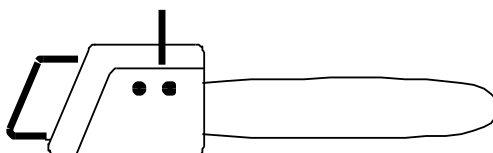


# Produktivitätsmodell „Motormanuelle Holzhauerei 2014“

## Teil A: Grundlagen

Renato Lemm  
Fritz Frutig  
Dario Pedolin  
Oliver Thees (Leitung)



FE Waldressourcen und Waldmanagement  
Gruppe „Forstliche Produktionssysteme“  
Eidg. Forschungsanstalt WSL  
17. Dezember 2014

Das Produktivitätsmodell „Motormanuelle Holzhauerei 2014“ 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 „Motormanuelle Holzhauerei 2014“ 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	17.12.2014	

# Inhaltsübersicht

<b>Grundlagen .....</b>	<b>4</b>
1.1 Entstehung und Verwendung .....	4
1.2 Beurteilung und besondere Schwierigkeiten .....	4
<b>2 Produktionssystem - Beschreibung.....</b>	<b>4</b>
2.1 Produktionsfaktoren .....	4
2.2 Produktionsprozess .....	4
2.3 Arbeitsablauf.....	5
2.4 Input/Output - Zustand .....	5
2.4.1 Input.....	5
2.4.2 Output.....	5
2.5 Arbeitsbedingungen .....	5
2.5.1 Technik und Personal.....	5
2.5.2 Gelände und Erschliessung .....	5
2.5.3 Bestand .....	5
2.6 Berechneter Output .....	6
<b>3 Produktionssystem – mathematische Darstellung .....</b>	<b>6</b>
3.1 Systemübersicht.....	6
3.2 Einflussgrößen.....	6
3.3 Zeitsystem und Umrechnungen im Produktivitätsmodell “Motormanuelle Holzhauerei 2014” .....	8
3.3.1 Zeitsystem .....	8
3.3.2 Berechnung der System- und Faktorzeiten .....	9
<b>4 Berechnung von Zeitbedarf und Kosten .....</b>	<b>9</b>
4.1 Zeitbedarf der Produktionsfaktoren pro m <sup>3</sup> o.R.....	9
4.2 Kosten der Produktionsfaktoren pro m <sup>3</sup> o.R.....	10
<b>5 Abkürzungen und Definitionen.....</b>	<b>10</b>
<b>6 Ergebnisse.....</b>	<b>11</b>
6.1 Modellergebnisse“Motormanuelle Holzhauerei 2014“ für Baumartengruppen ..	11
6.2 Vergleich mit bestehendem HeProMo.....	14
6.3 Vergleich der Modellprognosen mit dem Hochgebirgstarif HGT .....	15
6.4 Vergleich mit gemessenen Produktivitäten bei Einzelbäumen .....	15
<b>7 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>16</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 die aufzuarbeitende Holzmenge auf „ohne Rinde“ umgerechnet werden.

Für die Umrechnung von Holzmenge und Volumenmittelstamm gilt:

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

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 <sup>1</sup>

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: Fi/Ta 0.88; Fö 0.87; Laubholz 0.90 (gewichtet nach LFI)

# Grundlagen

## 1.1 Entstehung und Verwendung

Das bisherige Komponentenmodell für die „Motormanuelle Holzhauerei“ stützt sich auf Pfeiffer et al. (1978). Aus dem baumbezogenen Akkordtarif des deutschen Holzerntetarifes (HET) von 1971 wurden sortimentsbezogene Richtwerte für die Schweiz hergeleitet. Diese wurden mit umfangreichen, schlagweise durchgeführten Zeitstudien aus der Schweiz überprüft, angepasst und ergänzt. Die Richtwerttabellen eignen sich für die Vorkalkulation spezifischer Holzschläge. Sie liefern nach Baumartengruppen gegliederte Grundzeiten für die motormanuelle Aufarbeitung bestimmter Holzsortimente. Diese Grundzeiten werden mit Multiplikationsfaktoren für die Merkmale des Geländes, der Bäume und der Holzsorten sowie mit absoluten Zeitzuschlägen für bestimmte Arbeiten den spezifischen Verhältnissen angepasst.

Die Grundlagendaten, auf denen die Richtwerttabellen basieren, sind inzwischen schon über 40 Jahre alt. Eine Überarbeitung war deshalb zwingend.

Das vorliegende Modell liefert Produktivitätsangaben für die "motormanuelle Holzhauerei 2014". Das Modell basiert auf Analysen der Leistungsabrechnungen von 21'879 Holzschlägen mit rund 8 Mio. m<sup>3</sup> aufgearbeitetem Holz aus Forsttechnischen Stützpunkten aus Deutschland. Die Daten stammen aus 3 verschiedenen Höhenstufen und umfassen unterschiedliche Laubholzanteile. Die Anwendbarkeit der Modelle für Schweizer Verhältnisse wurde bisher erst mit einigen Daten von Einzelbäumen aus Schweizer Forstbetrieben überprüft (siehe Kap. 6). Als Haupteingangsgrößen für das neue Modell dienen der mittlere Brusthöhendurchmesser BHD<sub>MIT</sub>, die Region sowie der Volumenanteil Laubholz. Für die Region werden zwei Höhenstufen unterschieden (Flach- und Mittel-land; Gebirge).

Bei den berechneten Zeitaufwänden bzw. Produktivitäten handelt es sich um Arbeitsplatzzeiten (PSH=Productive System Hours gemäss Zeitsystem Kap. 3.3).

## 1.2 Beurteilung und besondere Schwierigkeiten

- Während die grosse Anzahl einzelner Schläge aus unterschiedlichen Regionen eine gute Basis für die Modellierung bietet, setzen die fehlenden Informationen zu den topografischen und meteorologischen Erschwernissen der Genauigkeit der geschätzten Produktivitäten im einzelnen Holzschlag Grenzen.
- Die Datengrundlage, welche zu Entlohnungszwecken erstellt wurde, enthält den Mittendurchmesser des liegenden Stammes. Ein Modell zur Produktivitätsschätzung muss jedoch mit bekannten Eingangsgrößen arbeiten, wie hier dem mittleren BHD des entnommenen Holzes. Um aus dem Mittendurchmesser den BHD zu errechnen, wurde eine Umrechnungsformel von Krüke und Möhring (2003) verwendet.
- Die Regionen sind sehr grob aufgeteilt und umfassen jeweils eine Vielzahl von individuellen Standorten, die sich innerhalb einer Region stark unterscheiden können.

## 2 Produktionssystem - Beschreibung

### 2.1 Produktionsfaktoren

Das betrachtete System umfasst einen Motorsägenführer mit Motorsäge.

Gearbeitet wurde vermutlich mehrheitlich in 2-oder 3-Mann Gruppen (Arbeitssicherheit).

### 2.2 Produktionsprozess

Die Bäume werden gefällt, entastet und in der Regel im Bestand in Sortimente aufgeteilt und vermessen. Vermutlich wurden mehrheitlich Doppellängen (8-10 m) für das Rücken mit Schlepper ausgehalten, hierzu sind keine näheren Angaben bekannt.

Der Prozess umfasst folgende Arbeiten:

- Wegzeiten zwischen den zu fällenden Bäumen
- Fällern
- Abzopfen (Abschneiden der Krone)
- Entasten (Abschneiden der Äste)
- Einschneiden in Sortimentstücke im Bestand oder am Lagerplatz
- Vermessen und Anschreiben

## 2.3 Arbeitsablauf

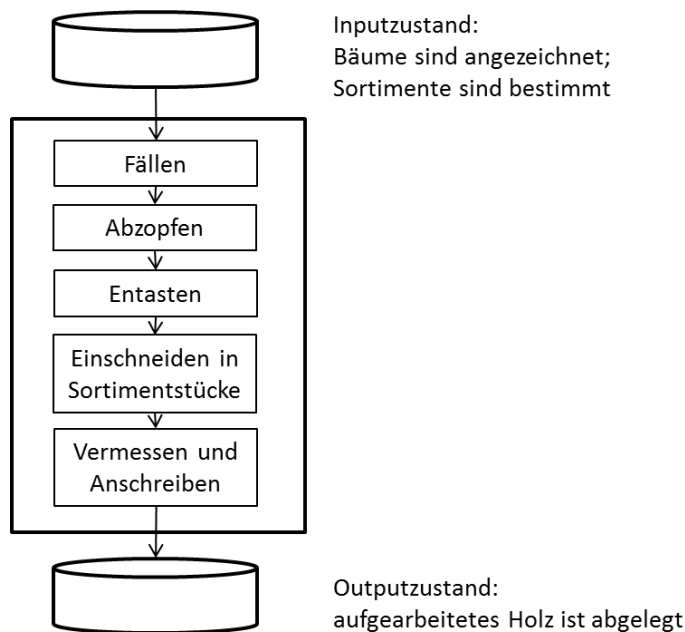


Abbildung 1: Prozess motormanuelle Holzernte - Schnittstellen und Teilprozesse.

## 2.4 Input/Output - Zustand

### 2.4.1 Input

- Die zu fällenden Bäume sind markiert (evtl. ist ein Anzeichnungsprotokoll vorhanden). Die Sortimente sind nach Abmessungen und Qualitäten festgelegt.

### 2.4.2 Output

- Das aufgearbeitete Holz ist abgelegt.

## 2.5 Arbeitsbedingungen

### 2.5.1 Technik und Personal

Es wird mit der Motorsägenarbeit vertrautes Personal eingesetzt.

### 2.5.2 Gelände und Erschliessung

- keine Einschränkungen, Gelände begehbar
- Behinderungen durch Gelände und Bewuchs möglich

### 2.5.3 Bestand

- keine besonderen Erfordernisse an den Waldbestand bzw. an waldbauliche Massnahmen

## 2.6 Berechneter Output

- Produktivität in  $\text{m}^3 \text{o.R./WPSH}$  (Systemstunde=Arbeitsplatzzeit)

## 3 Produktionssystem – mathematische Darstellung

### 3.1 Systemübersicht

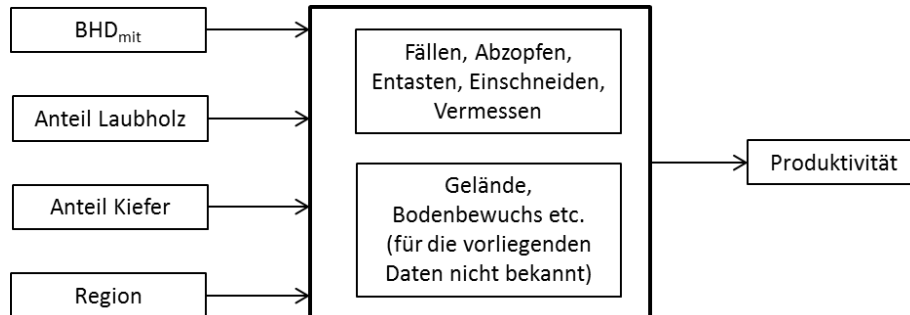


Abbildung 2: Übersicht zum Produktionssystem "Motormanuelle Holzhauerei 2014" (mittlerer BHD des Holzschlages in cm, Anteil Laubholz (0..1), Anteil Kiefer (0..1), Region (Gebirge, Flach-/Hügelland). Produktivität in ( $\text{m}^3 \text{o.R./WPSH}$ ).

### 3.2 Einflussgrößen

- BHD<sub>mit</sub>: Stammdurchmesser auf Brusthöhe. Der BHD<sub>mit</sub> beeinflusst die Produktivität über den Zusammenhang zwischen BHD<sub>mit</sub> und Mittelstammvolumen. Da die Tarife nicht bekannt sind, muss dieser Zusammenhang für verschiedene Baumarten bzw. Höhenstufen korrigiert werden.
- Anteil Laubholz: Der Anteil Laubholz korrigiert die aus dem BHD<sub>mit</sub> berechnete Produktivität.
- Anteil Kiefer: Der Anteil Kiefer korrigiert die aus dem BHD<sub>mit</sub> berechnete Produktivität.
- Region: Die Region korrigiert den Einfluss der Höhenstufe (mit zunehmender Höhe nimmt das Mittelstammvolumen bei gleichbleibendem BHD<sub>mit</sub> ab) und die Erschwernisse wegen zunehmender Hangneigung mit der Höhenstufe zu. Produktivität in  $\text{m}^3 \text{o.R. pro Stunde Arbeitsplatzzeit}$ .

Die Formel für das 'Produktivitätsmodell motormanuelle Holzhauerei 2014' lautet:

Falls  $BHD_{mit} > 100 \text{ cm}$  erfolgt keine Berechnung

Falls  $BHD_{mit} > 12 \text{ cm}$  und  $< 35 \text{ cm}$  (Kurve wird zw. 35 u. 12 cm linear durch Nullpunkt gelegt)

$$\text{Produktivität} = \text{Anz\_Pers} \times \left( \frac{BHD_{mit}}{35} \right) \times (a + b_{Region} + c \times \ln(35) + d \times \text{Laubholzanteil} + e \times \text{Kieferanteil} + f_{Region} \times \ln(35) + g \times \ln(35) \times \text{Laubholzanteil} + h \times \ln(35) \times \text{Kieferanteil})$$

Falls Hügelland und  $BHD_{mit} > 90 \text{ cm}$  (konstante Produktivität bei 90 cm)

$$\text{Produktivität} = \text{Anz\_Pers} \times (a + b_{Hügelland} + c \times \ln(90) + d \times \text{Laubholzanteil} + e \times \text{Kieferanteil} + f_{Hügelland} \times \ln(90) + g \times \ln(90) \times \text{Laubholzanteil} + h \times \ln(90) \times \text{Kieferanteil})$$

Falls Gebirge und  $BHD_{mit} > 75 \text{ cm}$  (konstante Produktivität bei 75 cm)

$$\text{Produktivität} = \text{Anz\_Pers} \times (a + b_{Gebirge} + c \times \ln(75) + d \times \text{Laubholzanteil} + e \times \text{Kieferanteil} + f_{Gebirge} \times \ln(75) + g \times \ln(75) \times \text{Laubholzanteil} + h \times \ln(75) \times \text{Kieferanteil})$$

Falls  $BHD_{mit} \leq 12 \text{ cm}$

Für Holzhauerei mit  $BHD_{mit} < 12 \text{ cm}$  erfolgt keine Berechnung, Pflegeeingriff

sonst

$$\text{Produktivität} = \text{Anz\_Pers} \times (a + b_{Region} + c \times \ln(BHD_{mit}) + d \times \text{Laubholzanteil} + e \times \text{Kieferanteil} + f_{Region} \times \ln(BHD_{mit}) + g \times \ln(BHD_{mit}) \times \text{Laubholzanteil} + h \times \ln(BHD_{mit}) \times \text{Kieferanteil})$$

$$\text{Einheit der Produktivität: } \left[ \frac{m^3 \text{ o.R.}}{WPSH} \right]$$

Laubholzanteil + Kieferanteil immer  $\leq 1.0$

Tabelle 1: Koeffizienten für das Produktivitätsmodell 'Motormanuelle Holzhauerei 2014'.

Koeffizienten	Zugehörige Variable	Wert	Einheiten
$a$	Konstante	-8.8441	$\left[ \frac{m^3 \text{ o.R.}}{WPSH} \right]$
$c$	$BHD_{mit}$ des Holzschlages	2.7332	$\left[ \frac{m^3 \text{ o.R.}}{WPSH \times \ln(BHD_{mit})} \right]$
$d$	Anteil Laubholz	2.5214	$\left[ \frac{m^3 \text{ o.R.}}{WPSH} \right]$
$e$	Anteil Kiefer	-1.3273	$\left[ \frac{m^3 \text{ o.R.}}{WPSH} \right]$
<b>Falls Region Gebirge</b>			
$b_{Gebirge}$	Gebirge	0	$\left[ \frac{m^3 \text{ o.R.}}{WPSH} \right]$
$f_{Gebirge}$	Gebirge	0	$\left[ \frac{m^3 \text{ o.R.}}{WPSH \times \ln(BHD_{mit})} \right]$
<b>Falls Region Flach- und Hügelland</b>			
$b_{Hügelland}$	Flach- und Hügelland	1.5564	$\left[ \frac{m^3 \text{ o.R.}}{WPSH} \right]$
$f_{Hügelland}$	$BHD_{mit}$ und Flach- und Hügelland	-0.1601	$\left[ \frac{m^3 \text{ o.R.}}{WPSH \times \ln(BHD_{mit})} \right]$
$g$	$BHD_{mit}$ und Anteil Laubholz	-0.3171	$\left[ \frac{m^3 \text{ o.R.}}{WPSH \times \ln(BHD_{mit})} \right]$
$h$	$BHD_{mit}$ und Anteil Kiefer	0.4712	$\left[ \frac{m^3 \text{ o.R.}}{WPSH \times \ln(BHD_{mit})} \right]$

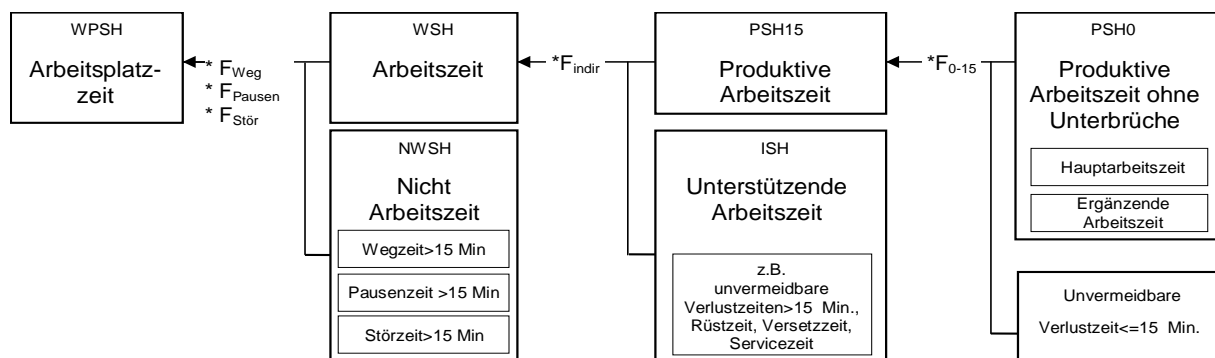
*Tabelle 2: Variablen für das Produktivitätsmodell 'Motormanuelle Holzhauerei 2014'. Die minimalen (Min) und maximalen (Max) Werte geben die unteren und oberen Grenzen der Variablen an. Insbesondere die obere Grenze für die Variable  $BHD_{mit}$  wird durch die vorhandenen Daten eingeschränkt.*

Variable	Einheiten	Min	Max
Mittlerer BHD ( $BHD_{mit}$ ) des Holzschlages	[cm.]	12	100
Anteil Laubholz	[-.]	0	1
Anteil Kiefer	[-.]	0	1
Region	[-.]	Hügelland	Gebirge

Für  $BHD_{mit}$  zwischen 35 und 12 cm wird die Produktivitätskurve durch eine Gerade, welche durch den Nullpunkt verläuft, ersetzt. Für  $BHD_{mit} > 90$  cm im Flach- und Hügelland sowie  $BHD_{mit} > 75$  cm im Gebirge wird die maximale Produktivität auf den Werten für  $BHD_{mit}=90$  cm resp. 75 cm konstant gehalten. Diese Obergrenzen der Produktivität entsprechen Erfahrungswerten. Für  $BHD_{mit} > 100$  cm und  $< 12$  cm werden keine Produktivitäten berechnet.

### 3.3 Zeitsystem und Umrechnungen im Produktivitätsmodell "Motormanuelle Holzhauerei 2014"

#### 3.3.1 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 3).

*Tabelle 3: 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 <sub>15</sub> =MAS
Personal (...personal hour)	WPPH	NWPH	WPH	IPH	PPH



### 3.3.2 Berechnung der System- und Faktorzeiten pro m<sup>3</sup> o.R.

System:

$$WPSH = 1 / \text{Produktivität}$$

Personal:

$$WPPH = \text{Anz\_Pers} \times WPSH = \text{Anz\_Pers} \times 1 / \text{Produktivität}$$

Maschinen:

$$PMH_{15} = \frac{\text{Anz\_Pers} \times WPSH}{F_{indir} \times F_{Weg} \times F_{Pausen} \times F_{Stör}}$$

In  $F_{indir}$  sind die unvermeidbaren Verluszeiten > 15 Min, wie Rüstzeit, Versetzzeit, Servicezeit enthalten.

$F_{indir}$  = frei wählbar; im Modell 1.4

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

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

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

## 4 Berechnung von Zeitbedarf und Kosten

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

Tabelle 4: Formeln zur Berechnung des Zeitbedarfs der Produktionsfaktoren pro m<sup>3</sup>.

Input		Formel	Output	
Produktivität	$\left[ \frac{m^3 \text{ o. R.}}{WPSH} \right]$	$WPSH = 1 / \text{Produktivität}$  $PMH_{15} = \frac{\text{Anz\_Pers} \times 1 / \text{Produktivität}}{(F_{indir} \times F_{Weg} \times F_{Pausen} \times F_{Stör})}$	WPSH	$\left[ \frac{Std}{m^3 \text{ o. R.}} \right]$
			PMH <sub>15</sub>	$\left[ \frac{Std}{m^3 \text{ o. R.}} \right]$
<b>Faktoren:</b>				
$F_{indir}$	[-]	$F_{indir}$ = frei wählbar; im Modell 1.4		
$F_{Weg}$	[-]	$F_{Weg} \times F_{Pausen}$ = ist frei wählbar; im Modell $\frac{540 \text{ Min}}{(540-60) \text{ Min}} = 1.125$ als Default eingesetzt		
$F_{Pausen}$	[-]			
$F_{Stör}$	[-]	$F_{Stör}$ = frei wählbar; im Modell 1.00 als Default		

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

*Kosten Motormanuelle Holzhauerei*

$$= WPSH \times \left[ \sum_{i=1}^4 \text{Einsatzanteil Arbeiter } i / 100 \times \text{Kostenansatz Arbeiter } i \right] + PMH_{15} \\ \times \text{Motorsägenkostenansatz}$$

Legende:

*Kosten „Motormanuelle*

*Holzhauerei“ pro m<sup>3</sup> o.R. :*

*Gesamtkosten pro m<sup>3</sup> für die motormanuelle Holzhauerei 2014*

*WPPH:*

*Arbeitsplatzzeit des Personals*

*Einsatzanteil Arbeiter i:*

*Anteil von Arbeiter i in % des Zeiteinsatzes*

*Kostenansatz Arbeiter i:*

*Personaleinzel- und Personalgemeinkosten von Arbeiter i pro Stunde*

*PMH<sub>15</sub>:*

*Produktive Motorsägenarbeitszeit mit Unterbrechungen <15 Min*

*Motorsägenkostenansatz:*

*Motorsägenkosten pro Stunde (dieser Ansatz wird aus der üblichen Angabe der Kosten/Liter Motorsägenbenzin hergeleitet)*

## 5 Abkürzungen und Definitionen

*Tabelle 5: Abkürzungen und Definitionen für das Modell ‘Motormanuelle Holzhauerei 2014’.*

Abkürzung	Definition	Default	Def. Bereich	Einheit
Anteil Föhre	Anteil Föhre		0 bis 1	[-]
Anteil Laubholz	Anteil Laubbäume		0 bis 1	[-]
Anz_Pers	Anzahl Personen resp. Motorsägen, die bei der jeweiligen Aktivität (Fällen, Entasten,..etc.) zum Einsatz gelangen.		≥ 0	[-]
<i>BHD<sub>mit</sub></i>	Arithmetisches Mittel der Brusthöhendurchmesser der zu fällenden Bäume		≥ 0.0	[cm i.R.]
Faktoren <i>F<sub>indir</sub></i> <i>F<sub>Pause</sub></i> <i>F<sub>Weg</sub></i> <i>F<sub>Stör</sub></i>	Multiplikationsfaktoren für indirekte Arbeitszeiten Pausen >15 Min. Wegzeiten >15 Min. Im Modell $F_{Pause} * F_{Weg} = 1.125$ Störzeiten >15 Min.	1.40  1.125 1.00	≥1.0	[-]
<i>K<sub>BA</sub></i>	Umrechnungsfaktor für das Umrechnen von m <sup>3</sup> in Rinde in m <sup>3</sup> ohne Rinde der entsprechenden Baumartengruppe (Rindenfaktor)		<1.0	[-]
m <sup>3</sup> o.R.	Entspricht dem Festmeter ohne Rinde. Dieses Holzvolumen stehender Bäume wird aus dem BHD <sub>mit</sub> mittels eines Tarifes geschätzt.		≥ 0	[m <sup>3</sup> ]

$PMH_{15}$	Produktive Motorsägezeit mit Unterbrüchen < 15 Min pro $m^3$ o.R.			$\left[ \frac{h}{m^3 o.R.} \right]$
Produktivität	Aufgearbeitetes Holzvolumen in $m^3$ ohne Rinde pro Stunde (Arbeitsplatzzeit)			$\left[ \frac{m^3 o.R.}{WPSH} \right]$
Region	Beschreibt den Wuchsbezirk. Region ist zugleich ein Mass für die Hangneigung, Hindernisse und die Höhenlage (m.ü.M.).		Flach- und Hügelland Gebirge	
$WPPH$	Arbeitsplatzzeit des Personals beim Fällen, Entasten, etc.)		$\geq 0$	$\left[ \frac{h}{m^3 o.R.} \right]$
WPSH	Arbeitsplatzzeiten des Sytems beim Fällen, Entasten, etc.)		$\geq 0$	$\left[ \frac{h}{m^3 o.R.} \right]$

## 6 Ergebnisse

### 6.1 Modellergebnisse“Motormanuelle Holzhauerei 2014“ für Baumartengruppen

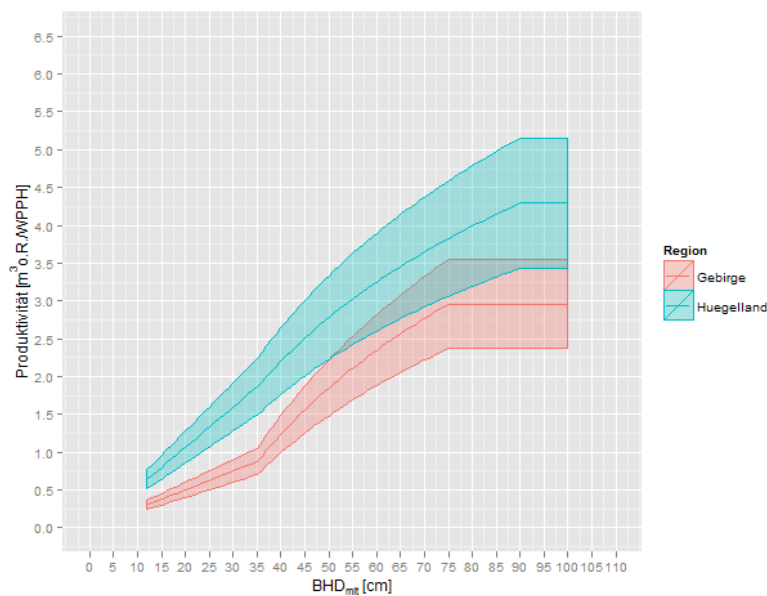


Abbildung 4: Ergebnisse Modell für Fichte/Tanne. Der Bereich um die Linie grenzt den Bereich  $\pm 20\%$  ein.

Abbildung 4 zeigt die Abhängigkeit der Produktivität vom  $BHD_{mit}$  für motormanuelle Holzhauerei 2014 in Fichte/Tanne (Laubholzanteil = 0, Kieferanteil = 0).

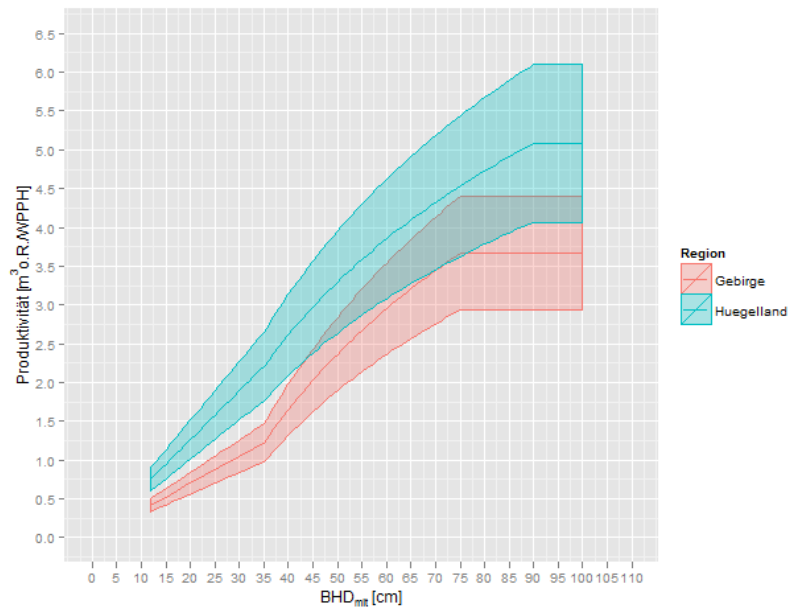


Abbildung 5: Ergebnisse Modell für Kiefer. Der Bereich um die Linie grenzt den Bereich  $\pm 20\%$  ein.

Abbildung 5 zeigt die Abhängigkeit der Produktivität vom  $BHD_{mit}$  für motormanuelle Holzhauerei 2014 in Kieferbeständen (Nadelholz-/Laubholzanteil = 0).

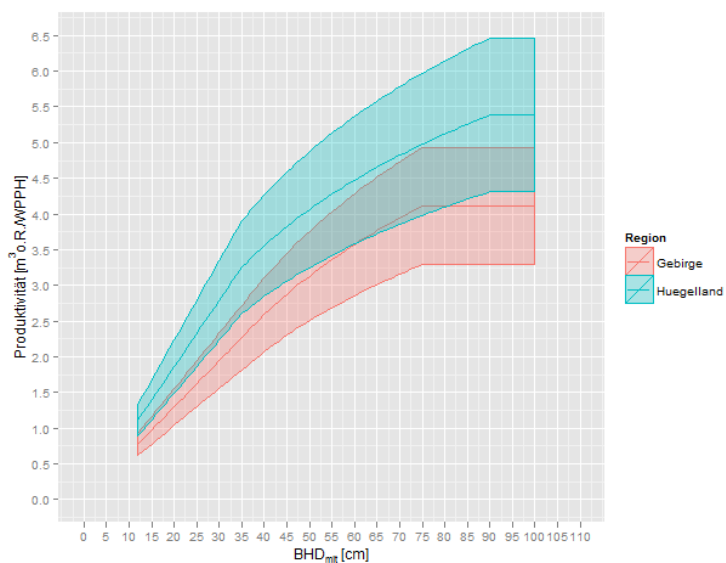
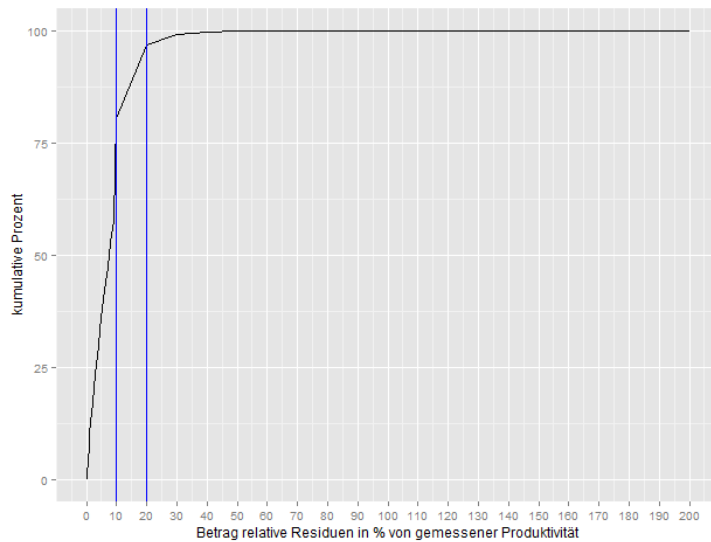


Abbildung 6: Ergebnisse Modell für Laubholz. Der Bereich um die Linie grenzt den Bereich  $\pm 20\%$  ein.

Abbildung 6 zeigt die Abhängigkeit der Produktivität vom  $BHD_{mit}$  für motormanuelle Holzhauerei 2014 in Laubholzbeständen (Fichten-, Tannen- und Kieferanteil = 0).



*Abbildung 7: Kumulative Verteilung der Beträge der relativen Residuen. Die vertikalen blauen Linien markieren 10 bzw. 20% Abweichung. Bei ca. 80% der Fälle ist der relative Schätzfehler kleiner gleich 10%.*

Bei ca. 95% der zur Modellbildung herangezogenen Daten hatte die berechnete Produktivität eine Abweichung von weniger als  $\pm 20\%$  zur gemessenen Produktivität (Abbildung 7).

## 6.2 Vergleich mit bestehendem HeProMo

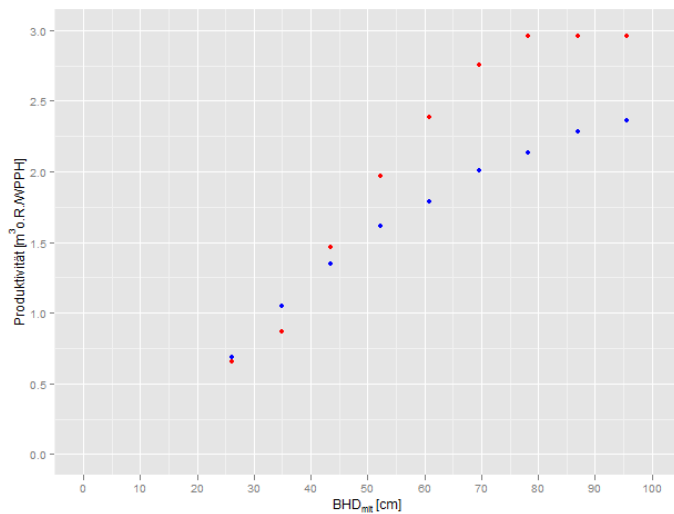


Abbildung 8: Vergleich der Schätzungen des Modells „Motormanuelle Holzernte 2014“ (nachfolgend mmNeu) mit dem alten HeProMo „Motormanuelle Holzernte“ (nachfolgend mmAlt) für die **Region Gebirge** (Grundlage: Pfeiffer et al., 1978). Die roten Punkte markieren Schätzungen des Modells mmNeu für Fichte im Gebirge (Anteil Laubholz = 0%, Anteil Kiefer = 0%), die blauen Punkte markieren Schätzungen des Modells mmAlt (Fichte, bis 50% Hangneigung, Hindernisse = mässig, 100% Stammholz, 4-6m Länge). Die Produktivitäten des mmAlt wurden auf WPSH umgerechnet.

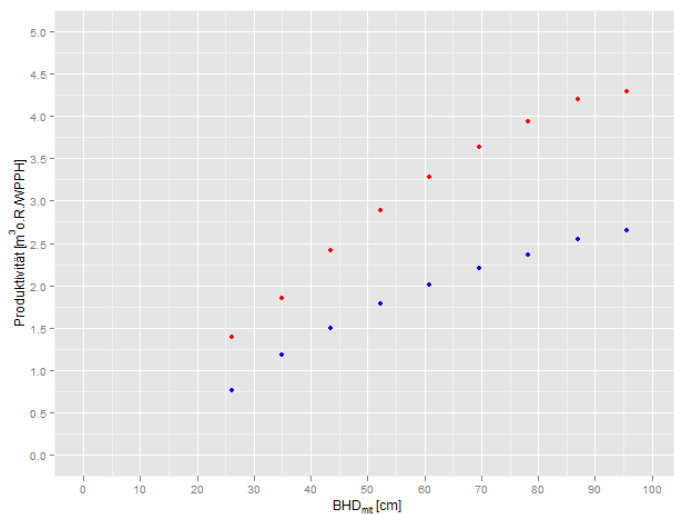


Abbildung 9: Vergleich der Schätzungen des Modells mmNeu mit dem Modell mmAlt für die **Region Hügelland**. Die roten Punkte markieren Schätzungen des Modells mmNeu für Fichte im Hügelland (Anteil Laubholz = 0%, Anteil Kiefer = 0%), die blauen Punkte markieren Schätzungen des Modells mmAlt (Fichte, bis 30% Hangneigung, Hindernisse = gering, 100% Stammholz, 4-6m Länge). Die Produktivitäten des mmAlt wurden auf WPSH umgerechnet.

Die durch das Modell mmNeu berechneten Produktivitäten liegen deutlich über den durch das alte Modell mmAlt berechneten Produktivitäten. HeProMo mmNeu liefert

- im Gebirge um ca. 30% höhere Produktivitäten und
- im Hügelland ca. 80% höhere Produktivitäten.

Dieses Ergebnis wurde von seiner Tendenz her erwartet, weil der HeProMo Alt zugrunde liegende Tarif älter als 40 Jahre ist und es auch bei der motormanuellen Holzernte Produktivitätsfortschritte gab. Die Größenordnung des Unterschiedes ist jedoch überraschend hoch.

### 6.3 Vergleich der Modellprognosen mit dem Hochgebirgstarif HGT

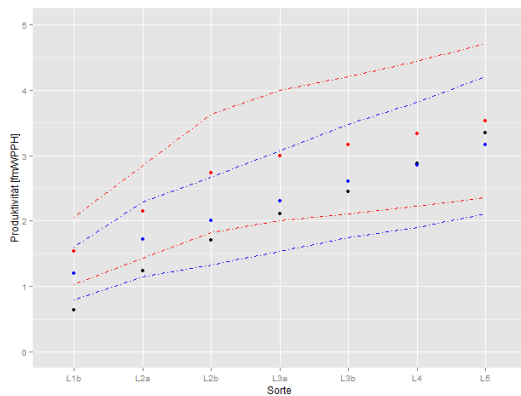


Abbildung 10: Vergleich des neuen HeProMo (nachfolgend mmNeu) mit dem Bayerischen Hochgebirgstarif für Abschnitte unentrindet. Die schwarzen Punkte sind der HGT für Abschnitte > 6m Länge, die grauen Punkte für Abschnitte < 6m Länge. Die durchgezogenen Linien markieren den +/- 30 %-Bereich. Die roten Punkte sind die Schätzungen des Modells mmNeu.

Abbildung 10 zeigt, dass das neue Modell für die motormanuelle Holzernte im Gebirge ungefähr dem HGT entspricht. Die geschätzten Produktivitäten von HeProMo mmNeu sind also im Vergleich zum HGT im Falle von Trämlern etwas geringer bzw. entsprechen diesem in etwa und sind im Falle von Doppelträmlern um 40% geringer.

Dieses Ergebnis erscheint in folgender Weise plausibel:

Das neue Modell, welches ja auf bayerischen Ist-Leistungen aus Zeit- und Prämienlohn beruht, liefert geringere Produktivitäten als der Stücklohnstarif HGT, welcher als Leistungslohn höhere Anreize zur Leistungshergabe bietet. Das Ergebnis entspricht auch der Einschätzung eines Experten, dass die bayerischen Holzhauer ihre Leistung einer internen Kappungsgrenze der Leistungsvergütung anpassen und damit nicht die Leistungen abliefern, die eigentlich möglich wären.

Für die Anwendung von HeProMo mmNeu im Schweizer Gebirge könnte man annehmen, dass die zu erwartenden Leistungen in dem vom HGT beeinflussten Bereich bzw. etwas unterhalb von dessen Schätzungen liegen. In der Schweiz wird ausschliesslich im Zeitlohn gearbeitet und die Gelände- und Bestandesverhältnisse sind wahrscheinlich im Schweizer Gebirge im Durchschnitt etwas schwieriger.

### 6.4 Vergleich mit gemessenen Produktivitäten bei Einzelbäumen

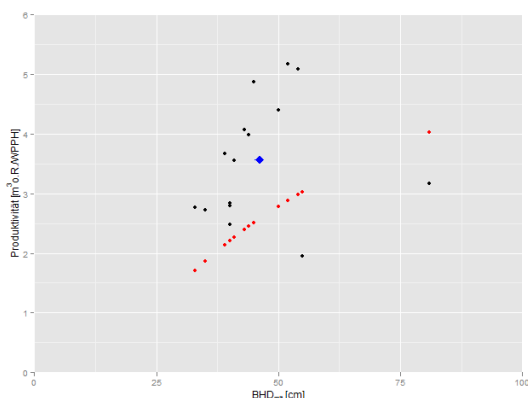


Abbildung 11: Geschätzte und gemessene Produktivitäten von Einzelbäumen aus dem Jahr 2013. Die schwarzen Punkte markieren die gemessenen Produktivitäten [ $m^3/h$ ], der blaue Punkt markiert den Durchschnitt der gemessenen Produktivitäten, die roten Punkte markieren die durch das Modell mmNeu berechneten Produktivitäten [ $m^3/h$ ] (Region= Hügelland, Anteil Kiefer = 0, Anteil Laubholz = 0). In den Testdaten wurde nur der  $BHD_{MIT}$  [cm] erfasst. Die Mittelstammvolumen wurden mittels Luzerner Tarif III berechnet. Die Zeiten der Testdaten wurden von PSH15 zu WPPH umgerechnet (eine PSH15-Stunde entspricht 1.511 WPPH-Stunden nach HeProMo).

Die geschätzten Produktivitäten von HeProMo mmNeu sind im Vergleich zu den gemessenen (und auf Arbeitsplatzzeiten korrigierten) Produktivitäten der Einzelbäume um 40% geringer. Es wurden ca. 80% Trämel und 20% Doppelträmel aufgearbeitet. Das Modell mmNeu wurde für Schläge bestehend aus vielen Bäumen erstellt (einige Hundert m<sup>3</sup>, im Gegensatz zu einzelnen Bäumen). Die Produktivität eines einzelnen Holzschlages kann stark von den durch das Modell geschätzten Werten abweichen. Der in Abbildung 11 gezeigte Unterschied zwischen Simulation und gemessenen Werten wird darauf zurückgeführt, dass es sich bei den gemessenen Werten um einzelne Bäume und nicht um Schlagmittelwerte handelt. Der Mittelwert der Produktivität über alle Bäume beträgt 3.6 m<sup>3</sup>/h (WPSH), bei einem BHD<sub>MIT</sub> von 46 cm. Das Modell sagt bei diesem BHD<sub>MIT</sub> für einen Fichtenschlag im Hügelland eine Produktivität von 2.5 m<sup>3</sup>/h voraus (Differenz = 1 m<sup>3</sup>/h (WPSH) bzw. 42% der geschätzten Produktivität).

## 7 Literaturverzeichnis

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.

Krücke, B., Möhring, B. (2003): Rückrechnung des BHD des ausscheidenden Bestandes als Basisinformation des forstwirtschaftlichen Controllings. Forst und Holz, 19(58):567 – 570.

LWF Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (2006): Ermittlung der Bezugsleistung für den Monatslohn mit Leistungszulage (MoLz) der bayerischen Staatsforsten, Anhang 1.

Pfeiffer, K.; Abegg, B.; Butora, A.; Kuhn, P.; Litscher, R.; Wüthrich, W. (1978): Die Herleitung der Richtwerttabellen für die Holzhauerei und das Schichtholzrücken. Int. Bericht Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald Schnee Landschaft. 167 S.