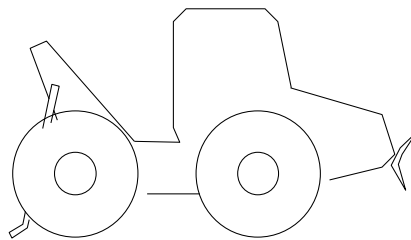


Produktivitätsmodell „Schlepper“

Teil A: Grundlagen

Renato Lemm
Fritz Frutig
Dario Pedolin
Oliver Thees (Leitung)

FE Walddressourcen und Waldmanagement
Gruppe „Forstliche Produktionssysteme“
Eidg. Forschungsanstalt WSL
15. Dezember 2014



Das Produktivitätsmodell „Schlepper“ 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 „Schlepper“ 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 Änderungen

Inhaltsübersicht

1	Datenherkunft	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	7
2.5	Berechneter Output	7
3	Produktionssystem - mathematische Darstellung	7
3.1	Systemübersicht "Schlepper"	7
3.2	Zeitsystem und Umrechnungen im Produktivitätsmodell "Schlepper"	8
3.2.1	Zeitsystem	8
3.2.2	Berechnung der System- und Faktorzeiten pro m^3 o.R.	9
4	Berechnung von Zeitbedarf und Kosten	10
4.1	Zeitbedarf der Produktionsfaktoren pro m^3 o.R.	10
4.2	Kosten der Produktionsfaktoren pro m^3 o.R.	10
5	Abkürzungen und Definitionen	10
6	Ergebnisse	11
7	Literatur	12
8	Beurteilung der Qualität des Modells "Schlepper"	13

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 die 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 Umrechnungsfaktor im Modell 0.89 (Gewichtung nach LFI)

1 Datenherkunft

Seit 1980 sind die Kalkulationsgrundlagen von Abegg (1980) für Schlepper mit Seilwinden nicht mehr überarbeitet worden. Der heutige technische Standard beim Rücken mit Schleppern sind jedoch funkgesteuerte Doppeltrommelwinden, Rückezangen und Rückekräne sowie zunehmend Klemmbankschlepper. Deshalb wurden für ein neues Produktivitätsmodell "Schlepper" Grundlagendaten gesucht, welche diesen technischen Standard abbilden. Manuelle Zeitstudien durchzuführen war aus Zeit- und Kostengründen nicht mehr möglich. Auf der Suche nach geeigneten Daten wurden wir in Deutschland fündig.

Ein Datensatz bestehend aus 332 Holzschlägen mit Rücken mit Schlepper und einem Rückevolumen von 110846 m³ aus den Jahren 2007 bis 2012 aus zwei deutschen Forsttechnischen Stützpunkten wurde benutzt, um ein Produktivitätsmodell für das Rücken mit Schlepper zu erstellen. In einer ersten Analyse wurden Ausreisser identifiziert und aus der Analyse ausgeschlossen. Aus den verbleibenden 277 Datensätzen mit 90565 m³ wurde das Modell für die gemessene Produktivität erstellt. Das Modell wurde in der Residuenanalyse auf Verletzungen der Voraussetzungen für lineare Modellierung untersucht und für gut befunden. Einzelheiten zur statistischen Analyse findet man im Teil B „Statistische Auswertung“.

Die Datensätze aus den deutschen Forsttechnischen Stützpunkten enthalten wenig Parameter (Geländeneigung, Rückedistanzen etc.), dagegen ist die erfasste Holzmenge sehr gross. Im Vergleich zum bisherigen Produktivitätsmodell können die Rahmenbedingungen eines einzelnen Holzschlages im neuen Modell weniger genau berücksichtigt werden. Vorteilhaft ist jedoch die grosse Anzahl Datensätze.

Tabelle 1: Datenherkunft (gerückte Holzmengen und Schlepperarten).

Schleppertyp	Anzahl Schlepperfabrikate	Rheinland-Pfalz		Baden-Württemberg	
		Anzahl Rückearbeiten und Holzmenge		Anzahl Rückearbeiten und Holzmenge	
	N	N	m ³ o.R.	N	m ³ o.R.
Seilschlepper	2	47	8285	0	
Kranschlepper	1	42	10970	0	
Klemmbankschlepper	2	0		188	71310

2 Produktionssystem - Beschreibung

2.1 Produktionsfaktoren

Das Produktionssystem „Schlepper“ für das Rücken von Holz umfasst folgende Produktionsfaktoren:

Seilschlepper

- 1 Schlepper mit funkgesteuerter Seilwinde
- 1 Maschinenführer

Seilschlepper sind mit einer Einfach- oder Doppeltrommelwinde ausgerüstet und werden zum Beiseilen sowie zum Rücken und Poltern verwendet. Die Seilwinde wird in der Regel per Funk fernbedient. Mittels Chokerketten können mehrere Stämme gleichzeitig vorgeliefert und gerückt werden.

Kranschlepper (Zangenschlepper)

- 1 Schlepper
- 1 Maschinenführer

Das zuvor an die Rückegasse vorgelieferte Holz wird mit dem Kran oder der Zange gerückt und gepoltet. Dabei muss der Fahrer die Kabine nicht verlassen. In der Regel sind Kran- und Zangenschlepper mit einer Seilwinde ausgerüstet, damit sie nicht im Kranbereich liegendes Holz beiseilen können.

Klemmbankschlepper

- 1 Schlepper
- 1 Maschinenführer

Forstspezialschlepper oder Forwarder können zur Langholzbringung mit einer Klemmbank ausgestattet werden. Mit der Klemmbank können mehrere Stämme gleichzeitig gerückt werden, wodurch die Rückeleistung stark zunimmt.

2.2 Produktionsprozess

2.2.1 Arbeitsaufgabe

Das gefällte, im Bestand liegende Holz wird mit dem Schlepper als Sortimentsstück oder als Vollbaum an eine Rückegasse vorgeliefert und auf dieser bis zum Lagerplatz an der Waldstrasse gerückt und dort gepoltet. Im Bestand aufgearbeitetes Holz wird in möglichst langer Form gerückt (Mittellangholz L2 (6.5-14.5 m) oder Langholz L3 (15.0-22.0 m) nach Schweizer Holzhandelsgebräuchen). Die Arbeit umfasst das Beiziehen der Last, das Fahren auf Rückegassen, Maschinenwegen und LKW-Strassen bis zum Lagerort und das Poltern.

2.2.2 Arbeitsabläufe

Folgende Aktivitäten oder Einzelprozesse des Rückevorganges sind enthalten: Leerfahrt, Lastbildung (anhängen), ggfs. Beiseilen der Last, Lastfahrt, Ablegen und Poltern der Last.

Die Rohschäfte sind ggfs. mit der Seilwinde an die Rückegasse vorgerückt und werden in einem separaten Arbeitsgang mit einem Schlepper an eine lastwagenfahrbare Strasse gerückt und dort abgelegt. Sinngemäss gilt dies auch für Vollbäume, die anschliessend mit einem Prozessor an der Feinerschliessung oder an der Waldstrasse aufgearbeitet werden.

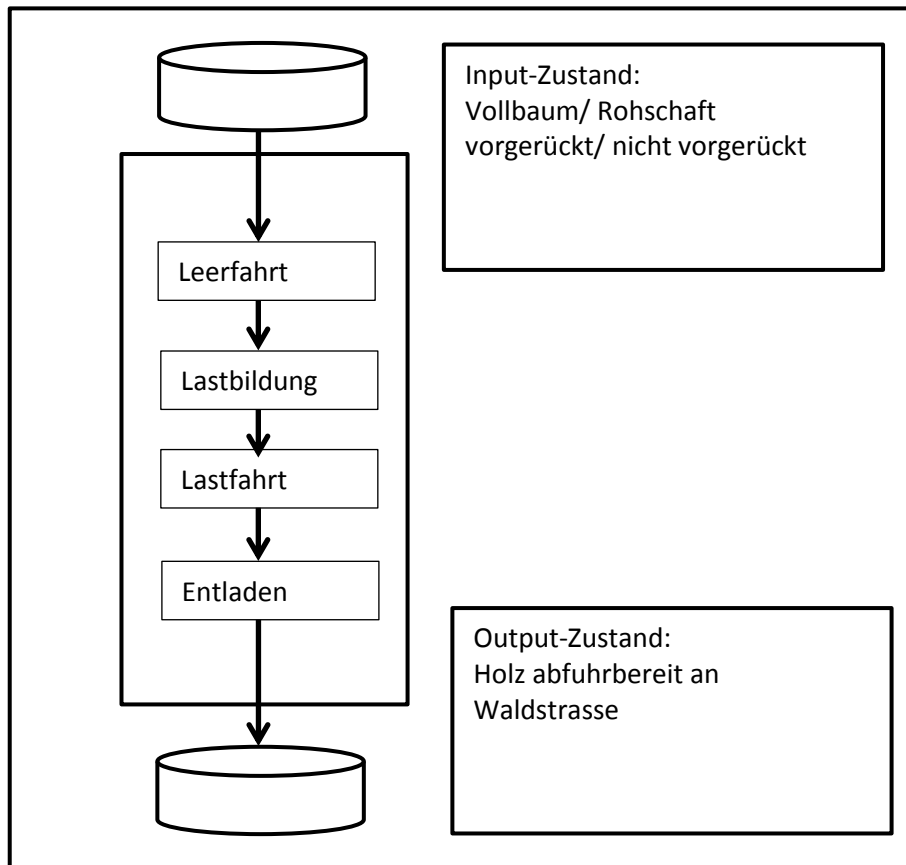


Abbildung 1: Ablauf eines Rückezyklus.

2.3 Input- und Outputzustand

2.3.1 Input-Zustand

Holzsortimente: Mittellangholz L2 (6.5-14.5 m) oder Langholz L3 (15.0-22.0 m) nach Schweizer Holzhandelsgebräuchen, fertig aufgerüstet oder teilentastet, alle Durchmesser. Für Vollbäume und Vollbaumteile ist eine Anwendung des Modells grundsätzlich denkbar, das Modell wurde jedoch diesbezüglich nicht überprüft.

Lage des Holzes: Die Rohschäfte (bzw. Vollbäume) liegen im Bestand.

2.3.2 Output-Zustand

Holzsortimente: wie Input-Zustand.

Lage des Holzes: Die Rohschäfte (bzw. Vollbäume) liegen entweder vorgerückt an der Erschliessung oder sie liegen abfuhrbereit (bzw. bereit zum Aufrüsten oder zum Hacken) an einer lastwagenfahrbaren Strasse.

2.4 Arbeitsbedingungen

2.4.1 Technik und Personal

- Schleppertypen (Seilschlepper, Kranschlepper, Klemmbankschlepper)
- Der Maschinenführer 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%.

- 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 und grundsätzlich auch Endnutzungen und Flächennutzungen (z.B. Sturmholz). Für Endnutzungen und Flächennutzungen ist das Modell jedoch nicht überprüft.

2.5 Berechneter Output

- Produktivität (technische Arbeitsproduktivität) des Produktionsfaktors Schlepper als Zeitbedarf des Produktionssystems in PSH_{15} pro m^3 o.R.

3 Produktionssystem - mathematische Darstellung

3.1 Systemübersicht "Schlepper"

Die Formel für das 'Produktivitätsmodell Rücken mit Schlepper' lautet:

Falls Schlepperart Seilschlepper oder Kranschlepper und $V_{mit} < 0.14 m^3 o. R.$ und $V_{mit} \geq 0.05 m^3 o. R.$ dann (Kurve wird zw. $V_{mit} 0.14$ und $0.05 m^3 o. R.$ linear durch Nullpunkt gelegt)

$$Produktivität = \frac{V_{mit}}{0.14} \{a + b * \ln(FahrentfernungsKlasse) + c_{Maschinentyp} + d_{Maschinentyp} * \ln 0.14\}$$

Falls Schlepperart Seilschlepper oder Kranschlepper und $V_{mit} < 0.05 m^3 o. R.$ dann Rücken mit Seilschlepper oder Kranschlepper wird nicht berechnet

Falls Schlepperart Klemmbankschlepper und $V_{mit} < 0.36 m^3 o. R.$ dann Rücken mit Klemmbankschlepper wird nicht berechnet

sonst

$$Produktivität = a + b * \ln(FahrentfernungsKlasse) + c_{Maschinentyp} + d_{Maschinentyp} * \ln(V_{mit})$$

Zuschlag in %

Beizugdistanz

0 bis 20 m = 0 (Default)

21 bis 40 m = -10

> 40 m = -20

$$Produktivität = Produktivität \times (1 + (Zuschlag \text{ in } \% / 100))$$

Einheit der Produktivität : $\left[\frac{m^3 o. R.}{PSH_{15}} \right]$ $PSH_{15} = PMH_{15}$ siehe Tabelle 4

Die statistische Herleitung findet man im Teil B. Die Koeffizienten sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2: Koeffizienten für das Produktivitätsmodell ‚Rücken mit Schlepper‘.

Koeffizienten	Wert	Einheiten
<i>a</i>	15.8005	$\frac{m^3 \text{ o. R.}}{PSH_{15}}$
<i>b</i>	-1.7838	[]
<i>falls Schlepperart Seilschlepper</i>		
<i>c</i> Seilschlepper	-6.4945	[]
<i>d</i> Seilschlepper	1.1923	$\frac{m^3 \text{ o. R.}}{PSH_{15} * \ln(V_{mit})}$
<i>falls Schlepperart Kranschlepper</i>		
<i>c</i> Kranschlepper	-3.5725	[]
<i>d</i> Kranschlepper	3.0337	$\frac{m^3 \text{ o. R.}}{PSH_{15} * \ln(V_{mit})}$
<i>falls Schlepperart Klemmbankschlepper</i>		
<i>c</i> Klemmbankschlepper	0	[]
<i>d</i> Klemmbankschlepper	8.0771	$\frac{m^3 \text{ o. R.}}{PSH_{15} * \ln(V_{mit})}$

Tabelle 3: Variablen für das Produktivitätsmodell ‚Rücken mit Schlepper‘. Die minimalen (Min) und maximalen (Max) Werte geben die unteren und oberen Grenzen der Variablen an. Insbesondere die obere Grenze für die Variable V_{mit} wird durch die vorhandenen Daten eingeschränkt.

Variable	Einheiten	Min	Max
Fahrentfernungs-Klasse		0m - 300m	> 900m
V_{mit} Seilschlepper	$[m^3 \text{ o.R.}]$	0.05	-
V_{mit} Kranschlepper	$[m^3 \text{ o.R.}]$	0.05	-
V_{mit} Klemmbankschlepper	$[m^3 \text{ o.R.}]$	0.36	-

3.2 Zeitsystem und Umrechnungen im Produktivitätsmodell “Schlepper”

3.2.1 Zeitsystem

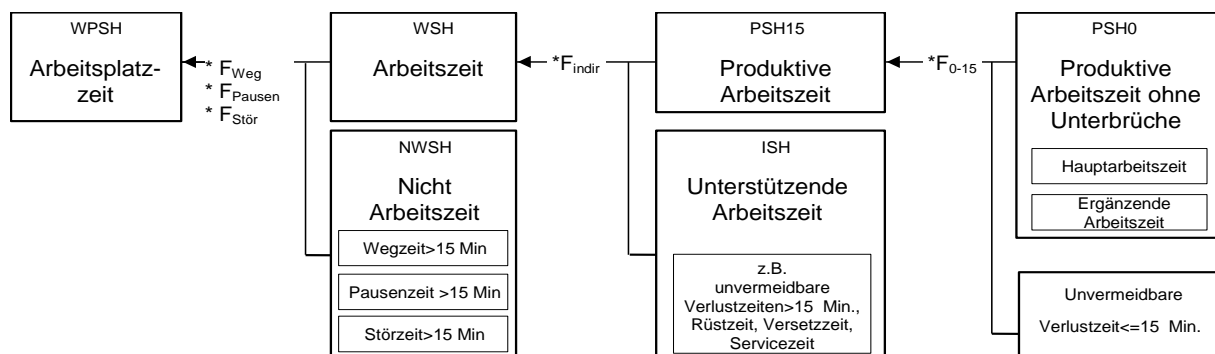


Abbildung 2: Verwendetes Zeitsystem (Björheden und Thompson 1995, Heinemann 1997; verändert).

Die in Abbildung 2 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

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

3.2.2 Berechnung der System- und Faktorzeiten pro m³ o.R.

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 m³ o.R.

Tabelle 5: Formeln zur Berechnung des Zeitbedarfs der Produktionsfaktoren pro m³ o.R.

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

4.2 Kosten der Produktionsfaktoren pro m³ o.R.

$$\text{Kosten Schlepper} = WPPH \times \text{Personalkostenansatz} + PMH_{15} \times \text{Maschinenkostenansatz}$$

Legende

Kosten Schlepper:	Gesamtkosten pro m ³ o. R. für den Einsatz eines Schleppers
WPPH:	Arbeitsplatzzeit des Personals
Personalkostenansatz:	Personaleinzel – und Personalgemeinkosten pro Stunde
PMH ₁₅ :	Produktive Maschinenarbeitszeit mit Unterbrechungen < 15 Min
Maschinenkostenansatz:	Maschinenkosten pro Stunde

5 Abkürzungen und Definitionen

Tabelle 5: Abkürzungen und Definitionen.

Abk.	Definition	Default-Werte	Definitions-bereich	Einheit
F_{indir} F_{Pause} F_{Weg} $F_{Stör}$	Multiplikationsfaktoren für indirekte Arbeitszeiten für Pausen >15 Min. für Wegzeiten >15 Min. für Störzeiten >15 Min.	1.1 Für Weg +Pausen 1.00	≥ 1 ≥ 1 ≥ 1 ≥ 1	[-]
Fahrentfernungs-Klasse	Mittlere Fahrentfernung: Klasse 1: 0 – 300 m Klasse 2: 301 – 500 m Klasse 3: 501 – 700 m Klasse 4: 701 – 900 m Klasse 5: > 900 m	Klasse 1	Klasse 1..5	[-]

K_{BA}	Umrechnungsfaktor für das Umrechnen von m^3 in Rinde in m^3 ohne Rinde der entsprechenden Baumartengruppe		$0 < K_{BA} < 1$	[-]
PMH_{15}	Produktive Maschinenarbeitszeit des Schleppers		≥ 0	Std
Produktivität	Gerücktes Holzvolumen in m^3 ohne Rinde pro Stunde (Produktive Maschinenarbeitszeit)			$\left[\frac{m^3 \text{ o. R.}}{PMH15} \right]$
Schlepperart	<i>Seilschlepper</i> : Ausgerüstet mit Seilwinde und Funkfernbedienung. <i>Kranschlepper/ Zangenschlepper</i> : Mit Rückekran oder –zange ausgerüstet. <i>Klemmbankschlepper</i> : Forstspezialschlepper mit Klemmbank .		<i>Seil-, Kran-, Klemmbankschlepper</i>	[-]
$V_{mit \text{ o.R.}}$	Mittlerer Stückinhalt des gerückten Holzes ohne Rinde. Gerücktes Holzvolumen ohne Rinde geteilt durch tatsächlich gerückte Stückzahl.			$[m^3 \text{ o.R.}]$
WPPH	Arbeitsplatzzeit des Personals pro m^3 o.R.		≥ 0	Std

6 Ergebnisse

Mit dem Modell wurde eine Sensitivitätsanalyse für die Parameter sowie ein Vergleich der Vorhersagen des neu erstellten Modells mit den Prognosen bestehender Modelle gemacht sowie eine Kreuzvalidierung durchgeführt (siehe Teil B).

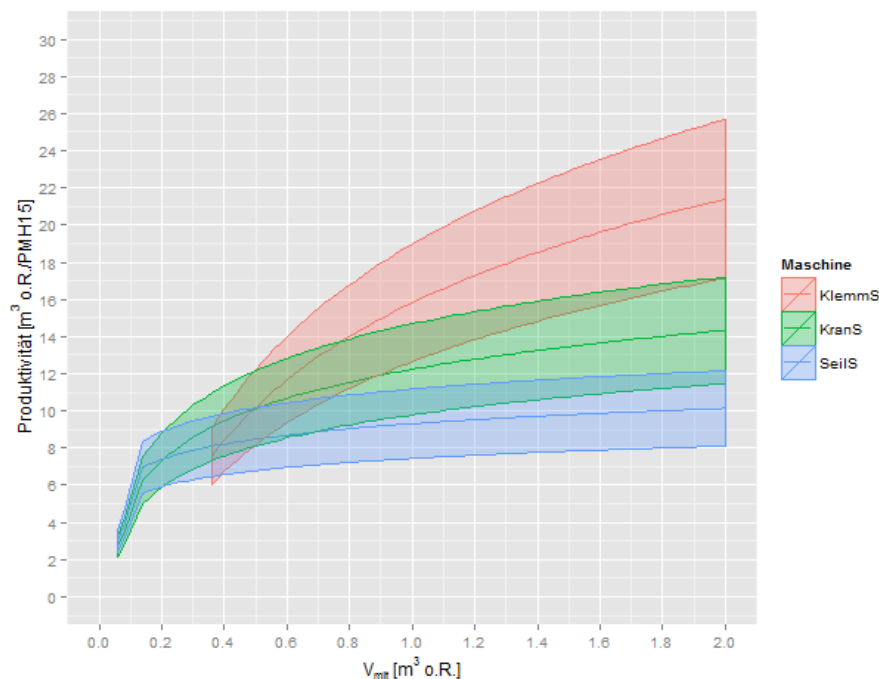


Abbildung 3: Ergebnisse für das Produktivitätsmodell 'Rücken mit Schlepper' für die Variable ' $V_{mit} [m^3]$ ' (Fahrtfernungsklasse = 1). Die Bereiche um die drei Kurven grenzen $\pm 20\%$ Schätzfehler ein (bei $> 80\%$ der Modellierdaten ist der Schätzfehler $< 20\%$).

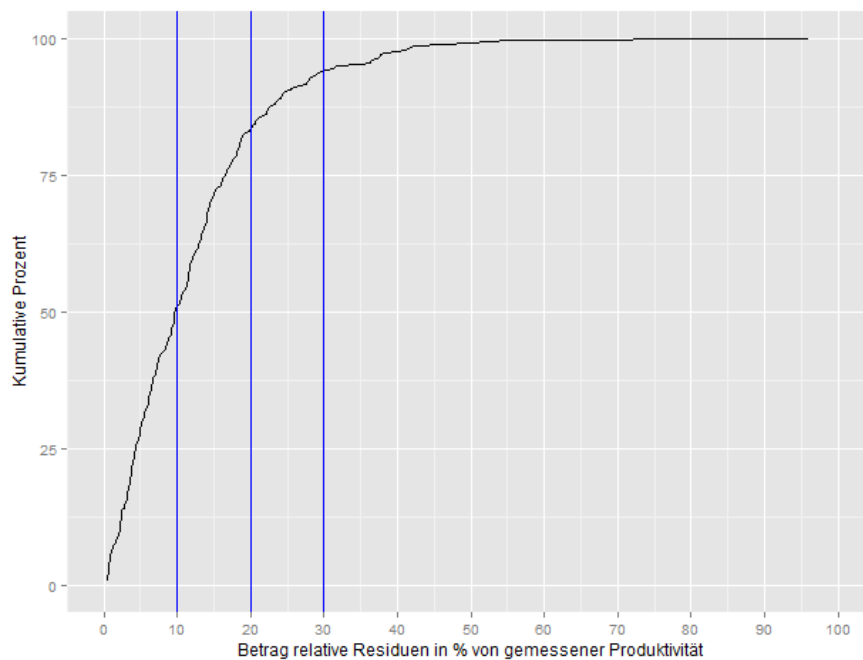


Abbildung 4: Kumulative Verteilung der absoluten relativen Residuen der Modellierdaten (= Schätzfehler/gemessene Produktivität). Die vertikalen blauen Linien grenzen den Bereich von bis 10 / 20 / 30% Abweichung ein. Bei 50% der Modellierdaten ist der Schätzfehler kleiner/gleich 10%, bei ca. 80% der Daten $\leq 20\%$ und bei ca. 90% $\leq 30\%$.

7 Literatur

Abegg, B. (1980): Kalkulationsunterlagen für die Leistung beim Rücken mit Forstraktoren und beim Reisten auf kurze Distanz. Bericht Nr. 124, EAFV Birmensdorf, 2. ergänzte Auflage.

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.

8 Beurteilung der Qualität des Modells "Schlepper"

Kriterien	Bewertung			Bemerkungen
Datengrundlage aus den Jahren	2007 bis 2012			
Technische Aktualität (Verfahren)	aktuell	teilw.veraltet	veraltet	
Umfang der Datengrundlage	gross	mittel	klein	227 Holzschläge, rund 90'000 m ³ gerücktes 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	gering	

Gesamturteil:



X

Beurteilung durch: F. Frutig

Datum: 29.06.2018