosten

### 4.1 Zeitbedarf der Produktionsfaktoren pro m<sup>3</sup> o.R.

Tabelle 6: Formeln zur Berechnung des Zeitbedarfs der Produktionsfaktoren pro m<sup>3</sup> o.R.

Input		Formel	Output	
Produktivität	$\left[ \frac{m^3 \text{ o. R. }}{PSH_{15}} \right]$	$PMH_{15} = PSH_{15}$	$PMH_{15}$	$\left[ \frac{Std}{m^3 \text{ o. R. }} \right]$
		$WPPH = 1 / \text{Produktivität} \times F_{indir} \times F_{Weg} \times F_{Pausen} \times F_{Stör}$		
		$PMH_{15} = \frac{1}{\text{Produktivität}}$		
		<b>Faktoren:</b>		
$F_{indir}$	$[-]$	$F_{indir}$ = frei wählbar; im Modell 1.1		
$F_{Weg}$	$[-]$	$F_{Weg} \times F_{Pausen}$ = frei wählbar;		
$F_{Pausen}$	$[-]$	im Modell $\frac{540 \text{ Min}}{(540-60) \text{ Min}} = 1.125$ als Default verwendet		
$F_{Stör}$	$[-]$	$F_{Stör}$ = frei wählbar; im Modell 1.00		

## 4.2 Kosten der Produktionsfaktoren pro m<sup>3</sup> o.R.

$$\text{Kosten Harvester} = WPPH * \text{Personalkostenansatz} + PMH_{15} * \text{Harvesterkostenansatz}$$

$$PMH_{15} = MAS$$

### Legende

*Kosten Harvester:* Gesamtkosten pro m<sup>3</sup> o.R. für den Einsatz eines Harvesters

*WPPH:* Arbeitsplatzzeit des Personals

*Personalkostenansatz:* Personaleinzel – und Personalgemeinkosten pro Stunde

*PMH<sub>15</sub>:* Produktive Harvesterarbeitszeit inkl. Unterbrechungen < 15 Min

*Maschinenkostenansatz:* Harvesterkosten pro Maschinenstunde

## 5 Abkürzungen und Definitionen

Tabelle 7: Verzeichnis der Abkürzungen.

Abk.	Definition	Default-Werte	Definitions-bereich	Einheit
BHD <sub>mit</sub>	Mittlerer Brusthöhendurchmesser (arithmetisches Mittel der Brusthöhendurchmesser der Einzelbäume in cm)			[cm i.R.]
F <sub>indir</sub> F <sub>Pausen</sub> F <sub>Weg</sub> F <sub>Stör</sub>	<b>Multiplikationsfaktoren</b> für: indirekte Arbeitszeiten Pausen > 15 Min. Wegzeiten > 15 Min. Störzeiten > 15 Min.	1.1 Für Weg +Pausen 1.00	≥ 1 ≥ 1 ≥ 1 ≥ 1 ≥ 1	[-] [-]
Harvestertyp	Einteilung in „mittel“ und „gross“ siehe Tabelle 4	„gross“	„mittel“, „gross“	[-]
K <sub>BA</sub>	Umrechnungsfaktor für das Umrechnen von m <sup>3</sup> in Rinde in m <sup>3</sup> ohne Rinde der entsprechenden Baumartengruppe		0 < K <sub>BA</sub> < 1	[-]
m <sup>3</sup> i.R.	Kubikmeter in Rinde, entspricht dem Festmeter d.h. der anhand eines Tarifes geschätzten Menge Holz			
m <sup>3</sup> o.R.	Kubikmeter ohne Rinde			
MAS	Maschinen-Arbeits-Stunde gleich PMH <sub>15</sub>			
PMH <sub>15</sub> _ Radharvester	Produktive Maschinenarbeitszeit (MAS) inkl. unvermeidbare Verlustzeiten < 15 Min. des Radharvesters pro m <sup>3</sup> o.R.		≥ 0	$\left[ \frac{\text{Std.}}{\text{m}^3 \text{ o.R.}} \right]$
Produktivität	Aufgearbeitetes Holzvolumen in m <sup>3</sup> o.R. pro Stunde (Arbeitsplatzzeit)			$\left[ \frac{\text{m}^3 \text{ o.R.}}{PMH_{15}} \right]$
PSH <sub>15</sub> _ Rundholz	Produktive Systemzeit inkl. unvermeidbare Verlustzeiten < 15 Min. pro m <sup>3</sup> o.R.		≥ 0	$\left[ \frac{\text{Std.}}{\text{m}^3 \text{ o.R.}} \right]$
WPPH	Arbeitsplatzzeit des Personals pro m <sup>3</sup> o.R.		≥ 0	$\left[ \frac{\text{Std.}}{\text{m}^3 \text{ o.R.}} \right]$

## 6 Ergebnisse

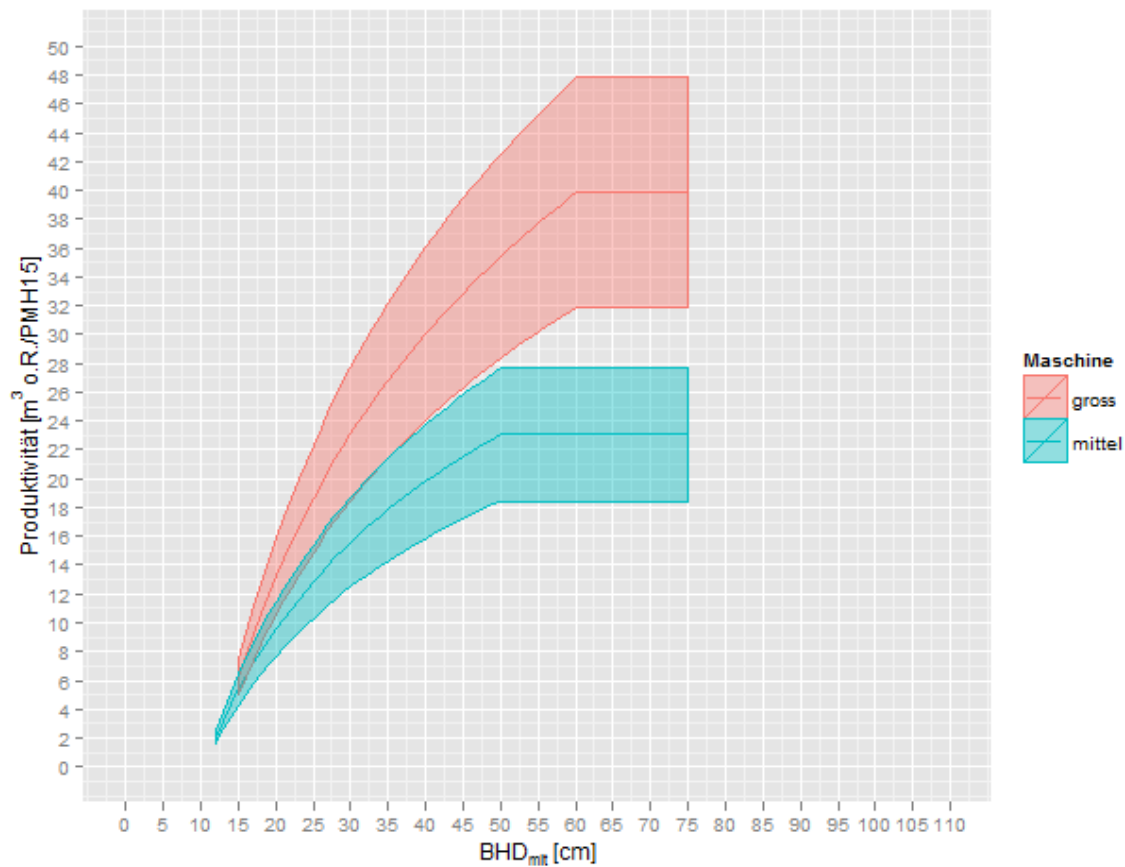


Abbildung 4: Abhängigkeit der Produktivität vom BHD<sub>mit</sub> für Radharvester „mittel“ und „gross“. Der Zusammenhang gilt für BHD<sub>mit</sub> < max. Fälldurchmesser des Harvesterkopfes (maximale Baumdurchmesser, die vom Radharvester noch bearbeitet werden können). Der Bereich um die Linien grenzt den Bereich  $\pm 20\%$  ein.

Abbildung 4 zeigt die Abhängigkeit der Produktivität vom BHD<sub>mit</sub> für das Fällen und Aufarbeiten mit Radharvester. Die durch das hier vorgestellte Modell berechnete Produktivität hängt nur vom mittleren BHD (BHD<sub>mit</sub>) und der Grössenklasse der eingesetzten Maschine ab.

Das Modell wurde mit Radharvesterdaten eines Betriebes verglichen, welche nicht zur Modell-erstellung verwendet wurden (Abb. 5).

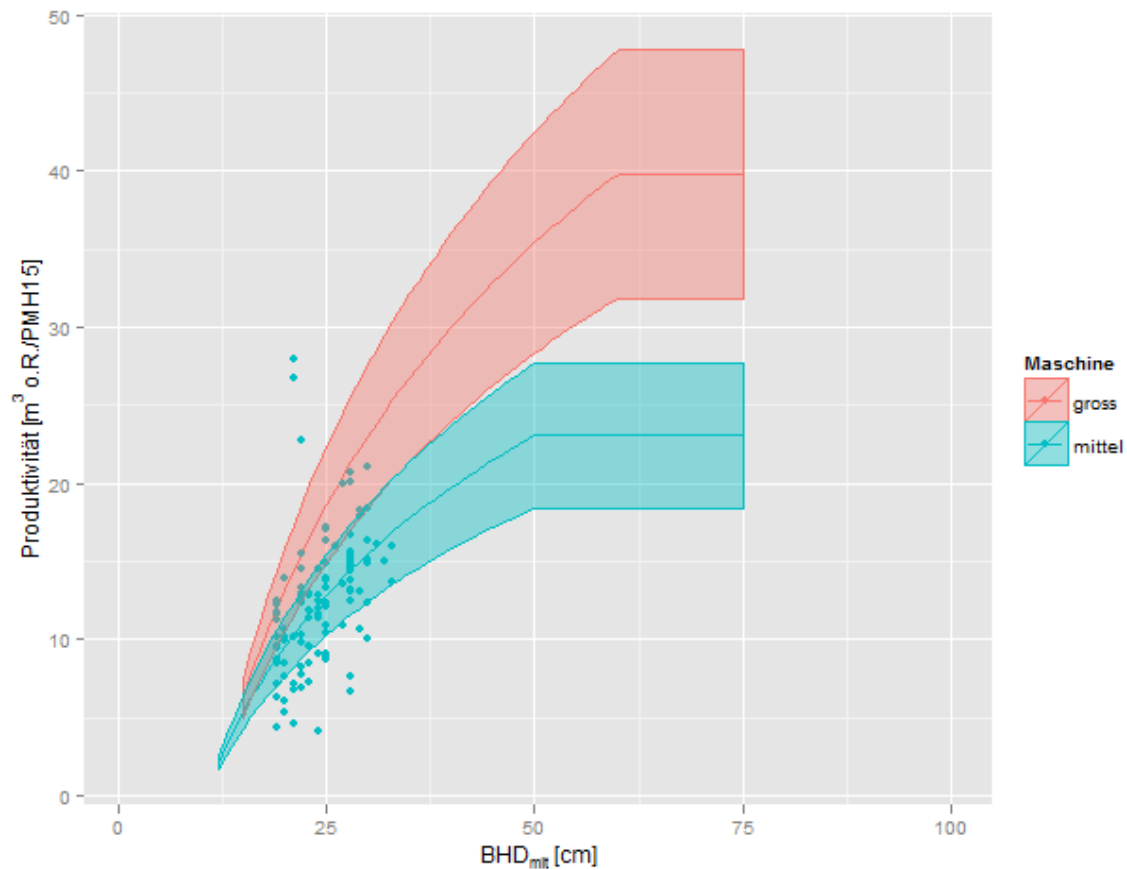


Abbildung 5: Gemessene Produktivitäten für den mittleren Radharvester eines Betriebes aus Deutschland (Punkte) im Vergleich zum Modell (Linie). Die Produktivitäten deren  $BHD_{mit}$  kleiner als 18 cm waren, wurden aus den Tests ausgeschlossen.

Abbildung 5 zeigt, dass für den mittleren Radharvester die Testdaten gut mit dem Modell übereinstimmen (siehe auch Abbildung 7).

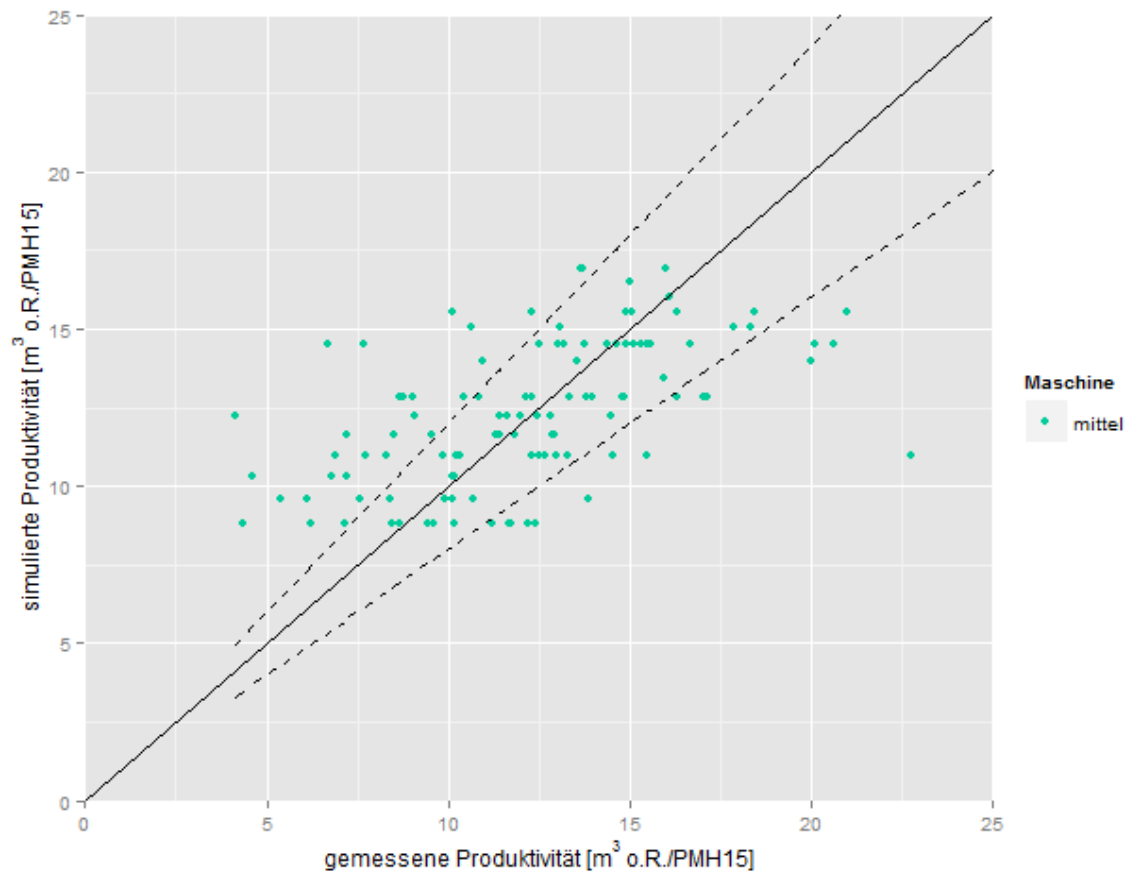


Abbildung 6: Vergleich der gemessenen Produktivitäten und den durch das Modell berechneten. Die x-Achse gibt die tatsächlichen, gemessenen Produktivitäten wieder, die y-Achse die dazu gehörenden berechneten Werte. Liegen die Punkte exakt auf der winkelhalbierenden Diagonalen, stimmen die berechneten Werte exakt mit den gemessenen überein, liegen sie darüber, sind die berechneten Produktivitäten zu hoch, liegen die Punkte unter (rechts) der Diagonalen sind die berechneten Werte zu tief.

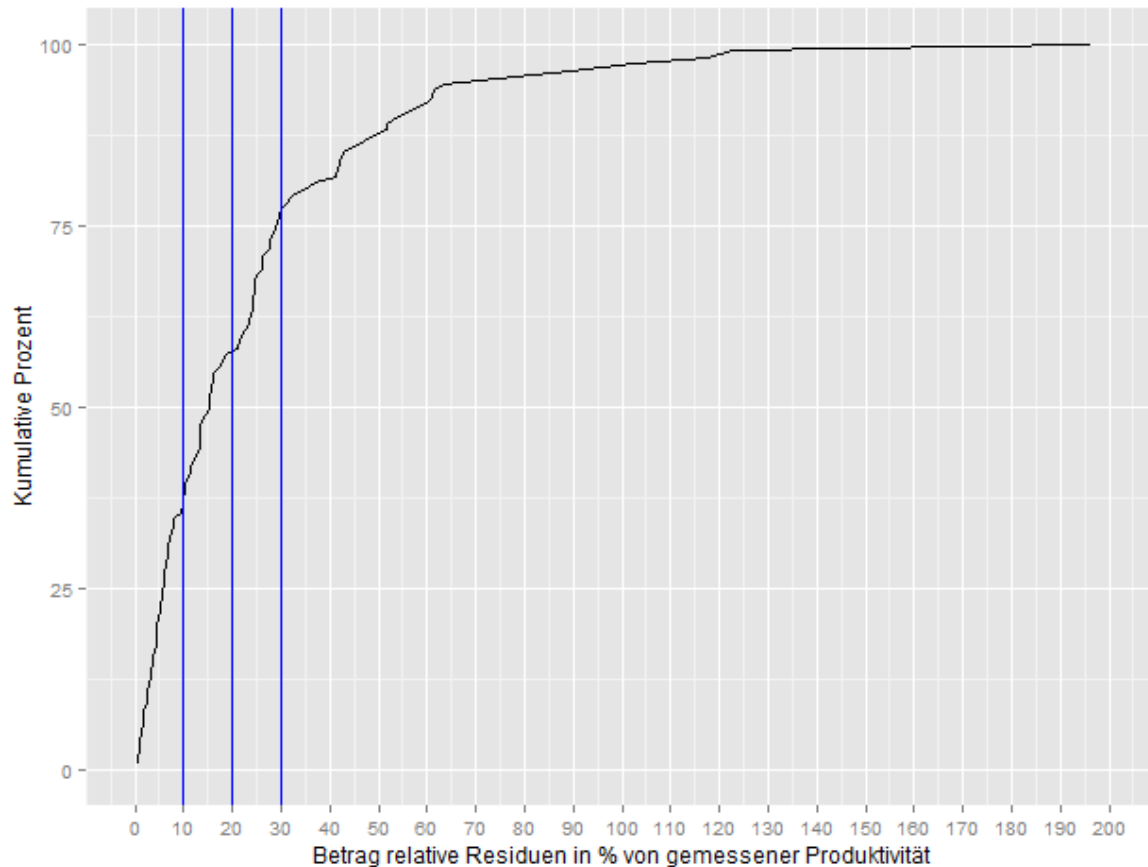


Abbildung 7: Kumulative Residuen für die Testdaten. Die vertikalen blauen Linien grenzen den Bereich von bis zu 10/20/30% Abweichung ein. Bei > 35% der Modellierdaten ist der Schätzfehler  $\leq 10\%$ , bei ca. 60% der Daten  $\leq 20\%$  und bei ca. 75%  $\leq 30\%$ .

## 7 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.

Thüringen Forst 2010: Kalkulationsgrundlage für den Holzeinschlag mit Harvester. Kompendium zur Waldarbeit, Teil 15: Kalkulationsgrundlagen Rückung und maschinelle Holzernte. Internes Dokument, erste Herausgabe 2002.

## 8 Beurteilung der Qualität des Modells "Radharvester"

Kriterien	Bewertung			Bemerkungen
Datengrundlage aus den Jahren	2010 bis 2012			
Technische Aktualität (Verfahren)	<input checked="" type="radio"/> aktuell	<input type="radio"/> teilw.veraltet	<input type="radio"/> veraltet	
Umfang der Datengrundlage	<input checked="" type="radio"/> gross	<input type="radio"/> mittel	<input type="radio"/> klein	928 Holzschläge, 532'00 m <sup>3</sup> aufgearbeitetes Holz
Anwendbarkeit auf CH-Verhältnisse	<input checked="" type="radio"/> gut	<input type="radio"/> mittel	<input type="radio"/> schlecht	
Dokumentation der Auswertung	<input checked="" type="radio"/> gut	<input type="radio"/> mittel	<input type="radio"/> gering	Teile A und B
Modell anhand der Grundlagendaten überprüft	<input checked="" type="radio"/> ja	<input type="radio"/> nein		
Detaillierungsgrad des Modells	<input checked="" type="radio"/> gut	<input type="radio"/> mittel	<input type="radio"/> gering	

Gesamturteil:



X



Beurteilung durch: F. Frutig / R. Lemm / O. Thees / D. Pedolin.

Datum: 08. Dezember 2018

