

HARVSTER

LEISTUNGS DATEN

MHT Robin
Neuson 11002 HV
Impex Königstiger



Untersuchungsergebnisse
aus Aufnahmen bei
Geländeneigungen
von 20 – 60%



Institut für Alpine Naturgefahren
und Forstliches Ingenieurwesen,
Universität für Bodenkultur Wien

Karl Stampfer



Kooperationsabkommen
Forst-Platte-Papier

Holzernte in der Durchforstung



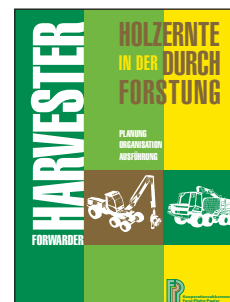
**Arbeitsgestaltung
und Planung
im Schleppergelände**
1997



**Organisation
im Schleppergelände**
2001



**Methodische Arbeit
im Schleppergelände**
1998



**Harvester
Forwarder**
1998



**Planung
im Seilgelände**
1997



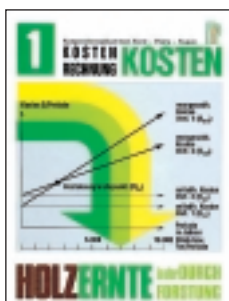
**Organisation
im Seilgelände**
1997



**Methodische Arbeit
im Seilgelände**
1988



**Geräte- und Kosten-
blätter**
1998



Kostenrechnung
1998

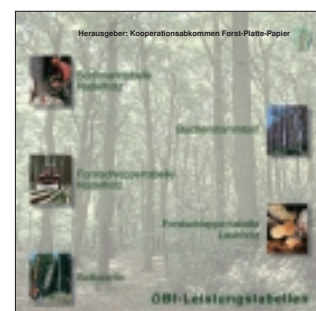


**Harvester
Leistungsdaten**
2001

CD-Rom „ÖBf-Leistungstabellen für die Holzernte“

- Sortimenttabelle
Nadelholz
- Buchenstammtarif
- Forstschleppertabelle
Nadelholz
- Forstschleppertabelle
Laubholz
- Seiltabelle

2000



VORWORT

Die vollmechanisierte Holzernte mit Harvester und Forwarder stellt im befahrbaren Gelände – speziell in Durchforstungen – derzeit die kostengünstigste Variante der Holzernte dar. In den letzten Jahren wurde die Entwicklung von Harvestern auf Raupenfahrzeugen forciert. Diese Trägerfahrzeuge haben unter bestimmten Voraussetzungen – z.B. bei ruhigem Relief – eine bessere Steigfähigkeit als radgetriebene Maschinen. Dadurch werden einerseits das Einsatzgebiet, bezogen auf die Hangneigung, erweitert und andererseits diesem Holzernteverfahren zusätzliche Flächen zugänglich gemacht.

Welchen Einfluss übt die Geländeneigung auf die Leistung der Maschine aus? Das Institut für Forsttechnik der Universität für Bodenkultur hat Leistungsuntersuchungen – unter Berücksichtigung der notwendigen Sicherheit für Fahrer und Maschine bzw. der Pfléglichkeit - bei drei Harvester-Gerätetypen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in diesem Bericht dokumentiert.

Die angeführten Leistungen sind Richtwerte, die für die Zeit- und Mengenplanungen benötigt werden. Sie dienen zur Objektivierung der Leistungsvorschau.

Auf die Kosten eines Holzernte-einsatzes haben neben der Leistung aber auch andere Faktoren, wie z.B. die Überstellungs- und Gemeinkosten einen wesentlichen Einfluss.

Die Holzernte mit dem Harvester ist ein Teil des Gesamtverfahrens. Die nachfolgende Bringung ist bei der Planung ebenso mit zu berücksichtigen. In steileren Lagen ist zum Schutz von Mensch, Maschine und Boden die Bringung mittels Seilgerät dem Einsatz eines Forwarders vorzuziehen.

Der Einsatz von Raupenharvestern soll dazu beitragen, Schwachholz kostengünstig und kontinuierlich zu erzeugen und möglichst in frischem Zustand zu den Verbraucherwerken anzuliefern.

Johannes Loschek

Wien, im September 2001



Raupenharvester MHT Robin



Raupenharvester Neuson 11002 HV



Raupenharvester IMPEX Königstiger

1 VOLLMECHANISIERTE HOLZERNT¹

Die vollmechanisierte Holzernte ist an Trägerplattformen gebunden, die in der Lage sind, natürliches Gelände zu passieren. Dabei sind folgende Fortbewegungsprinzipien für die Holzernte einsetzbar: Räder, Raupen, Füße und Kombinationen zwischen diesen Fortbewegungsarten (Hybriden). Neben den Fahrzeugeigenschaften bestimmen Bodentragfähigkeit, Bodenrauigkeit und Hangneigung die Grenzen der Mobilität (HEINIMANN, 1995). Aus heutiger Sicht muss über alle Bodenverhältnisse die Grenze der Befahrbarkeit mit Radfahrzeugen bei ca. 30% Hangneigung angegeben werden (Abbildung 1). Bei guter Tragfähigkeit des Bo-

dens ist mit Radharvestern ein Einsatz bis etwa 40% (50%) Hangneigung vorstellbar. Für steilere Bereiche kommen nur noch spezielle Trägerplattformen in Frage, die aber genauso in der Ebene einsetzbar sind. Raupen- und Hybridfahrzeuge können bei guten Bodenverhältnissen Hangneigungen bis zu 60% bewältigen. Der Raupenharvester Valmet 911 Snake kann unter günstigen Fahrbedingungen sogar Hangneigungen bis 70% befahren (STAMPFER et al., 2001). Eine Grundvoraussetzung für das Arbeiten am Steilhang ist die Nivellierbarkeit der Maschine.



Abbildung 1: Einsatzgebiete verschiedener Trägerplattformen. (HEINIMANN, 1995)*

Bei Schneelage müssen die maximal bewältigbaren Hangneigungen entsprechend reduziert werden. Schnee kann speziell zwischen den Raupen eine gefährliche Gleitfläche erzeugen. Stark kupiertes Gelände und Grobblockstandorte kommen ebenfalls nicht für Einsätze mit Raupenharvestern in Frage. Unter derartigen Geländebedingungen liegen die Vorteile beim Hybridharvester sowie Schreitharvester, welcher allerdings kommerziell noch nicht verfügbar ist.

Die Zielsetzung der vorliegenden Studie war es, Produktivitätsmodelle für die Raupenharvester Impex Königstiger, MHT Robin und Neuson 11002 HV zu entwickeln. Mit den mathematischen Funktionen ist eine Schätzung der Produktivität in Abhängigkeit von Maschinen-, Gelände- und Bestandesparametern möglich. Ein dreiteiliges Produktivitätsmodell, bestehend aus einem Fortbewegungs- und Baumbearbeitungsteil sowie einem Umrechnungsfaktor von produktiver Systemzeit (PSH₀ – Produktive Systemstunde – alle jene Tätigkeiten, die dem direkten Arbeitsfortschritt dienen) auf jene mit Unterbrechungen von bis zu 15 Minuten (PSH₁₅ – Produktive Systemstunde inklusive Unterbrechungen bis zu 15 Minuten, entspricht der Maschinenarbeitsstunde) wurde entwickelt.

Das Baumvolumen und die Eingriffsstärke sind die wesentlichen Einflussgrößen auf den Zeitbedarf für die Baumbearbeitung. Beim Königstiger ist der Zeitbedarf für die Baumbearbeitung nur durch das Baumvolumen beeinflusst. Die Fortbewegungszeit wird durch

Hangneigung und Bestandesdichte bestimmt. Die Anzahl der bearbeiteten Bäume pro Stopp wird durch die Bestandesdichte bestimmt. Die Bodentragfähigkeit beeinflusst nur beim MHT die Zeit für die Fortbewegung.

* Der CBR-Wert (California Bearing Ratio) ist – ausgedrückt in Prozenten – das Verhältnis des Eindringungswiderstandes in das zu prüfende Material zum Eindringungswiderstand in ein Standardmaterial (verdichteter Schlagschotter). Der CBR-Wert gibt Auskunft über die Tragfähigkeit des Bodens. Bei CBR-Werten von unter 3% ist bei den meisten Fahrzeugen mit starker Spurrinnenbildung zu rechnen.

¹ Ein Dankeschön an den Auftraggeber FPP und alle beteiligten Personen von Firmen, Unternehmen und Waldbesitzern. Ohne ihre Unterstützung und dem großartigen Einsatz der Zeitstudienleute unter Leitung von Thomas Steinmüller wäre der erfolgreiche Abschluss der Studie nicht möglich gewesen.

2 ABGRENZUNG DER ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN

Statistische Modelle können jeweils nur das vorliegende Datenmaterial abbilden und sind für die Prognose von Leistungen mit gewissen Fehlergrenzen behaftet. Es ist unbedingt zu beachten, dass Aussagen, die auf Grund des Datenmaterials hergeleitet werden, nur in jenem Bereich Gültigkeit haben, der an der unteren Grenze durch das 5%- und an der oberen Grenze durch das 95%-Quantil begrenzt ist.

Bei der Anwendung der vorliegenden Graphiken, Tabellen und Modelle zur Leistungsabschätzung sind zusammenfassend folgende Punkte zu beachten:

- Keine Anwendung der Leistungsdaten für Harvester mit veränderter Grundausstattung (Harvesterkopf oder Kranreichweite) und für Bestandes- und Geländebedingungen, bei denen ein Harvestereinsatz grundsätzlich ausgeschlossen werden kann (z.B. unregelmäßiges Kleinrelief oder Grobblockstandorte). Systeme mit motormanueller Zufällung wurden nicht untersucht.

- Ein Befahren der gesamten Fläche hat nicht stattgefunden. Die Auszeige war in den meisten Fällen bereits getan.
- Bei nachfolgender Seilrückung muss eine möglichst geradlinige Trassenführung gegeben sein.
- Die Arbeitsstudien fanden ausschließlich mit geübten Fahrern statt (Mindestarbeitserfahrung 800 Maschinenarbeitsstunden).
- Es wurden keine Kalamitätsnutzungen oder Durchforstungen von Reihenpflanzungen berücksichtigt.
- Keine Nutzungen mit einer großen Anzahl von Sondersortimenten wurden aufgenommen. Nicht marktfähige Baumdimensionen bis zu einem durchschnittlichen Anteil von 8% sind in der Arbeitsstudie inkludiert.
- In Bezug auf Holzart, Baumdimension, Bestandesdichte, Bodentragfähigkeit und Geländeneigung sind unbedingt die Grenzen in den Tabellen 11 bis 13 bzw. 2, 5 und 8 zu beachten.

3 MHT ROBIN

Der MHT Robin (Abbildung 2) ist ein 2,2 m breiter Raupenharvester mit einem Eigengewicht von 9,3 to (Tabelle 1). Die während der Zeitstudien beobachteten Maschinen waren mit dem Harvesteraggregat KETO 51 ausgestattet, weshalb der Einsatzbereich vor allem in Schwachholzdurchforstungen liegt. Im Gegensatz zu

den anderen vorgestellten Raupenharvestern ist diese Maschine mit einer vollautomatischen und computerunterstützten Nivelliereinrichtung der Kabine ausgestattet. Die eingebaute Hilfsseilwinde soll vor allem beim Passieren von steilen Böschungskanten unterstützend wirken.



Abbildung 2: Raupenharvester MHT Robin

Tabelle 1: Maschinenbeschreibung MHT Robin

		Wert	Einheit
Maschinendaten	Gewicht mit Harvesterkopf	9.295	kg
	Breite	1,9/2,0/2,2	m
	Höhe	ca. 3,3	m
	Kranreichweite	9,2	m
	Motor/Leistung	Kubota F 3300/51,5	KW
Raupenfahrwerk	Fahrgeschwindigkeit	0-4,4	km/h
	Kettenbreite	400/500	mm
	Bodenfreiheit	400/500	mm
	Bodendruck	ca. 0,3	kg/cm ²
Nivellierung	seitlich	+/- 17	°
	vorwärts	+ 28	°
	rückwärts	+ 7	°
Harvesteraggregat KETO 51	Gewicht inkl. Rotator	495	kg
	max. Fälldurchmesser	ca. 37	cm

Aus den fünf untersuchten Beständen wurde ein mittleres Baumvolumen von 0,10 bis 0,16 m³ ohne Rinde entnommen, was etwa einem mittleren Bruthöhendurchmesser von 16 cm entspricht (Tabelle 2). Die Länge der einzelnen Harvestertrassen lag zwischen 47 und 140 Metern, bei einer Hangneigung von 15 bis 62%.

Die Bestände setzten sich aus reiner Fichte zusammen und hatten ein Alter von 35 bis 50 Jahren. Der schwächste Bestand hatte eine Ausgangsstammzahl von 1.545 pro Hektar, während diese im minimalen Fall 1.246 betrug. Es wurden über alle Flächen rund 31% der stehenden Holzmasse entnommen.

Tabelle 2: Beschreibung der Untersuchungsobjekte (MHT Robin)

	1	2	Bestand 3	4	5
Trassenanzahl (n)	2	5	4	2	2
Trassenlänge (m)	80	47	140	70	67
Trassenneigung (%)	52-62	15-36	32-48	22-39	22-29
Baumvolumen entn. (m³)	0,14	0,11	0,13	0,10	0,16
BHD entnommen (cm)	15,7	15,7	16,3	14,9	17,1
Bestandesdichte (n/ha)	1274	1545	1255	1294	1246
Eingriffstärke (%)	24,80	33,72	35,05	30,83	32,99
Baumart (Anteile)	Fi 10	Fi 10	Fi 10	Fi 10	Fi 10
Alter (J)	37	35	45	35	50
Ort	Stanz	Bruck/M.	Filzmoos	Wildalpen	Wildalpen

Abbildung 3 zeigt die Produktivität für die Fällung und Aufarbeitung mit dem Raupenharvester MHT in Abhängigkeit von Baumvolumen und Hangneigung. Eine Hangneigung von 20% gibt einen mittleren Wert für moderates Gelände wieder, während

60% repräsentativ für das Steilgelände sind. Unter ähnlichen Bedingungen (Baumvolumen 0,13 m³) ergibt sich zwischen moderatem (20%) und steilem (60%) Gelände ein Produktivitätsunterschied von 0,40 m³/PSH₁₅.

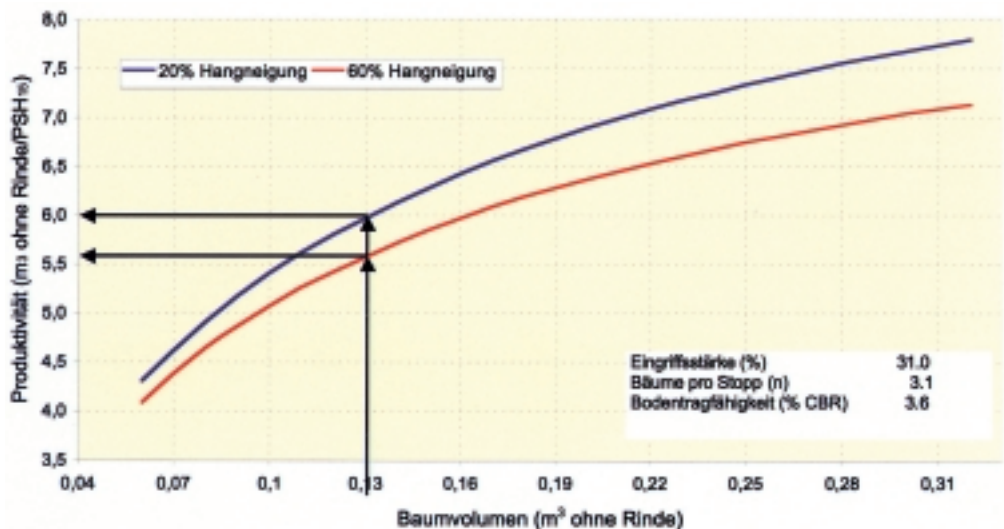


Abbildung 3: Produktivität des Raupenharvesters MHT Robin in Abhängigkeit von Baumvolumen und Hangneigung

Abbildung 4 zeigt die Produktivität des Raupenharvesters MHT Robin in Abhängigkeit von Baumvolumen und Eingriffsstärke. Eine Erhöhung der Eingriffsstärke von 20 auf 40% bedingt bei

einem Baumvolumen von 0,13 m³ eine Produktivitätssteigerung von 0,44 m³/PSH₁₅, was etwa 8% entspricht (siehe auch Tabelle 3).

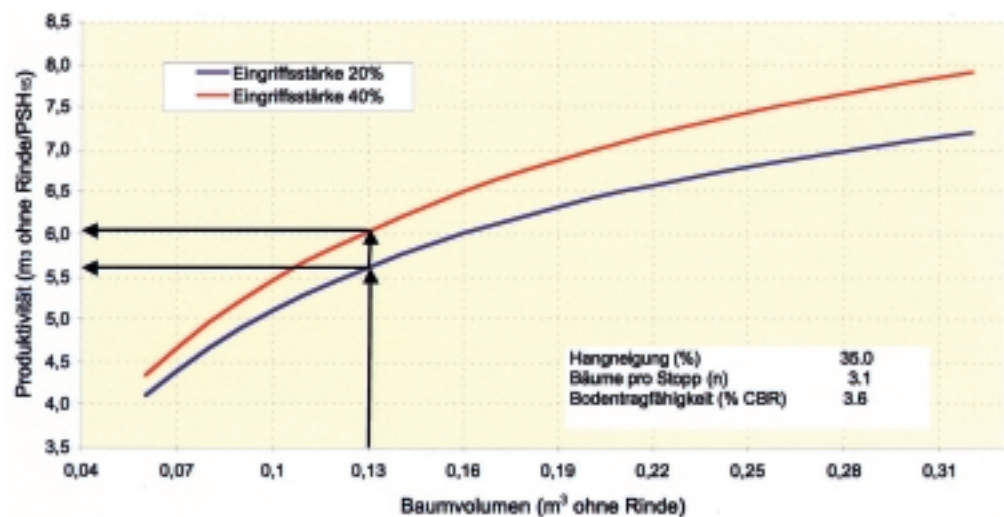


Abbildung 4: Produktivität des Raupenharvesters MHT Robin in Abhängigkeit von Baumvolumen und Eingriffsstärke

Tabelle 3: Produktivität MHT Robin in Abhängigkeit von Eingriffsstärke, Baumvolumen und Hangneigung

Eingriffsstärke	20		
Hangneigung	20	40	60
0,06	4,18	4,09	3,98
0,08	4,76	4,64	4,50
0,10	5,21	5,07	4,91
0,12	5,58	5,42	5,23
0,14	5,89	5,71	5,50
0,16	6,15	5,96	5,73
0,18	6,38	6,17	5,93
0,20	6,58	6,36	6,10
0,22	6,75	6,52	6,25
0,24	6,91	6,67	6,39
0,26	7,05	6,80	6,51
0,28	7,18	6,92	6,62
0,30	7,29	7,02	6,71
0,32	7,40	7,12	6,80

Eingriffsstärke	30		
Hangneigung	20	40	60
0,06	4,29	4,20	4,08
0,08	4,90	4,78	4,63
0,10	5,39	5,24	5,06
0,12	5,78	5,61	5,41
0,14	6,12	5,92	5,70
0,16	6,40	6,19	5,95
0,18	6,65	6,42	6,16
0,20	6,86	6,62	6,35
0,22	7,05	6,80	6,51
0,24	7,22	6,96	6,65
0,26	7,38	7,10	6,78
0,28	7,52	7,23	6,90
0,30	7,64	7,35	7,01
0,32	7,76	7,45	7,11

		Eingriffsstärke 40		
		Hangneigung 20	40	60
Beispiel:	0,06	4,41	4,31	4,19
	0,08	5,06	4,93	4,77
	0,10	5,57	5,42	5,23
	0,12	6,00	5,82	5,60
	0,14	6,36	6,15	5,91
Eingriffstärke 40%	0,16	6,67	6,44	6,18
Hangneigung 40%	0,18	6,94	6,69	6,41
Baumvolumen 0,20 m³	0,20	7,17	6,91	6,61
Geschätzte Produktivität		0,22	7,38	7,10
6,91 m³/PSH₁₅		0,24	7,57	7,28
		0,26	7,74	7,43
		0,28	7,89	7,57
		0,30	8,03	7,70
		0,32	8,16	7,82
				7,44

4 NEUSON 11002 HV

Der Raupenharvester Neuson 11002 HV ist ein für Holzerntearbeiten modifizierter Kurzheckbagger (Abbildung 5). Er wurde für die Ernte von schwachen bis mittelstarken Baumdimensionen konzipiert. Die Maschine inklusive Harvesterkopf Logmax 3000

besitzt ein Eigengewicht von 12,5 to. Die kompakten Abmessungen (2,4 m breit und 3,3 m hoch) bewirken eine hohe Wendigkeit (Tabelle 4).



Abbildung 5: Raupenharvester Neuson 11002 HV

Tabelle 4: Maschinenbeschreibung Neuson 11002 HV

		Wert	Einheit
Maschinendaten	Eigengewicht mit Harvesterkopf	12.500	kg
	Breite	2,4	m
	Höhe	3,3	m
	Kranreichweite	9,1	m
	Motor/Leistung	DEUTZ BF4M/75	KW
Raupefahrwerk	Fahrgeschwindigkeit	2,6 und 4,6	km/h
	Kettenbreite	500	mm
	Bodenfreiheit	520	mm
	Bodendruck	ca. 0,38	kg/cm ²
Nivellierung	seitlich	je 15	°
	vorwärts	25	°
Harvesteraggregat LOGMAX 3000	Gewicht inkl. Rotator	525	kg
	max. Fälldurchmesser	49	cm

Die sieben untersuchten Durchforstungsbestände hatten ein mittleres Baumvolumen von 0,08 bis 0,44 m³ ohne Rinde, was einem BHD von 13 bis 23 cm entspricht (Tabelle 5). Die Länge der durchschnittlich 0-58% geneigten Trassen betrug 60 bis 140 m. In den meisten Beständen war die Fichte dominierende Baumart, mit

mehr oder weniger beigemischter Lärche und Buche. Das Bestandesalter lag zwischen 30 und 71 Jahren. Der schwächste Bestand hatte eine Ausgangsstammzahl von 2.681 per Hektar. Es wurden auf allen Flächen rund 33% der stehenden Holzmasse entnommen.

Tabelle 5: Beschreibung der Untersuchungsobjekte (Neuson 11002 HV)

	1	2	Bestand 3	4	5	6	7
Trassenanzahl (n)	3	2	3	1	2	1	4
Trassenlänge (m)	140	100	67	60	110	80	83
Trassenneigung (%)	27-43	31-43	11-34	19-20	17-22	0-10	46-58
Baumvolumen entn. (m ³)	0,28	0,18	0,08	0,10	0,17	0,11	0,44
BHD entn. (cm)	20,9	18,7	13,4	13,6	15,7	14,4	22,7
Bestandesdichte (n/ha)	1191	1212	2681	2473	1617	1936	1046
Eingriffstärke (%)	33,84	26,95	28,37	50,60	33,54	50,59	40,0
Baumart (Anteile)	Bu 5 Fi 4 Lä 1	Fi 9 Lä 1	Fi 10	Fi 9 Bu 1	Bu 6 Fi 4	Fi 10	Fi 7 Lä 2 Bu 1
Alter (J)	45	71	35	30	45	30	60
Ort	Guß- werk	Weiter- ling	Eisen- kappel	Mond- see	Mond- see	Mond- see	Leoben

Abbildung 6 zeigt die Produktivität für die Fällung und Aufarbeitung mit dem Raupeharvester Neuson 11002 HV in Abhängigkeit von Baumvolumen und Hangneigung. Eine Hangneigung von 20% gibt einen mittleren Wert für moderates Gelände wieder,

während 60% repräsentativ für das Steilgelände sind. Unter ähnlichen Bedingungen (Baumvolumen 0,19 m³) ergibt sich zwischen moderatem (20%) und steilem (60%) Gelände ein Produktivitätsunterschied von 0,68 m³/PSH₁₅.

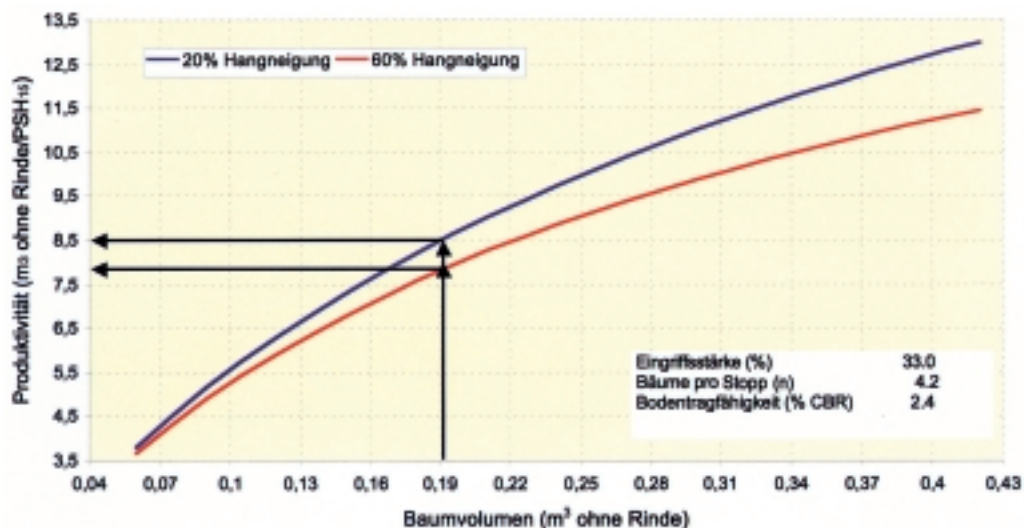
**Abbildung 6:** Produktivität des Raupeharvesters Neuson 11002 HV in Abhängigkeit von Baumvolumen und Hangneigung

Abbildung 7 zeigt die Produktivität für die Fällung und Aufarbeitung mit dem Raupenharvester Neuson 11002 HV in Abhängigkeit von Baumvolumen und Eingriffstärke. Ein Baumvolumen von 0,19 m³ und eine durchschnittliche Entnahme von 20% des

Volumens ergibt eine Produktivität von 7,7 m³/PSH₁₅. Diese kann um weitere 1,0 m³/PSH₁₅ gesteigert werden, wenn etwa 40% des Bestandesvolumens entnommen wird (siehe auch Tabelle 6).

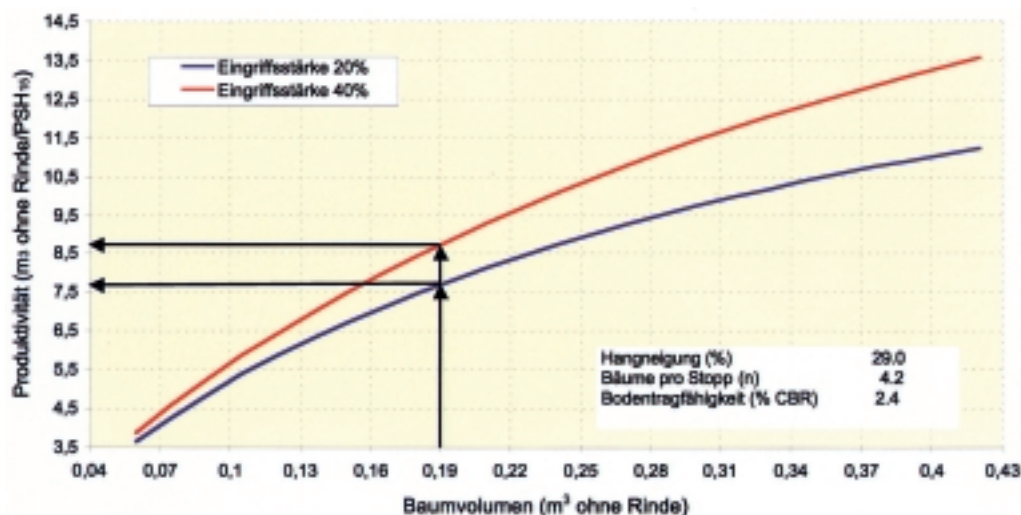


Abbildung 7: Produktivität des Raupenharvesters Neuson 11002 HV in Abhängigkeit von Baumvolumen und Eingriffstärke

Tabelle 6: Produktivität Neuson 11002 HV in Abhängigkeit von Eingriffsstärke, Baumvolumen und Hangneigung

Eingriffsstärke	20		
Hangneigung	20	40	60
0,06	3,67	3,61	3,53
0,09	4,90	4,79	4,67
0,12	5,94	5,78	5,60
0,15	6,83	6,62	6,38
0,18	7,60	7,34	7,05
0,21	8,28	7,98	7,63
0,24	8,89	8,54	8,14
0,27	9,43	9,04	8,59
0,30	9,92	9,49	9,00
0,33	10,37	9,90	9,37
0,36	10,77	10,27	9,70
0,39	11,15	10,61	10,00
0,42	11,49	10,92	10,28

Eingriffsstärke	30		
Hangneigung	20	40	60
0,06	3,77	3,71	3,63
0,09	5,09	4,98	4,84
0,12	6,22	6,05	5,85
0,15	7,20	6,97	6,70
0,18	8,07	7,78	7,45
0,21	8,84	8,49	8,10
0,24	9,53	9,13	8,68
0,27	10,16	9,71	9,20
0,30	10,73	10,23	9,67
0,33	11,26	10,71	10,09
0,36	11,74	11,14	10,48
0,39	12,19	11,54	10,83
0,42	12,60	11,91	11,15

Eingriffsstärke	40		
Hangneigung	20	40	60
0,06	3,88	3,82	3,74
0,09	5,30	5,17	5,03
0,12	6,53	6,34	6,12
0,15	7,62	7,36	7,07
0,18	8,60	8,27	7,90
0,21	9,48	9,08	8,64
0,24	10,28	9,82	9,30
0,27	11,02	10,49	9,90
0,30	11,69	11,10	10,44
0,33	12,32	11,66	10,93
0,36	12,90	12,18	11,39
0,39	13,44	12,66	11,81
0,42	13,94	13,11	12,19

5 IMPEX KÖNIGSTIGER

Der Raupenharvester IMPEX 1650 T „Königstiger“ (Abbildung 8) wurde von einem Forstunternehmer aus Bayern entwickelt. Als Trägerfahrzeug dient ein ATLAS-Bagger 1604 HD in Kurzheckversion. Die Breite des 463 cm langen Kettenlaufwerkes beträgt 60 cm (Tabelle 7). Die Maschine kommt etwa auf ein Gesamtgewicht von 28 to. Der Bodendruck beträgt ca. 0,5 kg/cm². Eine Besonderheit stellt der 15 m lange Kranausleger dar, der standardmäßig mit einem LAKO 63 Harvesterkopf ausgerüstet ist. Die Breite der Maschine beträgt 300 cm (SCHÖTTLE et al., 1997; WEIXLER et al., 1997). Daraus lassen sich für die Rückegassen maximale Abstände von 30 m ableiten, während eine Breite von 4 (bis 4,5) m ausreichend ist.



Abbildung 8:
Raupenharvester IMPEX Königstiger

Tabelle 7: Maschinenbeschreibung IMPEX Königstiger

		Wert	Einheit
Maschinendaten	Gewicht mit Harvesterkopf	ca. 28.000	kg
	Breite	3,0	m
	Höhe	ca. 3,4	m
	Kranreichweite	15,0	m
	Motor/Leistung	CUMMINS/150	kg
Raupenfahrwerk	Kettenlänge	4.630	mm
	Kettenbreite	600	mm
	Bodendruck	ca. 0,5	kg/cm ²
Nivellierung	seitlich	+/- 20	°
	vorwärts	+ 26	°
	rückwärts	+ 26	°
Standardaggregat LAKO 63	Gewicht inkl. Rotator	1.300	kg
	max. Fälldurchmesser	75	cm

Die untersuchten Durchforstungsbestände befanden sich in österreichischen Mittelgebirgs- sowie Gebirgsregionen und sind in Tabelle 8 charakterisiert. Entsprechend der Größe des Harvesteraggregates wurden durchschnittlich Baumvolumina mit 0,87 m³ ohne Rinde bearbeitet. Die Länge der einzelnen Harvestertrassen lag zwischen 40 und 143 Metern, bei einer Hangneigung von 10 bis 49%. Die Bestände setzen sich meist aus Fichte mit

geringer Beimischung von Lärche und Birke zusammen. Das Alter lag zwischen 40 und 135 Jahren. Die Ausgangsstammzahl betrug im Mittel etwa 550 Stämme/Hektar. Nachdem der Königstiger vorwiegend für Durchforstungen in stärkeren Baumdimensionen und Endnutzungen eingesetzt wird, ergab sich ein sehr differenziertes Bild bezüglich der Eingriffstärke.

Tabelle 8: Beschreibung der Untersuchungsobjekte (IMPEX Königstiger)

	1	2	Bestand	4	5	6	7	8
Trassenanzahl (n)	2	1	5	2	2	2	1	1
Trassenlänge (m)	130	120	128	110	120	143	80	40
Trassenneigung (%)	24-36	13-33	18-45	23-37	30-49	10-26	27-45	34
Baumvolumen entn. (m ³)	0,79	0,80	0,96	1,13	1,31	0,76	0,20	0,11
BHD entn. (cm)	34,8	35,2	37,3	39,8	39,7	29,8	18,2	15,1
Bestandesdichte (n/ha)	362	404	316	368	369	620	1105	1882
Eingriffstärke (%)	31,22	38,14	41,50	83,20	81,30	27,91	30,91	29,40
Baumart (Anteile)	Fi/Lä	Fi	Fi/Lä	Fi	Fi/Lä	Fi	Fi/Bi/ Lä	Fi/Lä
Alter (J)	115	135	110	130	120	80	40	40
Ort	Stainz	Stainz	Stainz	Stainz	Stainz	Reich- ramming	Alpl	Alpl

Abbildung 9 zeigt die Produktivität für die Fällung und Aufarbeitung mit dem Raupenharvester „Königstiger“ in Abhängigkeit von Baumvolumen und Hangneigung (siehe auch Tabelle 9). Eine Hangneigung von 25% gibt einen mittleren Wert für schlepper-

befahrbares Gelände wieder, während 45% repräsentativ für das Steilgelände sind. Unter ähnlichen Bedingungen (Baumvolumen 0,84 m³) ergibt sich zwischen Schleppergelände (25%) und Steilgelände (45%) ein Produktivitätsunterschied von 1,5 m³/PSH₁₅.

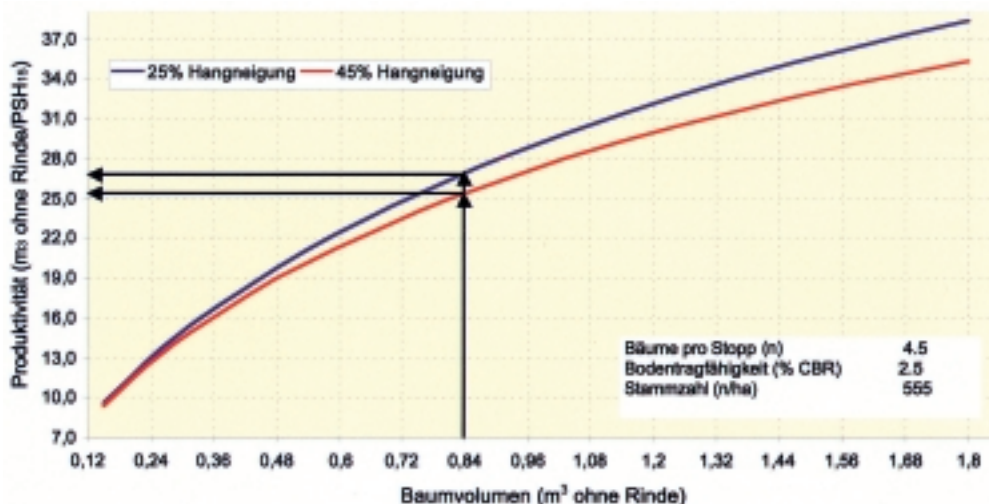


Abbildung 9: Produktivität des Raupenharvesters Königstiger in Abhängigkeit von Baumvolumen und Hangneigung

Tabelle 9: Produktivität des Raupenharvesters Königstiger in Abhängigkeit von Hangneigung und Baumvolumen

Hangneigung	25	45
0,15	9,55	9,35
0,26	13,65	13,25
0,37	16,98	16,35
0,48	19,79	18,95
0,59	22,25	21,19
0,70	24,43	23,15
0,81	26,39	24,91
0,92	28,17	26,49

Hangneigung	25	45
1,03	29,80	27,92
1,14	31,30	29,23
1,25	32,69	30,44
1,36	33,98	31,56
1,47	35,19	32,60
1,58	36,32	33,57
1,69	37,39	34,47
1,80	38,39	35,33

6 METHODIK

6.1 Problemmodell

Für Radharvester gibt es vor allem im skandinavischen Raum zahlreiche Zeitbedarfs- und Produktivitätsmodelle (ASIKAINEN, 1995; FJELD, 1994; NURMI, 1994), welche in ihrem Grundschemata aus drei Komponenten bestehen: einem Modell (1) für die Fortbewegung, (2) für die Baumbearbeitung und (3) für die allgemeinen Zeiten. Aufbauend auf dieser Grundkonzeption wird von folgenden Modellhypothese ausgegangen:

6.2 Datenerhebung und -aufbereitung

Als Beobachtungseinheit wurde die Bearbeitungszeit bezogen auf den Einzelbaum gewählt, für den die in Tabelle 10 dargestellten Antwort- und Kovariablen sowie Zeiten erhoben bzw. berechnet wurden. Nachdem das Arbeitssystem im Mittelpunkt der Überlegungen steht, wurde auf eine Unterteilung in Arbeitsablaufabschnitte verzichtet. Die statistische Auswertung erfolgt ausschließlich über die produktive Arbeitszeit (PSH₀). Um auch in Bezug auf die PSH₁₅ (Produktive Systemstunde inkl. Unterbrechungen kleiner als 15 Minuten) Produktivitätsaussagen machen zu können, wird über die gesamte Aufnahmezeit ein Umrechnungsfaktor von PSH₀ auf PSH₁₅ ermittelt.

Die Arbeitsstudien wurden in einer Kombination aus Fortschrittszeit- und Teilzeitverfahren durchgeführt. Dieses Verfahren bietet den Vorteil, dass nachträglich kleinere Fehler korrigiert werden können, da der Arbeitsablauf rekonstruierbar ist. Es wurde das mobile Datenerfassungsgerät Latschbacher EG-20 verwendet.

- Fortbewegungszeit = f(Hangneigung, Bestandesdichte und Bodentragfähigkeit)
- Bearbeitungszeit = f(Baumvolumen, Eingriffstärke und Bestandesdichte)
- Die Unterbrechungen werden über einen Umrechnungsfaktor von PSH₀ (Produktive Systemstunde) auf PSH₁₅ (Produktive Systemstunde inklusive Unterbrechungen bis 15 Minuten) berücksichtigt.

Bei diesem Gerät besteht die Möglichkeit, die gewonnenen Daten direkt auf einer Rechenanlage weiterzuverarbeiten; damit wird die spätere Auswertung wesentlich erleichtert.

Für die Zeitstudien sind zwei Aufnahmepersonen erforderlich. Deren Aufgaben gliedern sich wie folgt:

Der *Zeitnehmer* ist für die Durchführung der Zeitstudie im speziellen verantwortlich und mit dem mobilen Datenerfassungsgerät ausgestattet.

Der *Messgehilfe* zeichnet auf einem Formular für jeden Zyklus die Baumnummer, die Anzahl und Länge der ausgeformten Sortimente und die Länge des Wipfels auf. Außerdem trägt der Messgehilfe die zurückgelegte Distanz des Harvesters während der Fortbewegung (in Metern) in sein Formular ein. Bei Unterbrechungen wird die Art der Unterbrechung (Kette spannen, persönliche Verteilzeit usw.) notiert.

Tabelle 10: Beschreibung der numerischen Variablen und Zeiten des Versuchslayouts

Typ	Variable	Beschreibung	Einheit
Antwortvariablen	zyklus _{bearb}	Gesamte Zeit für die Bearbeitung eines Einzelbaumes; Produktive Systemstunden	min
	zyklus _{fortbew}	Gesamte Zeit der Fortbewegung zwischen zwei Harvesterstopps; Produktive Systemstunden	min
Kovariablen	baumvol	Volumen eines Einzelbaumes	m ³ ohne Rinde
	bauvkum	Summe der Baumvolumen, die pro Stopp bearbeitet werden	m ³ ohne Rinde
	nstand	Anzahl der bearbeiteten Bäume pro Stopp	n
	neig	Neigung der Probeflächensegmente	%
	entproh	Entnahmeprozent	%
	tragf	Tragfähigkeit des Oberbodens	% CBR
Zeiten	psh ₀	Produktive Arbeitszeit. Alle jene Arbeitstätigkeiten, die ausschließlich dem Arbeitsfortschritt dienen (exklusive Fortbewegung)	min
	fort	Das Raupenfahrwerk bewegt sich	min
	nichtverw	Die Fällung und Aufarbeitung von nicht verwertbaren Bäumen (z.B. Dürrling)	min
	untkl15	Unterbrechungen der Arbeitstätigkeit bis zu 15 min (PSH ₀ und Unterbrechungen < 15 min ergibt die PSH ₁₅)	
	untgr15	Unterbrechungen der Arbeitstätigkeit von mehr als 15 min (entspricht der unproduktiven Systemstunde = USH)	min

6.3 Statistische Analyse

Die Varianzanalyse vermag den Einfluss nominal- oder ordinal-skaliertter unabhängiger Variablen auf eine abhängige Variable zu untersuchen. Die vorliegende Auswertung erfolgte mit S-Plus (u.a. KRAUSE, 1997), wobei die statistischen Grundlagen bei VENABLES und RIPLEY (1997) beschrieben sind. Es wurde folgende Analysestrategie gewählt (HEINIMANN, STAMPFER et al., 1999):

- Erstellung eines linearen Modells mit allen Kovariablen;
- Evaluation der Nichtlinearität der Kovariablen;
- Auswahl einer Anzahl von Submodellen durch Entfernen von Variablen, die nicht signifikant sind;
- Zweiweg-Wechselwirkungen zwischen Kovariablen prüfen.

Ausgehend von den Überlegungen von HÄBERLE (1984), dass das Baumvolumen bei allen Produktivitätsfunktionen einen we-

sentlichen Einfluss ausübt, der Zusammenhang zwischen Produktivität und Baumvolumen aber meist nicht linear ist, wird die Kovariable baumvol mit einer Variablen potenziert. HÄBERLE (1984) schlägt zur Schätzung des Exponenten eine iterative Vorgehensweise vor. BOX und COX (1964) beschreiben eine Methodik, wie die optimale Transformation mit Hilfe von sogenannten Profil-Likelihood-Funktionen geschätzt werden kann. VENABLES und RIPLEY (1997) zeigen, wie sich die Box-Cox-Prozeduren für die Transformation der Zielvariablen in S-Plus implementieren lassen. Analog zu diesem Vorgehen kann das Prinzip der Profil-Likelihood-Funktion auch auf die Transformation der unabhängigen Variablen angewendet werden (HEINIMANN, 1998). Danach werden mittels multipler linearer Regression die Parameter des Modells geschätzt, welche die Produktivität des Raupenharvesters unter verschiedenen Bedingungen möglichst genau quantifizieren.

6.4 Statistische Kenngrößen

Statistische Modelle können jeweils nur das vorliegende Datenmaterial abbilden und sind für die Prognose mit gewissen Fehlergrenzen behaftet. Es ist unbedingt zu beachten, dass Aussagen, die auf Grund des Datenmaterials hergeleitet werden, nur in jenem Bereich Gültigkeit haben, der an der unteren Grenze durch das 5%- und an der oberen Grenze durch das 95%-Quantil begrenzt ist.

Tabelle 11 zeigt die statistischen Kennwerte für die Königstiger-Aufnahmen. Insgesamt wurde die Fällung und Aufarbeitung von 1.230 Bäumen beobachtet, was einer Gesamtholzmenge von

1.067 m³ ohne Rinde entspricht. Für das durchschnittliche Baumvolumen von 0,87 m³ ohne Rinde wird etwas mehr als eine Minute Bearbeitungszeit benötigt. Dieser Kennwert liegt im für Radharvester üblichen Bereich. Auffällig scheint das relativ hohe bearbeitete Baumvolumen (zwischen 0,07 und 2,05 m³ ohne Rinde), weil Harvester allgemein vor allem im Schwachholzbereich eingesetzt werden (HEINIMANN, 1998). JOHANSSON (1995) gibt für Raupenharvester gar ein Grenzbaumvolumen von 0,5 m³ an. Durchschnittlich werden pro Harvesterstopp etwa 4,5 Bäume umgeschnitten und aufgearbeitet.

Tabelle 11: Statistische Kennwerte der numerischen Variablen (IMPEX Königstiger)

Variable	Mittelwert	0,05 Quantil	0,95 Quantil	Einheit
zyklus _{bearb}	1,35	0,45	3,03	min
zyklus _{fortbew}	0,40	0,08	0,99	min
baumvol	0,87	0,07	2,05	m³ ohne Rinde
nstand	4,52	1,00	7,00	n
neig	31,09	15	48	%
entproh	49,64	21,09	90,79	%
stha	555,4	208,24	1407,00	n/ha
tragf	2,46	1,08	4,17	% CBR

Tabelle 12 zeigt die statistischen Kennwerte des Datenmaterials für den Harvester MHT Robin. Insgesamt wurde die Fällung und Aufarbeitung von 1.155 Bäumen beobachtet, was einer Gesamt-

holzmenge von 146 m³ ohne Rinde entspricht. Für das durchschnittliche Baumvolumen von 0,13 m³ ohne Rinde wird etwas weniger als eine Minute Bearbeitungszeit benötigt.

Tabelle 12: Statistische Kennwerte der numerischen Variablen (MHT Robin)

Variable	Mittelwert	0,05 Quantil	0,95 Quantil	Einheit
zyklus _{bearb}	0,80	0,26	2,10	min
zyklus _{fortbew}	0,38	0,12	0,95	min
baumvol	0,13	0,02	0,33	m³ ohne Rinde
nstand	3,12	1,00	7,00	n
neig	35,2	20,05	58,00	%
entproh	31,41	15,98	49,77	%
stha	1323,54	909,52	2130,31	n/ha
tragf	3,64	1,50	5,67	% CBR

Tabelle 13 zeigt die statistischen Kennwerte für die Neuson-Aufnahmen. Insgesamt wurde die Fällung und Aufarbeitung von 1.649 Bäumen beobachtet, was einer Gesamtholzmenge von

325 m³ ohne Rinde entspricht. Für das durchschnittliche Baumvolumen von 0,20 m³ ohne Rinde wird etwas weniger als eine Minute Bearbeitungszeit benötigt.

Tabelle 13: Statistische Kennwerte der numerischen Variablen (Neuson 11002 HV)

Variable	Mittelwert	0,05 Quantil	0,95 Quantil	Einheit
zyklus _{bearb}	0,82	0,34	1,73	min
zyklus _{fortbew}	0,36	0,06	1,05	min
baumvol	0,20	0,03	0,66	m³ ohne Rinde
nstand	4,20	1,00	9,00	n
neig	28,81	5,00	53,00	%
entproh	33,3	19,21	56,11	%
stha	1828,00	789,23	3066,29	n/ha
tragf	2,35	1,10	4,08	% CBR

6.5 Produktivitätsmodelle

Aus der Addition der Systemeffizienz für die Fortbewegung und Bearbeitung lässt sich über den Kehrwert die Systemproduktivität herleiten (Formel 1). Alle Baumbearbeitungs- und Fortbewegungsmodelle basieren auf der produktiven Systemzeit ohne Unterbrechungen (PSH₀). Für praktische Zwecke ist es üblich,

Unterbrechungen bis zu 15 Minuten einzubeziehen (PSH₁₅), wodurch der Zeitbedarf höher wird. Der entsprechende Korrekturfaktor für die vorliegenden Raupenharvester beträgt 1,35. Der Wert 60 in Formel 1 ergibt sich durch die Umrechnung von Minuten auf Stunden.

Formel 1

$$prod_{raupe} = \frac{60}{k * (effiz_{fortbew} + effiz_{bearb})}$$

prod_{raupe} Systemproduktivität Raupenharvester (m³/PSH₁₅)
 effiz_{fortbew} Systemeffizienz Fortbewegung (min/m³)
 effiz_{bearb} Systemeffizienz Bearbeitung (min/m³)
 k Umrechnungsfaktor von Zeitbedarf PSH₀ auf PSH₁₅

Grundsätzlich hat bei allen Harvestertypen das Baumvolumen und die Eingriffstärke einen signifikanten Einfluss auf den Zeitbedarf für die Baumbearbeitung (Formel 3, 5 und 7). Ausnahme ist der Königstiger, bei dem für das vorliegende Datenmaterial nur das Baumvolumen signifikant ist. Die Fortbewegungszeit hängt im Wesentlichen von der Bestandesdichte und der Hangneigung ab (Formel 2, 4 und 6). Die Anzahl der bearbeiteten Stämme pro Stopp sind auch eine Funktion der Bestandesdichte. Kein Einfluss der Hangneigung auf die Fortbewegungszeit konnte für den

Neuson-Raupenharvester nachgewiesen werden. Die Gründe liegen wahrscheinlich in nicht ausreichendem Datenmaterial für die extremen Hangneigungen (50-60%). Die Bodentragfähigkeit hat für das vorliegende Datenmaterial nur beim MHT Robin einen Einfluss auf die Fortbewegung. Für die Ergebnisdarstellung im vorliegenden Beitrag wurde für die Raupenharvester MHT und Neuson dasselbe Fortbewegungsmodell unterstellt (Formel 3). Diese Vorgangsweise ist durch statistische Tests abgesichert.

Formel 2

$$KÖNIGST\ effiz_{fortbew} = e^{(-2,7743+0,0014*stha-0,2685*nstand+0,0353*neig)}$$

KÖNIGST effiz_{fortbew} Systemeffizienz Fortbewegung (min/m³)
nstand Anzahl bearbeitete Stämme pro Stopp (n)
neig Hangneigung (%)
stha Bestandesdichte (n/ha)

Formel 3

$$KÖNIGST\ effiz_{bearb} = 0,4179 + 0,9973 * baumvol^{-0,75}$$

KÖNIGST effiz_{bearb} Systemeffizienz Bearbeitung (min/m³)
baumvol. Baumvolumen (m³ ohne Rinde)

Formel 4

$$MHT\ effiz_{fortbew} = e^{(1,1004-0,2782*nstand+0,0109*neig-0,1366*tragf)}$$

MHT effiz_{fortbew} Systemeffizienz Fortbewegung (min/m³)
nstand Anzahl bearbeitete Stämme pro Stopp (n)
neig Hangneigung (%)
tragf Tragfähigkeit des Oberbodens (% CBR)

Formel 5

$$MHT\ effiz_{bearb} = 3,9553 + 0,6606 * baumvol^{-0,8} - 0,0279 * entproh$$

MHT effiz_{bearb} Systemeffizienz Bearbeitung (min/m³)
baumvol. Baumvolumen (m³ ohne Rinde)
entproh Entnahmeprozent (%)

Formel 6

$$NEUSON\ effiz_{fortbew} = e^{(0,2934-0,3874*nstand+0,0001*stha*nstand)}$$

NEUSON effiz_{fortbew} Systemeffizienz Fortbewegung (min/m³)
nstand Anzahl bearbeitete Stämme pro Stopp (n)
stha Bestandesdichte (n/ha)

Formel 7

$$NEUSON\ effiz_{bearb} = 1,9747 + 0,7938 * baumvol^{-0,9} - 0,0340 * entproh$$

NEUSON effiz_{bearb} Systemeffizienz Bearbeitung (min/m³)
baumvol. Baumvolumen (m³ ohne Rinde)
entproh Entnahmeprozent (%)

6 LITERATURVERZEICHNIS

ASIKAINEN, A. (1995): Discrete-event simulation of mechanized wood-harvesting systems. Dissertation, Universität Joensuu, Forstliche Fakultät. 86 S.

BOX, G.E.P. and COX, D.R. (1964): An analyses of transformations. Journal of the Royal Statistical Society, 26: 211-252.

FJELD, D.E. (1994): Time consumption for selection and patch cutting with a one-grip harvester. Communications of Skogforsk, 47, 4: 1-27.

HÄBERLE, S. (1984): Standardisierung zweidimensionaler Ausgleichsfunktionen über Richtgrad und Richtkonstante. Forstarchiv, 55, 6: 220-225.

HEINIMANN, H. R. (1995): Mechanisierte Holzernte in Hanglagen. Wald und Holz, 76, 11: 32-36.

HEINIMANN, H. R. (1998): Produktivität und Einsatzbedingungen verschiedener Harvestertypen – eine statistische Auswertung aufgrund von Leistungsnachweisen Unveröffentlichter Bericht, Professur für forstliches Ingenieurwesen, ETH-Zürich. 14 S.

HEINIMANN, H.R.; VISSER, R.J.M.; STAMPFER, K. (1998): Harvester - Cable Yarder System Evaluation on Slopes – a Central European Study in Thinning operations. In: Proceedings of the Annual Meeting of the Council on Forest Engineering, Harvesting Logistics: From Woods to Markets. Schiess and Krogstad (editors). July 20-23, 1998, Portland, Oregon: 39-44.

JOHANSSON, J. (1995): Excavators as base machines in logging operations. Journal of Forest Engineering, 7, 1: 1-17.

KRAUSE, A. (1997): Einführung in S und S-Plus. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York. 319 S.

NURMI, J. (1994): Hakkuutähteen kertymä koneellisen puunkorjuun yhteydessä. Manuskript an die Zeitschrift Folia Forestalia. 19 S.

SCHÖTTLE, R.; PFEIL, Ch.; SAUTER, F. 1997. Leistung und Einsatzmöglichkeiten des Raupenharvesters in der Durchforstung. Allgemeine Forstzeitung/Der Wald, 52, 22: 1179-1181.

STAMPFER, K. (1999): Influence of terrain conditions and thinning regimes on productivity of a track-based steep slope harvester. In: Proceedings of the International Mountain Logging and 10th Pacific Northwest Skyline Symposium. Sessions and Chung (editors). March 28- April 1, 1999, Corvallis, Oregon: 78-87.

STAMPFER, K; STEINMÜLLER, Th.; SVATON, R. (2001): Grenzen der Steigfähigkeit. Österreichische Forstzeitung (Arbeit im Wald), 112, 3: 1-3.

VENABLES, W.N. and RIPLEY, B.D. (1997): Modern applied statistics with S-PLUS. 2. Auflage. Springer, New York (etc.). 548 S.

WEIXLER, H.; FELLER, St.; SCHAUER, H. (1997): Der Raupen-Harvester IMPEX 1650 T „Königtiger“ im Einsatz. Allgemeine Forstzeitung/Der Wald, 52, 22: 1182-1184.

IMPRESSUM

Eigentümer, Herausgeber und Verleger

FPP Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier
Gumpendorfer Straße 6, A-1061 Wien
Telefon 01/58 886 DW 292 oder 245 • Fax DW 222
E-mail: info@fpp.at • Homepage: <http://www.fpp.at>

Autor

Dipl.-Ing. Dr. Karl Stampfer
Universität für Bodenkultur, Wien

Fotos

J. Loschek, T. Steinmüller, K. Stampfer

Das FPP Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier ist eine Arbeitsgemeinschaft der österreichischen Forstwirtschaft, Span- und Faserplattenindustrie und Papierindustrie. Im Mittelpunkt der gemeinsamen Arbeit steht das Bemühen, den ökologisch vorteilhaften Rohstoff Holz nachhaltig und umweltfreundlich zu nutzen. Ein weiteres wichtiges Anliegen des FPP ist, die Öffentlichkeit über Waldbewirtschaftung und Holznutzung in Österreich zu informieren. Für nähere Informationen: <http://www.fpp.at>.

LEISTUNGS D A T E N

2001

HARVESTER

© FPP 2001