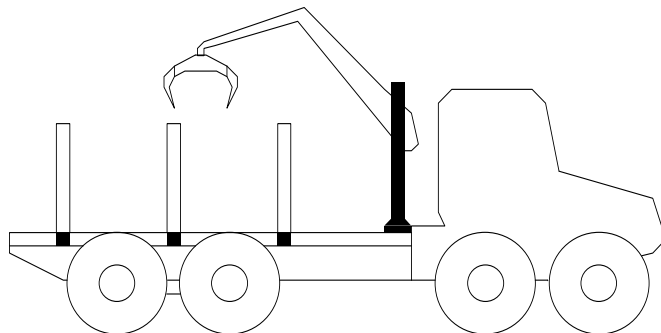


Produktivitätsmodelle für die Holzernte,
erstellt mit Hilfe komponentenbasierter Softwaretechnologie

Grundlagen für die Programmierung

Produktionssystem "Forwarder"



Abteilung Management Waldnutzung
Eidg. Forschungsanstalt WSL, 2003, 2014

Version	Autoren	Datum	Status	Kommentar
1.0	Lemm, Näf, Thees			
	R. Lemm	17. 2.99		Korrekturen Übersicht, Einfügen Zeitsystem
	R. Lemm	8.4.99		Korrekturen gemäss Umsetzung in COM-Komponenten J. Stückelberger
9.1	R. Lemm	30.6.99		Übersichtsgrafik neu erstellt
	R. Lemm	17.11.99		Korrektur Berechnung Geschw.auf M,RG, Faktoren für FL und LA wieder vertauscht
	M. Breitenstein	Dez. 2002		Formatierung und Korrekturen gem. V. Erni
2.0	M. Breitenstein	Mai 2003		Stand überprüft und bereinigt
3.0	S. Holm	Dez. 2014		Korrekturen

Inhaltsübersicht

1	Grundlagen.....	4
1.1	Entstehung und Verwendung.....	4
1.2	Verzeichnis der Quellen	4
1.3	Beurteilung und besondere Schwierigkeiten	4
1.4	Zeitangaben - Gliederung und Bezugsgrößen	4
2	Produktionssystem - verbal-bildliche Darstellung	5
2.1	Produktionsfaktoren	5
2.2	Produktionsprozess.....	5
2.2.1	Arbeitsaufgaben	5
2.2.2	Arbeitsabläufe	5
2.3	Input- und Outputzustand	6
2.3.1	Inputzustand.....	6
2.3.2	Outputzustand.....	6
2.3.3	Veränderungen.....	6
2.4	Erforderliche Arbeitsbedingungen	6
2.4.1	Technik und Personal.....	6
2.4.2	Gelände und Erschliessung	7
2.4.3	Waldbestände und waldbauliche Massnahmen.....	7
2.5	Berechneter Output.....	7
3	Produktionssystem - Wirkungszusammenhänge	8
3.1	Übersicht über den Datenfluss	9
3.2	Die Berechnungen im Einzelnen	11
3.2.1	Das Rohpoltervolumen	11
3.2.2	Die Rohpolterqualität.....	11
3.2.3	Lastvolumen pro Rückefahrt.....	12
3.2.4	Aufteilung der Fahrstrecken auf die Fahrrichtungen.....	12
3.2.5	Geschwindigkeiten und Fahrzeiten auf Maschinenwegen und Rückegassen.....	14
3.2.6	Geschwindigkeiten und Fahrzeiten auf der Strasse	15
3.2.7	Gesamte Fahrzeit.....	15
3.2.8	Laden und Entladen	16
3.2.9	Systemzeit und Zeit pro Rückefahrt.....	16
3.2.10	Zeitbedarf pro m3 (Personal und Maschinen)	17
3.3	Das vereinfachte Modell.....	18
3.3.1	Übersicht.....	18
3.3.2	Transformationen	19
3.4	Abkürzungen und Definitionen (mit Definitionsbereich und Einheiten)	20
3.5	Berechnungsbeispiel	23
4	Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	24
5	Anhang	25
A1:	Vergleiche von Feldaufnahmen und Modell-Versuchen.....	25
A2:	Beurteilung der Qualität des Modells (im Hinblick auf die Verwendung in Holzernte-Komponenten)	26
A3:	Hindernis- und Gefällsklasseneinteilung	27
A4:	Zeitsystem im Komponentenmodell „Forwarder“	28

1 Grundlagen

1.1 Entstehung und Verwendung

Das von Bergstrand (1985) unter schwedischen Bedingungen erstellte Kalkulationsmodell für das Forwarderrücken wurde von Lüthy (1997) mittels Erhebungen und Experimenten an die schweizerischen Verhältnisse angepasst.

Insbesondere wurde es im Hinblick auf die Anwendung am stehenden Bestand modifiziert (Informationen, erhoben am liegenden Holz, bilden die Basis der Schätzung beim schwedischen Modell). Für die an die Schweizerischen Verhältnisse angepasste Grundlage wurde von Lüthy und Näf (1997) auch ein PC-Programm für DOS namens „LUNA“ erarbeitet. Das Programm bietet eine detaillierte und eine vereinfachte Version der Kalkulationsgrundlage an. Der Entwicklung der COM-Komponente wurde die detaillierte Version zugrunde gelegt.

1.2 Verzeichnis der Quellen

BERGSTRAND, K.-G.; 1985: Underlag för prestationsmal för Skotning. 1. Aufl. Kista, Schweden, Forskningsstiftelsen Skogsarbeten Redogörelse. 35 S.

LÜTHY, C.; 1997: Kalkulationsgrundlage für das Holzrücken mit Forwarder.
Interner Bericht, Eidg. Forschungsanstalt für Wald Schnee und Landschaft (WSL).

LÜTHY, C.; NÄF, J.; THEES, O.; LEMM, R.; 1997: Kalkulationsgrundlage für das Holzrücken mit Forwarder - Benutzeranleitung für das PC-Programm LUNA (Diskette mit PC-Programm im Heft enthalten). Eidg. Forschungsanstalt für Wald Schnee und Landschaft (WSL).

1.3 Beurteilung und besondere Schwierigkeiten

Die schwedische Grundlage basiert auf umfangreichem Datenmaterial. Die an schweizerische Verhältnisse angepasste Grundlage (detailliertes Modell) wurde an 18 Holzschlägen in der Praxis getestet. Die Abweichungen zwischen vorkalkulierter und tatsächlicher Rückleistung lagen meistens unter $\pm 10\%$. Die grösste Abweichung lag bei 19%. Die Resultate des vereinfachten Modells streuen leicht stärker. Das detaillierte Modell rechnet mit wesentlich mehr Einflussgrössen als das vereinfachte und kann damit auf besondere Situationen besser eingehen. Für die hiesigen Verhältnisse ist die Grundlage als treffsicher zu bezeichnen. Das PC-Programm „LUNA“ befindet sich auch in Deutschland und in Österreich in verschiedenen Forstbetrieben und Forstunternehmen im Test. Ergebnisse über die Erfahrungen, Treffsicherheiten etc. liegen derzeit noch nicht vor.

Die Grundlage ist ausserdem aktuell und sehr gut dokumentiert. Gesamthaft gesehen handelt es sich um eine Grundlage von guter bis sehr guter Qualität (vgl. Anhang).

1.4 Zeitangaben - Gliederung und Bezugsgrössen

Das Modell von Lüthy (1997) liefert Zeitangaben auf der Basis von Betriebsstunden (Bstd.). Eine Überprüfung anhand von 20 Holzschlägen ergab keine Unterschiede zwischen Betriebsstunden und Maschinenarbeitsstunden (MAS). Die Zeitangaben beziehen sich auf ein Arbeitssystem bestehend aus Forwarder und Maschinist.

2 Produktionssystem - verbal-bildliche Darstellung

Anmerkung

In diesem Grundlagenbericht wird der Masseinheit m³ für die Holzvolumina (z. B. Holzmenge, Volumenmittelstamm) häufig der Zusatz i.R. (in Rinde) oder o.R. (ohne Rinde) angefügt.

Bei der Umsetzung der Grundlagen in EDV-Modelle wurde nicht unterschieden zwischen Holz in Rinde und ohne Rinde. Es gilt folgender Grundsatz: Die Einheit der Eingangsgrößen entspricht der Einheit im Ergebnis. Wichtig ist, dass die Einheit aller Eingangsgrößen (z. B. Holzmenge, Volumenmittelstamm) gleich gewählt wird ("was hinein geht, kommt wieder heraus").

2.1 Produktionsfaktoren

Das Produktionssystem „Forwarder“ für den Transport von Rundholzabschnitten besteht aus:

- 1 Forwarder (klein oder mittel)
- 1 Fahrer (Maschinist).

2.2 Produktionsprozess

2.2.1 Arbeitsaufgaben

Die Arbeitsaufgabe besteht darin, Rundholzabschnitte aus Waldbeständen auf lastwagen-erreichbare Lagerplätze zu transportieren (= Geländetransport).

2.2.2 Arbeitsabläufe

Das Modell bildet folgende Aktivitäten/ Einzelprozesse eines Transportprozesses (Rückezyklus) ab: Leerfahrt, Laden, Fahren beim Laden, Lastfahrt, Abladen (vgl. Abbildung 1). Das Modell bildet keine Informationsprozesse ab (z.B. keine Vermessung des Holzes).

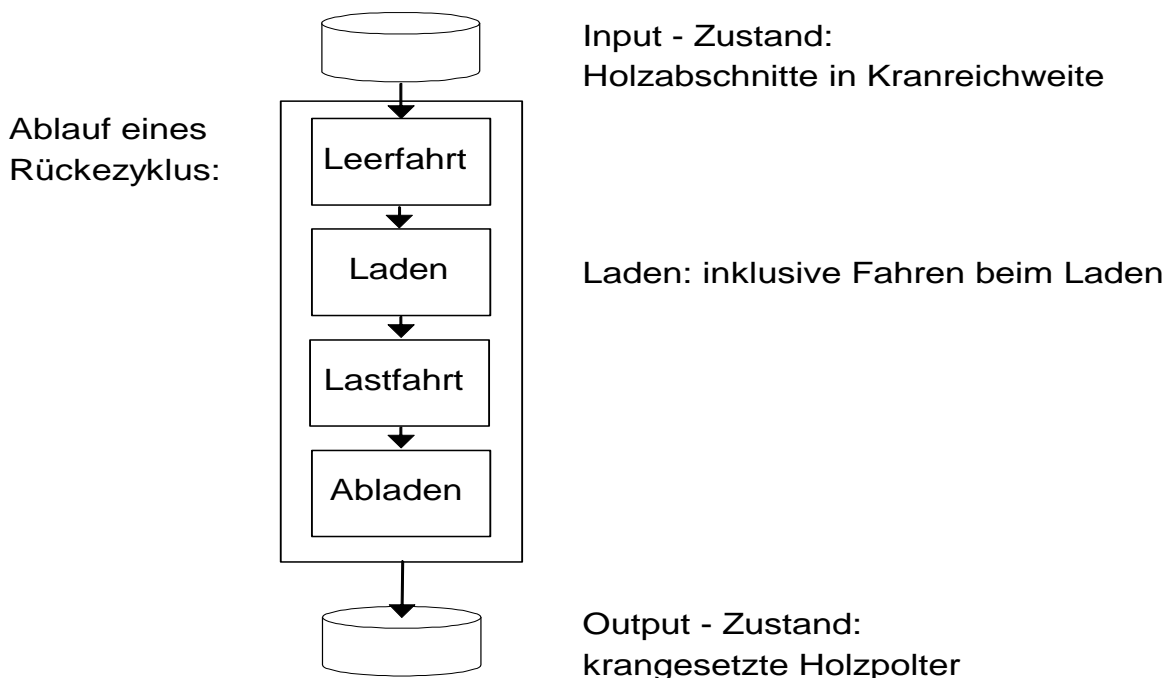


Abbildung 1: Prozess Forwarderrücken - Schnittstellen und abgebildete Aktivitäten.

2.3 Input- und Outputzustand

2.3.1 Inputzustand

Holzsortimente:

Das zu transportierende Holz muss folgenden Zustand aufweisen: Kranlängen, d.h. Rundholzabschnitte von 2 bis 8 m Länge, in Kranreichweite des Forwarders vorgeliefert (mittels Vollernter, Seilwinde, Pferd etc.).

Die Holzmenge pro Laufmeter Erschliessungslinie sollte 0.6 m³ und der mittlere BHD des Aushiebes 30 cm nicht übersteigen (Überschreitungen nicht überprüft).

Informationen:

Im Falle der Sortentrennung beim Abladen müssen die Sorten für den Maschinisten erkennbar sein.

2.3.2 Outputzustand

Holzsortimente:

Die zu transportierenden Holzabschnitte lagern am Abladeort in Form von krangesetzten Holzhaufen (Poltern).

Informationen:

In der Regel sortengetrennte Polter, also nur indirekte Information; keine Vermessung.

2.3.3 Veränderungen

Rundholzabschnitte, meist an den Rand von Rückegassen oder Maschinenwegen vorgeliefert, wechseln ihre Position zum Lagerplatz. Dieser befindet sich in der Regel am Rand von lastwagenfahrbaren Waldstrassen, wo das Holz, meist nach Sorten getrennt, in Form von krangesetzten Poltern zwischengelagert wird.

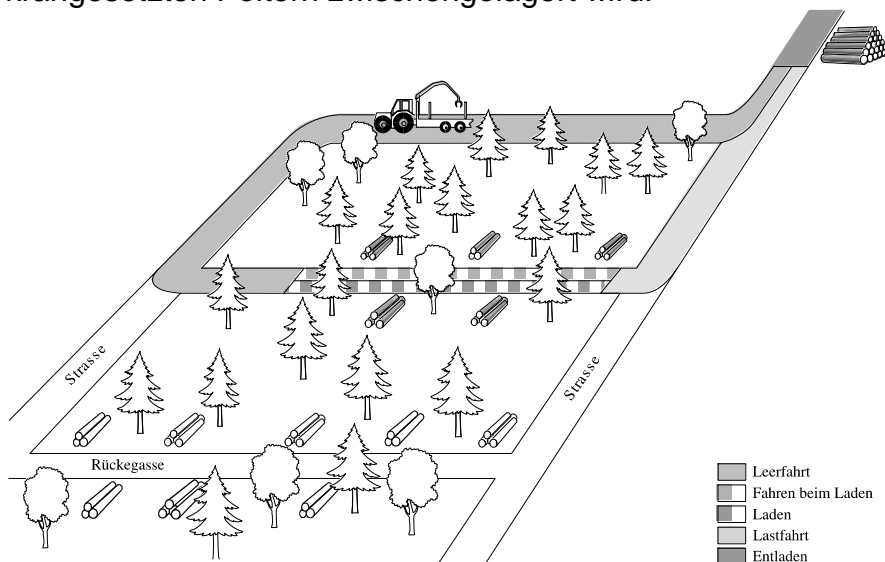


Abbildung 2: Die einzelnen Fahrzyklen.

2.4 Erforderliche Arbeitsbedingungen

2.4.1 Technik und Personal

- Herkömmliche Forwarder (6- oder 8-Radfahrgestell, Rahmen-Knicklenkung, Hydraulikkran mit Holzgreifer, Rungenkorb).
- Grössenkatgorien: kleine Forwarder (7-10t Nutzlast) und mittlere Forwarder (10-12t Nutzlast).

- Hydraulikkran, Reichweite ca. 5-8m, grössere Reichweiten möglich (nicht überprüft).
- Die Anwendung auf den Einsatz von Forsttraktoren mit Rückeanhängern macht eine Reduktion der errechneten Leistung notwendig.
- Der Maschinist muss auf der eingesetzten Maschine und bezüglich der übrigen Bedingungen des Auftrages geübt sein.

2.4.2 Gelände und Erschliessung

- Befahrbares Gelände für Forwarder mit Radfahrgestellen mit einem Gesamtgewicht bis ca. 20 Tonnen.
- Rückegassennetze, auch Erschliessungen mit Maschinenwegen (Breite mindestens 2.5 m) sowie Einsatz von der Waldstrasse aus.
- Einsatz grundsätzlich auch ohne Feinerschliessungsnetz möglich, sofern es die Bodenverhältnisse und die Baumabstände erlauben.

2.4.3 Waldbestände und waldbauliche Massnahmen

- Nur wenige Einschränkungen: Nadel- und Laubholzbestände, Mischbestände aus Nadel- und Laubholz; Stangen- und eher schwache Baumhölzer.
- Durchforstungen, grundsätzlich auch Endnutzungen (nicht überprüft).
- Weitere Einschränkungen oder sinnvolle Einsatzbereiche sind bei den Eingangsvariablen des Modells angegeben.

2.5 Berechneter Output

Das Modell berechnet folgende Ergebnisse:

- Zeitbedarf des Produktionssystems pro Kubikmeter (Effizienz) oder Kubikmeter pro Zeiteinheit (technische Arbeitsproduktivität).
- Arbeitszeit der Produktionsfaktoren (Personal, Maschinen) pro m³.
- Die Angaben der Holzmasse in m³ beziehen sich falls nicht anders vermerkt auf das Holz in Rinde.

3 Produktionssystem - Wirkungszusammenhänge

Anmerkung

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

Bei der Umsetzung der Grundlagen in EDV-Modelle wurde nicht unterschieden zwischen Holz in Rinde und ohne Rinde. Es gilt folgender Grundsatz: Die Einheit der Eingangsgrößen entspricht der Einheit im Ergebnis. Wichtig ist, dass die Einheit aller Eingangsgrößen (z. B. Holzmenge, Volumenmittelstamm) gleich gewählt wird ("was hinein geht, kommt wieder heraus").

3.1 Übersicht über den Datenfluss

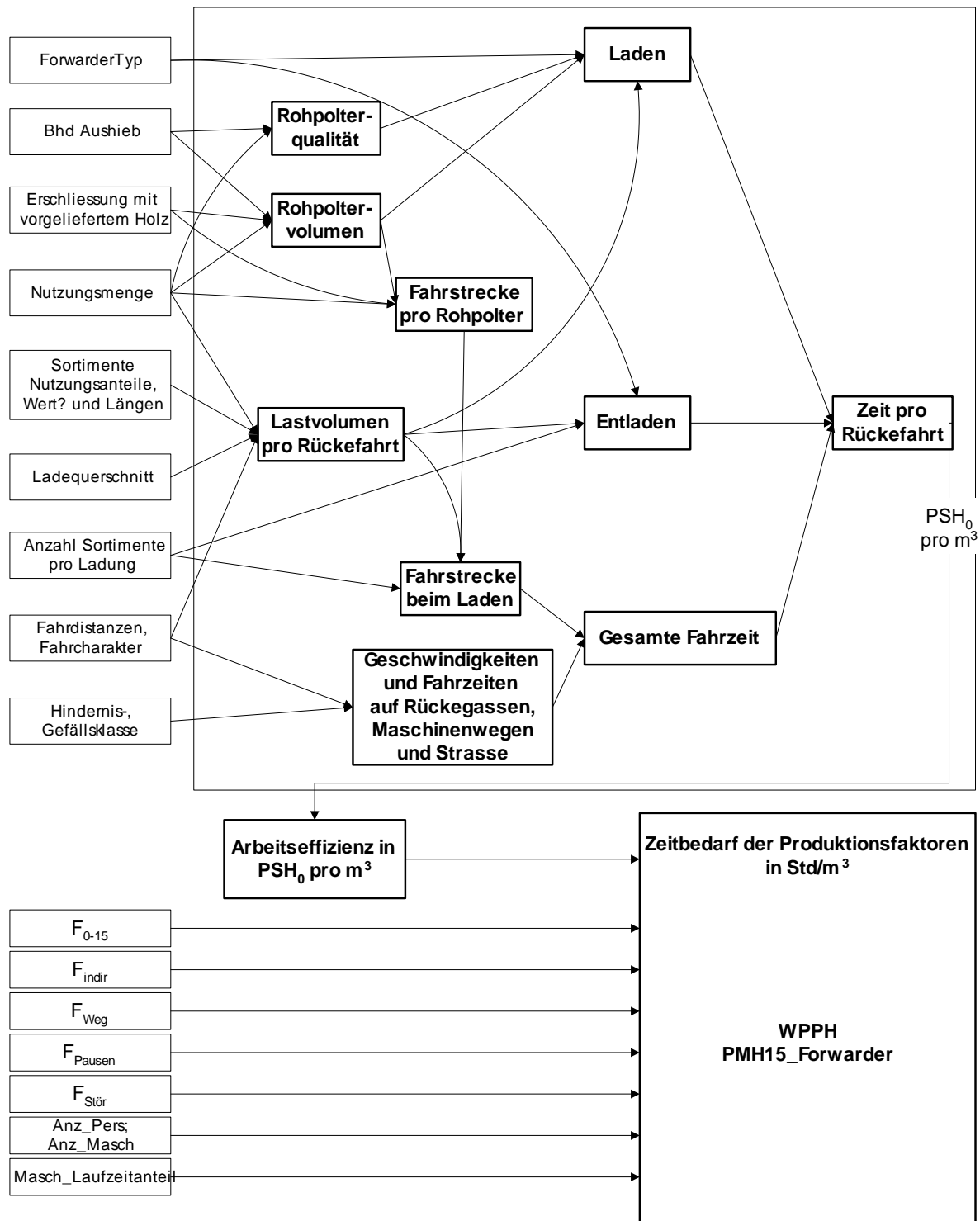


Abbildung 3: Übersicht über den Datenfluss im Forwardermodell.

Eingangsvariablen		Bezeichnung	Einheit
BHD des Aushiebs		dBHD	[cm]
Erschliessung mit vorgeliefertem Holz	- einseitige Erschliessung:		
	- auf Maschinenweg	MWe	[m]
	- auf Rückegasse	RGe	[m]
	- auf Strasse	STe	[m]
	- beidseitige Erschliessung:		
	- auf Maschinenweg	MWb	[m]
Nutzungsmengen	- auf Rückegasse	RGb	[m]
	- auf Strasse	STb	[m]
Sortimente	- Nadelholz	NH	[m ³]
	- Laubholz	LH	[m ³]
	- Anteil krummes Holz	K	[%]
Forwarder-Typ	- Sortimentslänge und Anteile	SO	
	- durchschn. Anz. transp. Sort. pro Ruckezyklus	dSR	[-]
	- Länge der Sortimente	dHL	[m]
Forwarder-Typ	- Forwardertyp 'klein', 'mittel'	k,m	
	- Ladequerschnitt	LQ	[m ²]
Fahrdistanzen auf - Rückegasse - Maschinenweg	- Last aufwärts	SRMLAaf	[m]
	- Last abwärts	SRMLAab	[m]
	- Last eben	SRMLAeb	[m]
	- Leer aufwärts	SRMLEaf	[m]
	- Leer abwärts	SRMLEab	[m]
	- Leer eben	SRMLEeb	[m]
Fahrdistanzen auf - Strasse	- Last aufwärts	SStLAaf	[m]
	- Last abwärts	SStLAab	[m]
	- Last eben	SStLAeb	[m]
	- Leer aufwärts	SStLEaf	[m]
	- Leer abwärts	SStLEab	[m]
	- Leer eben	SStLEeb	[m]
Hindernisklasse Gefällsklasse		HK	[1-4]
		GK	[1-3]

Tabelle 1: Verwendete Eingangsvariablen.

Die Eingabe der Erschliessung mit vorgeliefertem Holz, der Sortimentsmengen und der Fahrdistanzen gemäss Tabelle 1 ist sehr aufwändig. Möchte man die Gesamterschliessungslänge mit Holz, die Nutzungsmenge oder die gesamte Fahrstrecke für Berechnungen ändern, müssen stets auch alle Detailangaben (MWe..Stb; SRMLA_{af}..SStLE_{eb}) angepasst werden.

Dies lässt sich vereinfachen, indem nur noch die Gesamtwerte absolut eingegeben und diese dann nach prozentualen Anteilen auf einzelne Sortimente, Erschliessungslängen oder Fahrdistanzen aufgeteilt werden.

Bei der EDV-Umsetzung werden deshalb mit Vorteil die folgenden Eingangsvariablen verwendet:

Eingangsvariablen		Bezeichnung	Einheit
Erschliessung mit Holz	einseitig	E_e	[m]
	beidseitig	E_b	[m]
Anteile Rückegasse, Maschinenweg und Strasse für "einseitig" und "beidseitig"			[%]
Fahrstrecken	auf Strasse	SSt	[m]
	auf Feinerschliessung	SRM	[m]
Anteile aufwärts, abwärts und eben für	Lastfahrten		[%]
	Leerfahrten		[%]
	Fahren beim Laden		[%]
Nutzungsmenge			[m ³]
Anteile je Sortimentslänge			[%]
Anteile Nadelholz und Laubholz			[%]

Tabelle 2: Verwendete Eingangsvariablen bei der EDV-Umsetzung.

3.2 Die Berechnungen im Einzelnen

3.2.1 Das Rohpoltervolumen

Die Berechnung des Rohpoltervolumens im Voraus (nicht Ableitung aus den Aufnahmen nach der Holzhauerei) bildet einen zentralen Aspekt dieses Modells.

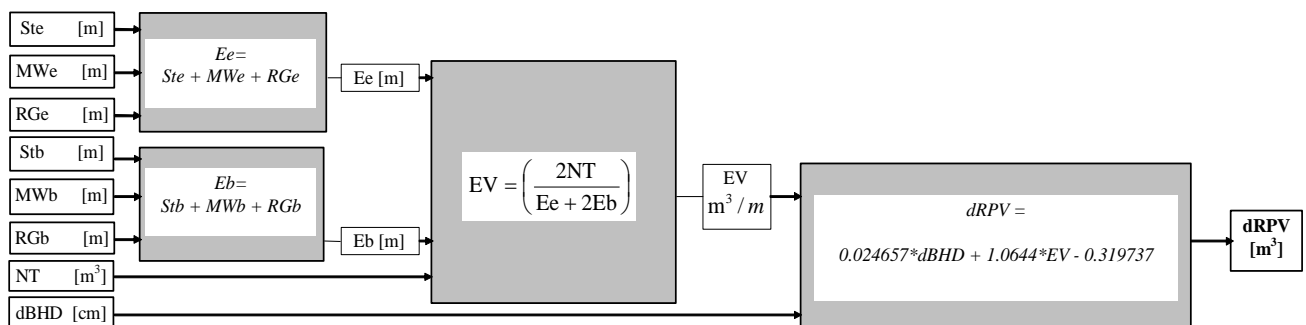


Abbildung 4: Berechnung des Rohpoltervolumens.

3.2.2 Die Rohpolterqualität

Schlecht erstellte Rohpolter beim Vorliefern oder bei der Holzhauerei haben einen negativen Einfluss auf die Teilarbeit „Laden“.

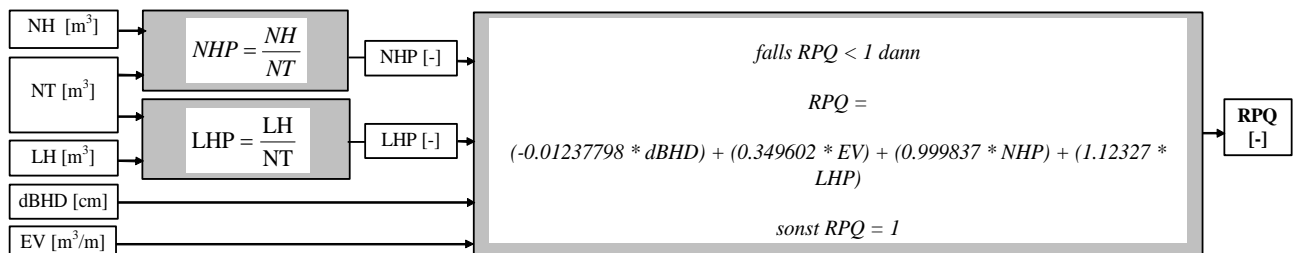


Abbildung 5: Berechnung der Rohpolterqualität.

3.2.3 Lastvolumen pro Rückefahrt

Das durchschnittliche Lastvolumen des Forwarders hat Einfluss auf sämtliche Teilarbeiten. Es wird nicht geschätzt sondern berechnet.

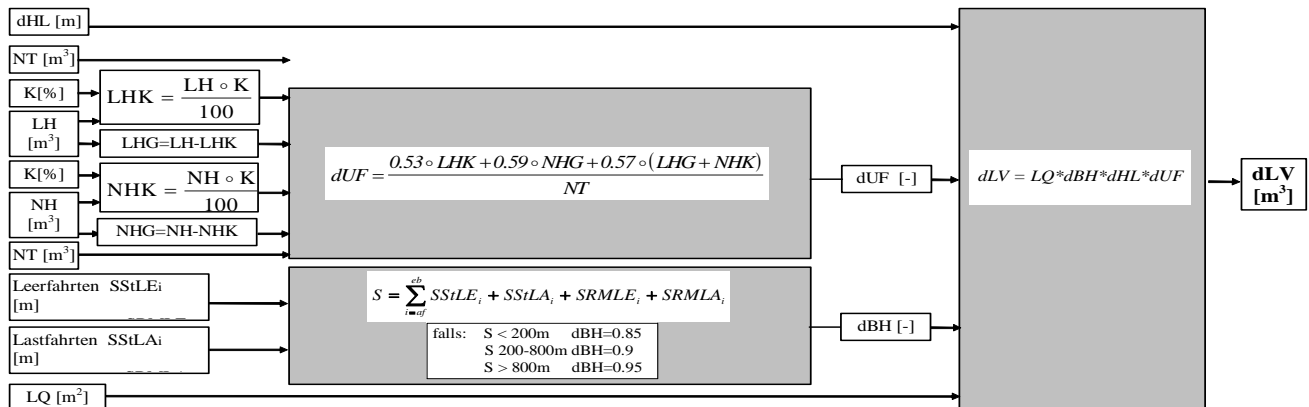


Abbildung 6: Berechnung des Lastvolumens pro Rückefahrt.

3.2.4 Aufteilung der Fahrstrecken auf die Fahrrichtungen

Fahrstrecke pro Rohpolter

Das Teilmodell „Fahrstrecke pro Rohpolter“ berechnet, in welchen Abständen durchschnittlich ein Rohpolter an den Erschliessungslinien liegt.

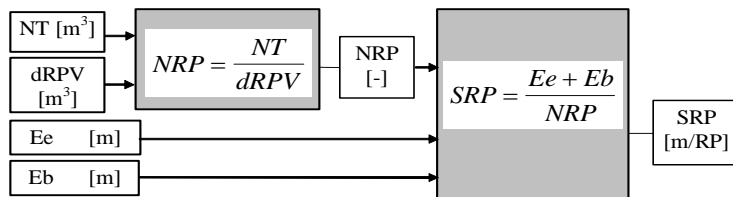


Abbildung 7: Berechnung der Fahrstrecke pro Rohpolter.

Fahrstrecke beim Laden

Im Teilmodell „Fahrstrecke beim Laden“ wird die Fahrstrecke des Forwarders während des Ladens im mittleren Rückezyklus getrennt nach Strasse und Rückegasse inkl. Maschinenweg berechnet.

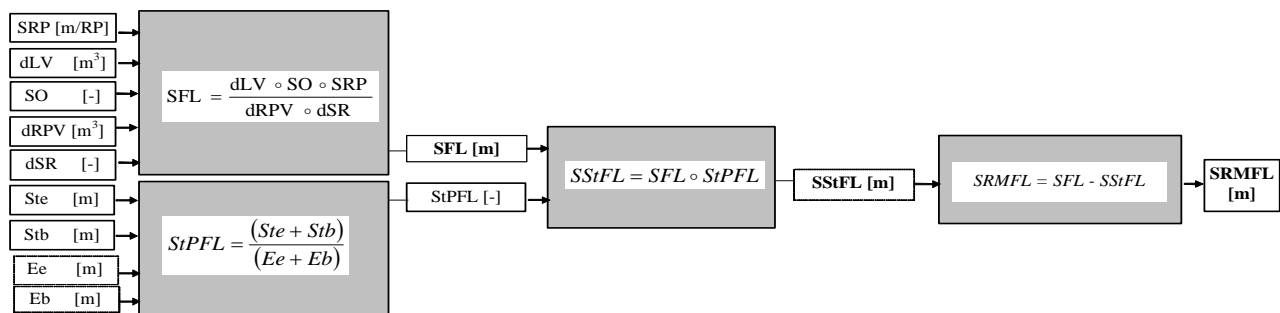
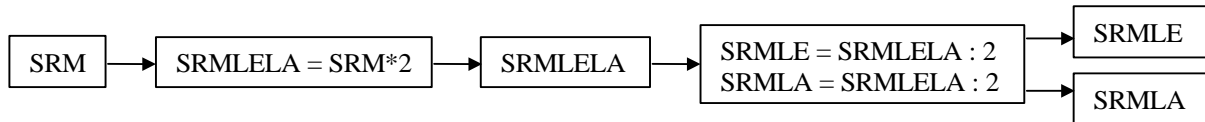
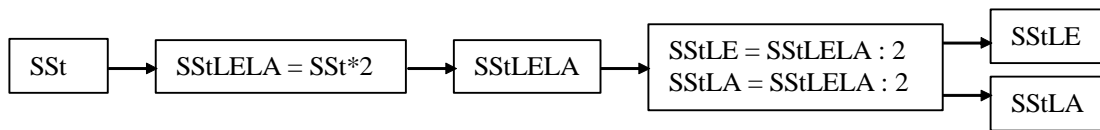


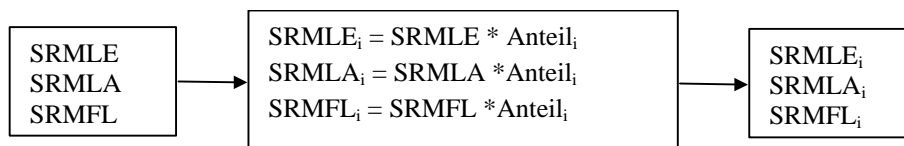
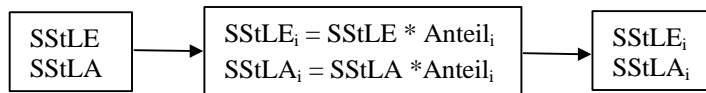
Abbildung 8: Berechnung der Fahrstrecke beim Laden.

Leerfahrt und Lastfahrt

Die Strecken für die Leer- und Lastfahrten auf Strasse und Feinerschliessung (Rückegasse, Maschinenweg) können wie folgt ermittelt werden:



Aufteilung der Fahrstrecken auf die Fahrrichtungen



wobei der Index i für die Fahrrichtungen aufwärts, abwärts und eben steht.

3.2.5 Geschwindigkeiten und Fahrzeiten auf Maschinenwegen und Rückegassen

Diese Teilmodelle berechnen die Fahrgeschwindigkeiten und Fahrzeiten auf Maschinenwegen, Rückegassen und Strassen für schweizerische Bedingungen (siehe Anhang 3).

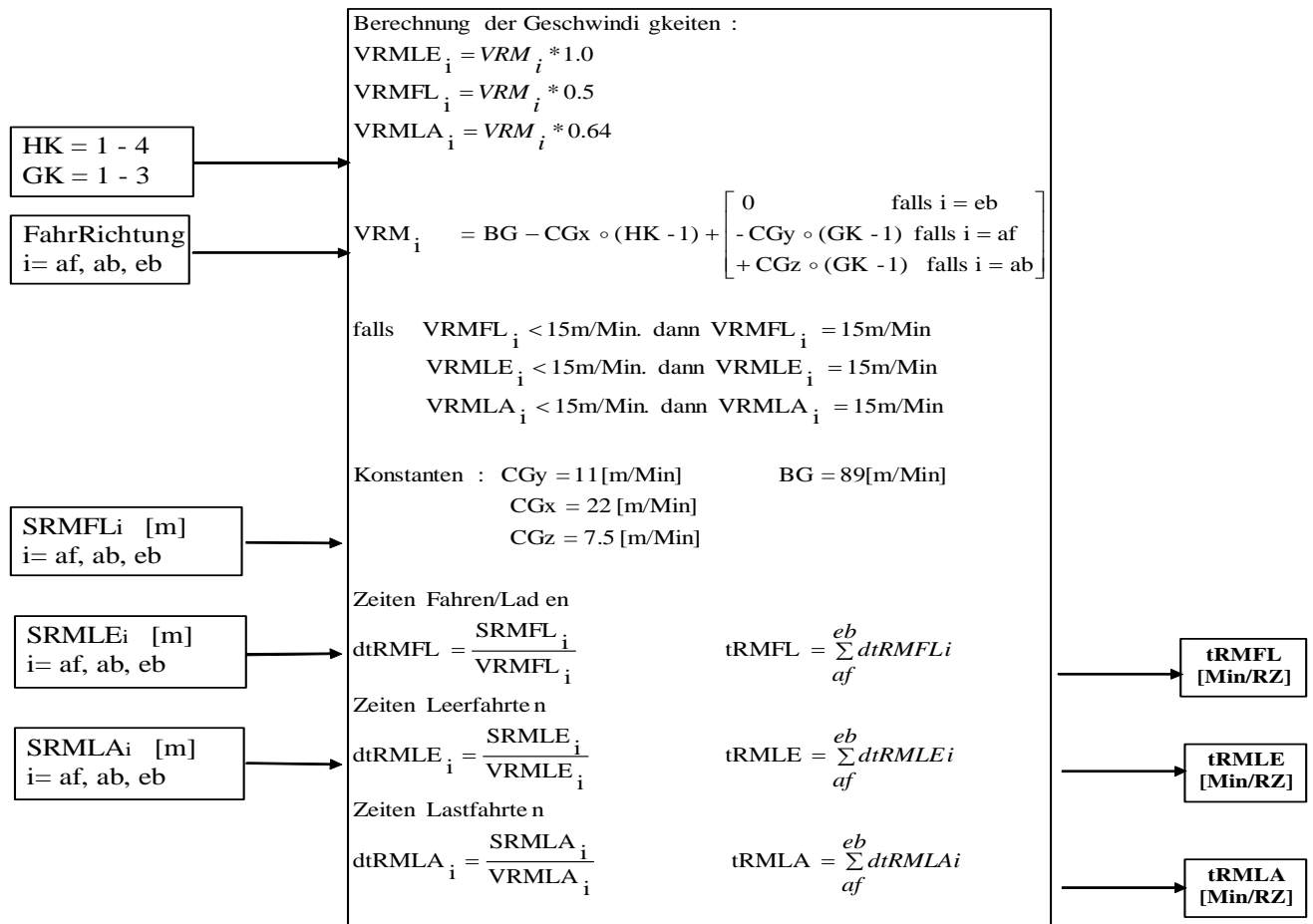


Abbildung 9: Berechnung der Geschwindigkeiten und Fahrzeiten auf Maschinenwegen und Rückegassen.

3.2.6 Geschwindigkeiten und Fahrzeiten auf der Strasse

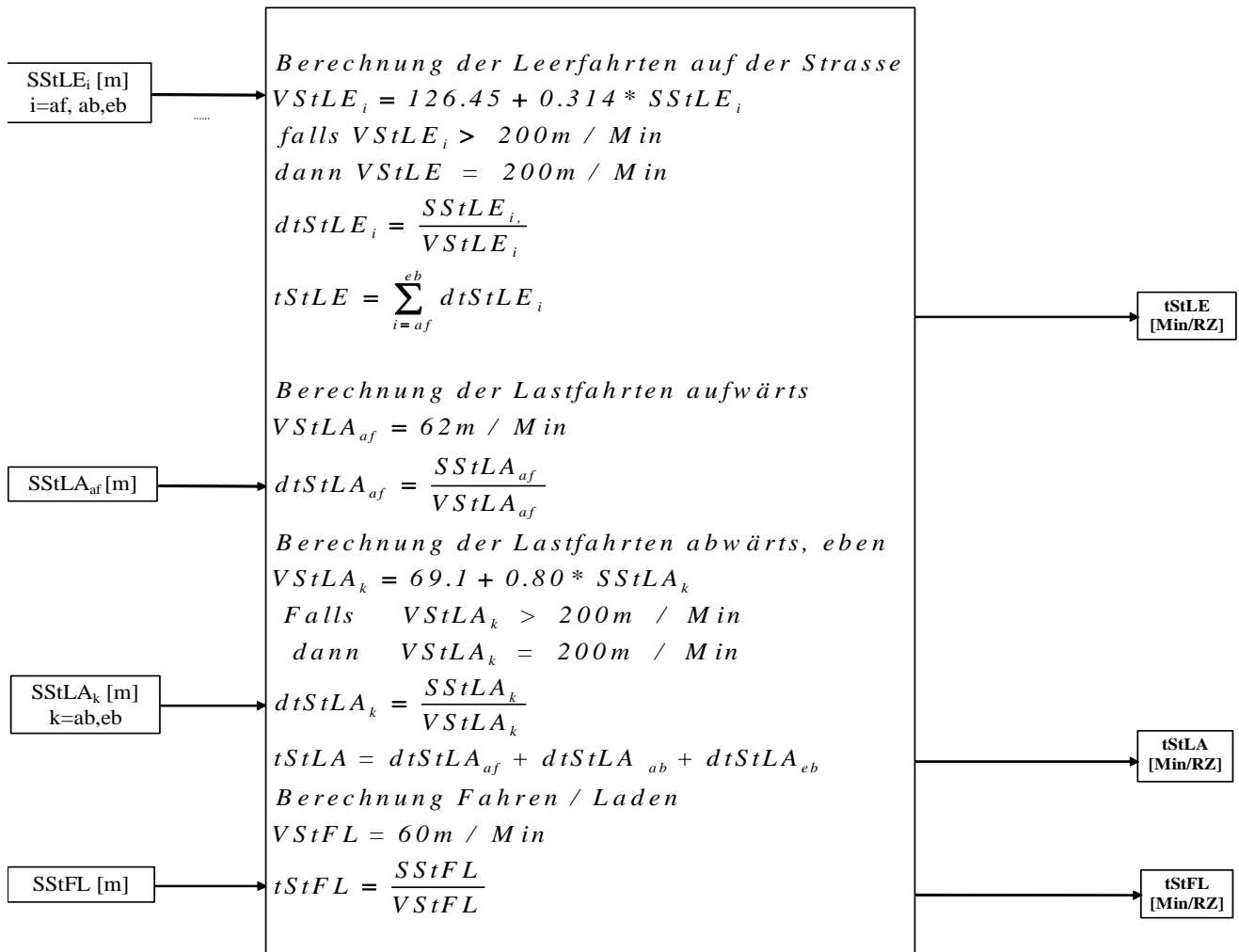


Abbildung 10: Berechnung der Geschwindigkeiten und Fahrzeiten auf der Strasse.

3.2.7 Gesamte Fahrzeit

Dieses Teilmodell berechnet den gesamten mittleren Zeitbedarf (Strasse, Rückegasse, Maschinenweg) für Fahren beim Laden, für Leerfahrten und für Lastfahrten in Minuten pro Rückezyklus.

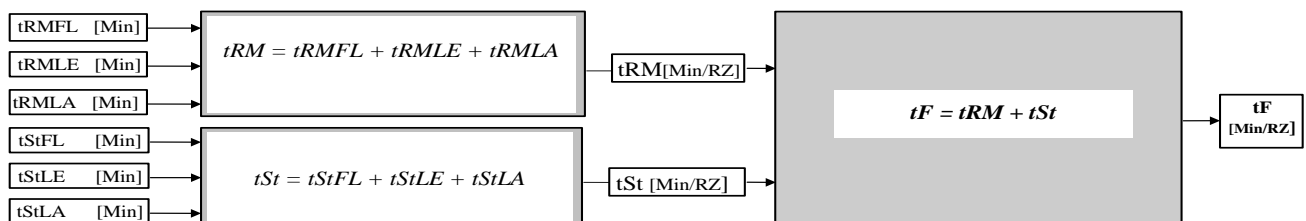


Abbildung 11: Berechnung des Zeitbedarfs für das Fahren beim Laden und für Leer- und Lastfahrt auf Strasse, Maschinenwegen und Rückegassen.

3.2.8 Laden und Entladen

Diese Teilmodelle berechnen den Zeitaufwand für das Laden und das Entladen in Minuten pro Rückezyklus.

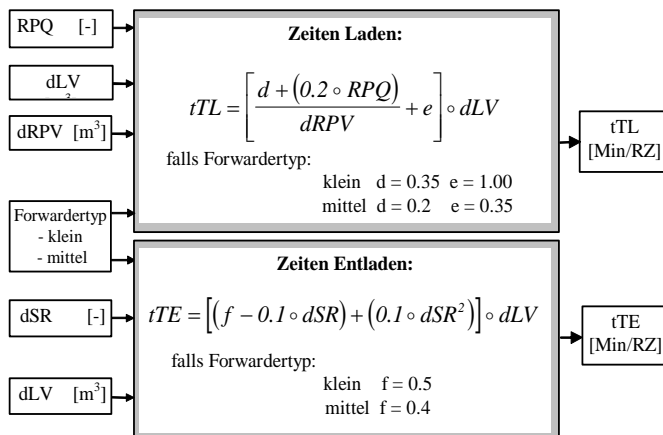


Abbildung 12: Berechnung des Zeitbedarfs für Laden und Entladen.

3.2.9 Systemzeit und Zeit pro Rückefahrt

Mit den Teilmodellen können die Zeitbedarfe für den mittleren Rückezyklus berechnet werden. Durch Division des gesamten Zeitbedarfes durch das mittlere Lastvolumen pro Rückefahrt ergibt sich die Arbeitseffizienz des Produktionssystems in PSH_{15}/m^3 .

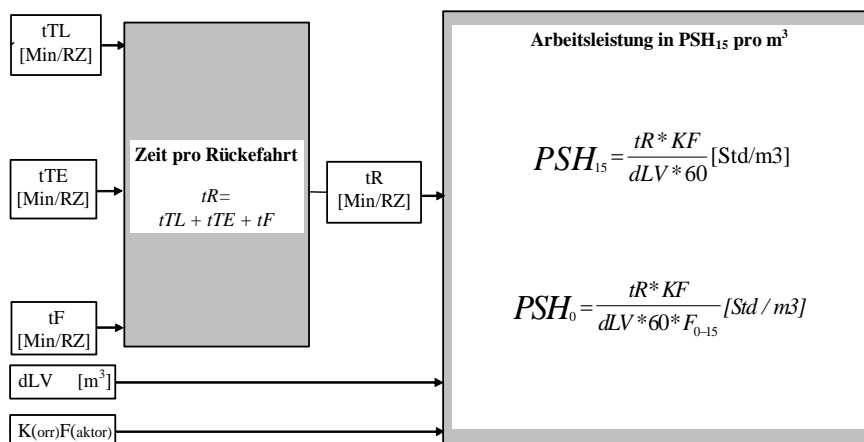


Abbildung 13: Berechnung der Arbeitseffizienz (Zeit in PSH_{15} pro m^3) für Leerfahrt, Fahren beim Laden, Laden, Entladen und Lastfahrt.

Ein Vergleich der Modellergebnisse mit den Feldversuchen hat gezeigt, dass das Modell zu tiefe Zeitbedarfe liefert. Um diese systematische Unterschätzung der Zeitbedarfe zu korrigieren wurde der Zeitbedarf mit einem Korrekturfaktor KF multipliziert. Der Faktor KF wurde so berechnet, dass die quadratischen Abweichungen von unkorrigierten Modellwerten und Feldversuchen minimal wurden. Folgende Korrekturfaktoren wurden ermittelt (Berechnung siehe Anhang):

Forwardertyp	KF
klein	1.178
mittel	1.418

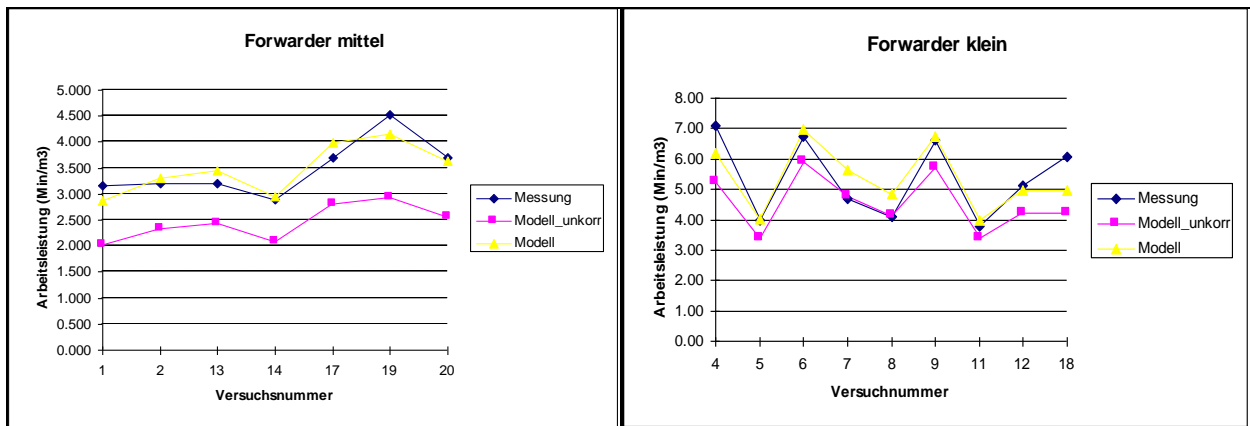


Abbildung 14: Vergleich der Modellergebnisse mit den Feldversuchen.

3.2.10 Zeitbedarf pro m³ (Personal und Maschinen)

Berechnung der Zeiten pro m³ für forstliche Betriebsmittel

$$WPPH = Anz_Pers * PSH_{15} * F_{indir} * F_{Weg} * F_{Pausen} * F_{Stör} \left[\frac{Std}{m^3 i.R.} \right]$$

$$PSH_0 = \frac{PSH_{15}}{FM_{0-15}}$$

$$PMH_{15} = PSH_{15} * Forwarder_Laufzeitanteil \left[\frac{Std}{m^3 i.R.} \right]$$

Faktoren:

$$Anz_Pers = 1$$

$$F_{0-15} = 1.3$$

$$F_{indir} = 1.2$$

$$F_{Weg} = \text{individuell, z. B. 60 Min. auf 540 Min} = \frac{540}{480} = 1.125$$

$$F_{Pausen} = \text{individuell, z. B. 30 Min. auf 540 Min} = \frac{540}{510} \approx 1.06$$

$$F_{Stör} = \text{individuell, z. B. 1.10}$$

$$Forwarder_Laufzeitanteil = 1.0$$

3.3 Das vereinfachte Modell

3.3.1 Übersicht

Damit im Modell mit möglichst wenigen Eingangsvariablen gearbeitet werden kann, wurden für verschiedene Variablen Mittelwerte aus den Feldversuchen in das Programm eingebaut, so dass im vereinfachten Modell lediglich noch 7 Variablen einzugeben sind.

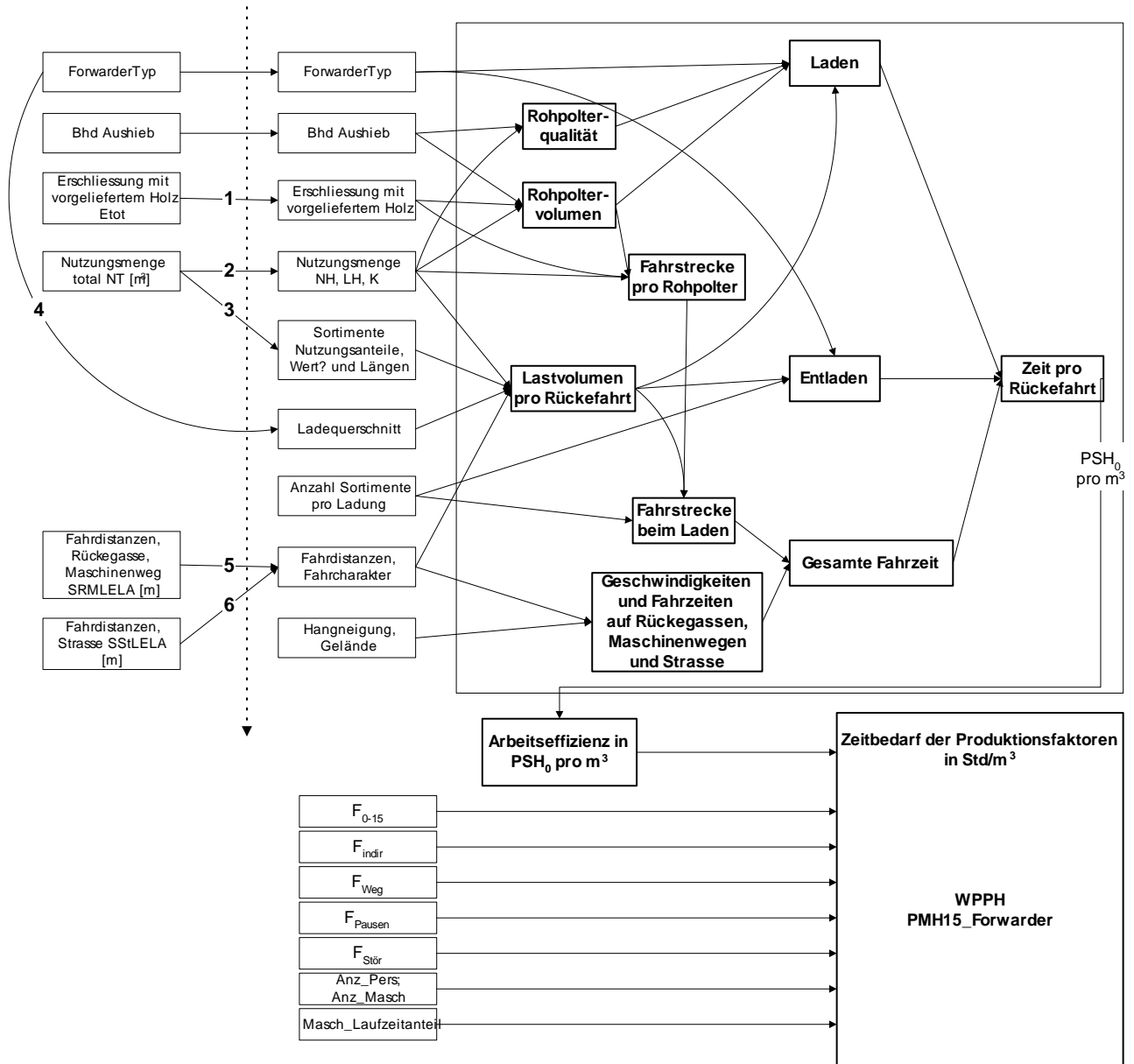


Abbildung 15: Übersicht über das 'vereinfachte Modell' mit den Transformationen.

3.3.2 Transformationen

Eingangsvariable	Transformation	Bezeichnung	Berechnung	Einheit
BHD Aushieb		BHD		[cm]
Erschliessung mit vorgeliefertem Holz E_{tot}	1 Erschliessung - einseitige Erschliessung: - auf Maschinenweg - auf Rückegasse - auf Strasse - beidseitige Erschliessung: - auf Maschinenweg - auf Rückegasse - auf Strasse	MWe RGe STe MWb Rgb STb	$E_{tot} * 0.05$ $E_{tot} * 0.05$ $E_{tot} * 0.20$ $E_{tot} * 0.30$ $E_{tot} * 0.30$ $E_{tot} * 0.10$	[m] [m] [m] [m] [m] [m]
Nutzungs- menge total NT	2 Nutzungs- menge - Nadelholz - Laubholz - Anteil krumm	NT NH LH K	$NT * 0.70$ $NT * 0.30$ 25	[m ³] [m ³] [m ³] [%]
Sortimente	3. Sortimentslänge und Anteile - durchschn. Anz. transp. Sortim. - Länge der Sortimente	dSR NAV[2] NAV[3] NAV[4] NAV[5] NAV[6] NAV[7] NAV[8]	1.6 $NT * 0.01$ $NT * 0.05$ $NT * 0.25$ $NT * 0.63$ $NT * 0.04$ $NT * 0.01$ $NT * 0.01$	[-] [m ³] [m ³] [m ³] [m ³] [m ³] [m ³] [m ³]
Forwarder-Typ	4. Forwardertyp 'klein', 'mittel' - Ladequerschnitt: klein, mittel	k,m LQ LQ	3.3, 4.1	[m ²] [m ²]
Fahrdistanz auf - Rückegasse - Maschinen- weg (ohne FL) SRMLELA	5. Fahrdistanz auf - Rückegasse, Maschinenweg auf, ab, eben	SRMLEaf SRMLEab SRMLEeb SRMLAaf SRMLAab SRMLAeb	SRMLELA *1/6 *1/6 *1/6 *1/6 *1/6 *1/6	[m] [m] [m] [m] [m] [m]
Fahrdistanz auf Strasse SStLELA (ohne FL)	6. Fahrdistanz auf Strasse auf ab eben	SStLEaf SStLEab SStLEeb SStLAaf SStLAab SStLAeb	SStLELA *1/6 *1/6 *1/6 *1/6 *1/6 *1/6	[m] [m] [m] [m] [m] [m]

Tabelle 3: Berechnung der Systemzeit und der Rückeleistung pro Kalkulationsobjekt. Eingangsvariablen mit den Transformationen für das 'vereinfachte Modell'.

Aufgrund des Vergleiches der Modellergebnisse mit den Ergebnissen aus den Feldversuchen in der Schweiz wurde das vereinfachte Modell mit folgende **Korrektur-Faktoren** angepasst:

Forwardertyp	KF
klein	1.256
mittel	1.349

3.4 Abkürzungen und Definitionen (mit Definitionsbereich und Einheiten)

Abkürzung	Definition		Def. Bereich	Einheit
<i>BG</i>	Basis Geschwindigkeit		> 0	[m/Min]
<i>CG_{x,y,z}</i>	Geschwindigkeitsveränderung bei anderem Fahrtcharakter		7.7 - 22.0	[m/Min]
<i>dBH</i>	durchschnittliche Beladehöhe des Forwarders		0.85-0.95	
<i>dBHD</i>	durchschnittlicher BHD des Aushiebs		8-100	[cm]
<i>dHL</i>	durchschnittliche Holzlänge im Kalkulationsobjekt		2 - 8	[m]
<i>dLV</i>	durchschnittliches Lastvolumen pro Ruckezyklus		4 - 12	[m3]
<i>dRPV</i>	durchschnittliches Rohpoltervolumen		> 0	[m3]
<i>dSR</i>	durchschnittliche Anzahl transportierte Sortimente pro Ruckezyklus		1 - 20	[]
<i>dtRMFL</i> <i>dtRMLA</i> <i>dtRMLE</i>	durchschnittliche Zeiten pro Ruckezyklus auf Rückegas und Maschinenwegen: - für Fahren Laden - für Lastfahrten - für Leerfahrten		≥ 0	[Min/RZ]
<i>dtStFL</i> <i>dtStLA</i> <i>dtStLE</i>	durchschnittliche Zeiten pro Ruckezyklus auf der Strass - für Fahren Laden - für Lastfahrten - für Leerfahrten		≥ 0	[Min/RZ]
<i>dUF</i>	durchschnittlicher Schichtigkeitsfaktor im Kalkulationsobjekt		0.2-0.8	[]
<i>E</i>	Erschliessungslinienlänge total (<i>Ee</i> und <i>Eb</i>)		> 0	[m]
<i>Eb</i>	Erschliessungslinie vorgeliefert beidseitig		≥ 0	[m]
<i>Ee</i>	Erschliessungslinie vorgeliefert einseitig		≥ 0	[m]
<i>E_{tot}</i>	Erschliessungslinienlänge total (<i>Ee</i> , <i>Eb</i> , <i>Ste</i> , <i>Stb</i>)		≥ 0	[m]
<i>EV</i>	Holzanfall pro Laufmeter Erschliessungslinie beidseitig vorgeliefert unabhängige Variable Rohpoltermodell		0.05-1	[m ³ /m]
<i>F_{indir}</i> <i>F_{Weg}</i> <i>F_{pausen}</i> <i>F_{Stör}</i> <i>F₀₋₁₅</i>	Umrechnungs- oder Zuschlagfaktoren (siehe auch Anhang 4)		2< F _{xx} ≥ 1.0	
<i>FK</i>	Forwarderklasse		klein, mittel	[]
<i>FL</i>	Fahren beim Laden		≥ 0	[m]
<i>Fahrri- chtung</i> <i>i=af,ab,eb</i>	Fahrriichtung des Forwarders aufwärts, abwärts, eben		auf, ab, eben	
<i>GK</i>	Gefällsklasse in Anlehnung an SKOGSARBETEN (1992)		1,2,3	[]
<i>HK</i>	Hindernisklasse in Anlehnung an SKOGSARBETEN (1992)		1,2,3,4	[]
<i>K</i>	Anteil Holz krumm		0 - 1	[-]

<i>KF</i>	Korrekturfaktor zur Anpassung der Modellrechnung an die Feldversuche		0.0 - 2.0	[-]
<i>LH</i>			≥ 0	[m ³]
<i>LHG</i>			≥ 0	[m ³]
<i>LHK</i>	Laubholz krumm		≥ 0	[m ³]
<i>LHP</i>	Anteil Laubholz im Kalkulationsobjekt		0-1	[-]
<i>LQ</i>	Ladequerschnitt des Forwarders		2 - 10	[m ²]
<i>MWb</i>	Maschinenweg vorgeliefert beidseitig		≥ 0	[m]
<i>MWe</i>	Maschinenweg vorgeliefert einseitig		≥ 0	[m]
<i>NAV₂₋₈</i>	Nutzungsmengen Anteil (des Volumens der Längen 2,3,4,5,6,7,8 m)		≥ 0	[m ³]
<i>NH</i>	Nadelholzanteil		≥ 0	[m ³]
<i>NHG</i>	Nadelholz gerade		≥ 0	[m ³]
<i>NHK</i>	Nadelholz krumm		≥ 0	[m ³]
<i>NHP</i>	Anteil Nadelholz im Kalkulationsobjekt		0-1	[-]
<i>NRP</i>	Anzahl Rohpolter pro Kalkulationsobjekt		> 0	[]
<i>NT</i>	Nutzungsmenge im Kalkulationsobjekt		> 10	[m ³]
<i>PMH₁₅</i>	Produktive Maschinenarbeitsstunde mit Unterbrüchen bis 15 Min., entspricht der MAS		≥ 0	[Std / m ³ i.R.]
<i>PSH₀</i>	Arbeitsleistung als Produktive Systemzeit (ohne Arbeitsunterbrüche) pro m ³		> 0	[PSH ₀ / m ³]
<i>PSH₁₅</i>	Arbeitsleistung als Produktive Systemzeit (mit Arbeitsunterbrüchen < 15 Min pro m ³)		> 0	[PSH ₁₅ / m ³]
<i>RGb</i>	Rückegasse vorgeliefert beidseitig		≥ 0	[m]
<i>RGe</i>	Rückegasse vorgeliefert einseitig		≥ 0	[m]
<i>RMPFL</i>	Anteil <i>RG</i> , <i>MW</i> der Strecke Fahren beim Laden		0 - 100	[%]
<i>SRMLELA</i>	Fahrstrecke auf Rückegasse, Masch'weg mit Leer-, Lastfahrt		>0	[m]
<i>RP</i>	Rohpolter			[]
<i>RPQ</i>	Rohpolterqualität; Anteil schlechte Rohpolter		0-1	[-]
<i>RZ</i>	durchschnittlicher od. mittlerer Rückezyklus			[]
<i>S</i>	alle Leer- und Lastfahrten auf <i>RG</i> , <i>MW</i> und <i>ST</i> pro <i>RZ</i>		≥ 0	[m]
<i>SFL</i>	Fahrstrecke beim Laden		≥ 0	[m]
<i>SO</i>	Anzahl verschieden zu lagernde Sortimente		1 - 4	[]
<i>SRM</i>	Fahrstrecke im mittleren Rückezykl. auf <i>RG</i> und <i>MW</i> ohne <i>SFL</i>		≥ 0	[m]
<i>SRMFL_i</i> <i>SRMLE_i</i> <i>SRMLA_i</i>	Fahrstrecken auf Rückegasse und Maschineweg: - Fahren beim Laden, aufwärts, abwärts, eben - Leerfahrt, aufwärts, abwärts, eben - Lastfahrt, aufwärts, abwärts, eben		≥ 0	[m]
<i>SRP</i>	Fahrstrecke pro Rohpolter		≥ 0	[m/RP]
<i>Stb</i>	Strasse vorgeliefert beidseitig		≥ 0	[m]
<i>Ste</i>	Strasse vorgeliefert einseitig		≥ 0	[m]
<i>StPFL</i>	Anteil <i>ST</i> der Strecke Fahren beim Laden		0-1	[-]
<i>SStFL_i</i> <i>SStLE_i</i> <i>SStLA_i</i>	Fahrstrecke auf der Strasse: - Fahren beim Laden, aufwärts, abwärts, eben - Leerfahrt, aufwärts, abwärts, eben - Lastfahrt, aufwärts, abwärts, eben		≥ 0	[m]

<i>SStLELA</i>	Fahrstrecke auf Strasse für Leer- und Lastfahrten		>0	[m]
<i>T</i>	Gesamt - Zeit		> 0	[Min]
<i>tF</i>	Zeitbedarf im mittleren Ruckezyklus auf Rückegasse, Maschinenweg, Strasse aller Fahrbewegungen			
<i>tRM</i> <i>tRMFL</i> <i>tRMLE</i> <i>tRMLA</i>	Zeitbedarf im mittleren Ruckezyklus auf Rückegasse, Maschinenweg: - aller Fahrbewegungen - Fahren beim Laden - Leerfahrt - Lastfahrt		≥ 0	[Min/RZ]
<i>tR</i>	Zeitbedarf für die Arbeitsausführung pro mittleren Ruckezyklus für kleine und mittlere Forwarder		≥ 0	[Min/RZ]
<i>tSt</i> <i>tStFL</i> <i>tStLA</i> <i>tStLE</i>	Zeitbedarf im mittleren Ruckezyklus auf Waldstrasse: - aller Fahrbewegungen - Fahren beim Laden - aufwärts - abwärts und eben		≥ 0	[Min/RZ]
<i>tTE</i>	Zeitbedarf Entladen		> 0	[Min/RZ]
<i>tTL</i>	Zeitbedarf Laden		> 0	[Min/RZ]
<i>VRM_i</i> <i>VRMFL_i</i> <i>VRMLE_i</i> <i>VRMLA_i</i> <i>VStFL_i</i> <i>VStLE_i</i> <i>VStLA_i</i>	Geschwindigkeiten auf Rückegasse, Maschinenweg und Strasse Teilformel der Berechnungen - für Fahren, Laden - für Leerfahrten - für Lastfahrten Geschwindigkeiten auf der Strasse: - für Fahren, Laden - für Leerfahrten - für Lastfahrten		15-200	[m/Min]
<i>WPPH</i>	Arbeitsplatzzeit des Fahrers pro m3 in Rinde (siehe auch Grundlagen)		≥ 0	[Std / m ³ i.R.]

Tabelle 4: Abkürzungen und Definitionen (mit Definitionsbereichen und Einheiten).

3.5 Berechnungsbeispiel

Berechnet mit dem Programm LUNA von Lüthy und Näf (1997) (*detaillierte Version*)

Eingangsvariablen		Ergebnisse	
Nutzungsmenge (NT)	100 m ³	Leistung	20.7 m ³ /Std
durchschnittl. BHD (dBHD)	20 cm	Zeit/Rückezyklus	0.3 Std
Laubholzanteil (NH=100-LH) (LH)	25 %	Zeit/Objekt	4.8 Std
Anteil krumm	20 %	Rückezyklus/Objekt	11.8
Anzahl Sortimente	4		
durchschnittl. Holzlänge	4 m		
Hinderniss-/ Gefällssklasse	1		
Erschliessung ein-/ beidseitig (Ste..RGr)	je 100 m		
Forwarderklasse	mittel		
Ladequerschnitt (LQ)	4.1 m ³		
durchschnittliche Anzahl transportierte Sortimente pro Rückezyklus (dSR)	1.6		
Fahrstrecke Rückegasse Leer auf (LE _{auf})	100 m		
Fahrstrecke Rückegasse Last ab (LA _{ab})	100 m		
Fahrstrecke Strasse Leer auf (StLE _{auf})	100 m		
Fahrstrecke Strasse Last ab (StLA _{ab})	100 m		

Tabelle 5: Berechnung der Systemzeit und der Ruckeleistung pro Kalkulationsobjekt.

4 Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abbildungen

Abbildung 1:	Prozess Forwarderrücken - Schnittstellen und abgebildete Aktivitäten.....	5
Abbildung 2:	Die einzelnen Fahrzyklen	6
Abbildung 3:	Übersicht über den Datenfluss im Forwardermodell.....	9
Abbildung 4:	Berechnung des Rohpoltervolumens.....	11
Abbildung 5:	Berechnung der Rohpolterqualität	11
Abbildung 6:	Berechnung des Lastvolumens pro Rückefahrt	12
Abbildung 7:	Berechnung der Fahrstrecke pro Rohpolter.	12
Abbildung 8:	Berechnung der Fahrstrecke beim Laden.	12
Abbildung 9:	Berechnung der Geschwindigkeiten und Fahrzeiten auf Maschinenwegen und Rückegassen	14
Abbildung 10:	Berechnung der Geschwindigkeiten und Fahrzeiten auf der Strasse	15
Abbildung 11:	Berechnung des Zeitbedarfs für das Fahren beim Laden und für Leer- und Lastfahrt auf Strasse, Maschinenwegen und Rückegassen	15
Abbildung 12:	Berechnung des Zeitbedarfs für Laden und Entladen	16
Abbildung 13:	Berechnung der Arbeitseffizienz (Zeit in PSH15 pro m3) für Leerfahrt, Fahren beim Laden, Laden, Entladen und Lastfahrt	16
Abbildung 14:	Vergleich der Modellergebnisse mit den Feldversuchen	17
Abbildung 15:	Übersicht über das 'vereinfachte Modell' mit den Transformationen.....	18

Tabellen

Tabelle 1:	Verwendete Eingangsvariablen.	10
Tabelle 2:	Verwendete Eingangsvariablen bei der EDV-Umsetzung.....	11
Tabelle 3:	Berechnung der Systemzeit und der Rückeleistung pro Kalkulationsobjekt. Eingangsvariablen mit den Transformationen für das 'vereinfachte Modell'	19
Tabelle 4:	Abkürzungen und Definitionen (mit Definitionsbereichen und Einheiten)	22
Tabelle 5:	Berechnung der Systemzeit und der Rückeleistung pro Kalkulationsobjekt.	23

5 Anhang

A1: Vergleiche von Feldaufnahmen und Modell-Versuchen

Forwarder 'mittel'							
Berechnungen und Vergleiche der Resultate von Feldaufnahmen und Modellversuchen							
		Feldversuch	Modell			Modell korr.	
ID	Feldv.	Fi	Mi	Fi * Mi	Mi * Mi	Mikorr	Mi/Mikorr
Nr.	Nr.	[Min/m3]	[Min/m3]			[Min/m3]	
1	1	3.164	2.029	6.418	4.115	2.876	90.9%
2	2	3.200	2.338	7.482	5.467	3.315	103.6%
3	13	3.195	2.431	7.769	5.912	3.447	107.9%
4	14	2.894	2.084	6.031	4.342	2.954	102.1%
5	17	3.696	2.816	10.408	7.931	3.993	108.0%
6	19	4.522	2.925	13.227	8.554	4.147	91.7%
7	20	3.706	2.570	9.527	6.607	3.644	98.3%
Summen		24.377	17.193	60.861	42.928		100.4%
Mittelwerte		3.482	2.456				
Korrektur Sum Fi*Mi/Mi*Mi					1.418		
Forwarder 'klein'							
		Feldversuch	Modell			Modell korr.	
ID	Feldv.	Fi	Mi	Fi * Mi	Mi * Mi	Mikorr	Mi/Mikorr
Nr.	Nr.	[Min/m3]	[Min/m3]			[Min/m3]	
1	4	7.10	5.25	37.26	27.54	6.183	87.1%
2	5	4.00	3.41	13.63	11.62	4.016	100.4%
3	6	6.75	5.92	39.98	35.08	6.978	103.4%
4	7	4.70	4.78	22.46	22.84	5.631	119.8%
5	8	4.11	4.12	16.92	16.99	4.856	118.3%
6	9	6.64	5.71	37.87	32.58	6.725	101.3%
7	11	3.80	3.37	12.81	11.35	3.970	104.4%
8	12	5.11	4.23	21.63	17.88	4.982	97.4%
9	18	6.06	4.20	25.48	17.68	4.954	81.7%
Summen		48.27	40.99	228.05	193.56		
Korrekturfaktor KF= Summe (Fi*Mi/Mi*Mi)					1.178		

A2: Beurteilung der Qualität des Modells (im Hinblick auf die Verwendung in Holzernte-Komponenten)

Grundlage: Transport mit Forwarder nach LÜTHY (1997) / NÄF (1997)

Kriterien	Bewertung / Bemessung	Bemerkungen	Schematische Beurteilung		
Erstellungsjahr	<u>1997</u>	Aktuell (Unterlagen < 2 Jahren)	+ X	0	–
Technische Aktualität	<u>aktuell</u> / teilw.veraltet / veraltet	< 2 Jahre	+ X	0	–
Umfang der Datenbasis	gross / <u>mittel</u> / klein / unbekannt, Anzahl	26 Versuche	+	X 0	–
Anwendbarkeit auf CH-Verhältnisse	<u>gut</u> / mittel / schlecht / unbekannt	an CH-Verhältnisse angepasst	+ X	0	–
Dokumentation	<u>ausführlich</u> / mittel / rudimentär		+ X	0	–
Treffsicherheit der Prognose	Abweichung \pm %		+	0	–
Grundlage verifiziert	<u>ja</u> / nein / unbekannt		+ ?	0	–
Grundlage validiert	<u>ja</u> / nein / unbekannt		+ ?	0	–
Messbarkeit der Input-Variablen	<u>messbar</u> / teilw. messbar / nicht messbar		+ X	0	–
Detaillierungsgrad	Anzahl Inputvariablen: .26.....		+ X	0	–
Output	Zeitbedarf / Leistung / Kosten pro m3 / pro Holzschlag / pro ha	????????????????????????????	+	0	–

Fazit: (kurze verbale Charakterisierung)

Das Modell beruht auf den schwedischen Modellvorstellungen von BERGSTRAND (1985). Die meisten dieser Modellteile wurden in die Berechnungen teilweise übernommen. Andere Teile wurden modifiziert oder ergänzt. Das Modell berücksichtigt sehr viele Eingangsgrössen. Der Einfluss dieser Eingangsgrössen auf das Ergebnis ist sehr verschieden.

Das Modell wurde anhand von 26 aufwendigen Feldversuchen geeicht. Es eignet sich für schweizerische Verhältnisse zur Zeit am besten, um die Produktivität des Forwarders vorauszuberechnen.

Beurteilung durch: J. Näf.
Datum: 11. Nov. 1998

A3: Hindernis- und Gefällsklasseneinteilung

In Anlehnung an Skogsarbeten 'Terrain Classification System for Forestry Work'

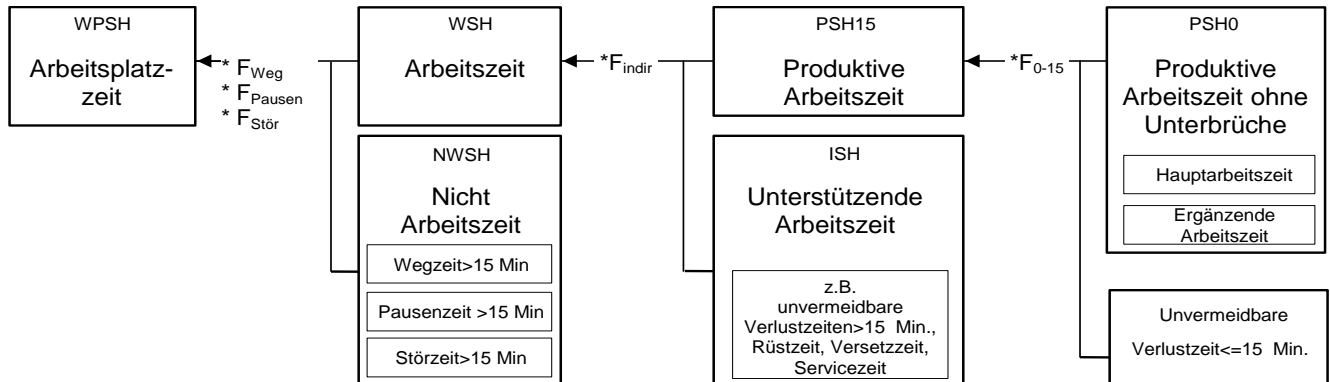
Hindernisklassentabelle

Hindernisklasse	H20	H40	H70
1	0	0	0
2	< 15	<2	<2
3	16-150	2-15	<2
4	>150	>16	2-15
H20, Hindernishöhe/Tiefe 10-30 cm H40, Hindernishöhe/Tiefe 30-50 cm H70, Hindernishöhe/Tiefe 50-90 cm	Anzahl Hindernisse pro 100 m Erschliessungslinie		

Gefällsklassentabelle

Gefällsklasse	Prozentuale Steigung oder Gefälle
1	< 10
2	10-20
3	> 20

A4: Zeitsystem im Komponentenmodell „Forwarder“



(nach Björheden & Thompson 1995 und Heinimann 1997, verändert Björheden & Thompson 1995: An International Nomenclature For Forest Work Study, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Operational Efficiency, Sweden; Heinimann, H.R. 1997: Skript Forstl. Verfahrenstechnik, ETH Zürich)

Die 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.

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

Berechnung der System- und Faktorzeiten

System :

$$PSH_{15} = PSH_0 * F_{0-15}$$

$$WSH = PSH_{15} + ISH = PSH_{15} * F_{indir}$$

$$WPSH = WSH + NWSH = WSH * F_{Weg} * F_{Pausen} * F_{Stör}$$

Personal :

$$PPH_0 = Anz_Pers * PSH_0$$

$$PPH_{15} = PPH_0 * F_{0-15}$$

$$WPH = PPH_{15} + IPH = PPH_{15} * F_{indir}$$

$$WPPH = WPH * F_{Weg} * F_{Pausen} * F_{Stör}$$

Maschinen :

$$PMH_0 = Anz_Masch * PSH_0 * Masch_Laufzeitanteil$$

$$PMH_{15} = PMH_0 * F_{0-15}$$

$$WMH = PMH_{15} + IMH = PMH_{15} * F_{indir}$$

$$WPMH = WMH * F_{Stör}$$

$$F_{0-15} = \frac{PSH_{15}}{PSH_0}$$

$$F_{indir} = 1 + \frac{ISH}{PSH_{15}}$$

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

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

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