

Produktivitätsmodell „Fällen und Vorrücken“

Teil A: Grundlagen

Renato Lemm
Fritz Frutig
Oliver Thees (Leitung)



FE Waldressourcen und Waldmanagement
Gruppe „Forstliche Produktionssysteme“
Eidg. Forschungsanstalt WSL
26. April 2019

Das Produktivitätsmodell „Fällen und Vorrücken“ ist Teil einer Sammlung von Produktivitätsmodellen der Holzernte, welche von der Eidg. Forschungsanstalt WSL entwickelt und unter dem Namen „HeProMo“ auf dem Internet zur Verfügung gestellt werden (<http://www.waldwissen.net>). Das Modell „Fällen und Vorrücken“ wurde im Jahr 2018 erstellt. Teil A des Dokumentes beschreibt das abgebildete Rückeverfahren und das mathematische Modell.

Version	Bearbeiter	Datum	Kommentar
1.0	R. Lemm	07.11.2018	
1.0	R. Lemm und O.Thees	11.01.2019	
1.0	F. Frutig	21.01.2019	Schlussredaktion
1.0	F. Frutig	26.04.2019	Nachträge aus Vernehmlassung

Inhaltsübersicht

1	Datengrundlagen	4
2	Produktionssystem – Beschreibung	5
2.1	Zu entnehmende Bäume	5
2.2	Produktionsfaktoren	5
2.3	Produktionsprozess	5
2.4	Input- und Outputzustand	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	Waldbestände und waldbauliche Massnahmen	6
2.6	Berechneter Output	6
3	Produktionssystem - mathematische Darstellung	6
3.1	Systemübersicht "Fällen und Vorrücken"	6
3.2	Produktivität der Maschine und des Personals	6
3.3	Zeitsystem und Umrechnungen im Produktivitätsmodell "Fällen und Vorrücken"	10
3.3.1	Zeitsystem	10
3.3.2	Berechnung der System- und Faktorzeiten	12
4	Berechnung von Zeitbedarf und Kosten	13
4.1	Zeitbedarf der Produktionsfaktoren pro m ³ o.R.	13
4.2	Kosten der Produktionsfaktoren für Fällen und Vorrücken pro m ³ o.R.	13
5	Beispiele	14
6	Abkürzungen und Definitionen	16
7	Literatur	17
8	Beurteilung der Qualität des Modells „Fällen und Vorrücken“	18

Wichtig für die Anwendung des Modells

In diesem Grundlagenbericht wird der Masseinheit m^3 für die Holzvolumina (z. B. Holzmenge, Volumenmittelstamm) jeweils der Zusatz o.R. (ohne Rinde) oder i.R. (in Rinde) angefügt.

Die Produktivitäten werden, wie bei allen anderen Produktivitätsmodellen, auf die Holzmenge ohne Rinde bezogen. Damit werden auch die Kosten für den Teilschritt "Vorrücken" für die Holzmenge ohne Rinde ausgewiesen, obwohl das Holz nach dem Vorrücken effektiv in Rinde an der Rückegasse liegt.

In ein Produktivitätsmodell für einen nachfolgenden Arbeitsschritt (z.B. Aufarbeiten des vorgerückten Holzes mit Radharvester) **muss immer die vorgelieferte Holzmenge in Rinde eingegeben werden** (z.B. wird ein Drittel der Holzmenge gemäss Anzeichnungsprotokoll vorgeliefert).

Indem für jeden Teilschritt einer Arbeitskette die Kosten immer bezogen auf das Verkaufsmass (Holzmenge o.R.) ausgewiesen werden, können die Kosten der einzelnen Teilschritte direkt addiert werden um die Gesamtkosten der Arbeitskette zu erhalten. Weiter können die Holzerntekosten direkt mit dem Erlös verglichen werden.

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

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

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

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

Quelle:

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

3.Juli 2014

1 Datengrundlagen

Dem Produktivitätsmodell liegen Zeitaufwände aus einem seit Jahren in Deutschland angewendeten Entlohnungstarif für das kombinierte Seillinienverfahren zugrunde (Finanzministerium Baden-Württemberg 1984). Die Grundlagendaten beziehen sich auf das Vorrücken mit einem Schlepper.

Die Zeitaufwände aus dem Originaldokument wurden von BHD 21 cm bis 30 cm vom Maschinenbetrieb Schrofel im Jahr 2018 extrapoliert. Im Tarif werden Zeiten pro Baum angegeben, welche mit einem Volumentarif auf Zeiten pro Kubikmeter umgerechnet werden. Da Bäume aufgrund von unterschiedlichen Standorten bei gleichem BHD unterschiedliche Volumina haben, werden für das Modell die fünf Tarifstufen des Luzerner Tarifs verwendet (Schweizerischer Forstkalender 2013). Damit lässt sich das Modell im Einzelfall besser den gegebenen Bedingungen anpassen.

Der Mehraufwand für das Fällen und Vorrücken in Hanglagen mit einer Neigung von mehr als 15% wird mit prozentualen Zeitzuschlägen berücksichtigt (Tab. 2).

In der Zeitperiode der Datenerhebung wurden Forstschlepper als Vorrückegeräte eingesetzt. In neuerer Zeit werden für das Vorrücken zunehmend funkfernbediente Kleinraupenschlepper, sogenannte Vorrückeraupen, eingesetzt. Für diese Geräte liegen bisher keine umfassenden Datenerhebungen zur Produktivität vor. Nach Angaben aus der Forstpraxis variiert die Produktivität der Vorrückeraupen gegenüber dem Forstschlepper um einen Faktor von 0.95 bis 1.30.

Tabelle 1: Grundzeiten nach Tarif

BHD	Tarif	2-Mann	1-Mann	Motorsäge	Vorrückegerät	Systemzeit
cm	m³	Min/Baum	Min/Baum	Min/Baum	Min/Baum	Min/m³
10	0.02	6.1	3.05	1.3	3.05	152.5
11	0.04	6.5	3.25	1.4	3.25	81.3
12	0.06	6.8	3.40	1.4	3.40	56.7
13	0.07	7.2	3.60	1.5	3.60	51.4
14	0.09	7.6	3.80	1.6	3.80	42.2
15	0.12	7.9	3.95	1.7	3.95	32.9
16	0.14	8.3	4.15	1.8	4.15	29.6
17	0.17	8.6	4.30	1.9	4.30	25.3
18	0.20	9.0	4.50	2.0	4.50	22.5
19	0.23	9.3	4.65	2.1	4.65	20.2
20	0.26	9.7	4.85	2.2	4.85	18.7
21	0.30	10.1	5.03	2.3	5.03	16.8
22	0.33	10.4	5.21	2.4	5.21	15.8
23	0.37	10.8	5.38	2.5	5.38	14.6
24	0.41	11.1	5.56	2.5	5.56	13.6
25	0.46	11.5	5.74	2.6	5.74	12.5
26	0.51	11.8	5.92	2.7	5.92	11.6
27	0.55	12.2	6.10	2.8	6.10	11.1
28	0.60	12.6	6.28	2.9	6.28	10.5
29	0.66	12.9	6.46	3.0	6.46	9.8
30	0.71	13.3	6.63	3.1	6.63	9.3

2 Produktionssystem – Beschreibung

2.1 Zu entnehmende Bäume

- Die zu entnehmenden Bäume werden im Bestand mit der Motorsäge gefällt und anschliessend als Vollbaum mit dem Vorrückegerät an die Rückegasse oder den Maschinenweg gerückt, wo sie später aufgearbeitet und als Sortimentsstücke an die Waldstrasse weitergerückt werden. Der untersuchte Prozess „Fällen und Vorrücken“ umfasst das integrierte Fällen und Vorrücken der Vollbäume an die Feinerschliessungslinie. Diese Arbeiten werden von zwei Arbeitskräften ausgeführt, von denen eine die Bäume fällt und die andere das Vorrückegerät bedient.

2.2 Produktionsfaktoren

- Vorrückegerät: es wird unterschieden zwischen Forstschlepper und Rückeraupe.
- Personal: 2 Arbeitskräfte, die im Ablauf der Arbeitsschritte geübt sind.

2.3 Produktionsprozess

- Die Prozesskette umfasst das Fällen der Bäume und das Vorrücken mit einem Vorrückegerät an die Feinerschliessung. Ein Abzopfen der Vollbäume verursacht einen zusätzlichen Zeitaufwand von 0.5 Min/Baum für Arbeiter und Motorsäge (Finanzministerium Baden-Württemberg, 1984). Im Modell werden beide Möglichkeiten abgebildet.

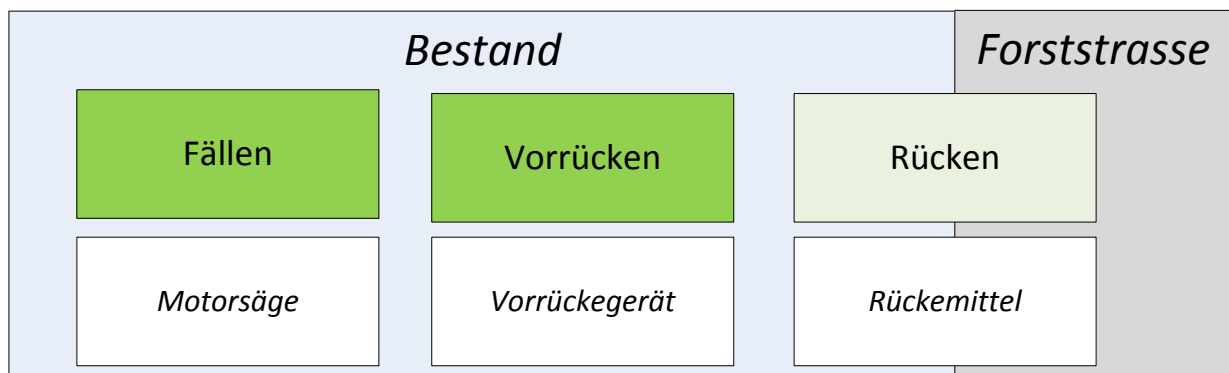


Abbildung 1: Teilprozesse des Produktionsprozesses "Vorrücken".

2.4 Input- und Outputzustand

2.4.1 Input

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

2.4.2 Output

- Die Bäume liegen am Ort, an den sie vorgeliefert wurden (i.d.R. an Rückegasse oder Maschinenweg), zur Aufarbeitung und zum Rücken an die Forststrasse bereit.

2.5 Arbeitsbedingungen

2.5.1 Technik und Personal

- Vorrückegerät, Motorsäge
- Der Maschinist muss im Umgang mit der eingesetzten Maschine geübt sein.

2.5.2 Gelände und Erschliessung

Das Arbeitsverfahren kann in zwei verschiedenen Varianten zum Einsatz kommen:

- 1) Rückegassengelände: Bis zu einer Hangneigung von rund 45% wird das Holz mit der Seilwinde an die Rückegasse vorgerückt.
- 2) Maschinenweggelände: Bei Hangneigungen über 45% wird das Holz mit der Seilwinde an einen Maschinen bzw. an eine Waldstrasse vorgeliefert.

- Das Vorrückegerät fährt in der Regel nur auf der Rückegasse, die Bäume werden mit der Seilwinde an die Rückegasse vorgerückt.
- Lange Vorrückedistanzen erhöhen die Rückekosten und auch das Risiko von Schäden am verbleibenden Bestand.

2.5.3 Waldbestände und waldbauliche Massnahmen

- Wenig Einschränkungen, bei grösserem BHD der Bäume können insbesondere bei kleineren Rückeraupen die Zugkraft der Winde und die Standfestigkeit der Maschine (geringes Gewicht) begrenzend wirken.

Hinweis:

Vorliefern erweist sich vorwiegend bei Bäumen mit geringen BHD als notwendig, weil hier einerseits die Bäume aufgrund des Kronenschlusses häufig nach dem Fällschnitt nicht umfallen oder andererseits die Baumhöhe zu gering ist, um die Bäume in den Kranbereich des Vollernters zuzufällen. Im Modell sind deshalb für den BHD nur Eingabewerte zwischen 10 und 30 cm möglich.

2.6 Berechneter Output

- Die Produktivität ist die pro Maschinenarbeitsstunde an die Rückegasse vorgelieferte Holzmenge in m^3 o.R.. Die Maschinenarbeitsstunde PMH_{15} ist die produktive Maschinenarbeitszeit inklusive Unterbrechungen kleiner gleich 15 Minuten.
- Bei der Berechnung der Kosten werden die indirekten Zeiten sowie die bezahlten Wegzeiten und Pausen mittels Faktoren auf die Produktive Systemzeit PSH berücksichtigt (vgl. Kapitel 5). Der Kostenansatz für das System (2er-Gruppe) ist doppelt so hoch wie für den einzelnen Arbeiter.
-

3 Produktionssystem - mathematische Darstellung

3.1 Systemübersicht "Fällen und Vorrücken"

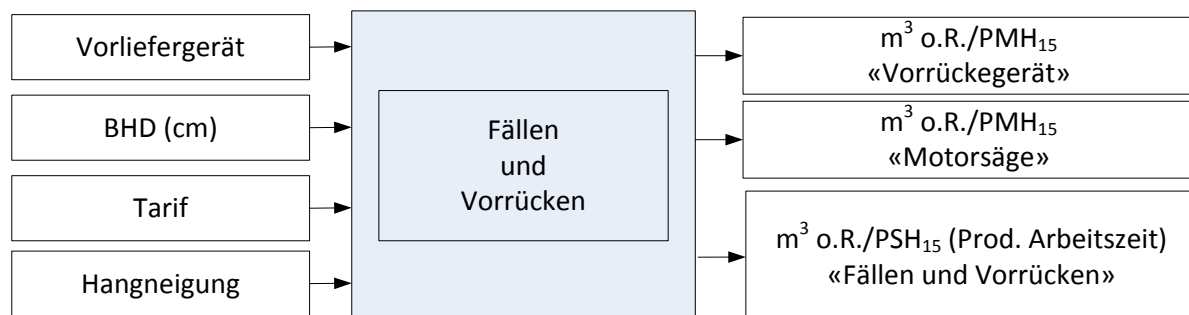


Abbildung 2: Übersicht zum Produktionssystem "Fällen und Vorrücken".

3.2 Produktivität der Maschine und des Personals

Die Produktivität der Maschine gibt an, welche Holzmenge [m^3 o.R.] pro Maschinenarbeitsstunde [PMH_{15}] vorgerückt wird. In der Maschinenarbeitsstunde sind Unterbrechungen bis zu 15 Minuten Dauer enthalten.

Die Produktivität des Personals gibt an, welche Holzmenge [m^3 o.R.] das System aus zwei Arbeitskräften und einem Vorrückegerät pro PSH_{15} fällt und vorrückt. Wegzeiten und Pausen sowie Indirekte Zeiten und Zeiten für Störungen werden mit entsprechenden Faktoren erst bei der Kostenberechnung berücksichtigt.

Abbildung 3 zeigt die Zeitaufwände pro Baum für das System und für den Schlepper sowie die verwendeten Ausgleichsfunktionen.

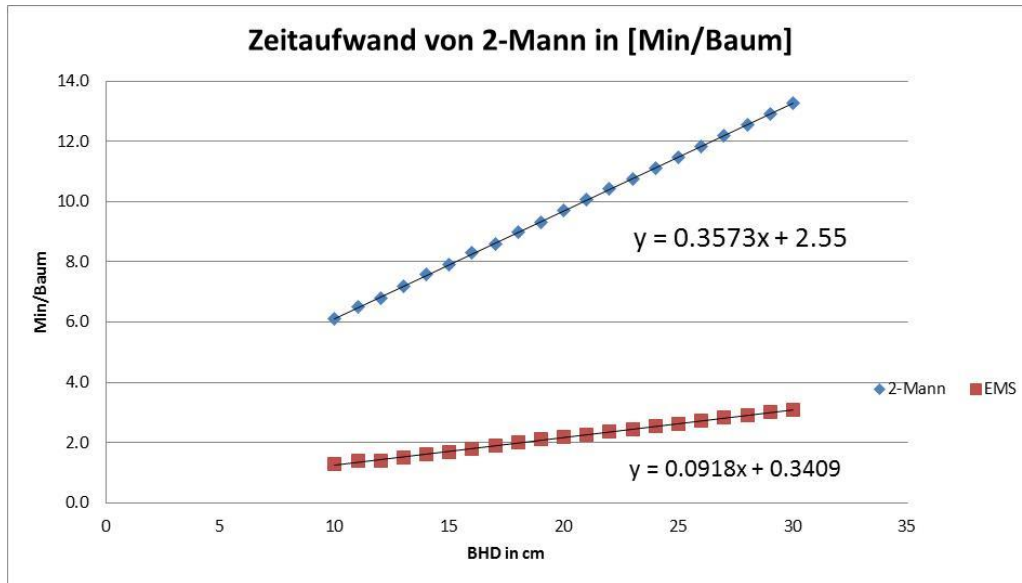


Abbildung 3: Gesamter Zeitaufwand 2 Arbeitskräfte für das Fällen und Vorrücken (blaue Kurve). PSH_{15} (Personal) ist dabei gleich PMH_{15} (Vorrückegerät). Der Zeitaufwand der Motorsäge (Motorsägenlaufzeit) entspricht der roten Kurve und wird in PMH_{15} angegeben.

Zeitaufwand pro Baum

Mit Abzopfen der Krone:

$$\text{Zeitaufwand}_{\text{Personal}=2 \text{ Mann}} \left[\frac{\text{Min}}{\text{Baum}} \right] = 0.3573 \times BHD + 2.55$$

$$\text{Zeitaufwand}_{\text{System}} \left[\frac{\text{Min}}{\text{Baum}} \right] = (0.3573 \times BHD + 2.55) / 2$$

$$\text{Zeitaufwand Schlepper} = \text{Zeitaufwand System}$$

$$\text{Zeitaufwand}_{\text{Schlepper}} \left[\frac{\text{Min}}{\text{Baum}} \right] = 0.1786 \times BHD + 1.275$$

Zeitaufwand Motorsäge

$$\text{Zeitaufwand}_{\text{EMS}} \left[\frac{\text{Min}}{\text{Baum}} \right] = 0.0918 \times BHD + 0.3409$$

Ohne Abzopfen der Krone:

Falls die Krone nicht abgezopft wird, reduziert sich der Zeitaufwand um 0.5 Min./Baum (Finanzministerium Baden-Württemberg, 1984).

$$\text{Zeitaufwand}_{\text{Personal}=2 \text{ Mann}} \left[\frac{\text{Min}}{\text{Baum}} \right] = (0.3573 \times BHD + 2.55) - 0.5 = 0.3573 \times BHD + 2.05$$

$$\text{Zeitaufwand}_{\text{System}} \left[\frac{\text{Min}}{\text{Baum}} \right] = (0.3573 \times BHD + 2.05) / 2$$

$$\text{Zeitaufwand Schlepper} = \text{Zeitaufwand System}$$

$$\text{Zeitaufwand}_{\text{Schlepper}} \left[\frac{\text{Min}}{\text{Baum}} \right] = 0.1786 \times BHD + 1.025$$

Zeitaufwand Motorsäge

$$\text{Zeitaufwand}_{\text{EMS}} \left[\frac{\text{Min}}{\text{Baum}} \right] = 0.0918 \times BHD + 0.3409 - 0.5 = 0.0918 \times BHD - 0.1591$$

BHD = Brusthöhendurchmesser in [cm]

Indirekte Zeiten, Zeitbedarfe zum Beheben von Störungen sowie bezahlte Weg – und Pausenzeiten werden für die Kostenrechnung separat mit Faktoren berücksichtigt.

Verwendeter Tarif

Als Tarif für die Berechnung der Massenmittelstämme bei verschiedenen Brusthöhendurchmessern BHD wird der fünfstufige Luzerner Tarif verwendet (Schweiz. Forstkalender 2013, S. 190). Die Tarifwerte werden mit einer Potenzfunktion ausgeglichen (Abbildung 4 und Tabelle 2). Damit lässt sich im Produktivitätsmodell auch die Bonität des Standortes berücksichtigen.

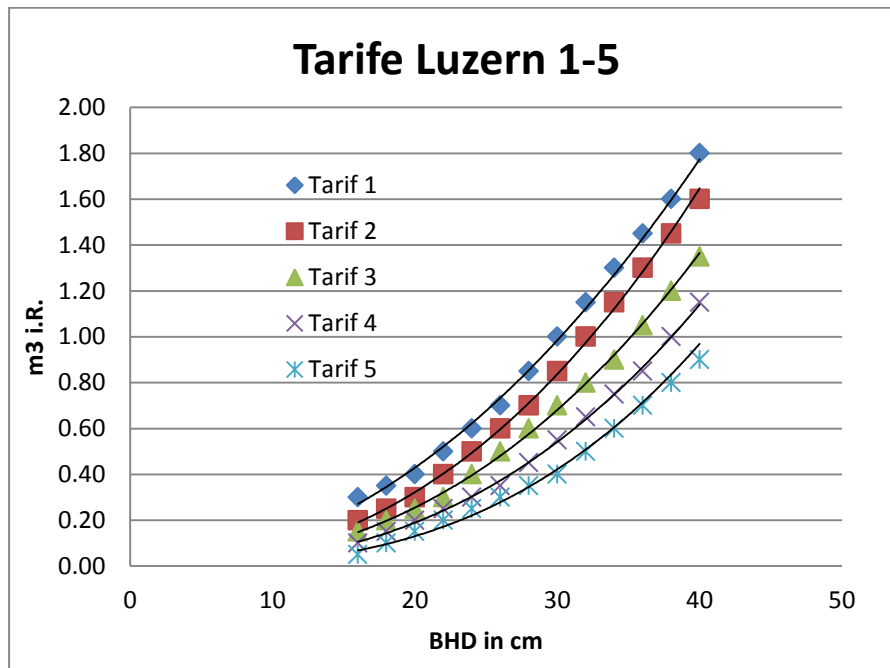


Abbildung 4: Ausgleich der fünf verschiedenen Tarifstufen aus dem Luzerner Tarif. Tarif 1=sehr guter Standort, Tarif 2=guter Standort, Tarif 3=mittlerer Standort, Tarif 4=weniger guter Standort, Tarif 5=armer Standort.

Tabelle 1: Koeffizienten der Ausgleichsfunktionen $a \cdot BHD^b$ für den Luzerner Tarif

Luzerner Tarif	a	b
Tarif 1	0.0009	2.0478
Tarif 2	0.0003	2.3531
Tarif 3	0.0002	2.4200
Tarif 4	0.00008	2.5894
Tarif 5	0.00002	2.8915

Umrechnung von Zeitaufwand/Baum in Zeitaufwand/m³

Inklusive Abzopfen der Krone:

$$V_{mit} = a \times BHD^b \text{ (Koeffizienten } a \text{ und } b \text{ siehe Tab. 1)}$$

$$Zeitaufwand_{System} \left[\frac{Std}{Baum \text{ i. R.}} \right] = \frac{1}{60} (0.3573 \times BHD + 2.55) / 2$$

$$Anz_{Bäume} = \frac{Gesamte \text{ Holzmenge i. R.}}{V_{mit}} = \frac{Gesamte \text{ Holzmenge i. R.}}{a \times BHD^b}$$

Zeitaufwand für alle Bäume (d.h. für die gesamte Holzmenge):

$$Zeitaufwand_{System} [PMH_{15}] = \frac{1}{60} * \frac{0.3573 \times BHD + 2.55}{2} * \frac{Gesamte \text{ Holzmenge i. R.}}{a \times BHD^b}$$

Umrechnungsfaktor vom Zustand in Rinde in den Zustand ohne Rinde $F_{o.R. \text{ i. R.}}$

$$F_{o.R. \text{ i. R.}} = \frac{V_{o.R.}}{V_{i.R.}}$$

$$Zeitaufwand_{System} [PMH_{15}] = \frac{1}{60} * \frac{0.3573 \times BHD + 2.55}{2} * \frac{Gesamte \text{ Holzmenge i. R.}}{a \times BHD^b} * \frac{1}{Gesamte \text{ Holzmenge o. R.}}$$

$$Zeitaufwand_{System} [PMH_{15}] = \frac{1}{60} * \frac{0.3573 \times BHD + 2.55}{2} * \frac{Gesamte \text{ Holzmenge i. R.}}{a \times BHD^b} * \frac{1}{Gesamte \text{ Holzmenge i. R.} * F_{o.R. \text{ i. R.}}}$$

$$Zeitaufwand_{System} \left[\frac{PMH_{15}}{m^3 \text{ o. R.}} \right] = \frac{1}{60} * \frac{0.3573 \times BHD + 2.55}{2} * \frac{1}{a \times BHD^b} * \frac{1}{F_{o.R. \text{ i. R.}}}$$

Ohne Abzopfen der Krone:

Die Berechnung des Zeitaufwandes ohne Abzopfen der Krone erfolgt analog, die Zeiten werden um **0.5 Min. pro Baum** reduziert (siehe S. 7):

Tabelle 2: Prozentuale Zuschläge auf den Zeitbedarf für verschiedene Hangneigungen. Die nach Fällen und Vorliefern getrennten Zuschläge wurden gemittelt und gerundet (Quelle: ForstBW, Forstlicher Maschinenbetrieb Schrofel, D-Baiersbronn, 2018).

Hangneigung [%]	Fällen	Vorliefern	Zuschlag Hangneigung [%] (Mittelwert, gerundet)	Multiplikations- faktor
<= 15	0.0	0.0	0	1
>15<=25	6.5	6.9	7	1.07
>25<=35	17.2	18.3	18	1.18
>35<=45	32.3	34.2	33	1.33
>45<=55	51.6	54.7	53	1.53
>55	75.3	79.8	78	1.78

Ab einer Hangneigung >45% wird nicht mehr an die Rückegasse vorgeliefert, sondern an einen Maschinenweg oder eine Waldstrasse.

Für den Zeitaufwand inkl Zuschläge resultiert:

$$\text{Zeitaufwand}_{\text{System}} \left[\frac{\text{PMH}_{15}}{\text{m}^3 \text{ o. R.}} \right] = \frac{1}{60} * \frac{0.3573 * \text{BHD} + 2.55}{2} * \frac{1}{a \times \text{BHD}^b} * \frac{1}{F_{\text{o.R. i.R.}}} * \text{Multiplikationsfaktor aus Tab. 2}$$

Legende:

Zuschläge für Hangneigung gemäss Tabelle 2

Anz_{Bäume}: Anzahl Bäume für ein Volumen von 1 m³ i. R.

$F_{\text{o.R. i.R.}}$: Umrechnungsfaktor Volumen in Rinde in Volumen ohne Rinde = $\frac{V_{\text{o.R.}}}{V_{\text{i.R.}}}$

Berechnung der Produktivität

$$\text{Produktivität}_{\text{System}} : \frac{1}{(\text{Zeitaufwand}_{\text{System}}) \times F_{\text{stör}} \times F_{\text{indir}} \times F_{\text{Weg}} \times F_{\text{pausen}}}$$

Legende:

$\text{Zeitaufwand}_{\text{System}}$: Zeitaufwand des Systems (2 Mann und Vorrückegerät) für das Fällen und Vorliefern eines Baumes in Rinde $\left[\frac{\text{PMH}_{15}}{\text{m}^3 \text{ i. R.}} \right]$

$\text{Produktivität}_{\text{System}}$: Produktivität des Systems (2 Mann + Vorrückegerät) $\left[\frac{\text{PMH}_{15}}{\text{m}^3 \text{ i. R.}} \right]$

Falls das Vorrückegerät eine **Vorrückeraupe** ist, kann die Produktivität gegenüber dem Schlepper um einen **Faktor zwischen 0.95 und 1.3** individuell verändert werden. Als Defaultwert im Modell wird 1.1 eingesetzt, d.h. die Produktivität für die Vorrückeraupe wird gegenüber dem Schlepper als um 10% höher angenommen.

Die Vorrückeraupe kann allenfalls gegenüber dem Schlepper auch eine leicht tiefere Produktivität haben, beispielsweise wenn dickere Bäume vorgerückt werden und die Vorrückeraupe aufgrund ihres relativ geringen Gewichtes an Bäumen verankert werden muss (Zusatzaufwand). Das bedeutet dann, dass die Vorrückeraupe nicht in ihrem optimalen Einsatzbereich arbeitet.

Anmerkung:

Die Korrekturfaktoren für unterschiedliche Hangneigungen sowie unterschiedliche Produktivität der beiden Arten von Vorrückegerät (Schlepper bzw. Vorrückeraupe) werden sowohl auf die Personalzeit wie auch auf die Motorsägezeit und die Zeit des Vorrückegerätes angewendet.

3.3 Zeitsystem und Umrechnungen im Produktivitätsmodell "Fällen und Vorrücken"

3.3.1 Zeitsystem

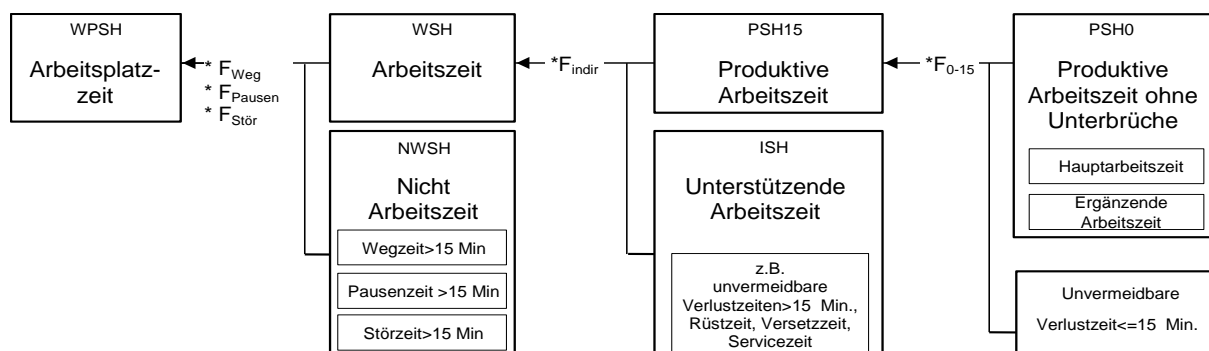


Abbildung 5: Verwendetes Zeitsystem (Björheden und Thompson 1995, Heinimann 1997; verändert).

Die in Abbildung 5 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
Personal (...personal hour)	WPPH	NWPH	WPH	IPH	PPH

PMH₁₅ entspricht der MAS (Maschinenarbeitsstunde inklusive Unterbrechungen kleiner gleich 15 Minuten)

3.3.2 Berechnung der System- und Faktorzeiten

System Fällen und Vorrücken

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

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

$$PSH_{15_System} = \frac{1}{Produktivität_{System}}$$

Vorrückegerät

Maschinenarbeitszeit des Forstschleppers mit Unterbrüchen bis 15 Min (PMH_{15} oder MAS)

$$PMH_{15_Schlepper} = \frac{1}{Produktivität_{Schlepper}} \times F_{Vorrückegerät}$$

für Forstschlepper: $F_{Vorrückegerät} = 1.0$

für Vorrückeraupe: $F_{Vorrückegerät} = 0.95$ bis 1.30

Der Faktor ist im Einzelfall vom Anwender des Modells festzulegen.

(Quelle: ForstBW, Forstlicher Maschinenbetrieb Schrofel, D-Baiersbronn, 2018).

Motorsäge für Fällen

Motorsägenarbeitszeit mit Unterbrüchen bis 15 Min (PMH_{15} oder MAS)

$$PMH_{15_Motorsäge} = \frac{1}{Produktivität_{Motorsäge}}$$

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

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

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

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

4 Berechnung von Zeitbedarf und Kosten

4.1 Zeitbedarf der Produktionsfaktoren pro m³ o.R.

Tabelle 4: Berechnung des Zeitbedarfs für das System (2 Arbeitskräfte und 1 Vorrückegerät).

Input		Formel	Output	
$Zeitbedarf_{System}$	$[PSH_{15}]$	Produktive Arbeitszeit des Systems aus 2 Arbeitskräften sowie Maschine für Fällen und Vorrücken: $PSH_{15} = \frac{1}{Produktivität_{System}}$	PSH_{15}	$[Arbeits\ stunden]$
	$[WPPH_p]$	Gesamtarbeitszeit Personal Arbeitsplatzzeit, d.h. produktive Personalzeit (2 Arbeiter) inkl. indirekte Zeiten sowie bezahlte Wegzeiten, Pausen und Störungen Gesamtarbeitszeit $WPPH_{Personal}$ $= 2 \times PSH_{15} \times F_{indir} \times F_{Weg} \times F_{Pausen} \times F_{Stör}$	$WPPH_{Per}$	[Gesamte Arbeitsplatzzeit]
$Zeitbedarf_{Schlepper}$	$[PMH_{15}]$	Maschinenarbeitszeit $PMH_{15_Schlepper} = \frac{1}{Produktivität_{Schlepper}}$		
$Zeitbedarf_{Motorsäge}$		$PMH_{15_Motorsäge} = \frac{1}{Produktivität_{Motorsäge}}$		
F_{indir}		Faktoren: $F_{indir} = \text{frei wählbar; im Modell 1.1}$		
F_{Weg}, F_{Pausen}	$[-]$	$F_{Weg} \times F_{Pausen} = \text{frei wählbar;}$		
	$[-]$	im Modell $\frac{540 \text{ Min}}{(540-60) \text{ Min}} = 1.125 \text{ Defaultwert}$		
$F_{Stör}$	$[-]$	$F_{Stör} = \text{frei wählbar; im Modell 1.00}$		

4.2 Kosten der Produktionsfaktoren für Fällen und Vorrücken pro m³ o.R.

Kosten Personal pro m³ o.R. = $WPPH_{Personal} \times \text{Personalkostenansatz}$
 Der Personalkostenansatz bezieht sich auf 1 Arbeitskraft.

Kosten Schlepper pro m³ o.R. = $PMH_{15_Schlepper} \times \text{Kostenansatz Schlepper}$

Kosten Motorsäge pro m³ o.R. = $PMH_{15_Motorsäge} \times \text{Kostenansatz Motorsäge}$

Gesamtkosten Fällen und Vorrücken pro m³ o.R.
 = Summe (Kosten Personal, Schlepper und Motorsäge)

5 Beispiele

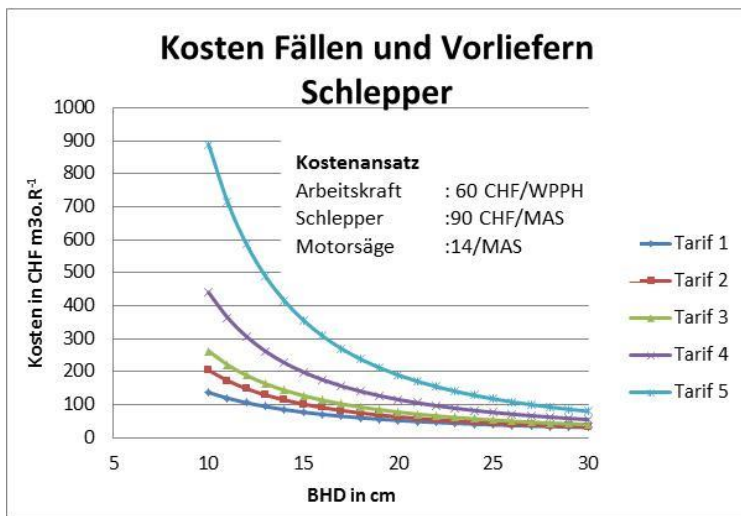


Abbildung 6: Kosten für das Fällen und Vorrücken mit Schlepper

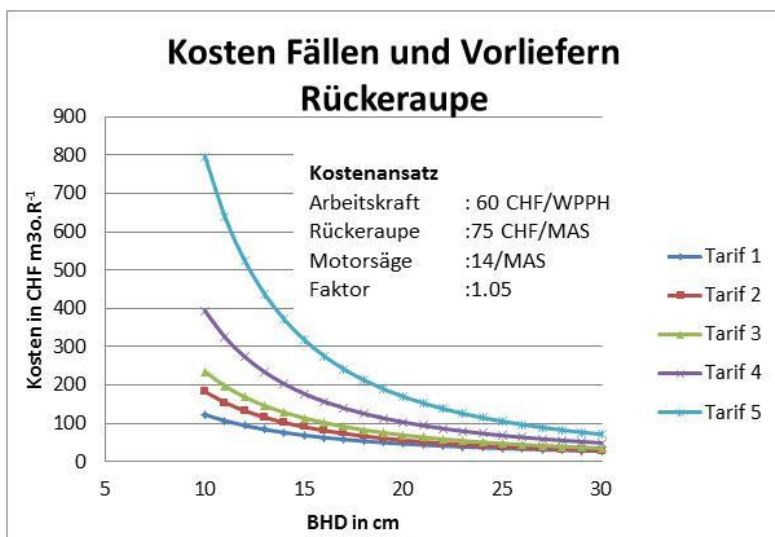


Abbildung 7: Kosten für das Fällen und Vorrücken mit einer Rückeraupe. Den Berechnungen liegt die Annahme zugrunde, dass die Produktivität der Rückeraupe gegenüber dem Forstschlepper um 5% bzw. den Faktor 1.05 höher ist.

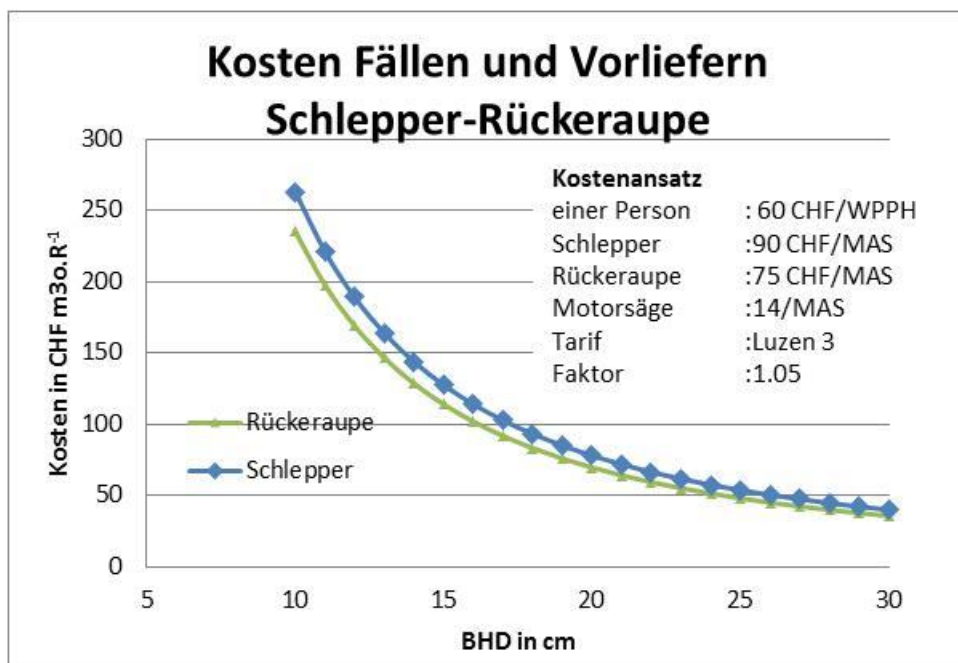


Abbildung 8: Vergleich der Kosten für das Fällen und Vorrücken mit Schlepper bzw. Rückeraupe.

Tendenziell sind die Kosten für das Vorrücken mit einer Rückeraupe tiefer als mit einem Forstschlepper oder ähnlicher Maschine. Die Rückeraupen sind oft günstiger in der Anschaffung und das Fahren erfolgt fernbedient, so dass das Auf- und Absteigen für den Maschinenführer entfällt, was die Produktivität erhöht.

6 Abkürzungen und Definitionen

Tabelle 5: Verzeichnis der Abkürzungen.

Abkürzung	Definition	Default-Werte	Definitions-bereich	Einheit
V_{mit}	Mittlerer Stückinhalt der vorgerückten Menge Derbholz der Vollbäume			$[m^3 \text{ i.R.}]$
F_{indir}	Multiplikationsfaktoren für: indirekte Arbeitszeiten	1.1	≥ 1	$[-]$
F_{Pausen}, F_{Weg}	bezahlte Pausen und Wegzeiten	1.125	≥ 1	$[-]$
$F_{Stör}$	Störungszeiten	1.00	≥ 1	$[-]$
$m^3 \text{ o.R.}$	Kubikmeter ohne Rinde, entspricht dem Verkaufsmass			$[m^3 \text{ o. R}]$
PMH_{15} Vorrückegerät	Produktive Maschinenarbeitszeit inkl. unvermeidbare Verlustzeiten < 15 Min. des Vorrückegerätes		≥ 0	$[Std]$
PSH_{15}	Produktive Arbeitszeit des System (2 Mann + Maschine) ohne bezahlte Wegzeiten, Pausen, indirekte Zeiten und Störungen		≥ 0	$[Std]$
Produktivität Maschine	Vorgerücktes Holzvolumen in $m^3 \text{ o.R.}$ pro PMH_{15}		≥ 0	$\left[\frac{m^3 \text{ o. R.}}{PMH_{15}} \right]$
Produktivität Personal	Vorgerücktes Holzvolumen in $m^3 \text{ o.R.}$ pro PSH		≥ 0	$\left[\frac{m^3 \text{ o. R.}}{PSH} \right]$
WPPH	Arbeitsplatzzeit des Personals pro $m^3 \text{ i.R.}$		≥ 0	$[Std]$

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.

Finanzministerium Baden-Württemberg, 1984: Tarifvertrag über die Entlohnung des Aufarbeitens von Fichte-/Tanne-Vollbäumen im kombinierten Seillinienvorfahren, Anlage 3.

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.

Schweizerischer Forstkalender, 2013. Verlag Huber, Frauenfeld, 108. Jg.

8 Beurteilung der Qualität des Modells „Fällen und Vorrücken“

Kriterien	Bewertung			Bemerkungen
Kriterien	Bewertung			Bemerkungen
Datengrundlage aus den Jahren	Grundlage D1 Tarif ForstBW 1984 verändert durch Maschinenbetrieb Schrofel 2018.			Die Umrechnung von Anzahl Bäumen auf ihre Baumvolumina erfolgte anhand der 5 Stufen des Luzerner Volumentarifs. Zuschläge für die Hangneigung wurden gemäss Angaben von ForstBW, Maschinenbetrieb Schrofel, D-Baiersbronn vorgenommen. Die Zeitaufwände für Fällen und Vorliefern beziehen sich auf den Einsatz eines Schleppers (Defaultwert 1.0). Für eine Vorrückeraupe kann der Umrechnungsfaktor individuell gewählt werden (ca. 0.95-1.30).
Technische Aktualität (Verfahren)	aktuell	teilw.veraltet	veraltet	
Umfang der Datengrundlage	gross	mittel	klein	
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	3 Inputvariablen

Gesamturteil:



X

Beurteilung durch: R. Lemm, O.Thees

Datum: 11. Januar 2019

