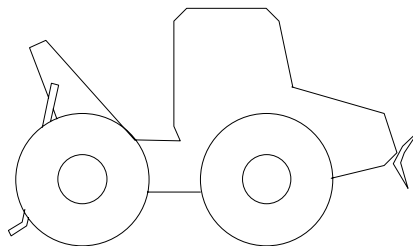


WSL-Forschungsprojekt

# Produktivitätsmodelle für die Holzernte, erstellt mit Hilfe komponentenbasierter Softwaretechnologie

Grundlagen für die Programmierung

## Produktionssystem „Schlepper“



Abteilung Management Waldnutzung  
Eidg. Forschungsanstalt WSL, 2002, 2007

Version	Bearbeiter	Datum	Status	Kommentar
1.0	St. Rechberger	April 99		Grundlagendaten
	R. Lemm	Juli/Nov 99		1. Version
	F. Frutig	Juni 2000		Ueberarbeitung der 1.Version
	M. Breitenstein	Jan. 2003		Formatierung und Korrekturen gem. Fg/VE
3.0	F. Frutig	Jan. 2003		Schlusskontrolle
4.0	V. Erni	Jan. 2007		Korrekturen

# Inhaltsübersicht

<b>1. Grundlagen .....</b>	<b>3</b>
1.1 Entstehung und Verwendung .....	3
1.2 Verzeichnis der Quellen.....	3
1.3 Beurteilung und besondere Schwierigkeiten.....	3
1.4 Sensitivitätsanalyse .....	5
1.5 Zeitangaben - Gliederung und Bezugsgrößen .....	6
<b>2. Produktionssystem - verbal-bildliche Darstellung.....</b>	<b>6</b>
2.1. Produktionsfaktoren.....	6
2.2. Produktionsprozess .....	6
2.2.1 Arbeitsaufgabe.....	6
2.2.2 Arbeitsabläufe .....	6
2.3. Input- und Outputzustand .....	8
2.3.1 Input-Zustand.....	8
2.3.2 Output-Zustand.....	8
2.3.3 Veränderungen .....	8
2.4. Erforderliche Arbeitsbedingungen.....	8
2.4.1 Technik und Personal .....	8
2.4.2 Gelände und Erschliessung .....	8
2.4.3 Waldbestände und waldbauliche Massnahmen.....	8
2.5. Berechneter Output .....	8
<b>3. Produktionssystem - mathematische Darstellung .....</b>	<b>9</b>
3.1 Systemübersicht "Schlepper" .....	9
3.2 Systemzusammensetzung.....	10
3.3 Arbeitsproduktivität in m <sup>3</sup> o.R./PSH15.....	10
3.4 Zeitbedarf der Produktionsfaktoren pro m <sup>3</sup> .....	11
3.5. Abkürzungen.....	11
3.6. Umrechnung Bezugsgrösse in Rinde → ohne Rinde.....	13
3.7. Berechnungsbeispiel .....	14
<b>4. Anhang.....</b>	<b>15</b>
4.1. Zeitsystem im Komponentenmodell "Schlepper" .....	15
4.2. Berechnung der System- und Faktorzeiten .....	15

# 1. Grundlagen

## 1.1 Entstehung und Verwendung

Von ABEGG (1980) existieren detaillierte Berechnungsunterlagen für das Rücken mit Forsttraktoren in befahrbarem Gelände und auf Maschinenwegen. Seit 1980 sind diese Unterlagen jedoch nicht mehr überarbeitet worden. Der heutige technische Standard beim Rücken mit Schleppern sind funkgesteuerte Doppeltrommelwinden sowie zunehmend Rückezangen. Deshalb wurde als Grundlage für die Komponente Schlepper ein Grundlagenmodell gesucht, das diesem technischen Standard entspricht. Am besten geeignet schien das Modell der FVA Baden-Württemberg (BORT et al., 1992), welches als Grundlage für die Entlohnung von HolZRückearbeiten im Prämienlohn dient: Das Modell basiert auf einer umfangreichen Datenmenge aus den Jahren 1987-89 (Rückevolumen von 580'000 m<sup>3</sup>), die Rahmenbedingungen sind denjenigen in der Schweiz sehr ähnlich und die Handhabung ist einfach. Die Rückeleistung unter durchschnittlichen Bedingungen wird aus einer stückmasseabhängigen Grundformel berechnet, vom Durchschnitt abweichende Bedingungen werden mit Zuschlägen und Abzügen berücksichtigt. Auf die Vor- und Nachteile der Modelle von ABEGG (1980) und BORT et al. (1992) wird in Kapitel 1.3 näher eingegangen.

## 1.2 Verzeichnis der Quellen

- ABEGG, B., 1991: Unterlagen für eine EDV-gestützte Ermittlung des Bringungsaufwandes. Unveröffentlicher Bericht Kreisforstamt III, Wetzikon ZH.
- ABEGG, B., 1980: Kalkulationsunterlagen für die Leistung beim Rücken mit Forsttraktoren und beim Reisten auf kurze Distanz. Bericht Nr. 124, EAFV Birmensdorf, 2. ergänzte Auflage.
- ABEGG, B., 1975: Erstellen eines Akkordtarifes für das Rücken mit Forsttraktoren. Forsttechnische Informationen 27, 6 S. 46-48
- BORT, U.; EMHARDT, M.; PFEIL, C., 1992: Prämienlohn Rücken. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg.
- Ministerium für ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Landesforstverwaltung, 1993: Dienstvereinbarung über die Entlohnung von HolZRückearbeiten im Prämienlohn (DV-PL-HolZRücken) vom 23. März 1993, Stuttgart.
- LEMM, R.; ERNI, V., 1998: COM-Komponenten für die Holzernte & Jungwaldpflege. Kompetenz-Zentrum Holz 98/2, S. 18-19.
- LEMM, R.; ERNI, V., 1995: Ein Simulationsmodell für den Forstbetrieb - Entwurf, Realisierung und Anwendung. Bericht Nr. 341, EAFV Birmensdorf.
- NÄF, J., 1998: Kalkulationsgrundlagen für das Vorliefern/Rücken mit Forsttraktor nach Abegg (1980) und (1991) modifiziert nach Lemm (1995). Interner Bericht WSL.
- RECHBERGER, S., 1999: Grundlagendaten für ein Produktionssystem Seilschlepper. Interner Bericht WSL, 4 S.

## 1.3 Beurteilung und besondere Schwierigkeiten

Die Daten von Abegg (erhoben 1968-1973) betreffen eine untersuchte Holzmenge von 6'000 m<sup>3</sup>. In der Schweiz gibt es keine aktuelleren Untersuchungen mit einer

ähnlichen Holzmenge und einem entsprechend breiten Einsatzspektrum. Die Suche nach Daten für das Rücken mit Forsttraktor erstreckte sich deshalb auf das grenznahe Ausland. In Deutschland kommt immer noch ein leistungsabhängiges Prämienlohnsystem zur Anwendung. Für die Erstellung werden umfangreiche Zeitstudien benötigt. In Baden-Württemberg gelangt ein solches System zur Anwendung (BORT ET. AL. 1992). Das Land Baden-Württemberg weist in Bezug auf das Rücken mit Forsttraktor vergleichbare Bedingungen zur Schweiz auf. Rechberger (1999) vergleicht die Datenbasis von Abegg mit den Daten für das Prämienlohnsystem in Baden-Württemberg anhand einer Kriterienliste. Zusätzlich wird eine kleine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um die Unterschiede zwischen den beiden Modellen aufzuzeigen.

Der Vergleich zwischen den beiden Datenbasen erfolgt in einer tabellarischen Darstellung. Für die Beurteilung der Daten von Abegg wird die Originalpublikation betrachtet (ABEGG 1980). Aufbauend auf dieser Publikation wurden verschiedene Vereinfachungen und Modifikationen vorgenommen (ABEGG 1991, LEMM 1995).

Kriterien	Abegg (CH)	Prämienlohn (Baden-Württemberg)
Originaldaten (Zeitstudien)	Datenerfassung 1968-1973, Publikation 1974, 2. Auflage 1980 (Vereinfachung 1991)	Datenerfassung 1987-1989, Publikation 1992/1997
Technische Aktualität	Funkwinde und Rückezange wurden nicht berücksichtigt, Zwei-Mann-Arbeit (technisch veraltet)	Funkwinde und Rückezange wurden berücksichtigt, Ein-Mann-Arbeit (technisch aktuell)
Umfang Datenbasis für Herleitung	6'000 m <sup>3</sup>	580'000 m <sup>3</sup>
Anwendbarkeit für CH-Verhältnisse	gut, jedoch technologischer Wandel bei den Arbeitsabläufen seit der Datenerhebung	unbekannt, Leistungsberechnung nur bis 50% Hangneigung anwendbar
Dokumentation	Herleitung und Dokumentation ausführlich beschrieben	Herleitung (Statistik) bei uns nicht vorhanden (bei Autoren nachfragen)
Praktische Bedeutung	Verwendung für Vorkalkulationen (wird wenig benützt)	Verbindlich für Lohnfestsetzung ⇒ Bewährung in der Praxis
Inputvariablen, Komplexität	14 Inputvariablen (teilweise messbar, Beurteilung durch F. Frutig, 6.8.98), relativ kompliziert, viele Koeffizienten und Hilfsgrößen	8 Inputvariablen (messbar, Beurteilung durch F. Frutig, 6.8.98), relativ einfach, eine Grundfunktion mit Zuschlägen bzw. Abzügen
Output	Kosten, Zeitbedarf und Leistung pro m <sup>3</sup>	Leistung (m <sup>3</sup> pro Maschinen-arbeitsstunde)

Tabelle 1: Vergleich der Datengrundlagen von Abegg (CH) mit denjenigen aus Baden-Württemberg.

Bei der vergleichenden Betrachtung zeigt sich, dass die Datenbasis aus dem Prämienlohn von Baden-Württemberg in fast allen Punkten vorteilhafter abschneidet. Die Uebertragbarkeit der Daten auf die Schweiz ist vertretbar, da die forstlichen Verhältnisse und die angewendeten Arbeitsverfahren vergleichbar sind. Bei Hangneigungen über 50% lassen sich die Leistungen nicht berechnen. Dies ist jedoch von geringer Bedeutung, da bei Durchschnittsneigungen von > 50% nach heutigen Ueberlegungen eher eine seilgestützte Bringung erfolgt. Die Daten aus Baden-Württemberg wurden entsprechend dem aktuellen Stand der

Rücketechnologie erhoben (Funkwinde und Rückezange berücksichtigt) und beruhen auf einer riesigen Datenmenge. Da das Modell zur Lohnfestsetzung laufend eingesetzt wird, darf man annehmen, dass es sich in der Praxis bewährt hat. Zudem ist die Berechnung relativ einfach aufgebaut, mit einer einzigen Grundfunktion mit Zuschlägen bzw. Abzügen.

#### 1.4 Sensitivitätsanalyse

Es wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um die beiden Modelle zu vergleichen und daraus Schlussfolgerungen über die Anwendbarkeit des Prämienmodells Baden-Württemberg für Schweizer Verhältnisse zu ziehen. Das Datenmodell von Abegg rechnet mit reinen Arbeitszeiten (RAZ). Als Output ergibt sich der Aufwand in Minuten, um einen  $m^3$  Holz zu rücken. Daraus lässt sich die Produktivität errechnen. Das Prämienlohnmodell aus Baden-Württemberg rechnet mit Produktivitäten pro Maschinenarbeitsstunde ( $m^3/MAS$ ). Bei der reinen Arbeitszeit ( $PSH_0$ ) sind keine Unterbrechungen im Arbeitsprozess miteingerechnet. Bei der Maschinenarbeitsstunde sind hingegen die unvermeidbaren Verlustzeiten  $< 15$  Min., d.h. Unterbrüche bis 15 Minuten enthalten. Die beiden Produktivitäten  $m^3/h$  RAZ aus dem Datenmodell von Abegg und  $m^3/MAS$  aus dem Prämienlohnsystem Baden-Württemberg unterscheiden sich deshalb um den Faktor  $F_{0-15}$ . Das heisst die Produktivitäten nach Abegg müssen mit dem Faktor  $1/F_{0-15}$  multipliziert werden. Beim Modell Baden-Württemberg wurde der Zuschlag „Mithilfe immer“ berücksichtigt, da das Modell Abegg 2-Mann-Arbeit als Grundeinstellung verwendet.

Die Berechnungen wurden in einer Excel-Tabelle durchgeführt. Ausgehend von einer Standardeinstellung wurden verschiedene Einflussgrössen variiert, um die beiden Modelle zu vergleichen. Die Produktivitäten nach Abegg wurden mit dem Faktor  $F_{0-15} = 1.05$  auf  $m^3/MAS$  umgerechnet. Die Werte des Modells aus Baden-Württemberg liegen trotzdem generell höher als beim Modell von Abegg ausser bei Stückvolumen unter  $0.2 m^3$ . Die höhere Produktivität könnte eine Folge des technischen Fortschritts sein, denn die Datengrundlagen von Abegg sind 15-20 Jahre älter. Die Veränderung der Zuzugsdistanz wirkt sich im Modell von Abegg stärker auf die Reduktion der Produktivität aus als bei den Daten aus Baden-Württemberg. Auch der Schleppertyp spielt beim Modell von Abegg eine grössere Rolle. Bei Stückvolumen unter  $0.5 m^3$  weisen die Daten aus Baden-Württemberg keinen Unterschied zwischen den verschiedenen Schleppertypen auf. Dies ist vermutlich damit zu begründen, dass bei kleinen Stückvolumen alle Maschinen weit unter ihrer Kapazitätsgrenze ausgelastet sind. Die Veränderung der Rückedistanz wirkt sich bei beiden Modellen sehr ähnlich aus. Grosse Unterschiede ergeben sich aber bei der Hangneigung. Das Modell Baden-Württemberg macht im Gegensatz zu Abegg keine Unterscheidung zwischen befahrbarem und nicht befahrbarem Gelände. Das Modell Baden-Württemberg rechnet lediglich mit einem Abzug von 5%, falls abwärts gerückt wird (strenges Seilausziehen bergauf) und die Hangneigung zwischen 20 und 50% liegt. Deshalb ergeben sich im Vergleich zu Abegg hohe Produktivitäten. Spezielle Erschwernisse (z. B. Umhängen, schwierige Einschwenkbedingungen) werden mit einem Abzug von 10% berücksichtigt.

Aufgrund des durchgeführten Vergleichs wird vorgeschlagen, für das Produktivitätsmodell die Daten aus Baden Württemberg zu verwenden. Die Hauptargumente dafür sind:

- aktuellere Daten, die unter dem heute üblichen technischen Standard erhoben wurden

- tägliche Anwendung des Modells in der forstlichen Praxis, einfache Handhabung
- sehr umfangreiche Datenbasis als Grundlage.

Die Überlegungen basieren auf dem Vergleich der beiden Datengrundlagen und auf der Sensitivitätsanalyse. Das Modell von Abegg basiert auf drei ausgewählten Schleppertypen, das Prämienlohnsystem Baden-Württemberg gilt für alle möglichen Schlepper. Unterschiede im Maschinentyp werden durch Zuschläge berücksichtigt. Die Rückearbeiten werden heute hauptsächlich in Ein-Mann-Arbeit mit Funkwinde durchgeführt. Die Daten aus Baden-Württemberg sind darauf aufgebaut. 2-Mann-Arbeit lässt sich aber dennoch mit einem Zuschlag berücksichtigen. Beim Modell Abegg kann Ein-Mann-Arbeit nicht berechnet werden und die Funkfernsteuerung ist nicht berücksichtigt. Die grössten Unterschiede zwischen den Modellen ergeben sich beim Faktor Hangneigung. Die Unterscheidung zwischen befahrbarem und nicht befahrbarem Gelände wird im Modell Baden-Württemberg nicht gemacht. Dies ist nachvollziehbar, denn das prinzipielle Verfahren ist gleich (Zuzug auf Rückegasse bzw. Maschinenweg). Das Modell weist jedoch nur eine geringe Differenzierung bezüglich Hangneigung auf. Mit einer Analyse der Originaldaten liesse sich dieser Einflussfaktor überprüfen.

### 1.5 Zeitangaben - Gliederung und Bezugsgrössen

Das Modell von Baden-Württemberg (BORT ET. AL. 1992) für das Rücken mit Schlepper liefert Produktivitäten als  $\text{m}^3$  o.R. gerückte Holzmasse pro MAS oder  $\text{PMH}_{15}$  Zeiten (siehe Anhang).

## 2. Produktionssystem - verbal-bildliche Darstellung

### Anmerkung

In diesem Grundlagenbericht wird der Masseinheit  $\text{m}^3$  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").

### 2.1. Produktionsfaktoren

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

- 1 Schlepper mit funkgesteuerter Seilwinde oder Rückezange
- 1 Fahrer (Maschinist)

### 2.2. Produktionsprozess

#### 2.2.1 Arbeitsaufgabe

Die Arbeitsaufgabe besteht darin, Holz in Form von Rundholzabschnitten oder allenfalls Vollbäumen vom Bestand an eine lastwagenfahrbare Strasse zu rücken. Das Rücken umfasst das Beiziehen der Last und das Fahren auf Rückegassen, Maschinenwegen und LKW-Strassen bis zum Lagerort.

#### 2.2.2 Arbeitsabläufe

Das Modell bildet folgende Aktivitäten oder Einzelprozesse des Rückevorganges ab (vgl. Abbildung 1): Leerfahrt, Lastbildung (anhängen), ggf. Zuzug der Last

(Vorrücken), ggf. Lastfahrt, Entladen. Das Modell bildet keine Informationsprozesse ab.

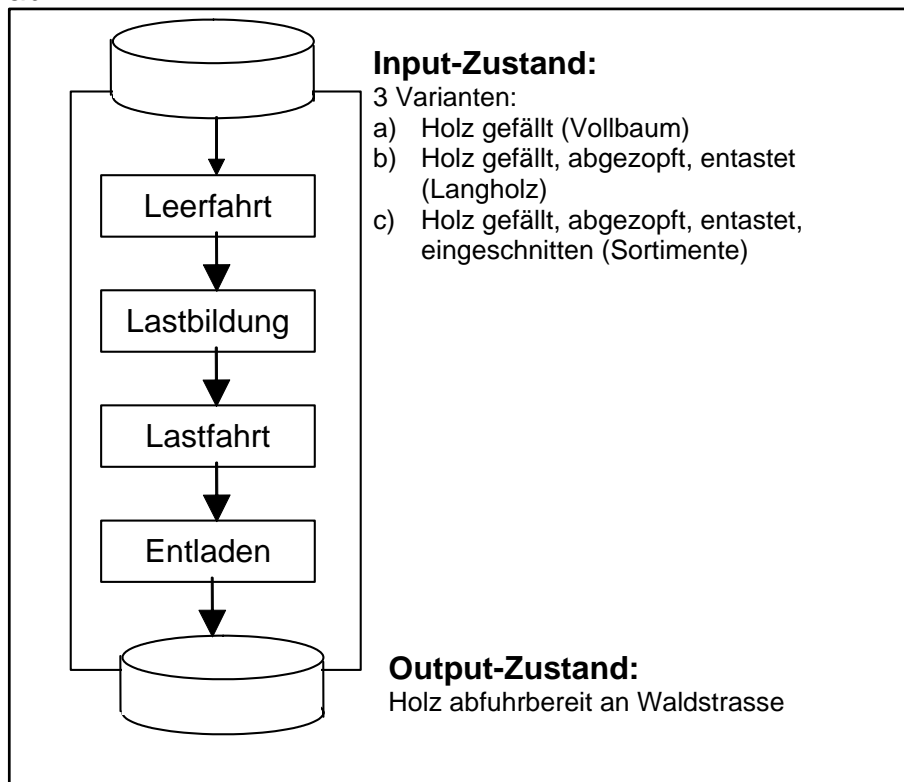


Abbildung 1: Ablauf eines Rückezyklus.

## **2.3. Input- und Outputzustand**

### **2.3.1 Input-Zustand**

Holzsortimente: Kurzholz, Langholz, Längen von ca. 4-22 m, fertig aufgerüstet oder teilentastet, alle Durchmesser. Für Vollbäume und Vollbaumteile ist eine Anwendung des Modells grundsätzlich denkbar, das Modell wurde jedoch nicht diesbezüglich überprüft.

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

### **2.3.2 Output-Zustand**

Holzsortimente: wie Input-Zustand.

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

### **2.3.3 Veränderungen**

Rundholzabschnitte, welche flächig im Bestand liegen oder an eine Rückegasse/Maschinenweg vorgeliefert sind, werden ggf. mit der Seilwinde zum Schlepper zugezogen (Vorrücken) und in einem kombinierten oder separaten Arbeitsgang mit einem Schlepper an eine lastwagenfahrbare Strasse gerückt und dort abgelegt. Sinngemäss gilt das auch für Vollbäume, die anschliessend mit einem Prozessor an der Feinerschliessung oder an der Waldstrasse aufgearbeitet werden.

## **2.4. Erforderliche Arbeitsbedingungen**

### **2.4.1 Technik und Personal**

- Schlepper mit funkgesteuerter Seilwinde oder Rückezange (alle Leistungsklassen)
- Der Maschinist muss auf der eingesetzten Maschine und bezüglich der übrigen Bedingungen geübt sein.

### **2.4.2 Gelände und Erschliessung**

- Gelände: befahrbar (Hangneigung, Bodentragfähigkeit) für Maschinen mit Radfahrgestellen mit einem Gesamtgewicht von ca. 3-12 Tonnen. Hangneigung für Rückegassen bis ca. 40%, für Maschinenwege bis 70%.
- Erschliessung: Rückegassen oder Maschinenwege, teilweise auch Einsatz direkt von der Waldstrasse aus.

### **2.4.3 Waldbestände und waldbauliche Massnahmen**

- Waldbestände: Nadelholz-, Laubholz-, oder Mischbestände; Stangen- und Baumhölzer.
- Durchforstungen. Grundsätzlich auch Endnutzungen (Abräumungen) und Flächennutzungen wie Sturmholz etc.. Für diese Fälle ist das Modell jedoch nicht überprüft.

## **2.5. Berechneter Output**

- Zeitbedarf des Produktionssystems in  $PSH_{15}$  pro  $m^3$  o.R.
- $m^3$  o.R. pro Zeiteinheit (technische Arbeitsproduktivität).
- Arbeitszeit des Produktionsfaktors Schlepper in  $PMH_{15}$  pro  $m^3$  o.R.



### 3. Produktionssystem - mathematische Darstellung

#### 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 Systemübersicht "Schlepper"

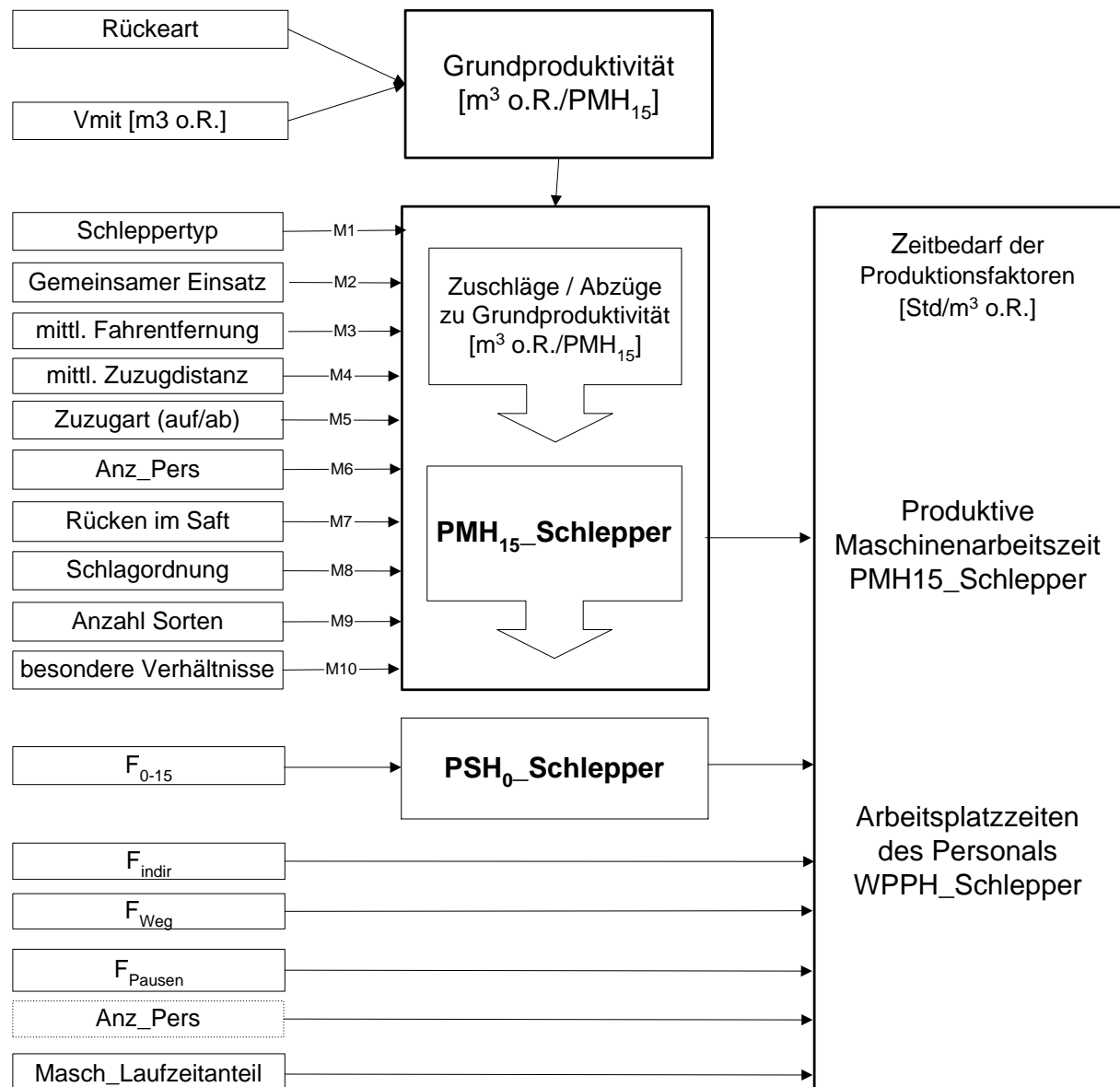


Abbildung 2: Übersicht des Datenflusses im Schleppermodell.

### 3.2 Systemzusammensetzung

Personal:	Der Schlepper wird in der Regel von <u>einem</u> Maschinisten bedient. In bestimmten Fällen wird ein Gehilfe beigezogen (Zwei-Mann-Arbeit).	1-2 Arbeitskräfte
Maschinen:	Schlepper mit Seilwinde oder Rückezange	1 Maschine

Tabelle 2: Zusammensetzung des Systems.

### 3.3 Arbeitsproduktivität in m<sup>3</sup> o.R./PSH15

Input		Formel	Output	
Anz_Sorten		Anz_Sorten: • 4-6: $M_9 = -0.05$ • Anz_Sorten >6: $M_9 = -0.1$ • Sonst: $M_9 = 0.0$	$M_9$	
Anz_Pers		Anz_Pers: • 2: $M_6 = +0.15$ und Anz_Pers =2 <i>gilt nur wenn Quotient Fahrerarbeitsstd./MAS &gt; 1.5<sup>1</sup></i> • Sonst: $M_6 = 0.0$	$M_6$	
Bes-Verhältn.		Bes_Verhältn: • ja: $M_{10} = -0.1$ bis $+0.1$ • Sonst: $M_{10} = 0.0$ Mit diesem Zuschlag/Abzug können besondere Erschwernisse oder Erleichterungen berücksichtigt werden (Witterung, Poltermöglichkeiten, extreme Fahrdistanzen auf Maschinenwegen, ...). Begründung angeben.	$M_{10}$	
Gem_Einsatz		In den Modellgrundlagen (Bort et al. 1992) ist ein Zuschlag vorgesehen für den gemeinsamen Einsatz von zwei Schleppertypen. Dieser Fall wird im vorliegenden Modell nicht behandelt. Werden trotzdem zwei Schleppertypen in einem Holzschlag eingesetzt, müssen zwei unabhängige Kalkulationen mit den entsprechenden Holzmengen durchgeführt werden.	$M_2$	
Grundproduktivität		Grundeffizienz = $1 / \text{Grundproduktivität}$	Grund-effizienz	$\left[ \frac{\text{MAS}}{\text{m}^3 \text{ o.R.}} \right]$
$M_1, \dots, M_{10}$ Grund-effizienz $F_{0-15}$		$\text{PMH}_{15 \text{ o.R.}} = \frac{1}{(1 + \sum_{i=0}^{10} M_i) \cdot \text{Grundproduktivität}}$ $\text{PSH}_{15 \text{ o.R.}} = \frac{\text{PMH}_{15 \text{ o.R.}}}{\text{Anz\_Schlepper} \cdot \text{Masch\_Laufzeitanteil}}$ $\text{PSH}_{0 \text{ o.R.}} = \frac{\text{PSH}_{15 \text{ o.R.}}}{F_{0-15}}$	$\text{PSH}_{15}$  $\text{PSH}_0$	$\left[ \frac{\text{Std.}}{\text{m}^3 \text{ o.R.}} \right]$
Mittlere Fahrentfernung Dfähr	[m]	Dfähr: • 201-400m: $M_3 = -0.1$ • >400m: $M_3 = -0.2$ • Sonst: $M_3 = 0.0$	$M_3$	
Mittlere Zuzugdistanz Dzz	[m]	Dzz: • 21-40m: $M_4 = -0.1$ • >40m: $M_4 = -0.15$ • Sonst: $M_4 = 0.0$	$M_4$	
Rückart		Rückart: • nur Vorrücken: $M_0 = +0.7^2$	$M_0$	

<sup>1</sup> Muss vom Modellanwender beurteilt werden. Im Programm stehen 5 Stufen zur Auswahl (0%, 0-25%; 26-50%; 51-75%; 76-100%). Ab Stufe 51-75% erfolgt ein Zeitzuschlag von +15%. Die Kosten für die zweite Person werden anteilmässig nach den 5 Stufen, entsprechend der jeweiligen Obergrenze, angelastet.

Input		Formel	Output	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>vorgerückte Lasten: <math>M_0 = +0.05</math></li> <li>Sonst: <math>M_0 = 0.0</math></li> </ul>		
Rücken im Saft		Rücken im Saft: <ul style="list-style-type: none"> <li>ja: <math>M_7 = -0.1</math></li> <li>Sonst: <math>M_7 = 0.0</math></li> </ul>	$M_7$	
Schlagordnung		Schlagordnung = nicht eingehalten; $M_8 = -0.1$ gilt für Langholz >10m und Schlagordnung bei mehr als 1/4 der Stückzahl nicht eingehalten Sonst: $M_8 = 0.0$	$M_8$	
Schleppertyp		Schleppertyp: <ul style="list-style-type: none"> <li>Forstspezialschlepper oder Schlepper mit Zange und <math>V_{mit} &gt; 0.5 \text{ m}^3 \text{ o.R.}</math>: <math>M_1 = +0.1</math></li> <li>Sonst: <math>M_1 = 0.0</math></li> </ul>	$M_1$	
$V_{mit}$	$[\text{m}^3 \text{ o.R.}]$	Grundproduktivität = $A_2 + (A_1 - A_2) / (1 + (V_{mit}/V_0)^p)$ $A_1 = -1.06866$ $A_2 = 19.04929$ $V_0 = 0.704$ $p = 0.85735$	Grundproduktivität	$\left[ \frac{\text{m}^3 \text{ o.R.}}{\text{MAS}} \right]$
Zuzugart		Zuzugart <ul style="list-style-type: none"> <li>bergab und Hangneigung &gt;20% und <math>D_{ZZ} = 21-30\text{m}</math>: <math>M_5 = -0.05</math></li> <li>Sonst: <math>M_5 = 0.0</math></li> </ul>	$M_5$	

Tabelle 3: Formeln zur Berechnung der Arbeitsproduktivität in m3 o.R./PSH15.

### 3.4. Zeitbedarf der Produktionsfaktoren pro m<sup>3</sup>

Input		Formel	Output	
Anz_Pers	$[-]$	$WPPH = (Anz\_Pers \cdot PSH_{0.R} \cdot F_{0-15} \cdot F_{indir} \cdot F_{Weg} \cdot F_{Pausen} \cdot F_{Stör})$	WPPH	$\left[ \frac{\text{Std}}{\text{m}^3 \text{ o.R.}} \right]$
$F_{0-15}$	$[-]$	$PMH_{15} = (PSH_{0.R} \cdot F_{0-15} \cdot Anz\_Schlepper \cdot Masch\_Laufzeitanteil)$	PMH <sub>15</sub>	
$F_{indir}$	$[-]$	Faktoren:		
$F_{Pausen}$	$[-]$	$Anz\_Pers = 1 - 2$		
$F_{Weg}$	$[-]$	$F_{Verteilzeit} = F_{0-15} \cdot F_{indir} = \text{individuell}$		
Anz_Schlepper	$[-]$	$F_{Weg} = \text{individuell}$		
Masch_Laufzeitanteil	$[-]$	$F_{Pausen} = \text{individuell}$		
		$F_{Stör} = \text{individuell}$		
		$Anz\_Schlepper = 1$		
		$Masch\_Laufzeitanteil = 1.0$		

Tabelle 4: Formeln zur Berechnung des Zeitbedarfs der Produktionsfaktoren pro m3.

### 3.5. Abkürzungen

Abk.	Definition	Default-Werte	Defin. Bereich	Einheit
Anz_Pers	Anz_Pers gibt an ob ein zweiter Mann wesentlich (d.h. Personalstd./MAS > 1.5) mithilft und die Grundarbeitsproduktivität erhöht oder ob Rücken in Zwei-Mann-Arbeit mit funkgesteuerter Doppeltrommelwinde betrieben wird.	2	1, 2	$[-]$
Anz_Sorten	Anzahl Sorten berücksichtigt die geringere	≤ 3	0-10	$[-]$

<sup>2</sup> In den Modellgrundlagen (Bort et al. 1992) wird der Zuschlag von 70% nur bis 0.5 m3 mittlerem Stückinhalt gerechnet. Vergleiche mit den Daten von Abegg (1980) entsprechen einem durchgehenden Zuschlag über den Stückinhalt von 0.5 m3 hinaus. Aus logisch erscheinenden Gründen wird im Produktivitätsmodell deshalb der Zuschlag auch über den Stückinhalt von 0.5 m3 hinaus beibehalten.

Abk.	Definition	Default-Werte	Defin. Bereich	Einheit
	<i>Arbeitsproduktivität beim Poltern von mehreren Sorten oder Losen.</i>			
Bes-Verhältn.	<i>Mit diesem Zuschlag können besondere Erschwernisse berücksichtigt werden, z.B. Witterung, Poltermöglichkeiten, etc.</i>	1.0	0.9–1.1	[-]
F.. 0-15 indir Pausen Weg Stör	Multiplikationsfaktor für unvermeidbare Verlustzeiten <15 Min. für indirekte Arbeitszeiten für Pausen >15 Min. für Wegzeiten >15 Min. für Störzeiten >15 Min.		≥1.0	[-]
Grund- produk- tivität	Zeitbedarf in Stunden pro m <sup>3</sup> ohne Rinde des gerückten Holzvolumens. Gilt für Standardbedingungen: <ul style="list-style-type: none"> <li>Rücken mit landwirtschaftlichen Schleppern und Universalschleppern mit Forstausrüstung und funkgesteuerter Seilwinde</li> <li>Rücken mit Forstspezialschleppern und Schleppern mit Rückezange bis zu einem mittleren Stückvol. von 0.5 m<sup>3</sup> o. R.</li> <li>Mittlere Zuzugentfernung bis 20 m</li> <li>Durchschnittliche Zuzugrichtung „eben“ bis „bergauf“</li> <li>Durchschnittliche Zuzugrichtung „bergab“ bis zu einer mittleren Hangneigung von 20%</li> <li>Mittlere einfache Fahrdistanz bis 200 m</li> <li>Ein-Mann-Arbeit</li> <li>Arbeitsbedingungen ohne besondere Erschwernisse</li> </ul>			$\left[ \frac{\text{Std.}}{\text{m}^3 \text{ o.R.}} \right]$
H	Neigung des Geländes		≥0	[%/100]
M <sub>1</sub> ...M <sub>10</sub>	Zuschläge/Abzüge zu Grundproduktivität			
Mittl. Fahrentfer- nung D <sub>fahr</sub>	Durchschnittliche Fahrentfernung, die der Schlepper von der Lastaufnahme bis zum Poltern fährt.	≤200	0-1000	[m]
Mittl. Zuzug- distanz D <sub>zz</sub>	Effektive mittlere Zuzugentfernung bis zum Anhängepunkt. Sie wird in 20-Meter-Stufen geschätzt.	≤20	0-100	[m]
PMH <sub>15</sub> [o.R.]	Produktive Maschinenarbeitszeit des Schleppers pro m <sup>3</sup> o.R.		≥0	$\left[ \frac{\text{Std.}}{\text{m}^3 \text{ o.R.}} \right]$
PSH <sub>0</sub> [i.R.]	Arbeitseffizienz des Systems Schlepper in (PSH <sub>0</sub> ) pro m <sup>3</sup> i.R. (gerücktes Holz)		≥0	$\left[ \frac{\text{Std.}}{\text{m}^3 \text{ i.R.}} \right]$
PSH <sub>0</sub> [o.R.]	Arbeitseffizienz des Systems Schlepper in (PSH <sub>0</sub> ) pro m <sup>3</sup> o.R.		≥0	$\left[ \frac{\text{Std.}}{\text{m}^3 \text{ o.R.}} \right]$
Rückeart	Werden mit dem Schlepper nur Vorlasten gebildet, so besteht der Rückezyklus aus den Teilarbeiten Schlepper positionieren, Seil ausziehen, Anhängen, Beiseilen, Abhängen. Die Teilarbeiten Poltern sowie Last- und Leerfahrten entfallen. Beim Fertigrücken vorgebildeter Lasten ist die Anzahl der Vorlasten als Stückzahl für die Herleitung des mittl. Stückvolumens zugrunde zu legen. Zuschläge für „nur Vorrücken“ und „Fertigrücken“ nur wenn das Rücken in zwei Schritten durch verschiedene Maschinen erfolgt. Beim Vorliefern eines Teiles des gesamten zu rückenden Holzvolumens, ist eine anteilmässige Berechnung vorzunehmen.		nur vorrücken, fertigrücken vorrückter Lasten; sonst	
Rücken im Saft	Rücken im Saft erfordert besondere Sorgfalt zur Vermeidung von Rückeschäden und führt zu einer Reduktion der Grundarbeitsproduktivität.	1.0	0.9	[-]

Abk.	Definition	Default-Werte	Defin. Bereich	Einheit
<i>Schlagordnung</i>	Bei schlechter Schlagordnung von Langholz ist das Vermeiden von Rückeschäden mit zusätzlichem Aufwand verbunden. Reduktionsfaktor falls Langholz > 10m <b>und</b> Schlagordnung bei mehr als 1/4 der Stückzahl nicht eingehalten.	1.0	0.9	[-]
<i>Schlepper-typ</i>	Forstspezial- und Zangenschlepper erreichen bei mittleren Stückvolumen > 0.5 m <sup>3</sup> o.R. eine höhere Arbeitsproduktivität.	Universal- oder landw. Schlepper	Universal- oder landw. Schlepper; Forstspezialschlepper (Knicklenkung) oder Schlepper mit Zange;	
<i>V<sub>mit</sub></i>	Mittlerer Stückinhalt des gerückten Holzes ohne Rinde. Gerücktes Holzvolumen ohne Rinde geteilt durch tatsächlich gerückte Stückzahl.			[m <sup>3</sup> o.R.]
<i>WPPH</i>	Arbeitsplatzzeiten des Personals pro m <sup>3</sup> o.R.		≥ 0	$\left[ \frac{\text{Std.}}{\text{m}^3 \text{ o.R.}} \right]$
<i>Zuzugart</i>	Die Zuzugart berücksichtigt die Erschwernisse des Seilausziehens bergauf.	eben oder bergauf	eben oder bergauf	bergab,

Tabelle 5: Abkürzungen und Definitionen.

### Wichtig !

Bei der effektiv zu rückenden Holzmenge muss bekannt sein, ob diese mit oder ohne Rinde gerückt wird. Falls PSH<sub>0</sub> pro m<sup>3</sup> in Rinde gegeben ist, so muss auch die gerückte Holzmenge auf m<sup>3</sup> in Rinde umgerechnet werden und umgekehrt.

### 3.6. Umrechnung Bezugsgrösse in Rinde → ohne Rinde

K<sub>BA</sub> = Konstante für Rindenabzug (baumartenspezifisch).

Für die Umrechnung von Holzmenge und Volumenmittelstamm gilt dann:

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

Baumart	K <sub>BA</sub>		
	Stammholz	Schichtholz	Total
Fichte/Tanne	0.860	0.892	0.892
Föhre/Lärche	0.825	0.820	0.820
Buche (Lbh)	0.908	0.938	0.935

Tabelle 6: Umrechnungsfaktoren in Rinde / ohne Rinde (Näf 1999, interner Bericht).

Kalkulierte Grössen, wie Produktivität und Effizienz dürfen nicht mit K<sub>BA</sub> umgerechnet werden!

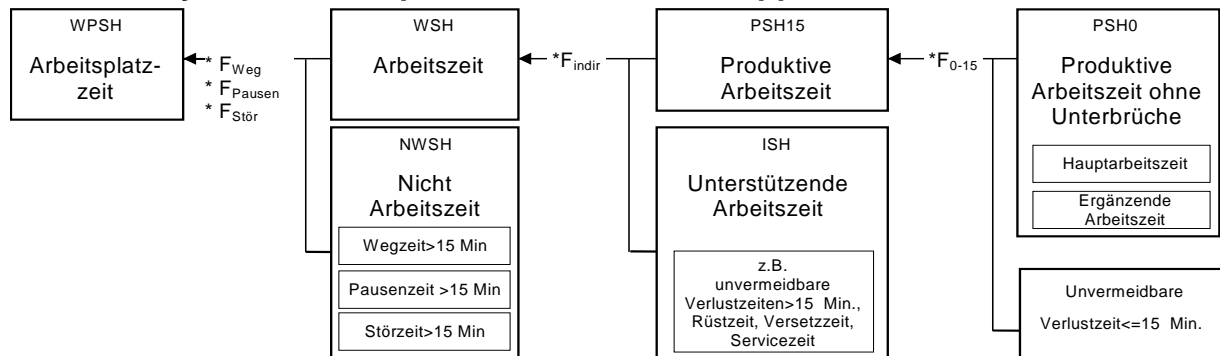
### 3.7. Berechnungsbeispiel

Vmit	Grund produkti vität	Zuschlag Schlepper typ	gemeinsa mer Einsatz mehrer Schlepper	Zuschlag mittlere Fahrentfer nung	Zuschlag mittlere Beizugsen tfernung	Zuschlag Beizug bergab	Zuschlag Mithilfe	Zuschlag Schlagord nung	Zuschlag Rücken im Saft	Zuschlag Sorten/Los vielfalt	Zuschlag nur Vorrücken	Zuschlag Fertigrücken vorgebildeter Lasten	Zuschlag besondere Verhältnisse	Produktivität [m <sup>3</sup> o.R./MAS]	
m <sup>3</sup> o.R.	m <sup>3</sup> o.R./ Std.	Multiplikationsfaktoren Einheit [-]												Modell	Baden- Württemberg
		ja	nein	nein	nein	nein	ja	nein	nein	ja	nein	nein	nein		
0.10	2.1	0	0	0	0	0	0.15	0	0	-0.05	0	0	0	2.32	2.42
0.20	4.0	0	0	0	0	0	0.15	0	0	-0.05	0	0	0	4.44	4.29
0.30	5.5	0	0	0	0	0	0.15	0	0	-0.05	0	0	0	6.01	5.94
0.40	6.6	0	0	0	0	0	0.15	0	0	-0.05	0	0	0	7.26	7.26
0.50	7.5	0	0	0	0	0	0.15	0	0	-0.05	0	0	0	8.28	8.25
0.60	8.3	0.1	0	0	0	0	0.15	0	0	-0.05	0	0	0	9.96	9.96
0.70	9.0	0.1	0	0	0	0	0.15	0	0	-0.05	0	0	0	10.76	10.8
0.80	9.5	0.1	0	0	0	0	0.15	0	0	-0.05	0	0	0	11.45	11.4
0.90	10.0	0.1	0	0	0	0	0.15	0	0	-0.05	0	0	0	12.05	12
1.00	10.5	0.1	0	0	0	0	0.15	0	0	-0.05	0	0	0	12.59	12.48
1.10	10.9	0.1	0	0	0	0	0.15	0	0	-0.05	0	0	0	13.07	12.96
1.20	11.3	0.1	0	0	0	0	0.15	0	0	-0.05	0	0	0	13.50	13.44
1.30	11.6	0.1	0	0	0	0	0.15	0	0	-0.05	0	0	0	13.89	13.8
1.40	11.9	0.1	0	0	0	0	0.15	0	0	-0.05	0	0	0	14.25	14.16
1.50	12.1	0.1	0	0	0	0	0.15	0	0	-0.05	0	0	0	14.57	14.52

Tabelle 7: Berechnungsbeispiel.

## 4. Anhang

### 4.1. Zeitsystem im Komponentenmodell "Schlepper"



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

Abbildung 3: Verwendetes Zeitsystem

Die in Abbildung 3 aufgeführten Zeiten können grundsätzlich für das Produktionssystem als ganzes sowie für die beteiligten Produktionsfaktoren (Maschinen, Personal) ermittelt werden. Je nachdem spricht man zum Beispiel von der System-, von der Maschinen- oder von der Personalarbeitszeit. In Anlehnung an die Originalgrundlagen wurden die Abkürzungen von den englischen Begriffen abgeleitet.

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

Tabelle 8: Übersicht über die verwendeten Zeitbegriffe

### 4.2. 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 :*

$$PMH_0 = Anz\_Masch * PSH_0 * Masch\_Laufzeitanteil$$

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

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

$$WPMH = WMH * F_{Stör}$$

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

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

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

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

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

