

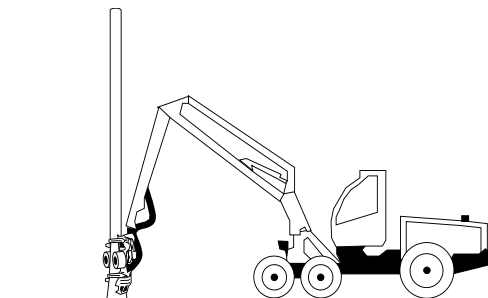
Produktivitätsmodell „Radharvester“

Teil A: Grundlagen

Marc Werder
Janine Schweier
Renato Lemm
Fritz Frutig
Dario Pedolin
Oliver Thees

Eidg. Forschungsanstalt WSL
Forschungsgruppe Nachhaltige Forstwirtschaft

Update Vs. 1.2, 13. August 2024



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 und mit dem Untermodell „Traktionshilfswinde“ im Jahr 2024 ergänzt. „Teil A“ des Dokumentes beschreibt das abgebildete Ernteverfahren und „Teil B“ die statistische Herleitung des Modells „Radharvester“.

Version	Bearbeiter	Datum	Kommentar
1.2	M. Werder/ J. Schweier	20.03.2024	Überarbeitung und Ergänzung mit Untermodell Traktionshilfswinde
1.1	F. Frutig	29.06.2018	Redaktionelle Überarbeitung
1.0	F. Frutig, R. Lemm, D. Pedolin, O. Thees	15.12.2014	

Inhaltsübersicht

1	Datengrundlagen	4
2	Produktionssystem - Beschreibung	4
2.1	Produktionsfaktoren	4
2.2	Produktionsprozess	5
2.2.1	Arbeitsaufgabe	5
2.2.2	Arbeitsabläufe	5
2.3	Input- und Outputzustand	6
2.3.1	Input-Zustand	6
2.3.2	Output-Zustand	6
2.4	Arbeitsbedingungen	6
2.4.1	Technik und Personal	6
2.4.2	Gelände und Erschliessung	6
2.4.3	Waldbestände und waldbauliche Massnahmen	6
2.5	Berechneter Output	6
3	Produktionssystem - mathematische Darstellung	7
3.1	Systemübersicht "Radharvester"	7
3.2	Zeitsystem und Umrechnungen im Produktivitätsmodell "Radharvester"	12
3.2.1	Zeitsystem	12
3.2.2	Berechnung der System- und Faktorzeiten	13
4	Berechnung von Zeitbedarf und Kosten	14
4.1	Zeitbedarf der Produktionsfaktoren pro m ³ o.R.	14
4.2	Kosten der Produktionsfaktoren pro m ³ o.R.	14
5	Abkürzungen und Definitionen	15
6	Ergebnisse	16
7	Literatur	20

Wichtig für die Anwendung

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. 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_{BA} vom Zustand „in Rinde“ in den Zustand „ohne Rinde“¹:

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

3.Juli 2014

¹ Im Modell verwendet Einheitsfaktor: 0.89 (gemäss Anteilen aus LFI)

1 Datengrundlagen

Das dem vorliegenden Modell zugrundeliegende Datenset besteht aus Datensätzen von zwei verschiedenen Betrieben (Tabelle 1, Tabelle 4). 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 1 aufgeführt. Die Maschinen wurden gemäss der 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 Holzschnitte 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.

Zur Verringerung des Radschlupfs in steilem Gelände und zur Erschliessung von Hängen mit einer Neigung über 30-35%, teils 40%, werden bei bodengestützten Verfahren vermehrt Traktionshilfswinden (THW) eingesetzt. Um dem Rechnung zu tragen wurde 2024 ein Untermodell zum „Harvestereinsatz mit Traktionshilfswinde (THW)“ entwickelt. Dieses wurde in das bestehende Harvester-Modell integriert. Die Datengrundlage des Untermodells basiert auf zwei im Jahr 2022 durchgeführten Zeitstudien der WSL, in welchen 53 Umhänge- (Rückegassenwechsel) und 200 An- und Abhängeereignisse ausgewertet wurden.

Tabelle 1: Datenherkunft Harvester (Maschinentypen und aufgearbeitete Holz mengen).

	Total	Total	Rheinland-Pfalz		Baden-Württemberg	
Maschine	N	m ³ o.R.	N	m ³ o.R.	N	m ³ 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) (Abbildung 1).

Das Modell bildet keine Vorlieferprozesse ab.

Falls eine Traktionshilfwinde (THW) eingesetzt wird entstehen folgende zusätzliche Arbeitsschritte:

- (1) Die THW wird vom Maschinenführer bei der ersten Rückegassen eingerichtet.
- (2) Das Seil wird vor der Einfahrt auf die Rückegasse am Anker (passiv) oder am Harvester (aktiv) angehängt.
- (3) Das Seil wird vor der Ausfahrt aus der Rückegasse oder der Einfahrt auf die Strasse abgehängt.
- (4) Die THW wird bei einem Rückegassenwechsel auf die nächste Rückegasse überstellt.
- (5) Die THW wird nach Beendigung des Einsatzes deinstalliert.

Die Aufwandszeiten der THW werden im Modell als unterstützende Arbeitszeit (ISH) (vgl. Kapitel 4.2.2) aufgenommen. Sie hat demnach keinen Einfluss auf die Harvesterproduktivität, erhöht aber die Arbeitszeit und die Kosten (Personal- und Maschinenkosten der THW).

2.2.2 Arbeitsabläufe

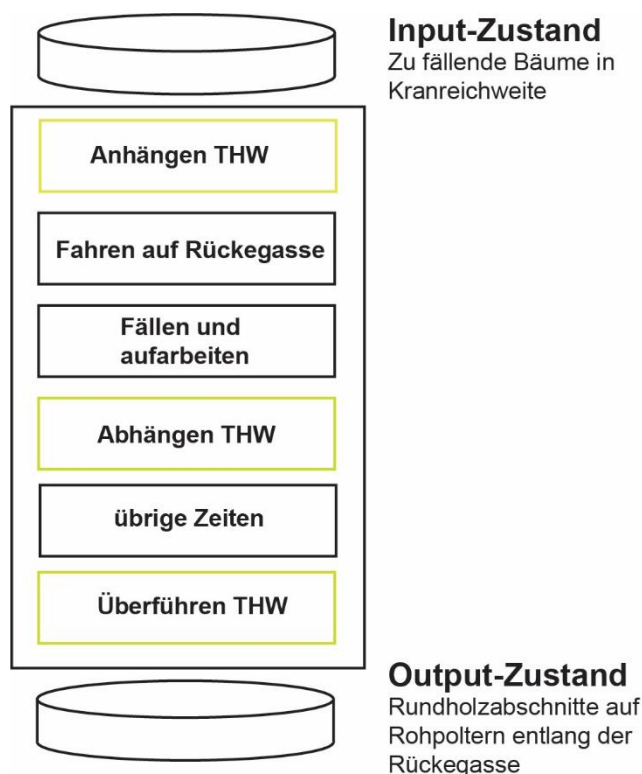


Abbildung 1: Teilprozesse des Produktionsprozesses «Fällen und Aufarbeiten mit Radharvester». Falls eine THW eingesetzt wird, kommen zusätzliche Arbeitsschritte (unterstützend und nicht produktiv) hinzu (gelb umrahmt).

2.3 Input- und Outputzustand

2.3.1 Input-Zustand

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

2.3.2 Output-Zustand

- Rundholzabschnitte liegen auf dem 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. 30-35%, teils 40% (Maschinen ohne Traktionshilfswinde), bis ca. 60 % bei Maschinen mit 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 (noch) nicht überprüft, weshalb wir von einer Verwendung abraten.

2.5 Berechneter Output

- Produktivität (technische Arbeitsproduktivität) des Produktionsfaktors Radharvester als Zeitbedarf des Produktionssystems in PSH₁₅ pro aufgearbeitete Holzmenge in Kubikmeter ohne Rinde (m³ o.R.).

3 Produktionssystem - mathematische Darstellung

3.1 Systemübersicht "Radharvester"

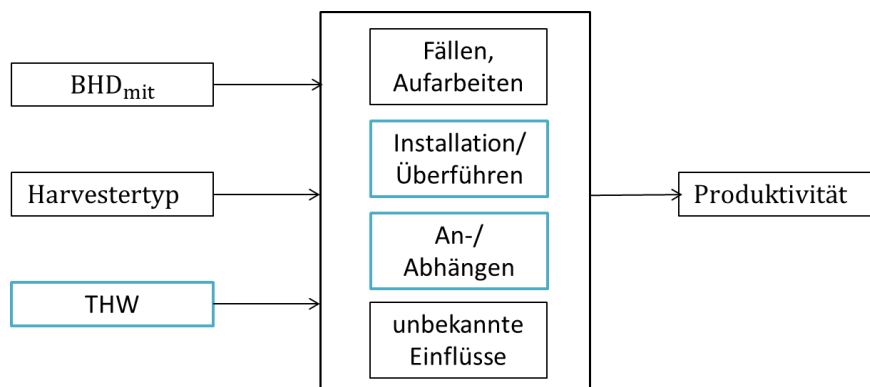


Abbildung 2: Übersicht des Produktionssystem "Radharvester". Blau umrahmt = Unterstützende Arbeit (ISH) beim Einsatz einer Traktionshilfswinde. Diese beeinflusst nicht die Produktivität.

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 $BHD_{mit} < 15\text{ cm} \rightarrow$ 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 $BHD_{mit} < 12\text{ cm} \rightarrow$ Harvester kann nicht sinnvoll eingesetzt werden

Zu –/Abschläge 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. Anteil 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%

4. Hangneigung

0% bis 29% = 0% (Default = 0)

30% bis 39% = -5%

40% bis 49% = -10%

50% bis 60% = -15%

Summe Zu –/Abschläge 1 bis 4

Produktivität = Produktivität $\times (1 + (\text{Summe Zu –/Abschläge in \%}/100))$

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_{mittel}	0	$\left[\frac{m^3 \text{ o. R.}}{PSH_{15}}\right]$
d_{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_{gross}	-24.9268	$\left[\frac{m^3 \text{ o. R.}}{PSH_{15}}\right]$
d_{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 dienen. 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 $BHD_{\text{mit}} < 12$ 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.

Die Berechnung des unterstützenden Arbeitszeitaufwandes (ISH) beim Einsatz einer Traktionshilfswinde inkludiert die folgenden Schritte:

1. In- und der Deinstallation der THW am Arbeitsplatz (THW_Installation),
2. Überstellen vom einen zum nächsten Arbeitsort/Gasseneingang (Rückegassenwechsel) (THW_Winch),
3. An- und Abhängen des Seils am Forwarder vor der Einfahrt auf die Rückegasse bzw. Strasse (THW_attach).

Der Zeitaufwand für das Verschieben der THW sowie für das An- bzw. Abhängen am Harvester unterscheidet sich dabei je nach Erschliessungssituation stark. Es können grundsätzlich drei Szenarien unterschieden werden:

- (1) *Geringer Aufwand:* Es gibt an der oberen Bestandesgrenze einen mit Maschinen befahrbaren Weg.

Eine durch Maschinen befahrbare Strasse an der oberen Bestandesgrenze erleichtert den THW-Einsatz bedeutend. So kann auch ein Gassenwechsel üblicherweise innert weniger Minuten vollzogen werden.

- (2) *Mittlerer Aufwand:* Es gibt an der oberen Bestandesgrenze eine Strasse, die jedoch nicht mit der Maschine befahren werden (bspw. Mit Traktionsbändern auf Teerstrasse).

In diesem Fall muss das Seil der Traktionswinde jeweils von Hand durch den Bestand gezogen werden, um den Gassenwechsel von unten zu vollziehen. Dies ist, besonders bei langen Rückegassen, mit einem erheblichen Zusatzaufwand verbunden und z.T. nicht ohne weiteres Bodenpersonal möglich.

- (3) *Grosser Aufwand:* Es gibt keinen befahrbaren Zugang (Strasse oder Maschinenweg) an der oberen Bestandesgrenze.

In diesem Fall ist der Einsatz einer externen (mobilen) THW nicht (oder nur mit Umlenkung) möglich. Das Seil muss bei jedem Gassenwechsel durch den Bestand hochgezogen und an einem geeigneten Ankerbaum befestigt werden.

Aufgrund der verfügbaren Datengrundlage beschränken wir uns in diesem Prozess und dem daraus hergeleiteten Modell auf das erste Szenario [geringer Aufwand] mit aktiver (externer) THW. Die im Modell berechneten Auswandszeiten beziehen sich demnach immer auf eine Erschliessungssituation, die über einen mit Maschinen befahrbaren Weg an der oberen Bestandesgrenze verfügt.

Tabelle 5 zeigt die in den Arbeitszeitstudien erhobenen Aufwandszeiten zu den einzelnen Prozessen. Es handelt sich dabei um Durchschnittszeiten von Harvester und Forwarder mit THW je Prozess.

Tabelle 5: Durchschnittlicher Aufwand (in Sekunden) je THW-Prozess.

Prozess	Anzahl erhobene Zyklen	Durchschnittsaufwandszeit	
		Sekunden	Uhrzeit
$THW_{Winch_Installation}$	59	1382	00:23:02
THW_{Winch_RGW}			
THW_{attach_detach}	206	73	00:01:13

Die Installation der THW bei der ersten und die Deinstallation bei der letzten Rückegasse wurden während der Datenerfassung mittels Zeitstudie nicht vom Prozess des Rückegassenwechsels der THW unterschieden. Gemäss den Erfahrungen kann angenommen werden, dass sich der Aufwand für die De- und Installation mit dem für einen Rückegassenwechsel deckt. Daher wurden im Modell für beide Prozesse derselbe Zeitaufwand verwendet. Die Aufwandszeiten sind abhängig von der Anzahl an Rückegassen (n), bei denen eine Traktionshilfswinde verwendet wird. Die Formel für den Zeitaufwand lautet somit:

$$ISH_{THW} = 2 \times THW_{Winch_Installation} + (n - 1) \times THW_{Winch_RGW} + n \times THW_{attach}$$

$THW_{Winch_Installation}$: De – und Installation der THW im Bestand

THW_{Winch_RGW} : Verschieben der THW von der einen Rückegasse zur anderen

THW_{attach} : An – und Abhängen der THW beim Forwarder *

* Die Auswertung von durchgeführten Arbeitszeitstudien hat durchschnittlich ein An- und Abhängeprozess des THW-Seils am Harvester pro Rückegasse ergeben. Der Abhängeprozess dabei in den Überführungsprozess (THW_{Winch_RGW}) inkludiert.

Tabelle 6 liefert eine Übersicht über die Anfangs- und Endzeitpunkte der einzelnen Prozesse.

Tabelle 6: Definition der einzelnen Prozesse.

Prozess	Anfangszeitpunkt	Endzeitpunkt
$THW_{Winch_Installation}$	Die THW verlässt den Ausgangspunkt/Lagerplatz im Bestand.	Die THW ist bei der ersten Rückegasse fertig installiert.
THW_{Winch_RGW}	MaschinenführerIn steigt aus dem Harvester aus. <i>Zu den Arbeiten gehören Abhängen des Seils am Harvester, Verschieben der THW zur nächsten Rückegasse.</i>	MaschinenführerIn steigt in den Harvester ein, um mit diesem ebenfalls den Rückegassenwechsel vorzunehmen. <i>Das Überstellen des Harvesters sowie das darauffolgende Anhängen zählen nicht mehr zum Rückegassenwechsel der THW.</i>
THW_{attach_detach}	MaschinenführerIn steigt aus dem Harvester aus, um das Seil der THW an der Maschine abzuhängen.	MaschinenführerIn steigt in den Harvester ein.

3.2 Zeitsystem und Umrechnungen im Produktivitätsmodell “Radharvester”

3.2.1 Zeitsystem

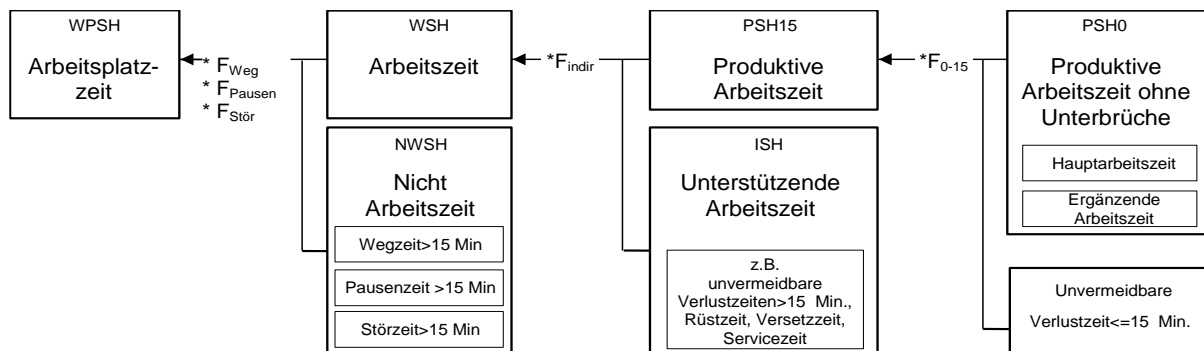


Abbildung 3: Verwendetes Zeitsystem (Björheden und Thompson 1995, Heinimann 1997; verändert).

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 7: 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

PMH₁₅ = MAS

3.2.2 Berechnung der System- und Faktorzeiten

System:

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

$$WSH = (PMH_{15} + ISH_{THW}) \times F_{indir}$$

$$WPSH = (PSH_{15} + ISH_{THW}) \times F_{indir} \times F_{Weg} \times F_{Pausen} \times F_{Stör}$$

Personal:

$$PPH_{15} = PSH_{15}$$

$$WPH = (PMH_{15} + ISH_{THW}) \times F_{indir}$$

$$WPPH = (PMH_{15} + ISH_{THW}) \times F_{indir} \times F_{Weg} \times F_{Pausen} \times F_{Stör}$$

Maschinen:

$$PMH_{15}$$

$$WMH = (PMH_{15} + ISH_{THW}) \times F_{indir}$$

$$WPMH = (PMH_{15} + ISH_{THW}) \times F_{indir} \times F_{Stör}$$

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 m³ o.R.

Tabelle 8: Formeln zur Berechnung des Zeitbedarfs der Produktionsfaktoren pro m³ o.R.

Input		Formel	Output
Produktivität	$\left[\frac{m^3 \text{ o.R.}}{PSH_{15}} \right]$	$PMH_{15} = PSH_{15}$ $WPPH = \left(\frac{1}{\text{Produktivität} + ISH_{THW}} \right) \times F_{indir} \times F_{Weg} \times F_{Pausen} \times F_{Stör}$ $PMH_{15} = \frac{1}{\text{Produktivität}}$ $ISH_{THW} = 2 \times THW_{Winch_Installation} + (n - 1) \times THW_{Winch_RGW} + n \times THW_{attach}$	$PMH_{15} \left[\frac{Std}{m^3 \text{ o.R.}} \right]$ $WPPH \left[\frac{Std}{m^3 \text{ o.R.}} \right]$
F_{indir}	$[-]$	$F_{indir} = \text{frei wählbar; im Modell 1.1}$	
F_{Weg}	$[-]$	$F_{Weg} \times F_{Pausen} = \text{frei wählbar;}$	
F_{Pausen}	$[-]$	im Modell $\frac{540 \text{ Min}}{(540-60) \text{ Min}} = 1.125$ als Default verwendet	
$F_{Stör}$	$[-]$	$F_{Stör} = \text{frei wählbar; im Modell 1.00}$	

4.2 Kosten der Produktionsfaktoren pro m³ o.R.

Kosten Harvester

$$= (WPPH \times \text{Personalkostenansatz}) + (PMH_{15} \text{ Radharvester} \times \text{Harvesterkostenansatz}) + (ISH_{THW} \times \text{Traktionshilfswindenkostensatz})$$

$$PMH_{15} = MAS$$

Legende

Kosten Harvester: Gesamtkosten pro m³ o.R. für den Einsatz eines Harvesters

Kosten THW: Gesamtkosten pro m³ o.R. für den Einsatz eines Hilfswinde

WPPH: Arbeitsplatzzeit des Personals

Personalkostenansatz: Personaleinzel – und Personalgemeinkosten pro Stunde

PMH₁₅: Produktive Harvesterarbeitszeit inkl. Unterbrechungen < 15 Min

ISH_{THW}: Zeitaufwand für unterstützende Arbeit der THW

Maschinenkostenansatz: Harvesterkosten und Hilfswindenkosten pro Maschinenstunde

5 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 ≥ 1	[-] [-]
Harvestertyp	Einteilung in „mittel“ und „gross“ siehe Tabelle 4	„gross“	„mittel“, „gross“	[-]
K _{BA}	Umrechnungsfaktor für das Umrechnen von m ³ in Rinde in m ³ ohne Rinde der entsprechenden Baumartengruppe		0 < K _{BA} < 1	[-]
m ³ i.R.	Kubikmeter in Rinde, entspricht dem Festmeter d.h. der anhand eines Tarifes geschätzten Menge Holz			
m ³ o.R.	Kubikmeter ohne Rinde			
MAS	Maschinen-Arbeits-Stunde gleich PMH ₁₅			
PMH ₁₅ _Radharvester	Produktive Maschinenarbeitszeit (MAS) inkl. unvermeidbare Verlustzeiten < 15 Min. des Radharvesters pro m ³ o.R.		≥ 0	$\left[\frac{\text{Std.}}{\text{m}^3 \text{ o.R.}} \right]$
ISH _{THW}	Unterstützende Arbeitszeit der Traktionshilfswinde		≥ 0	Std.
Produktivität	Aufgearbeitetes Holzvolumen in m ³ o.R. pro Stunde (Arbeitsplatzzeit)			$\left[\frac{\text{m}^3 \text{ o.R.}}{\text{PMH}_{15}} \right]$
PSH ₁₅ _Rundholz	Produktive Systemzeit inkl. unvermeidbare Verlustzeiten < 15 Min. pro m ³ o.R.		≥ 0	$\left[\frac{\text{Std.}}{\text{m}^3 \text{ o.R.}} \right]$
WPPH	Arbeitsplatzzeit des Personals pro m ³ o.R.		≥ 0	$\left[\frac{\text{Std.}}{\text{m}^3 \text{ o.R.}} \right]$

6 Ergebnisse

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

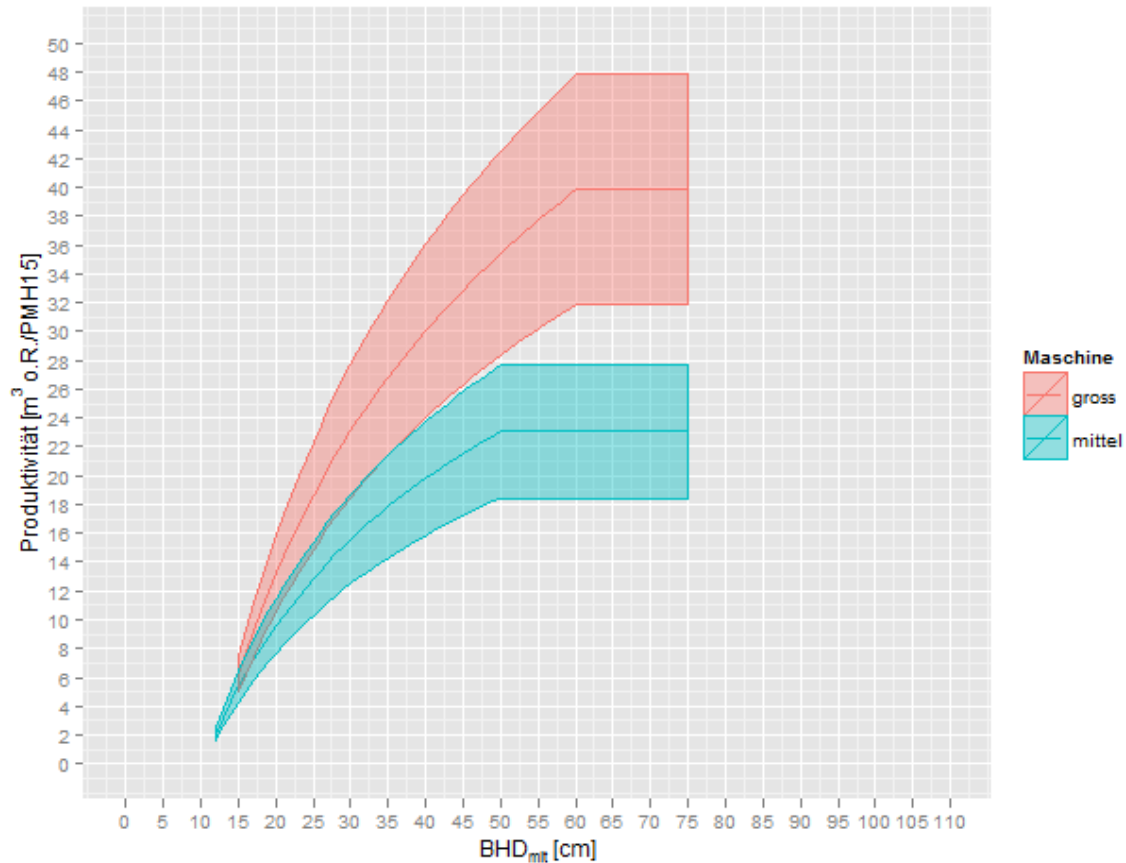


Abbildung 4: Abhängigkeit der Produktivität vom BHD_{mit} für Radharvester „mittel“ und „gross“. Der Zusammenhang gilt für $BHD_{mit} < max$. Fälldurchmesser des Harvesterkopfes (maximale Baumdurchmesser, die vom Radharvester noch bearbeitet werden können). Der Bereich um die Linien grenzt den Bereich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

Das Modell wurde mit Radharvesterdaten eines Betriebes verglichen, welche nicht zur Modellerstellung verwendet wurden (Abb. 5). Abbildung 5 zeigt, dass für den mittleren Radharvester die Testdaten gut mit dem Modell übereinstimmen (siehe auch Abbildung 7).

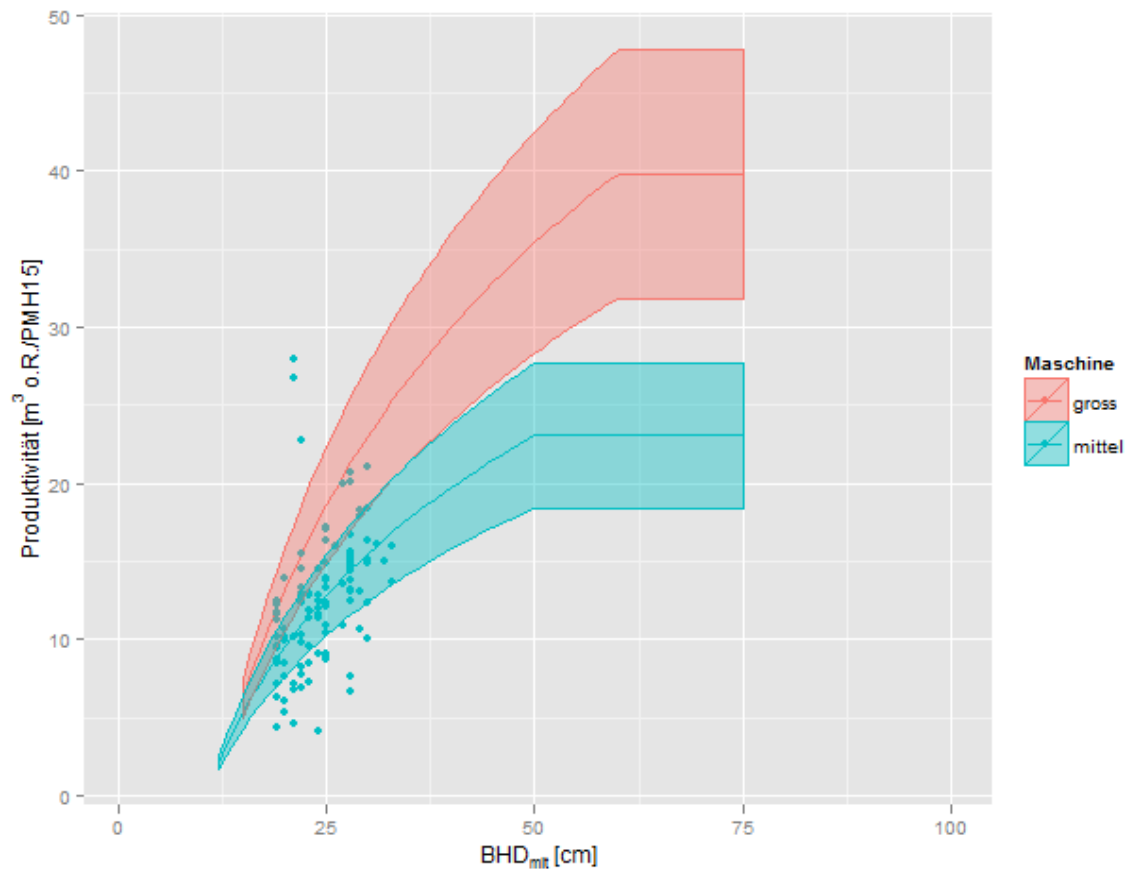


Abbildung 5: Gemessene Produktivitäten für den mittleren Radharvester eines Betriebes aus Deutschland (Punkte) im Vergleich zum Modell (Linie). Die Produktivitäten deren BHD_{mit} kleiner als 18 cm waren, wurden aus den Tests ausgeschlossen.

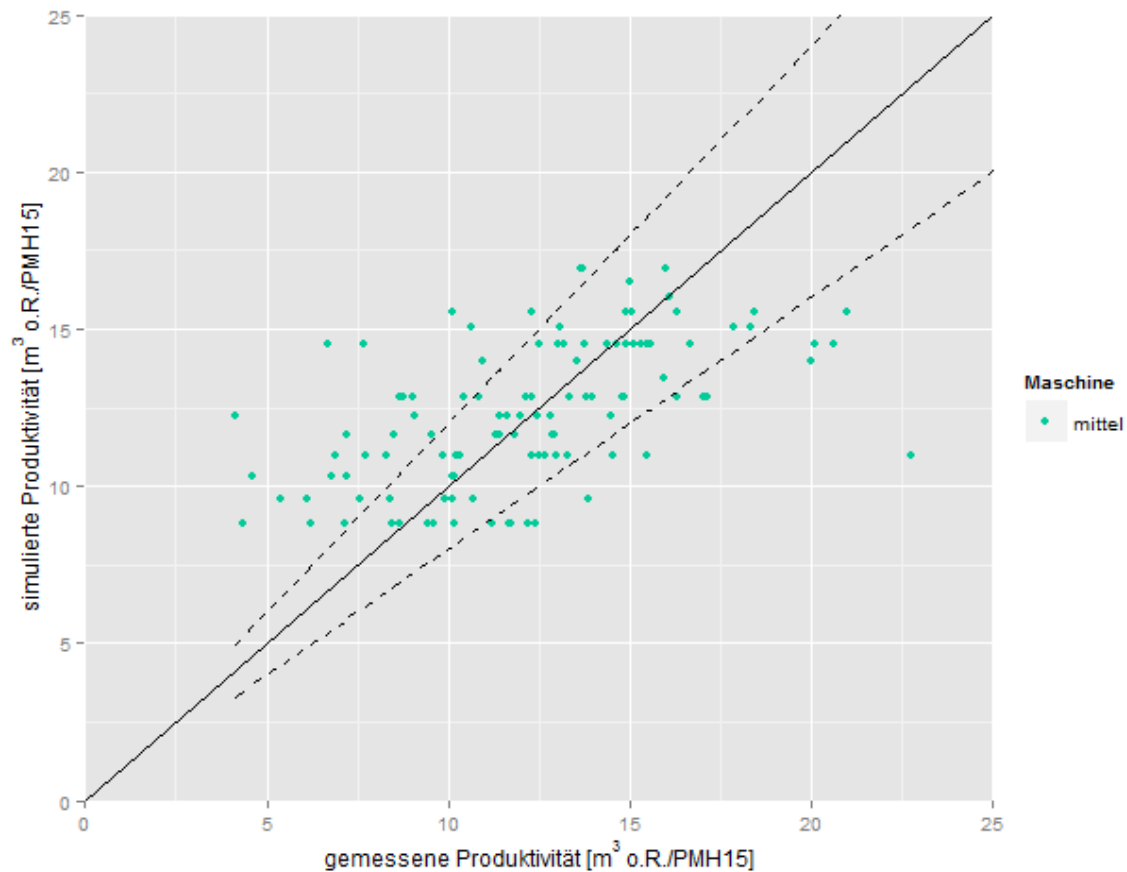


Abbildung 6: Vergleich der gemessenen Produktivitäten und den durch das Modell berechneten. Die x-Achse gibt die tatsächlichen, gemessenen Produktivitäten wieder, die y-Achse die dazu gehörenden berechneten Werte. Liegen die Punkte exakt auf der winkelhalbierenden Diagonalen, stimmen die berechneten 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.

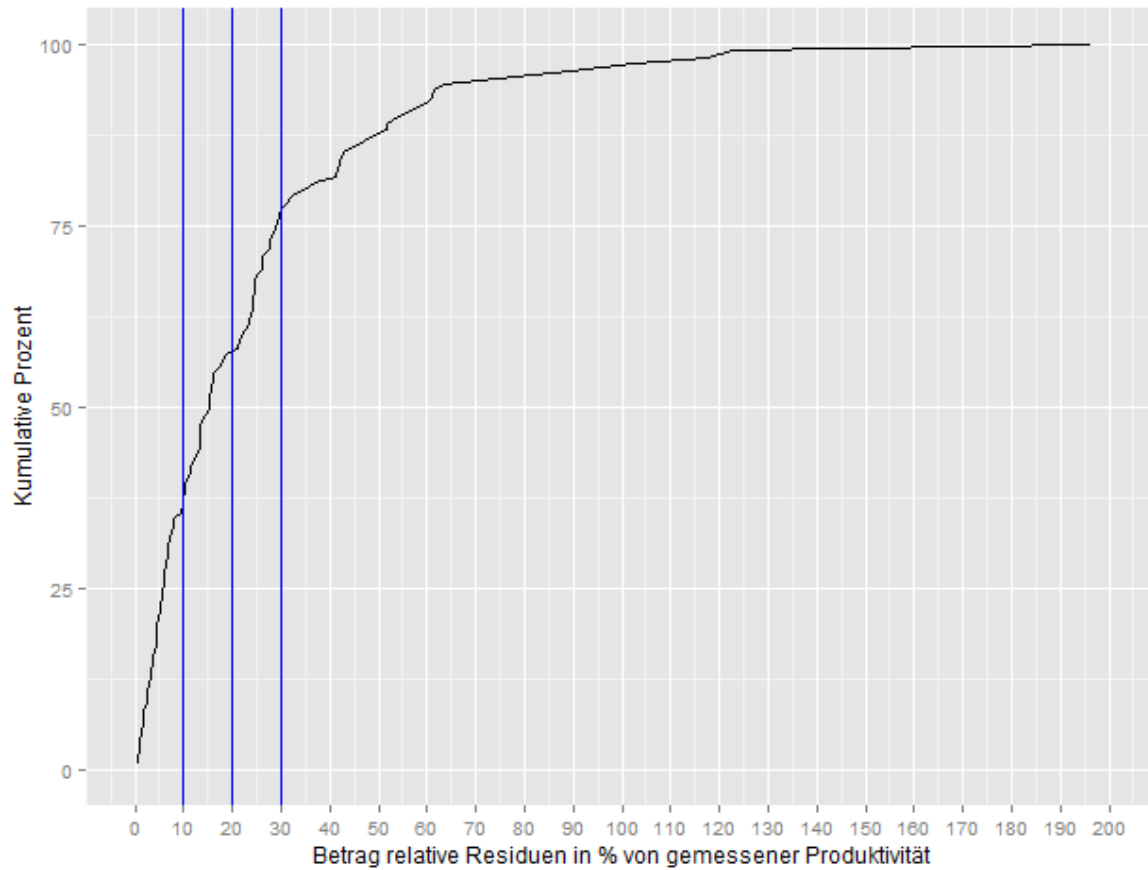


Abbildung 7: Kumulative Residuen für die Testdaten. Die vertikalen blauen Linien grenzen den Bereich von bis zu 10/20/30% Abweichung ein. Bei > 35% der Modellierdaten ist der Schätzfehler $\leq 10\%$, bei ca. 60% der Daten $\leq 20\%$ und bei ca. 75% $\leq 30\%$.

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