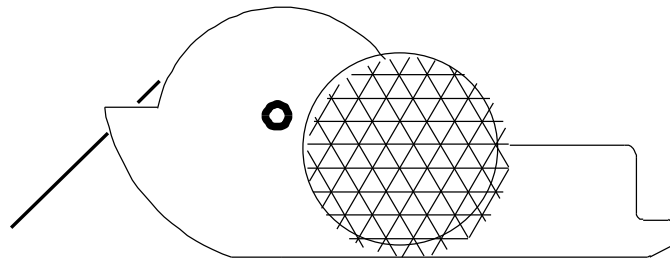


WSL-Forschungsprojekt

# Produktivitätsmodelle für die Holzernte mit Hilfe komponentenbasierter Softwaretechnologie

Grundlagen für die Programmierung

## Produktionssystem "konventioneller Seilkran"



Abteilung Management Waldnutzung  
Eidg. Forschungsanstalt WSL, 2003, 2007

Version	Bearbeiter	Datum	Status	Kommentar
1.0	Lemm/Näf	18. Jan. 99	reviewt	Reviewt Frutig, Stückelberger
1.1	Lemm	15. Feb. 99		Anpassungen an realisierte Komponente, vereinfachtes Modell Installatio
1.2	Lemm	18./ 2. 99, 26. 2. 99		Korrekturen von Frutig
	M. Breitenstein	Dez. 2002		Formatierung gem. V. Erni
1.4	M. Breitenstein	27. 05. 03		Korrekturen tel. gem. Fg. und Formatanpassungen
1.5	V. Erni	31. 01. 07		Korrekturen
1.6	S. Holm	Dez. 2014		Korrekturen

# Inhaltsübersicht

<b>1</b>	<b>Grundlagen.....</b>	<b>3</b>
1.1	Entstehung und Verwendung.....	3
1.2	Verzeichnis der Quellen .....	3
1.3	Beurteilung.....	3
1.4	Zeitangaben.....	3
<b>2</b>	<b>Produktionssystem – verbal-bildliche Darstellung .....</b>	<b>4</b>
2.1	Produktionsfaktoren .....	4
2.2	Produktionsprozess.....	4
2.2.1	Arbeitsaufgabe .....	4
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 .....	6
2.4.3	Waldbestände und waldbauliche Massnahmen.....	7
2.4.4	Weitere .....	7
2.5	Berechneter Output.....	7
<b>3</b>	<b>Produktionssystem -mathematische Darstellung.....</b>	<b>8</b>
3.1	Übersicht.....	8
3.2	Projektierung.....	9
3.2.1	Systemzusammensetzung.....	9
3.2.2	Die Berechnungen.....	9
3.2.3	Zeitbedarf der Produktionsfaktoren pro m <sup>3</sup> .....	9
3.3	Montage und Demontage .....	10
3.3.1	Systemzusammensetzung.....	10
3.3.2	Berechnungen .....	10
3.3.3	Zeitbedarf der Produktionsfaktoren pro m <sup>3</sup> .....	15
3.4	Seilen des Holzes .....	16
3.4.1	Systemzusammensetzung.....	16
3.4.2	Berechnungen .....	16
3.4.3	Zusammenfassung der Teilzeiten pro Lastzyklus.....	18
3.4.4	Umrechnung der Zeit/Last auf Zeit/m <sup>3</sup> .....	18
3.4.5	Zeitbedarf der Produktionsfaktoren pro m <sup>3</sup> .....	19
3.5	Zeiten am Lagerplatz .....	19
3.5.1	Systemzusammensetzung.....	19
3.5.2	Berechnungen .....	19
3.5.3	Zeitbedarf der Produktionsfaktoren pro m <sup>3</sup> .....	20
3.6	Weitere Aufwände.....	20
3.7	Zusammenfassung der Zeiten .....	20
3.8	Abkürzungen und Definitionsbereich .....	21
<b>4</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>24</b>
4.1	Vereinfachtes konventionelles Seilkran-Modell für Montage und Demontage .....	24
4.2	Seilbetrieb.....	26
4.3	Vorgehen bei der Berechnung des vereinfachten Modells (nicht implementiert) .....	27
4.4	Zeitsystem im Komponentenmodell „Konventioneller Seilkran“ .....	28
4.5	Berechnung der System- und Faktorzeiten.....	28
4.6	Beurteilung der Qualität des Modells (im Hinblick auf die Verwendung in Holzernte-Komponenten) .....	29

# 1 Grundlagen

## 1.1 Entstehung und Verwendung

Mit dem Wiederaufschwung der Seilbringung in den Achtzigerjahren entstand die Nachfrage nach einfach anwendbaren Kalkulationsgrundlagen, welche die wichtigsten Einflussgrößen berücksichtigen sollten. Da weder im Inland noch im benachbarten Ausland allgemeingültige Kalkulationsgrundlagen existierten (und bis heute nicht existieren), wurden in der Folge in den Jahren 1981-1984 bei 44 Seilkraneinsätzen in der Praxis Arbeitsstudien durchgeführt. Deren Auswertung führte 1986 zum Merkblatt Nr. 11 „Kalkulationsunterlagen für den Seilkraneinsatz“ der damaligen EAFV. Parallel zu diesem Anwendungsteil wurde der Herleitungsteil als interner Bericht erstellt.

## 1.2 Verzeichnis der Quellen

ABEGG, B.; FRUTIG, F.; WÜTHRICH, W.; 1986: Kalkulationsunterlagen für den Seilkraneinsatz. Merkblatt für den Forstpraktiker Nr. 11. Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf.

ABEGG, B.; FRUTIG, F.; WÜTHRICH, W.; 1986: Die Herleitung der Kalkulationsunterlagen für den Seilkraneinsatz. Interner Bericht. Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf.

## 1.3 Beurteilung

Das Produktivitätsmodell für den konventionellen Seilkran ist nach wie vor aktuell, auch wenn es mittlerweile über 10 Jahre alt ist. Das System „Konventioneller Seilkran“ hat sich in dieser Zeit kaum verändert. Wohl gab es technische Detailverbesserungen an den Anlagen, diese wirken sich aber in erster Linie auf die Erleichterung der Arbeit aus und kaum messbar auf die Arbeitsproduktivität.

Die relativ grosse Anzahl Eingangsgrößen erlaubt im Einzelfall eine genaue Anpassung der Berechnungen an die tatsächlichen Verhältnisse. Die Rückrechnung der 44 erhobenen Seillinien anhand des Modells ergab eine Treffsicherheit der Prognose von  $\pm 25\%$ . Angesichts der Heterogenität der Seilarbeit („keine Seillinie ist wie die andere“) kann dies als gut beurteilt werden. Die Eingangsgrößen sind teilweise messbar, teilweise müssen sie geschätzt werden. Das grösste Problem besteht hier beim mittleren Stückinhalt des geseilten Holzes (also des aufgerüsteten Holzschlages), der meist am stehenden Bestand geschätzt werden muss, jedoch eine der wichtigsten Einflussgrößen darstellt. Insbesondere das mittlere Lastvolumen wird aus dem mittleren Stückinhalt abgeleitet werden.

Das Modell wurde seit seiner Veröffentlichung in zahlreichen Forstbetrieben und Forstunternehmungen zur Vorkalkulation von Seilschlägen angewendet und lieferte durchwegs gute Ergebnisse. Es kann als praxistauglich bezeichnet werden.

## 1.4 Zeitangaben

Für die Modellteile Projektierung und Montage/Demontage (im Komponentenprojekt: indirekte Zeiten) werden die Zeiten in Personalstunden (alte Bezeichnung: Mann-Stunden) pro jeweilige Teilarbeit angegeben, z.B. Personalstunden pro Stütze oder Personalstunden pro Seillinie für die Projektierung etc. Es wird also das zu leistende Arbeitsvolumen ausgewiesen. Die Zeitangabe wurde so gewählt, weil für Projektierung bzw. Montage/Demontage unterschiedlich viel Personal eingesetzt werden kann. Es gibt also eine sog. durchschnittliche Equipengrösse, welche für die dem Produktivitätsmodell zugrunde liegenden Seillinien 3,5 Arbeitskräfte betrug.

Die Zeiten für das Seilen des Holzes (im Komponentenprojekt: produktive Zeiten) werden in Min./Last (Min./Zyklus) angegeben. Beim Seilen wird nicht mehr das Personal, sondern das System bzw. der Lastzyklus betrachtet. Die Equipengrösse kann aufgrund des technischen Ablaufes nur noch gering variieren (3-4 Arbeitskräfte).

## 2 Produktionssystem – verbal-bildliche Darstellung

### Anmerkung

In diesem Grundlagenbericht wird der Masseinheit m<sup>3</sup> 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

Den Berechnungen im Komponentenmodell werden folgende Produktionsfaktoren zugrunde gelegt:

Projektierung:

- 2 Arbeitskräfte

Montage/Demontage:

- 1 Seilkrananlage komplett, bestehend aus Schlittenwinde, Tragseil, Zugseil, Laufwagen und Zubehör wie Tragseilsättel, Umlenkrollen etc.
- 3 - 4 Arbeitskräfte

Seilen:

- 1 Seilkrananlage komplett, bestehend aus Schlittenwinde, Tragseil, Zugseil, Laufwagen und Zubehör wie Tragseilsättel, Umlenkrollen etc.
- 2 - 4 Arbeitskräfte

Lagern (inkl. Verziehen und Sortieren):

- 1 Fahrzeug
- 1 Arbeitskraft

Im Grundlagenmodell **nicht** enthalten, jedoch für die Kostenberechnung von Bedeutung sind folgende weiteren Aufwände:

- Verziehen, Sortieren und Lagern des Holzes: Für diese Teilarbeit können unterschiedliche Maschinen sowie 1-2 Arbeitskräfte eingesetzt werden.
- „Infrastrukturaufwände“ wie Betriebsfahrzeug, Mannschaftswagen, usw..

### 2.2 Produktionsprozess

#### 2.2.1 Arbeitsaufgabe

Die Arbeitsaufgabe besteht darin, Rundholzabschnitte, Langholz oder Vollbäume via Tragseil aus dem Waldbestand an eine lastwagenfahrbare Strasse oder im Ausnahmefall einen Maschinenweg zu bringen.

### 2.2.2 Arbeitsabläufe

Das Komponentenmodell bildet in voneinander unabhängigen Teilen folgende Prozesse ab:

- Projektierung (Seillinie abstecken, Profil aufnehmen, Projekt ausarbeiten)
- Montage/Demontage der Seilanlage
- Seilen des Holzes (eigentlicher Transportvorgang)
- Lagern des Holzes

Der Absenkplatz des Holzes entspricht in den meisten Fällen nicht dem Lagerplatz, das Holz muss also noch vom Absenkplatz zum Lagerplatz weitergerückt werden und wird meist dabei auch noch sortiert.

Das Komponentenmodell bildet keine Informationsprozesse ab (wie z.B. Vermessen des Holzes).

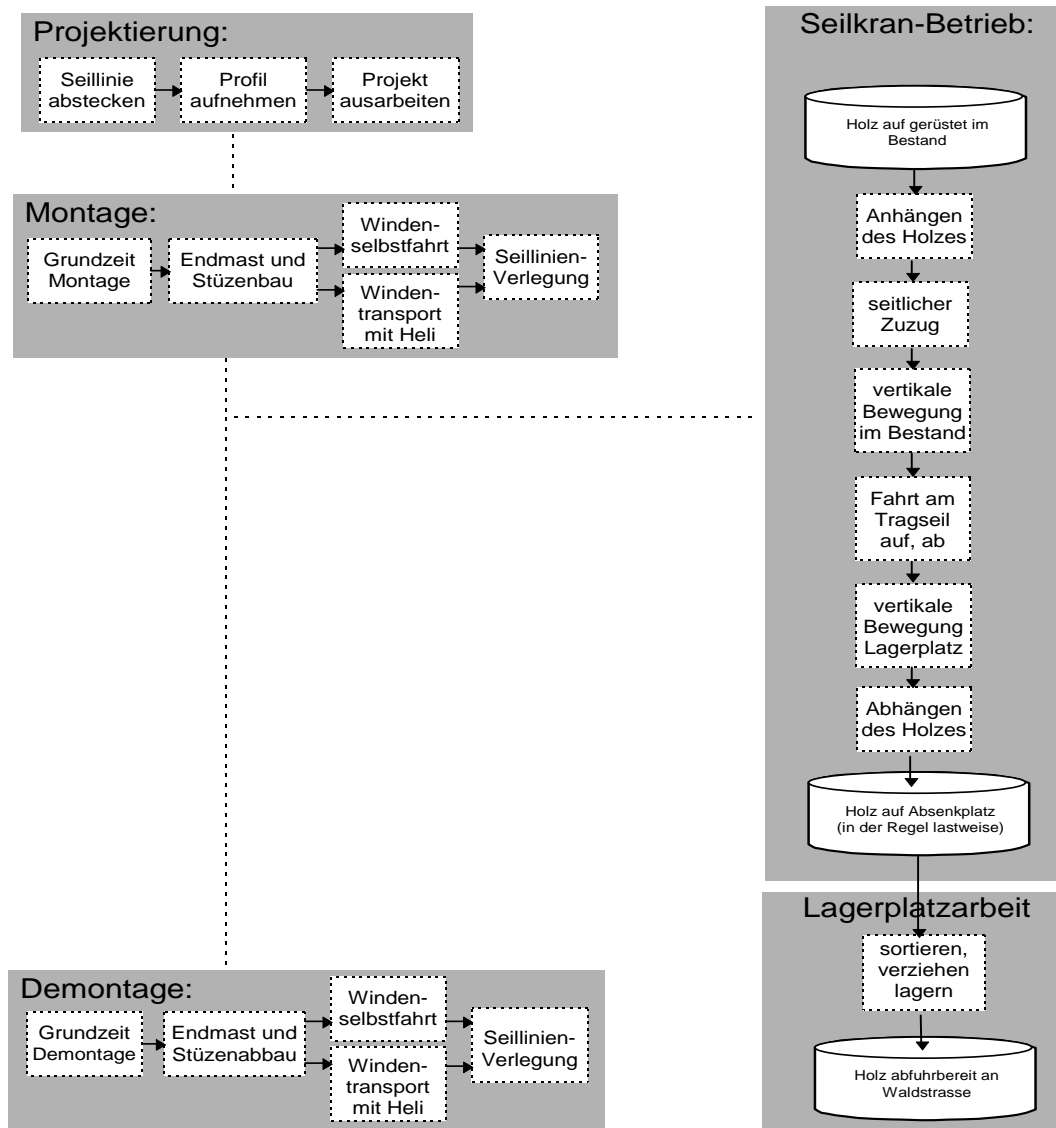


Abbildung 1: Übersicht „Holzbringung mit konventionellem Seilkran“

## **2.3 Input- und Outputzustand**

### **2.3.1 Inputzustand**

Holzsortimente:

Trämel oder Doppelträmel: Längen 4-6/8-12 m, fertig aufgerüstet oder zumindest teilentastet, alle Durchmesser. Für Vollbäume und Vollbaumteile könnte das Modell grundsätzlich auch verwendet werden, es wurde dafür aber nie überprüft.

Anmerkung: Im Modell werden zwar Holzlängen über 13 m berücksichtigt (Reduktion des Lastvolumens), das Modell wurde aber nicht für Langholz erstellt und lässt sich hierfür nur bedingt anwenden. Je nach Bestandesdichte ist mit längeren Zeiten für den seitlichen Zugang zu rechnen. Das gleiche gilt für Vollbäume.

Lage des Holzes:

Holzabschnitte liegen im Bestand im Bereich der Seillinie (max. 50-60 m rechtwinkliger Abstand zur Seillinie). Das Modell gilt auch für Seilen ab Haufen, z.B. bei gebrochenem Transport mittels zweier Seillinien.

Informationen: keine.

### **2.3.2 Outputzustand**

Holzsortimente:

gleich wie Inputzustand.

Lage des Holzes:

Holzabschnitte liegen auf dem Absenkplatz unter der Seillinie.

Von hier muss in den allermeisten Fällen das Holz mit einer Maschine/Fahrzeug auf einen Lagerplatz gebracht werden. Nur in seltenen Fällen ist der Absenkplatz gleich dem Lagerplatz.

Informationen: keine.

### **2.3.3 Veränderungen**

Rundholzabschnitte, welche in der Regel im Einzugsbereich der Seillinie verstreut im Bestand liegen, werden lastweise (d.h. einige Holzstücke werden zu einem „Paket“ zusammengezogen) an einem Tragseil freihängend oder „kopfhoch“ an eine Waldstrasse gebracht und dort lastweise abgelegt.

## **2.4 Erforderliche Arbeitsbedingungen**

### **2.4.1 Technik und Personal**

- Seilkrananlagen mit Schlittenwinden, in der Grösse wie sie in Mitteleuropa im Forst eingesetzt werden (bis ca. 55 kW Motorleistung). Seillinienlängen bis 2000 m.
- Das Personal ist mit Aufbau und Betrieb der Seilanlage vertraut.

### **2.4.2 Gelände und Erschliessung**

- Gelände: keine Einschränkung.  
Falls das Tragseil nicht eine Mindestneigung von ca. 15% aufweist, muss ein Umlaufsystem (z.B. Wyssen Unimat) eingerichtet werden, was den Installationsaufwand erhöht.

- Erschliessung: Die Seillinie muss an einem beliebigen Punkt eine lastwagenfahrbare Strasse oder zumindest einen Weg, der den Weitertransport des Holzes mit einem Fahrzeug erlaubt, erreichen. Das Holz kann am Tragseil freihängend bergauf oder bergab gerückt werden, „kopfhoch“ nur bergauf (Gravitationssystem).

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

- Keine Einschränkungen. Das Modell gilt für Durchforstungen, Lichtungen und Räumungen, alle Altersklassen und Durchmesserstufen.

#### **2.4.4 Weitere**

- Maximale Linienlänge:
- Das Modell wurde für Linienlängen bis 1500 m aufgestellt. Für längere Seillinien, was eher selten vorkommt, kann die von der Linienlänge abhängige Grundzeit für Montage/Demontage linear extrapoliert werden (mindestens bis 2000m). Allerdings wurde dieser Bereich aufgrund des seltenen Vorkommens nicht in der Praxis überprüft. Linienlängen über 2000 m kommen aufgrund technischer Grenzen nur in Einzelfällen vor (Seilfassungsvermögen der Zugseiltrommel).
- Weitere Einschränkungen siehe Abkürzungen

### **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 m<sup>3</sup>

### 3 Produktionssystem -mathematische 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").

#### 3.1 Übersicht

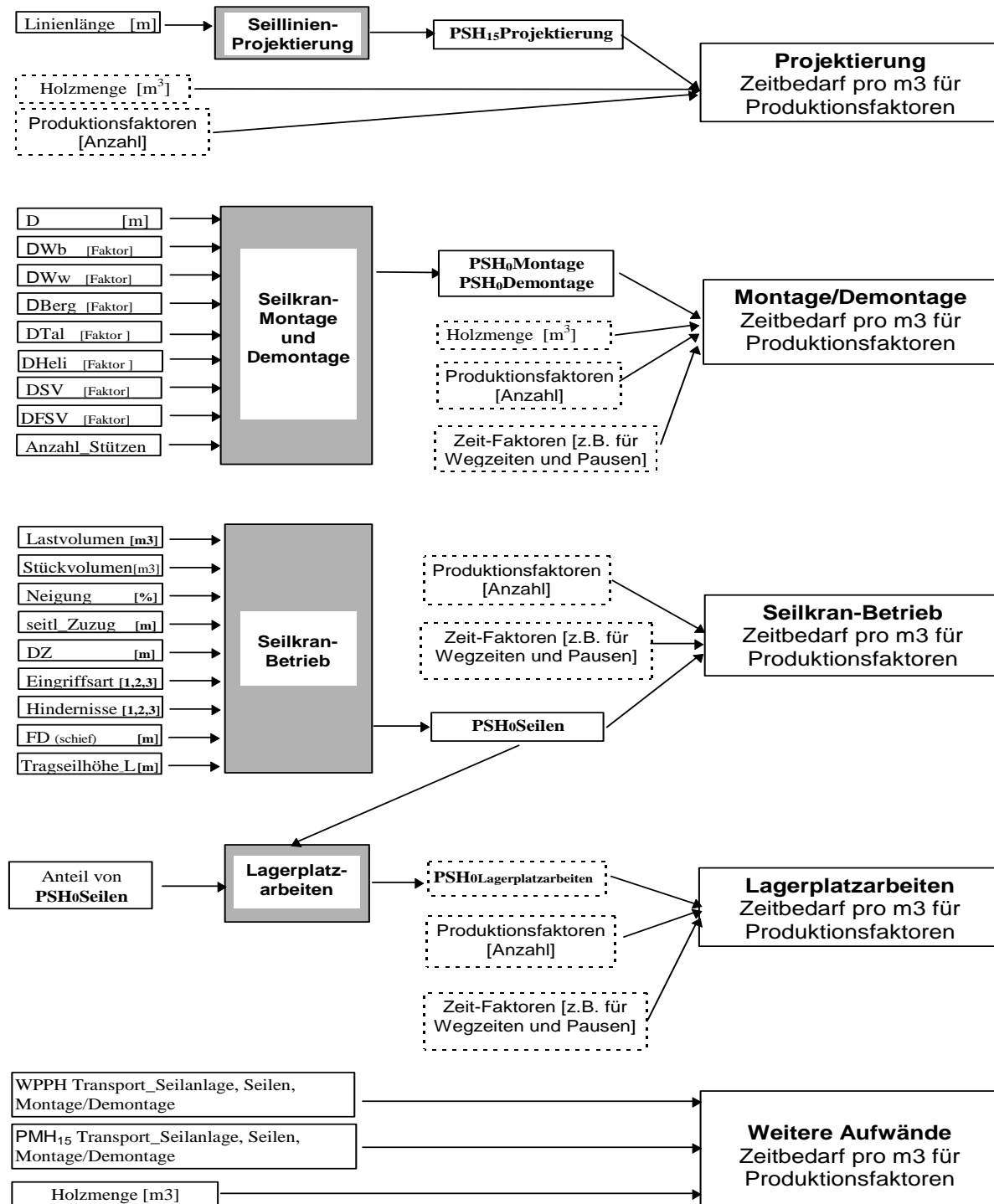


Abbildung 2: Übersicht über die Berechnungen.



## 3.2 Projektierung

### 3.2.1 Systemzusammensetzung

Personal: Abstecken und Profilaufnahmen  
Projekt ausarbeiten

2 Arbeitskräfte  
1 Arbeitskraft

(Um den Berechnungsgang zu vereinfachen werden für die Projektausarbeitung zwei Arbeitskräfte und entsprechend nur die halbe Zeit eingesetzt.)

### 3.2.2 Die Berechnungen

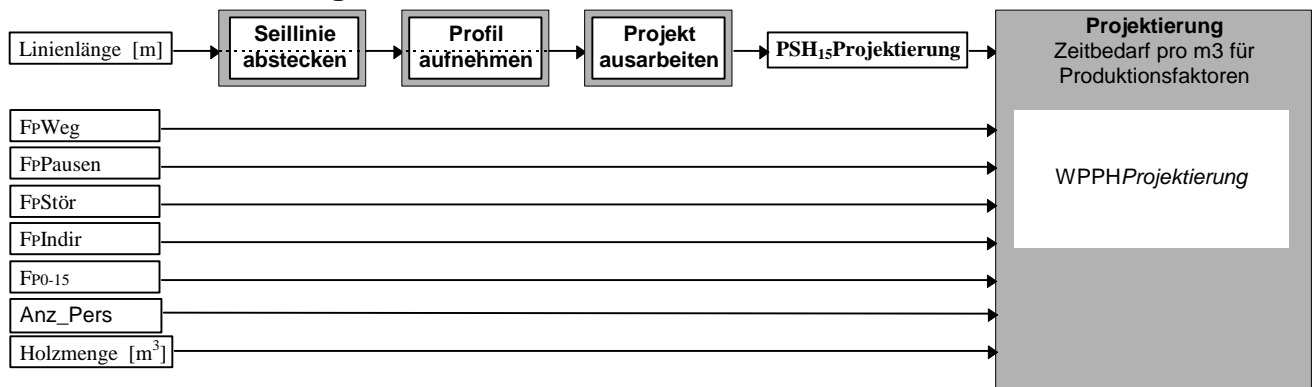


Abbildung 3: Teilarbeiten und Eingangsvariablen bei der Projektierung

$$PSH_{15} \text{ Abstecken} = \frac{1}{60} * \frac{1}{Anz\_Pers} (50 + 0.6 * L)$$

$$PSH_{15} \text{ Profilaufnehmen} = \frac{1}{60} * \frac{1}{Anz\_Pers} (0.4 * L)$$

$$PSH_{15} \text{ Projektausarbeiten} = \frac{1}{60} * \frac{1}{Anz\_Pers} (60 + 0.20 * L)$$

$$PSH_{15} \text{ Projektierung} = PSH_{15} \text{ Abstecken} + PSH_{15} \text{ Profilaufnehmen} + PSH_{15} \text{ Projektausarbeiten} [\text{Std}]$$

### 3.2.3 Zeitbedarf der Produktionsfaktoren pro m3

WPPHProjektierung

$$= \frac{(Anz\_Pers * PSH_{15} \text{ Projektierung} * F_{Pindir} * F_{PWeg} * F_{PPausen} * F_{PStör})}{Holzmenge} \left[ \frac{\text{Std}}{m^3} \right]$$

$$Anz\_Pers = 2$$

$$F_{P0-15} = 1.0$$

$$F_{Pindir} = 1.0$$

$$F_{PWeg} = \text{individuell z.B. 90 Min auf 540 Min} = 1.2$$

$$F_{PPausen} = \text{individuell}$$

$$F_{PStör} = 1.0$$

### 3.3 Montage und Demontage

In der Grundzeit sind diejenigen Teilarbeiten zusammengefasst, die als Konstante auftreten oder abhängig von der Linienlänge sind. Die anderen Teilarbeiten werden als Zuschläge zur Grundzeit ausgewiesen. Falls am gleichen Einsatzort zwei oder mehr Seillinien unmittelbar nebeneinander erstellt werden, ergibt sich gegenüber einer Einzelinstallation ein Abzug wegen Minderaufwänden.

#### 3.3.1 Systemzusammensetzung

**Personal:** Den Berechnungen in diesem Modell wird der Einsatz von 3 - 4 Arbeitskräften zugrunde gelegt.

Grössere Equipen könnten sich aufteilen und an verschiedenen Stellen arbeiten. Allerdings braucht es dabei eine sehr gute Arbeitsorganisation, um Wartezeiten zu vermeiden.

Im vereinfachten Modell ist die Anzahl Arbeitskräfte variabel.

**Maschinen:** 1 Seilkrananlage komplett, bestehend aus Schlittenwinde, Tragseil, Zugseil, Laufwagen und Zubehör wie Tragseilsättel, Umlenkrollen etc.

#### 3.3.2 Berechnungen

Übersicht:

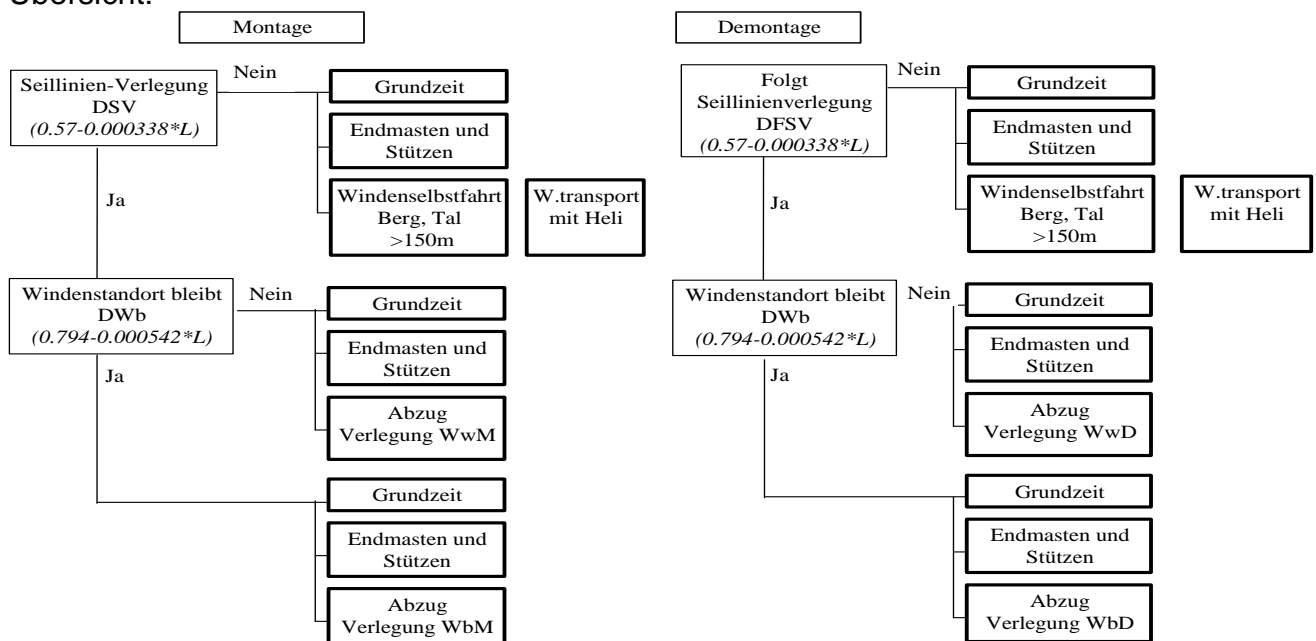


Abbildung 4: Berechnungsschema für Zuschläge und Abzüge bei der Montage und Demontage. Die Dummyvariablen erhalten entweder den Wert 0 oder 1 oder werden in Abhängigkeit von der Linienlänge berechnet.

## Erläuterungen

Grundzeit	alle Arbeiten mit dazugehörigen Materialtransporten, Wegzeiten vom Absenckplatz zu den verschiedenen Arbeitsorten sowie Unterbrüche durch kleinere Störungen.
Endmasten- und Stützenbau	In den Stützenbauzeiten sind auch die dazugehörenden Materialtransporte, Märsche und Fahrten enthalten.
Windenselbstfahrten	Die angegebenen Zeiten umfassen auch die Umrüstarbeiten vor und nach der Fahrt (Windflügel an- und abbauen, Wechsel von Zug- und Fahrseil).
Windentransport mit Heli	Der Aufwand der Seilkranequipe umfasst folgende Arbeiten: <ul style="list-style-type: none"><li>• Vorbereiten der Winde für den Flug</li><li>• Anhängen der Winde und des übrigen Materials</li><li>• Winde nach dem Flug zusammenbauen</li><li>• dazugehörende Weg- und Wartezeiten</li></ul>
Abzug bei Verlegung	Die Seilkrananlage wird abgebaut, innerhalb des Holzschlages auf die nächste Linie verlegt und dort wieder aufgestellt. Das Tragseil wird ausgezogen, jedoch nicht gewickelt oder an Schlaufen gelegt, da es anschliessend in die neue Linie eingezogen wird. Windenstandort wechselt: <ul style="list-style-type: none"><li>• Die Seilwinde muss nur über kurze Distanz verschoben werden.</li></ul> Windenstandort bleibt: <ul style="list-style-type: none"><li>• Die Seilwinde bleibt am gleichen Standort. Das Zugseil wird über Umlenkrollen in die neue Linie geführt.</li></ul>

## Bemerkungen

- Die Fahrtrichtung bei Windenselbstfahrten wechselt von Montage zu Demontage
- Die Berechnungen können jeweils nur für eine Seillinie durchgeführt werden
- Der Aufwand der Helikopterfirma muss zu den Kosten dazu geschlagen werden

Es ist zu unterscheiden:

Montage:

Erstinstallation (DSV)?

Ja, dann kein Abzug für Verlegung der Seillinie

Nein, dann Abzug für Verlegung, falls Windenstandort bleibt.

Demontage:

Folgt eine Verlegung (DFSV)?

Ja, dann Abzug für Verlegung abhängig davon ob Windenstandort bleibt oder wechselt.

Nein, dann kein Abzug.

## I. Detaillierte Berechnungen

M = Montage und D = Demontage

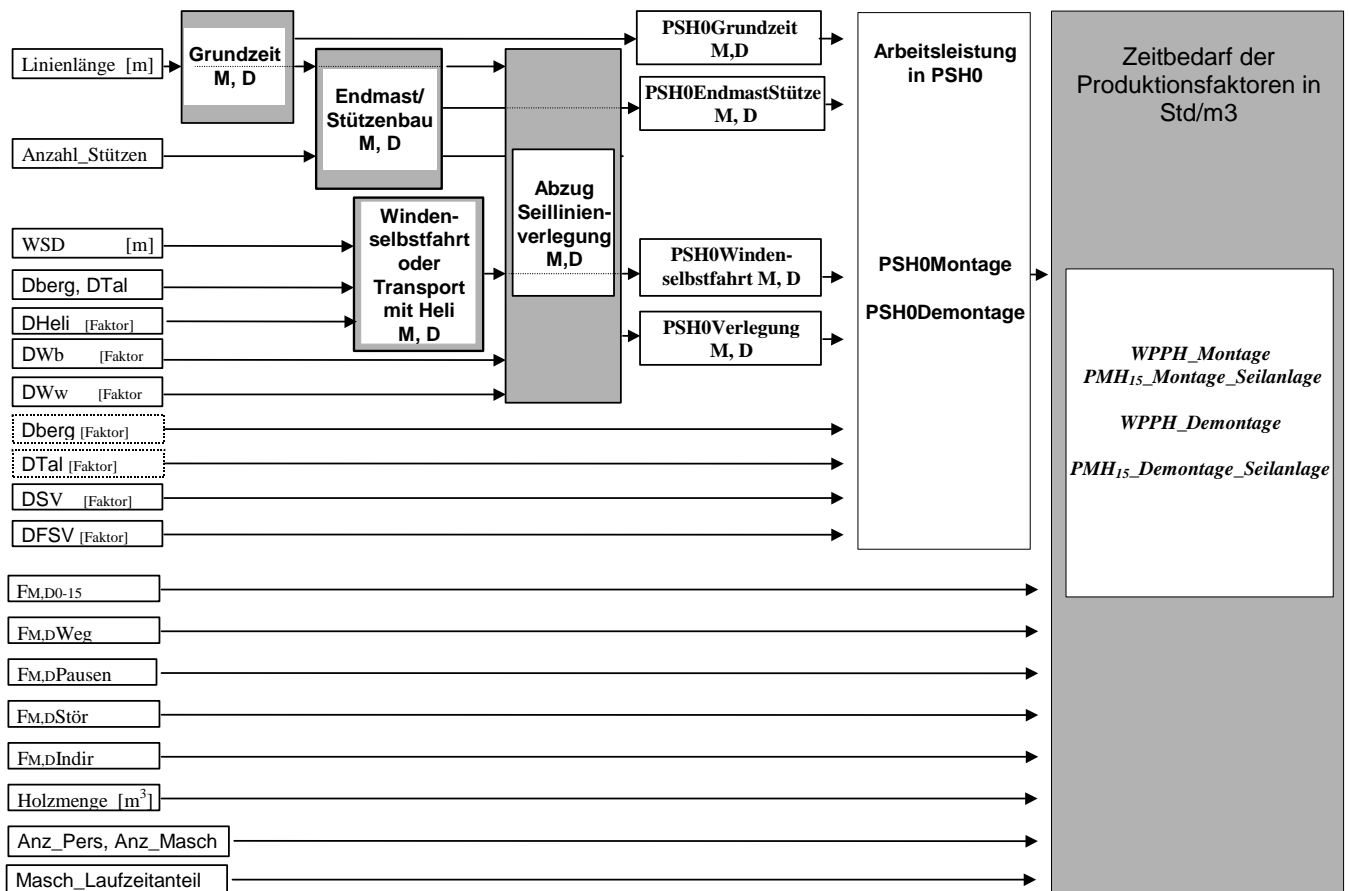


Abbildung 5: Teilarbeiten und Eingangsvariablen bei der Montage/Demontage im detaillierten Modell.

## Formeln für Zeiten Montage:

$$P_{SH0} GrundzeitM = \frac{1}{60} * \frac{1}{Anz\_Pers} * (1158 + 1.0 * L)^{(*1)} \quad (\text{Herleitung Abegg et al. 1986 S.21/22})$$

$$P_{SH0} GrundzeitM = \frac{1}{60} * \frac{1}{Anz\_Pers} * (1181 + 0.91 * L)^{(*2)}$$

$$P_{SH0} EndmStützenM = \frac{1}{60} * \frac{1}{Anz\_Pers} * (300 * Anzahl\_Stützen) \quad (\text{vorgezogene Ein\_Baum\_Stütze})$$

$$Anzahl\_Stützen = 1.34 + 0.00148 * L, \quad \text{Falls AnzahlStützen unbekannt}$$

$$P_{SH0} Windenselbstfahrt\_BergM = \frac{1}{60} * \frac{1}{Anz\_Pers} * (177 + 0.76 * WSD)^{(*3)}$$

$$P_{SH0} Windenselbstfahrt\_TalM = \frac{1}{60} * \frac{1}{Anz\_Pers} * (179 + 1.21 * WSD)$$

$$WSD = 0.75 * L \quad (\text{Annahme, falls WSD nicht Eingangsgrösse})$$

$$P_{SH0} Windentransport\_Heli = \frac{1}{60} * \frac{1}{Anz\_Pers} * 328 \quad (\text{nur Aufwand der Seilkranequipe})$$

$$P_{SH0} VerlegungWbM = \frac{1}{60} * \frac{1}{Anz\_Pers} * 470$$

$$P_{SH0} VerlegungWwM = 0$$

$$P_{SH0} Montage = (1 - DSV) * \left[ \begin{array}{l} P_{SH0} GrundzeitM + \\ P_{SH0} EndmStützenM + \\ DBerg * P_{SH0} Windenselbstfahrt\_BergM + \\ DTal * P_{SH0} Windenselbstfahrt\_TalM + \\ DHeli * P_{SH0} Windentransport\_Heli \end{array} \right]$$

$$+ DSV * DWb * \left[ \begin{array}{l} P_{SH0} GrundzeitM + \\ P_{SH0} EndmStützenM - \\ P_{SH0} VerlegungWbM \end{array} \right]$$

$$+ DSV * DWw * \left[ \begin{array}{l} P_{SH0} GrundzeitM + \\ P_{SH0} EndmStützenM - \\ P_{SH0} VerlegungWwM \end{array} \right] [Std]$$

$$DBerg, DTal, DHeli, DWw, DWb, DSV = 0,1$$

DSV ist eine Dummy variable für "ist es eine Seilinienvorlegung"

Falls die Dummyvariablen D.. nicht bekannt sind, können sie in Abhängigkeit der Linienlänge berechnet.

Diese Variante ist jedoch nicht implementiert

$$DSV = 0.57 - 0.00338 * L$$

$$DWw = 0.206 + 0.000542 * L \quad (\text{Windenstandort wechselt})$$

$$DWb = 1 - DWw \quad (\text{Windenstandort wechselt})$$

### Anmerkungen

<sup>(\*1)</sup> Diese Formel berücksichtigt einen Anteil „Toter-Mann-Anker“.

<sup>(\*2)</sup> Diese Formel berücksichtigt keinen Anteil „Toter-Mann-Anker“.

In der Implementation verwendet wurde <sup>(\*2)</sup>, da ein Toter-Mann-Anker nicht anteilmässig auftreten kann. Wenn einer gebraucht wird, muss dieser über "Weitere Aufwendungen" abgedeckt werden.

<sup>(\*3)</sup> Da eine Selbstfahrdistanz bis 150m in der Grundzeit enthalten ist, geht WSD hier nur mit dem Anteil >150m ein. D. h. bei insgesamt 500m Selbstfahrdistanz sind hier lediglich 350m einzusetzen. Analoges gilt bei der Demontage.

## Formeln für Zeiten Demontage

$$PSH_0 GrundzeitD = \frac{1}{60} * \frac{1}{Anz\_Pers} * (493 + 0.49 * L)$$

$$PSH_0 EndmStützenD = \frac{1}{60} * \frac{1}{Anz\_Pers} * (100 * Anzahl\_Stützen) \quad (\text{vorgez. Ein - Baum - Stütze})$$

$$Anzahl\_Stützen = 1.34 + 0.00148 * L \quad (\text{Falls Anzahl Stützen unbekannt})$$

$$PSH_0 Windenselbstfahrt\_BergD = \frac{1}{60} * \frac{1}{Anz\_Pers} * (177 + 0.76 * WSD)^{(*1)}$$

$$PSH_0 Windenselbstfahrt\_TalD = \frac{1}{60} * \frac{1}{Anz\_Pers} * (179 + 1.21 * WSD)$$

$$WSD = 0.75 * L \quad (\text{Annahme, falls WSD nicht Eingangsgrösse})$$

$$PSH_0 Windentransport\_Heli = \frac{1}{60} * \frac{1}{Anz\_Pers} * 328$$

$$PSH_0 VerlegungWbD = \frac{1}{60} * \frac{1}{Anz\_Pers} * (191 + 0.19 * L)$$

$$PSH_0 VerlegungWwD = \frac{1}{60} * \frac{1}{Anz\_Pers} * (61 + 0.19 * L)$$

$$PSH_0 Demontage = (1 - DFSV) * \left[ \begin{array}{l} PSH_0 GrundzeitD + \\ PSH_0 EndmStützenD + \\ DBerg * PSH_0 Windenselbstfahrt\_BergD + \\ DTal * PSH_0 Windenselbstfahrt\_TalD + \\ DHeli * PSH_0 Windentransport\_Heli \end{array} \right]$$

$$+ DFSV * DWb * \left[ \begin{array}{l} PSH_0 GrundzeitD + \\ PSH_0 EndmStützenD - \\ PSH_0 VerlegungWbD \end{array} \right]$$

$$+ DFSV * DWw * \left[ \begin{array}{l} PSH_0 GrundzeitD + \\ PSH_0 EndmStützenD - \\ PSH_0 VerlegungWwD \end{array} \right] \quad [Std]$$

$$DBerg, DTal, DHeli, DWw, DWb, DSV = 0,1$$

DSFV ist eine Dummy variable für "folgt eine Seilinienv erlegung?"

Falls die Dummyvariablen D.. nicht bekannt sind, werden sie in Abhängigkeit der Linienlänge berechnet.

Diese Variante ist jedoch nicht implementiert

$$DFSV = 0.57 - 0.00338 * L$$

$$DWw = 0.206 + 0.000542 * L \quad (\text{Windenstandort wechselt})$$

$$DWb = 1 - DWw \quad (\text{Windenstandort bleibt})$$

### Anmerkungen

(\*1) S. Anmerkung bzgl. WSD bei der Montage.

## II. Berechnung eines vereinfachten Modells für Montage/Demontage

Mit den Originaldaten von Frutig und dem Statistikprogramm S-Plus wurden mehrfache lineare Regressionen gerechnet und dabei das beste und plausibelste Modell gesucht (vgl. Anhang 1).

$$WPH_{Installation} = 37.84 + 0.0309 * \text{Linienlaenge} - 22.32 * \ln(\text{Arbeiter}) \left[ \frac{\text{Std}}{\text{m}^3} \right]$$

$$R^2 = 0.717, s = 6.276$$

$$WPH_{Installation} = 5.710 + 0.0293 * \text{Linienlaenge}$$

$$R^2 = 0.460, s = 8.522$$

$$PSH_{0Installation} = \frac{WPH_{Installation}}{\text{Anz\_Pers} * F_{MD_{0-15}} * F_{MD_{indir}}} \left[ \frac{\text{Std}}{\text{m}^3} \right]$$

### 3.3.3 Zeitbedarf der Produktionsfaktoren pro m3

$$WPPH_{Montage} = \frac{(\text{Anz\_Pers} * PSH_{0Montage} * F_{M_{0-15}} * F_{M_{indir}} * F_{M_{Weg}} * F_{M_{Pausen}} * F_{M_{Stör}})}{\text{Holzmenge}} \left[ \frac{\text{Std}}{\text{m}^3} \right]$$

$$WPPH_{Demontage} = \frac{(\text{Anz\_Pers} * PSH_{0Demontage} * F_{D_{0-15}} * F_{D_{indir}} * F_{D_{Weg}} * F_{D_{Pausen}} * F_{D_{Stör}})}{\text{Holzmenge}} \left[ \frac{\text{Std}}{\text{m}^3} \right]$$

$$WPPH_{Installation} = \frac{\text{Anz\_Pers} * (PSH_{0Demontage} + PSH_{0Montage}) * (F_{MD_{0-15}} * F_{MD_{indir}} * F_{MD_{Weg}} * F_{MD_{Pausen}} * F_{MD_{Stör}})}{\text{Holzmenge}} \left[ \frac{\text{Std}}{\text{m}^3} \right]$$

$$PMH_{15Montage\_Seilanlage} = \frac{(PSH_{0Montage} * F_{M_{0-15}} * \text{Masch\_Laufzeitanteil})}{\text{Holzmenge}} \left[ \frac{\text{Std}}{\text{m}^3} \right]$$

$$PMH_{15Demontage\_Seilanlage} = \frac{(PSH_{0Demontage} * F_{D_{0-15}} * \text{Masch\_Laufzeitanteil})}{\text{Holzmenge}} \left[ \frac{\text{Std}}{\text{m}^3} \right]$$

$$PMH_{15Installation\_Seilanlage} = \frac{(PSH_{0Demontage} + PSH_{0Montage}) * (F_{MD_{0-15}} * \text{Masch\_Laufzeitanteil})}{\text{Holzmenge}} \left[ \frac{\text{Std}}{\text{m}^3} \right]$$

Faktoren:

Anz\_Pers = 4 im detaillierten Modell; variabel im vereinfachten Modell

$F_{M_{0-15}} * F_{M_{indir}} = F_{M_{Verteilzeit}}$  = individuell = 1.53 aus Abegg et al. 1986 S. 20

$F_{D_{0-15}} * F_{D_{indir}} = F_{D_{Verteilzeit}}$  = individuell = 1.53 aus Abegg et al. 1986 S. 20

$F_{M_{Weg}}$  = individuell z.B. 60 Min. auf 540 Min =  $\frac{540}{480} = 1.15$

$F_{M_{Pausen}}$  = individuell

$F_{M_{Stör}}$  = individuell = (1.0 - 2.7; Durchschnitt 1.10 hergeleitet aus Abegg et al. 1986 S. 20)

$F_{D_{Weg}}$  = individuell = 1.15

$F_{D_{Pausen}}$  = individuell

$F_{D_{Stör}}$  = individuell = (1.0 bis 1.35; Durchschnitt 1.02 hergeleitet aus Abegg et al. 1986 S. 20)

Masch\_Laufzeitanteil = individuell = 0.2

Ebenso  $F_{MD_{0-15}}$  .....alsgemeinsame Faktoren für Montage und Demontage

### 3.4 Seilen des Holzes

Betrachtet wird hier die Zeit pro Lastzyklus [Zeit/Last]

#### 3.4.1 Systemzusammensetzung

**Personal** System mit 2 Personen: 1 Person beim Anhängen, 1 Person an der Winde, (1 Person am Lagerplatz zum Abhängen und Verziehen, mit einem Fahrzeug, ist im Teilsystem „Lagerplatzarbeiten“)  
System mit 3 Personen: 2 Personen beim Anhängen, 1 Person an der Winde, (1 Person am Lagerplatz zum Abhängen und Verziehen, mit einem Fahrzeug, ist im Teilsystem „Lagerplatzarbeiten“)

**Maschinen** 1 Seilkrananlage komplett, bestehend aus Schlittenwinde, Tragseil, Zugseil, Laufwagen und Zubehör wie Tragseilsättel, Umlenkrollen etc.

#### 3.4.2 Berechnungen

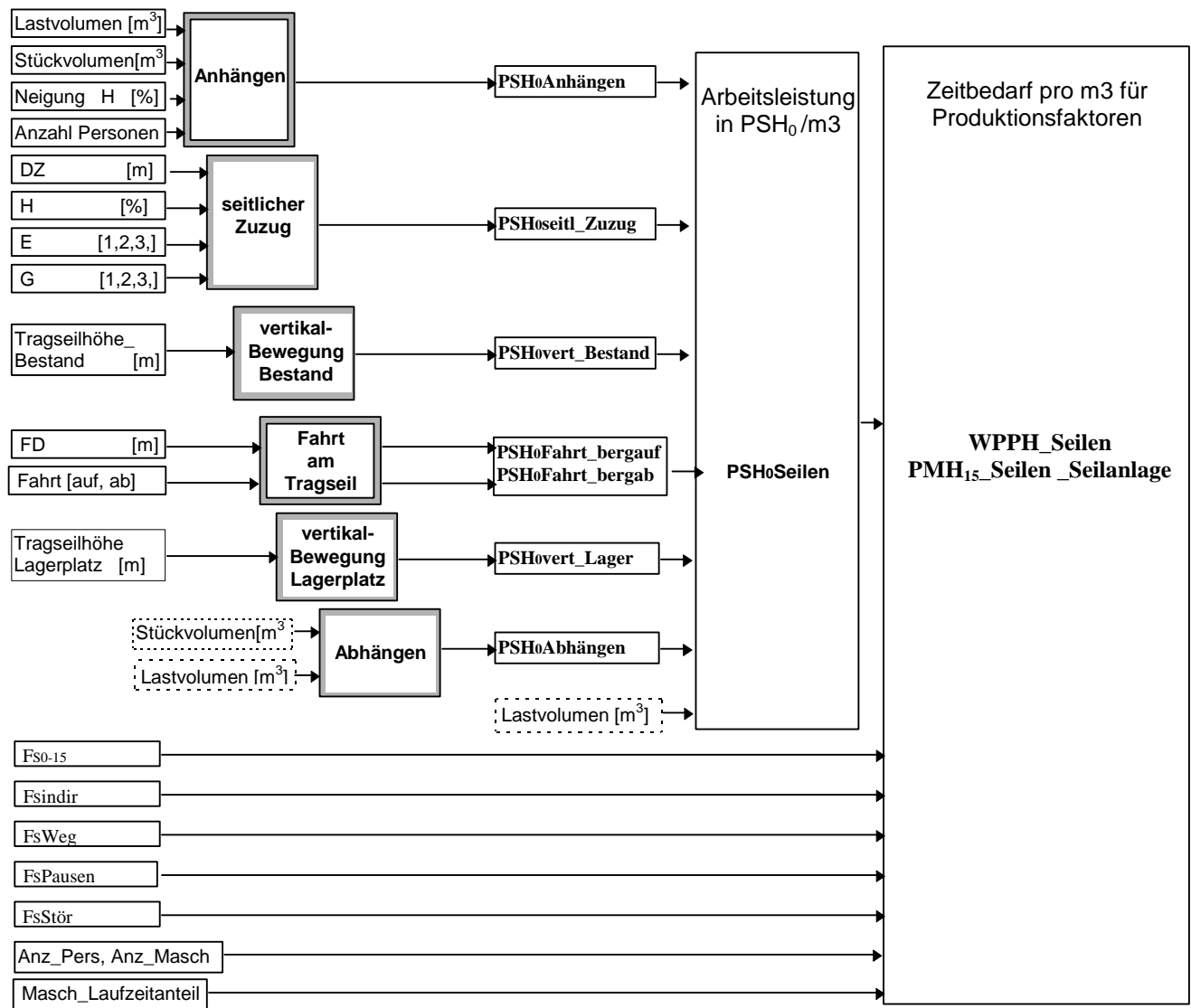


Abbildung 6: Teilarbeiten und Eingangsvariablen beim Seilen



**Anhängen mit 2 Personen:**

$$PSH_{0\text{Anhängen}_2} = \frac{1}{60} * \left( \frac{0.45 * H}{\text{Stückvolumen}} + 0.32 \right) * \text{Lastvolumen}$$

**Anhängen mit 1 Person:**

$$PSH_{0\text{Anhängen}_1} = \frac{1}{60} * \left( \frac{0.01 * \text{seitl\_Zuzug} + 0.45 * H}{\text{Stückvolumen}} + 0.32 \right) * \text{Lastvolumen}$$

**Seitlicher Zuzug:**

$$PSH_{0\text{seitl\_Zuzug}} = \frac{1}{60} * (0.081 * DZ + 0.061 * H - 0.034 * E + 0.041 * G)$$

wobei

$DZ$  = Distanz seitlicher Zuzug rechtwinklig zum Tragseil (horizontal gemessen in [m])

$H$  = Hangneigung in Dezimalbrüchen

$E$  = Eingriffsart, wobei = 1 falls Durchforstung  
                                       = 2 falls Lichtung  
                                       = 3 falls Räumung

$G$  = Hindernisse, wobei = 1 falls normal (ohne wesentliche Hindernisse)  
                                       = 2 falls erschwert (coupiert, blocküberlagert)  
                                       = 3 falls extrem (grobblockig, Bergsturz)

**Vertikalbewegung im Bestand: (leer absenken, Last aufziehen)**

$$PSH_{0\text{vert\_Bestand}} = \frac{1}{60} * (0.258 + 0.025 * \text{Tragseilhöhe\_Bestand})$$

**Fahrt am Tragseil:**

$$PSH_{0\text{Fahrt\_bergauf}} = \frac{1}{60} * (0.861 + 0.01151 * FD)$$

$$PSH_{0\text{Fahrt\_bergab}} = \frac{1}{60} * (1.064 + 0.00792 * FD)$$

$FD$  = mittlere Fahrdistanz des Laufwagens [m] (schief gemessen)

**Vertikalbewegung am Lagerplatz:**

$$PSH_{0\text{vert\_Lager}} = \frac{1}{60} * (0.370 + 0.036 * \text{Tragseilhöhe\_Lager})$$

### Abhängen:

$$PSH_{0\text{Abhängen}} = \frac{1}{60} * \left( \frac{0.144}{\text{Stückvolumen}} + 0.30 \right) * \text{Lastvolumen}$$

*Lastvolumen für Seilen aus Schlagfläche:*

$$\text{Lastvolumen} = 0.825 - 0.017 * \text{Stücklänge} + 0.395 * \ln(\text{Stückvolumen}) + 0.150 * \ln(FD)$$

*Implementiert für feste Stücklänge von 5 m*

*Lastvolumen für Seilen ab Haufen: Variante, die nicht implementiert ist.*

$$\text{Lastvolumen} = 1.843 + 0.216 * \ln(\text{Stückvolumen})$$

### 3.4.3 Zusammenfassung der Teilzeiten pro Lastzyklus

$$PSH_{0\text{Seilen\_Last}} = PSH_{0\text{Anhängen}} + PSH_{0\text{seitl\_Zuzug}} + PSH_{0\text{vert\_Bestand}}$$

$$+ PSH_{0\text{Fahrt\_bergauf}} * \text{auf} + PSH_{0\text{Fahrt\_bergab}} * \text{ab}$$

$$+ PSH_{0\text{vert\_Lager}} + PSH_{0\text{Abhängen}} \quad [\text{Zeit} / \text{Last}]$$

mit den Variablen: auf, ab = 0 oder 1; falls auf = 1 dann ab = 0 und umgekehrt

### 3.4.4 Umrechnung der Zeit/Last auf Zeit/m<sup>3</sup>

$$PSH_{0\text{Seilen}} = \frac{PSH_{0\text{Seilen\_Last}}}{\text{Lastvolumen}} \left[ \frac{\text{Std}}{\text{m}^3} \right]$$

Berechnung eines vereinfachten Modells für das Seilen

Mit den Originaldaten von Frutig und dem Statistikprogramm S-Plus wurden mehrfache lineare Regressionen gerechnet. Das plausibelste Modell lautet (vgl. Anhang 1).

$$WPH_{\text{Seilen}} = 0.2093 + 0.0001648 * \text{Linienlänge} - 0.0720613 * \text{Lastvolumen}^2 \quad \left[ \frac{\text{Std}}{\text{m}^3 \text{ i.R.}} \right]$$

$$R^2 = 0.3321, \quad s = 1.455$$

$$PSH_{0\text{Seilen}} = \frac{WPH_{\text{Seilen}}}{\text{Anz\_Pers} * F_{s_{0-15}} * F_{s_{\text{indir}}}} \left[ \frac{\text{Std}}{\text{m}^3 \text{ i.R.}} \right]$$

### 3.4.5 Zeitbedarf der Produktionsfaktoren pro m<sup>3</sup>

$$WPPH = Anz\_Pers * PSH_0Seilen * F_{s_{0-15}} * F_{s_{indir}} * F_{s_{Weg}} * F_{s_{Pausen}} * F_{s_{Stör}} \left[ \frac{Std}{m^3} \right]$$

$$PSH_{15}Seilen = PSH_0Seilen * F_{s_{0-15}}$$

$$PMH_{15}Seilen\_Seilanlage = PSH_{15}Seilen * Masch\_Laufzeitanteill$$

$$Anz\_Pers = 3 \text{ oder } 4 \text{ je nach Modell}$$

$$F_{s_{0-15}} = \text{individuell}$$

$$F_{s_{indir}} = \text{individuell}$$

$$F_{s_{Verteilzeit}} = F_{s_{0-15}} * F_{s_{indir}} = 1.339 \text{ gemäss Abegg et al.1986 S.59}$$

$$F_{s_{Weg}} = \text{individuell}$$

$$F_{s_{Pausen}} = \text{individuell}$$

$$F_{s_{Stör}} = \text{individuell} = 1.022 \text{ gemäss Abegg et al.1986 S. 52}$$

$$Masch\_Laufzeitanteill = \text{individuell} = 0.9$$

## 3.5 Zeiten am Lagerplatz

### 3.5.1 Systemzusammensetzung

**Personal** Für Verziehen, Sortieren und Lagern des Holzes können unterschiedliche Maschinen sowie 1-2 Arbeitskräfte eingesetzt werden.  
Für unsere Berechnungen nehmen wir 1 Person mit einem Fahrzeug am Lagerplatz zum Abhängen und Verziehen an.

**Maschinen** 1 Kranfahrzeug

### 3.5.2 Berechnungen

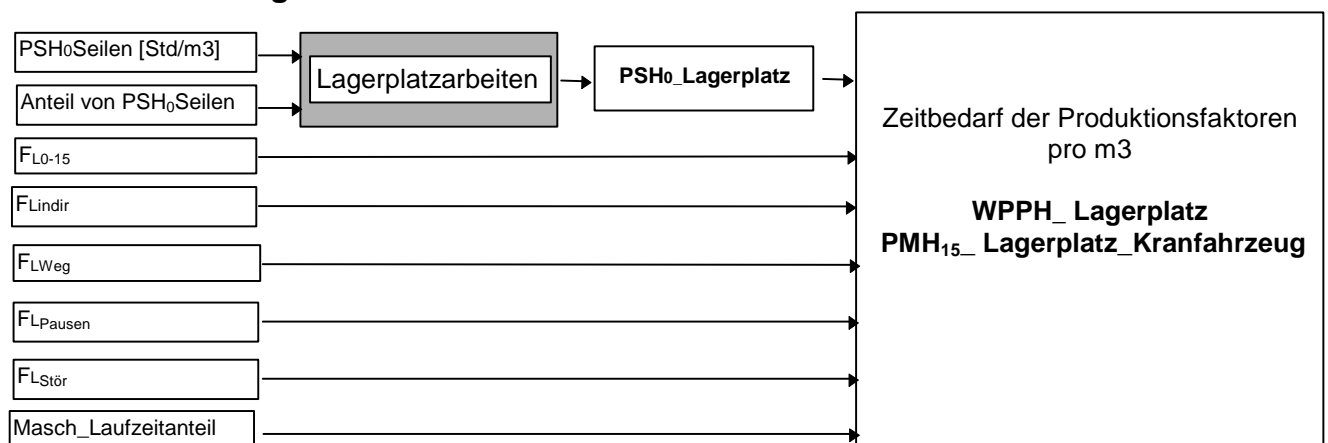


Abbildung 7: Teilarbeiten für Verziehen, Sortieren und Lagern im Modell 'konv. Seilkran'

$$PSH_{0Lagerplatz} = PSH_0Seilen * Anteil\_PSH_0Seilen$$

### 3.5.3 Zeitbedarf der Produktionsfaktoren pro m3

$$PSH_0 \text{ Lagerplatz} = PSH_0 \text{ Seilen}_0 * \text{Anteil\_}PSH_0 \text{ Seilen}$$

$$WPPH \text{ Lagerplatz} = \text{Anzahl\_Pers} * PSH_0 \text{ Lagerplatz} * F_{S0-15} * F_{Sindir} * F_{SWeg} * F_{SPausen} * F_{SStör} \cdot \left[ \frac{\text{Std}}{\text{m}^3} \right]$$

$$PMH_{15} \text{ Lagerplatz\_Kranfahrzeug} = PSH_0 \text{ Lagerplatz} * F_{S0-15} * \text{Masch\_Laufzeitanteil} \left[ \frac{\text{Std}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\text{Faktoren } F_L = F_S.$$

$$\text{Anz\_Pers} = 1$$

$$F_{S0-15} = 1.3$$

$$F_{Sindir} = 1.2$$

$$F_{SWeg} = 1.08$$

$$F_{SPausen} = 1.08$$

$$F_{SStör} = 1.05$$

$$\text{Masch\_Laufzeitanteil} = 1.0$$

$$\begin{aligned} \text{Anteil\_}PSH_0 \text{ Seilen} &= \text{Zeitanteil während des Seilens, bei der ein Kranfahrzeug} \\ &\quad \text{zum Verziehen und Lagern im Einsatz ist} = \text{z.B. } 0.7 \\ &\quad \text{Erfahrungen Biberbrugg } 0.4 - 0.75 \end{aligned}$$

Als Korrekturfaktoren werden dieselben wie beim Seilen verwendet.

### 3.6 Weitere Aufwände

- An- und Abtransport der Seilanlage: Personal, Fahrzeug (nach Aufwand) Einsatz von Fahrzeugen während Projektierung, Montage/Demontage und Seilen (nach Aufwand, wird in diesem Modell nicht abgebildet)

$$WPPH \text{ weitereAufwände} = \frac{WPPH \text{ Transport\_Seilanlage, Proj, Montage / Demontage, Seilen}}{\text{Holzmenge}} \left[ \frac{\text{Std}}{\text{m}^3 \text{ i.R.}} \right]$$

$$PMH_{15} \text{ weitereAufwände} = \frac{PMH_{15} \text{ Transport\_Seilanlage, Proj, Montage / Demontage, Seilen}}{\text{Holzmenge}} \left[ \frac{\text{Std}}{\text{m}^3 \text{ i.R.}} \right]$$

### 3.7 Zusammenfassung der Zeiten

$$\begin{aligned} WPPH_{\text{konSeil}} &= WPPH_{\text{Projektierung}} + WPPH_{\text{tMontage}} + WPPH_{\text{tDemontage}} \\ &\quad + WPPH_{\text{Lagerplatz}} + WPPH_{\text{Seilen}} + WPPH_{\text{weitere\_Aufwände}} \\ &\text{oder} \\ &= WPPH_{\text{Projektierung}} + WPPH_{\text{Installation}} + WPPH_{\text{Lagerplatz}} \\ &\quad + WPPH_{\text{Seilen}} + WPPH_{\text{weitere\_Aufwände}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PMH_{15} \text{ konSeil\_Seilanlage} &= PMH_{15} \text{ Montage\_Seilanlage} + PMH_{15} \text{ Demontage\_Seilanlage} \\ &\quad + PMH_{15} \text{ Seilen\_Seilanlage} \\ &\text{oder} \\ &= PMH_{15} \text{ Installation\_Seilanlage} + PMH_{15} \text{ Seilen\_Seilanlage} \end{aligned}$$

$$PMH_{15} \text{ konSeil\_Kranfahrzeug} = PMH_{15} \text{ Lagerplatz\_Kranfahrzeug}$$

### 3.8 Abkürzungen und Definitionsbereich

Abkürzung	Definition	Default	Def. Bereich	Einheit
<b>An-eil_PSH0Seilen</b>	<b>Anteil der PSH<sub>0</sub>Seilen-Zeit, die eine Person für Verziehen, Sortieren und Lagern des Holzes eingesetzt wird.</b>			[-]
<b>Anz_Pers.</b>	Anzahl der bei der Arbeitsausführung beteiligten Personen		>0	[-]
<b>An-zahl_Stützen</b>	Anzahl der aufzustellenden Stützen (falls Anzahl nicht bekannt berechnet)		≥0	[-]
<b>D....</b> <b>Berg</b> <b>FSV</b> <b>Heli</b> <b>SV</b> <b>Tal</b> <b>Wb</b> <b>Ww</b>	Dummy für: Bergfahrt der Seilwinde folgt eine Seillinien-Verlegung nach der Demontage? Transport der Seilwinde mit Helikopter Seillinien-Verlegung bei der Montage Talfahrt der Seilwinde Windenstandort bleibt bei Verlegung der Seillinie Windenstandort wechselt mit Verlegung der Seillinie		0,1	[-]
<b>DZ</b>	mittlere Distanz des seitlichen Zuzuges rechtwinklig zum Tragseil		10-	[m]
<b>E</b>	Eingriffsart (Durchforstung, Lichtung, Räumung)		1-3	
<b>FD</b>	Mittlere Fahrdistanz des Laufwagens (schief gemessen)		>0	[m]
<b>Fd....</b> <b>0-15</b> <b>indir</b> <b>Pausen</b> <b>Wegzeite</b> <b>Stör</b>	Multiplikationsfaktor Demontage: für unverb. Verlustzeiten <15 Min. für indir. Arbeitszeiten für Pausen >15 Min. für Wegzeiten >15 Min. für Störzeiten >15 Min.		≥1.0	[-]
<b>Fm....</b> <b>0-15</b> <b>indir</b> <b>Pausen</b> <b>Wegzeite</b> <b>Stör</b>	Multiplikationsfaktor Montage: für unverb. Verlustzeiten <15 Min. für indir. Arbeitszeiten für Pausen >15 Min. für Wegzeiten >15 Min. für Störzeiten >15 Min.		≥1.0	[-]
<b>Fp....</b> <b>0-15</b> <b>indir</b> <b>Pausen</b> <b>Wegzeite</b> <b>Stör</b>	Multiplikationsfaktor Projektierung: für unverb. Verlustzeiten <15 Min. für indir. Arbeitszeiten für Pausen >15 Min. für Wegzeiten >15 Min. für Störzeiten >15 Min.		≥1.0	[-]
<b>Fs....</b> <b>0-15</b> <b>indir</b> <b>Pausen</b> <b>Wegzeite</b> <b>Stör</b>	Multiplikationsfaktor Seilen und <b>Lagerplatzarbeiten</b> : für unverb. Verlustzeiten <15 Min. für indir. Arbeitszeiten für Pausen >15 Min. für Wegzeiten >15 Min. für Störzeiten >15 Min.		≥1.0	[-]
<b>G</b>	Hindernisse (normal, erschwert, extrem)		1-3	[-]
<b>H</b>	Neigung des Geländes		≥0	[%/100]
<b>Holzmenge</b>	Volumen der Gesamtmenge des geseilten Holzes		>0	[m <sup>3</sup> ]
<b>L</b>	Linienlänge		100-2000	[m]
<b>Lastvolumen</b>	durchschnittliches Volumen der Last		>0.-1.50	[m <sup>3</sup> ]

<b>Masch_Laufzeitanteil</b>	Zeitanteil, während dem die Maschine läuft	0.7	0-1.0	[-]
<b>PSH0....</b> <b>Abhängen</b> <b>Anhängen<sub>1</sub></b> <b>Anhängen<sub>2</sub></b> <b>Fahrt_bergauf</b> <b>Fahrt_bergab</b> <b>Lagerplatz</b> <b>Seilen</b> <b>Seilen_Last</b> <b>seiti_Zuzug</b> <b>vert_Bestand</b> <b>vert_Lager</b>  <b>Abstecken</b> <b>Demontage</b> <b>EndmStützenD</b> <b>EndmStützenM</b> <b>GrundzeitD</b> <b>GrundzeitM</b> <b>Montage</b> <b>Profilaufnehmen</b>  <b>Proj'ausarbeiten</b> <b>Projektierung</b> <b>Verlegung</b> <b>WbD</b> <b>WbM</b> <b>WwD</b> <b>WwM</b> <b>Windenselbstfahrt</b> <b>_BergD</b> <b>_BergM</b> <b>_TalD</b> <b>_TalM</b> <b>Windentransport</b> <b>_Heli</b>	Produktive Systemzeit ohne Unterbrüche Abhängen der Last am Lagerplatz Anhängen der Last mit 1 Person Anhängen der Last mit 2 Personen Fahrt am Trageil bergauf Fahrt am Trageil bergab Verziehen, sortieren und lagern am Lagerplatz Seilen der Last pro m3 Seilen der Last gesamt Zuzug der Last seitlich Vertikalbeweg. im Bestand (leer absenken, Last aufziehen) Vertikalbewegung am Lagerplatz  Abstecken der Seillinie Gesamte Systemzeit für die Demontage Endmaststützen Demontage Endmaststützen Montage Grundzeit Demontage Grundzeit Montage Gesamte Systemzeit für die Montage Aufnehmen des Seillinienprofils. Ausarbeiten des Projektes Gesamt-Aufwand der Projektierung  Verlegung Windenstandort bleibt bei der Demontage Verlegung Windenstandort bleibt bei der Montage Verlegung Windenstandort wechselt bei der Demontage Verlegung Windenstandort wechselt bei der Montage  Windenselbstfahrt bergwärts Demontage Windenselbstfahrt bergwärts Montage Windenselbstfahrt talwärts Demontage Windenselbstfahrt talwärts Montage  Windentransport mit Helikopter		≥0	[Std/ m <sup>3</sup> i.R.]
<b>seiti_Zuzug</b>	Distanz des Zuzuges beim Anhängen mit 1 Person		≥0	[m]
<b>Stücklänge</b>	Länge des zugezogenen Holzstückes		>0	[m]
<b>Stückvolumen</b>	durchschnittliches Volumen des einzelnen Stammes, der transportiert wird.		>0- 1.00	[m <sup>3</sup> ]

	Zeitbedarf der Produktionsfaktoren pro m <sup>3</sup> t		≥0	[Std/m <sup>3</sup> ]
<b>WPPH....</b> <b>Projektierung</b> <b>Montage</b> <b>Demontage</b> <b>Lagerplatz</b> <b>Seilen</b> <b>weitere Aufwände</b> <b>konSeil</b>	<b>Arbeitsplatzzeiten:</b> Personalaufwand für die Projektierung Personalaufwand für die Montage der Seilanlage Personalaufwand für die Demontage der Seilanlage Personalaufwand für Arbeiten am Lagerplatz Personalaufwand für das Arbeiten beim Seilen Weitere Aufwände für das Personal Personalaufwand für den gesamten Seilkraneinsatz			
<b>PMH<sub>15</sub>....</b> <b>Montage</b> <b>Seilanlage</b> <b>Demontage</b> <b>Seilanlage</b> <b>Lagerplatz</b> <b>Kranfahrzeug</b>	<b>Maschinenzeiten in PMH<sub>15</sub> oder MAS</b> Aufwand für Montage der Seilanlage  Aufwand für Demontage der Seilanlage  Aufwand für das Kranfahrzeug am Lagerplatz  Aufwand für den Betrieb der Seilanlage  Weitere Aufwände für das Fahrzeug			
<b>Seilen</b> <b>_Seilanlage</b>  <b>weitere Aufwände</b> <b>_Fahrzeug</b>  <b>kon-Seil_Seilanlage</b>  <b>kon-Seil_Fahrzeuge</b>  <b>konSeil_Kranfahrzeug</b>	Aufwand für Seilanlage für den gesamten Seilkraneinsatz Aufwand für Fahrzeuge für den gesamten Seilkraneinsatz Aufwand für Kranfahrzeug für den gesamten Seilkraneinsatz			
<b>Tragseilhöhe_Bestand</b>	Höhe des Tragseils im Bestand		>0	[m]
<b>Tragseilhöhe_Lager</b>	Höhe des Tragseils am Lagerplatz		>0	[m]
<b>WSD</b>	Windenselbstfahrt Distanz		>150	[m]

Tabelle 1: Abkürzungen und Definitionen für das Modell 'konv. Seilkran'.

## 4 Anhang

### 4.1 Vereinfachtes konventionelles Seilkran-Modell für Montage und Demontage

Jürg Stückelberger, D-WAHO, ETH-Zentrum, CH-8092

Das Modell von Stückelberger (ETH Zürich, 1998) bildet eine Alternative zu den Originalmodellen von Frutig (WSL, 1988). Die vorliegenden Modelle haben den Vorteil, dass sie nur wenige Eingangsgrößen benötigen, und dass sie den Korrelationskoeffizient  $R^2$  und den Standardfehler  $\sigma$  angeben können. Sie sind aber weniger genau.

#### Abkürzungen

- WSH : WorkTimeSystem hour
- WPH : WorkTimePersonal hour pro Kubikmeter Holz in Rinde

#### Originaldaten für Montage /Demontage

nach Frutig F., WSL

KskDatenInstallation

ID	Linienlaenge	Hangneig	Arb	Stueckvol	Lastvol	WPH	WSH
1	610.00	45.00	8	NA	NA	112.63	14.08
2	622.00	45.00	8	0.16	0.67	61.32	7.66
3	689.00	35.00	7	0.24	0.98	91.25	13.04
5	441.00	55.00	5	0.48	1.07	76.25	15.25
6	533.00	55.00	4	0.29	1.06	83.87	20.97
7	420.00	65.00	3	0.29	1.07	97.63	32.54
8	820.00	65.00	3	0.60	1.35	114.02	38.01
9	704.00	55.00	5	0.95	1.65	207.35	41.47
11	522.00	35.00	5	0.22	1.07	85.47	17.09
12	360.00	65.00	4	0.43	1.24	73.83	18.46
13	351.00	35.00	3	0.21	0.67	81.75	27.25
14	830.00	65.00	3	0.17	1.07	151.72	50.57
15	884.00	35.00	4	0.59	1.24	164.90	41.23
16	268.00	55.00	6	0.52	0.91	75.18	12.53
17	491.00	25.00	4	0.40	1.03	77.47	19.37
18	675.00	25.00	4	0.47	1.55	62.10	15.53
19	800.00	55.00	5	0.51	1.47	104.88	20.98
20	690.00	55.00	3	0.26	1.16	136.32	45.44
21	395.00	85.00	4	0.33	0.81	76.95	19.24
23	186.00	85.00	5	NA	NA	38.72	7.74
24	190.00	75.00	4	0.36	0.78	46.98	11.75
25	312.00	55.00	5	0.27	1.10	53.85	10.77
26	503.00	25.00	4	NA	NA	84.53	21.13
27	185.00	75.00	4	0.22	0.72	61.92	15.48
29	218.00	65.00	4	0.40	0.96	37.93	9.48
32	507.00	65.00	4	NA	NA	74.25	18.56
33	400.00	55.00	4	NA	NA	27.05	6.76
35	800.00	45.00	5	0.27	1.42	161.15	32.23
36	950.00	75.00	4	0.29	1.54	152.73	38.18
37	1200.00	55.00	5	0.52	1.59	166.38	33.28
38	1060.00	55.00	5	0.29	1.39	173.58	34.72
39	1366.00	65.00	3	NA	NA	79.22	26.41
42	796.00	45.00	3	0.24	1.10	95.92	31.97
44	1100.00	75.00	4	0.36	1.36	58.75	14.69

Bei der Auswertung wurden die Datensätze 12, 32, 34 eliminiert, da die Cook's-Distanz über 0.12 beträgt. (Cook's Distanz ist ein Mass für Ausreisser und Hebelpunkte). Der Korrelationskoeffizient wurde dadurch sprunghaft besser ( $R^2 \sim 0.7$ ).



## Modell mit Transformation Logarithmus(Arbeiter)

```
> summary(KskModIt06)
Call: lm(formula = WSH~ Linienlaenge + log(Arb), subset = OK > 0)
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-12.5 -2.852 -0.6604  2.97 17.79
Coefficients:
            Value Std. Error  t value Pr(>|t|)
(Intercept)  37.8374    6.9180    5.4694  0.0000
Linienlaenge  0.0309    0.0044    7.1037  0.0000
      log(Arb) -22.3158    4.4221   -5.0464  0.0000
Residual standard error: 6.276 on 28 degrees of freedom
Multiple R-Squared:  0.7174
F-statistic: 35.53 on 2 and 28 degrees of freedom, the p-value is 2.077e-008
Correlation of Coefficients:
      (Intercept) Linienlaenge
```

Das Modell besagt, dass WSH linear abhängig von der (1) Linienlänge und vom (2) natürlichen Logarithmus der Anzahl Arbeiter ist.

### Beurteilung:

- (1) Dass die Linienlänge einen Einfluss auf die Installationszeit hat, ist plausibel. Dass die Installationszeit linear zur Linienlänge ansteigt, scheint vernünftig.
- (2) Dass die Anzahl Arbeiter die Systemzeit bei der Installation reduzieren, ist plausibel. Dass sich die Installationszeit unterproportional zur Anzahl Arbeiter reduziert ist erklärbar, da der Grenznutzen jeder zusätzlichen Arbeitskraft abnimmt.

### Zusammenfassung:

Wenn **Linienlänge** und Anzahl **Arbeiter** bekannt:

$\text{kskMontageDemontage\_WSH} = 37.84 + 0.0309 \cdot \text{Linienlaenge} - 22.32 \cdot \log_e(\text{Arbeiter})$

$R^2 = 0.717$

$\sigma = 6.276$

Wenn nur **Linienlänge** bekannt

$\text{kskMontageDemontage\_WSH} = 5.710 + 0.0293 \cdot \text{Linienlaenge}$

$R^2 = 0.460$

$\sigma = 8.522$

## 4.2 Seilbetrieb

Daten nach Frutig F., WSL

Linienlaenge	Hangneigung	Stueckvol	Lastvol	WaShProM3
622	45	0.16	0.67	0.2276
689	35	0.24	0.98	0.2251
441	55	0.48	1.07	0.1125
533	55	0.29	1.06	0.093
420	65	0.29	1.07	0.1991
820	65	0.60	1.35	0.2311
704	55	0.95	1.65	0.2011
522	35	0.22	1.07	0.1906
360	65	0.43	1.24	0.153
351	35	0.21	0.67	0.3045
830	65	0.17	1.07	0.4161
884	35	0.59	1.24	0.3145
268	55	0.52	0.91	0.1881
491	25	0.40	1.03	0.1708
675	25	0.47	1.55	0.1086
800	55	0.51	1.47	0.169
690	55	0.26	1.16	0.1711
395	85	0.33	0.81	0.3063
190	75	0.36	0.78	0.3093
312	55	0.27	1.10	0.3071
185	75	0.22	0.72	0.2115
218	65	0.40	0.96	0.1213
800	45	0.27	1.42	0.256
950	75	0.29	1.54	0.1478
1200	55	0.52	1.59	0.2925
1060	55	0.29	1.39	0.2133
1700	50	0.57	1.65	0.205
796	45	0.24	1.10	0.279
1370	50	0.39	1.99	0.1163
1100	75	0.36	1.36	0.2628

### 9. Modell: Rückführen der Modellierung auf einfachere Modelle

```
> summary(kskModS33)
Call: lm(formula = WaPhProM3 ~ Linienlaenge + I>Lastvol^2),
      weights = Linienlaenge, subset = OK > 0)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.844 -1.011 -0.09167  1.367  2.361

Coefficients:
              Value Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.2093   0.0299     7.0001  0.0000
Linienlaenge  0.0002   0.0001     2.8262  0.0091
I>Lastvol^2 -0.0721   0.0204    -3.5257  0.0017

Residual standard error: 1.455 on 25 degrees of freedom
Multiple R-Squared:  0.3321
F-statistic: 6.216 on 2 and 25 degrees of freedom, the p-value is 0.006439
Correlation of Coefficients:
      (Intercept) Linienlaenge
Linienlaenge -0.5613
I>Lastvol^2 -0.0030      -0.7960
```

Das Modell muss folgende Eigenschaften haben:

- die Eingangsgrößen dürfen höchstens im Quadrat Eingang finden
- es soll mit der Linienlänge - ein Mass für die genutzte Holzmenge - gewichtet werden
- die Parameter müssen das Modell in die richtige Richtung führen. So muss z.B. ein hohes Stückvolumen die Arbeitszeit pro Volumen senken (Stück-Volumen-Gesetz)

Das 9. Modell (kskModS33) erfüllt diese Bedingungen:

Zusammenfassung:

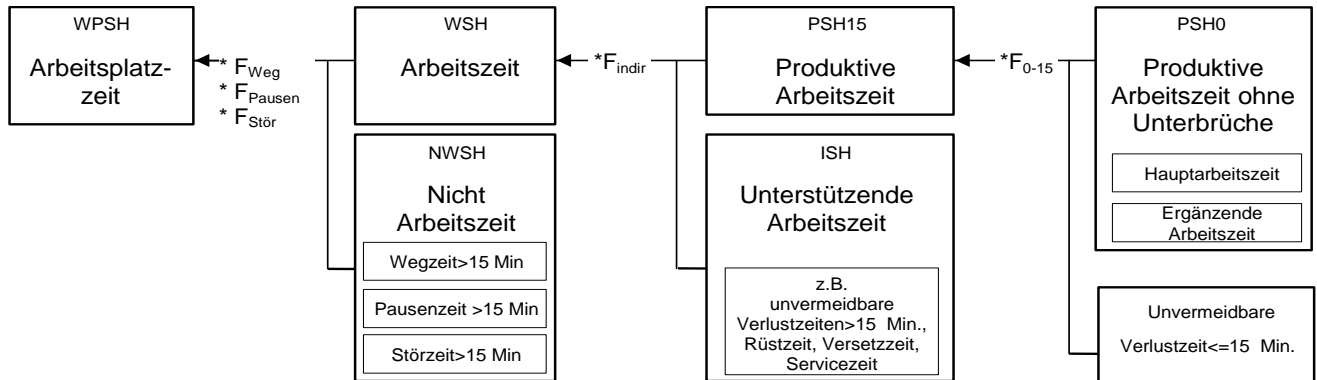
```
Seilbetrieb_WaPhproM3 = 0.2093 + 0.0001648*Linienlänge - 0.0720613*Lastvolumen^2
s = 1.455
R²= 0.3321
```

### 4.3 Vorgehen bei der Berechnung des vereinfachten Modells (nicht implementiert)

1. Detaillierte Formeln für PSH0\_Montage in Abhängigkeit der Linienlänge verwenden.
2. Mit Excel Berechnungen für verschiedene Linienlängen (0-2400m) und Windenselbsfahrt\_Berg, Windenselbsfahrt\_Tal, Windentransport\_Heli durchführen
3. Ausgleich der Werte mit Statistik-Programm Origin
4. Da Montage und Demontage in der Regel nur als Summe interessieren, ist es sinnvoll die Regression der Summe zu verwenden.

<b>Montage</b> :Y = A + B * LINIENLÄNGE			<b>Demontage</b> : Y = A + B * LINIENLÄNGE		
Linear Regression for MON_WSF_BERG:			Linear Regression for DEM_WSF_TAL:		
	Wert	sd		Wert	sd
A	6.59682	0.02907	A	1.84576	0.10149
B	0.01009	0.00002	B	0.00722	0.00007
SD	0.07486	N = 25	SD	0.26137	N = 25
R	0.99995		R	0.99884	
Linear Regression for MON_WTR_HELI:			Linear Regression for DEM_WTR_HELI:		
	Wert	sd		Wert	sd
A	7.33686	0.1047	A	2.85546	0.0394
B	0.00775	0.00007	B	0.00339	0.00003
SD	0.26965	N = 25	SD	0.10148	N = 25
R	0.99893		R	0.99921	
Lineare Regression für gesamte Installation (Summe MontageBerg+DemontageTal):					
	Wert	sd			
A	8.44258	0.09905			
B	0.01731	0.00007			
SD	0.2551	N = 25			
R	0.99981				

#### 4.4 Zeitsystem im Komponentenmodell „Konventioneller Seilkran“



(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 8: Verwendetes Zeitsystem

Die in Abbildung 8 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				
	workplace...	non work...	Arbeitszeit (Work time)		
			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 2: Übersicht über die verwendeten Zeitbegriffe

#### 4.5 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 :*

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

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

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

$$WPMH = WMH * F_{Stör}$$

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

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

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

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

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

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

Grundlage: konventioneller Seilkran nach ABEGG et al. et al 1986

Kriterien	Bewertung / Bemessung	Bemerkungen	Schematische Beurteilung
Erstellungsjahr	1986		+ * 0 -
Technische Aktualität	<u>aktuell</u> / teilw.veraltet / veraltet		+ * 0 -
Umfang der Datenbasis	<u>gross</u> / mittel / klein / unbekannt, Anzahl	44 Seillinien	+ * 0 -
Anwendbarkeit auf CH-Verhältnisse	<u>gut</u> / mittel / schlecht / unbekannt		+ * 0 -
Dokumentation	<u>ausführlich</u> / mittel / rudimentär		+ * 0 -
Treffsicherheit der Prognose	Abweichung $\pm$ .25. %		+ * 0 -
Grundlage verifiziert	<u>ja</u> / nein / unbekannt		+ * 0 -
Grundlage validiert	<u>ja</u> / nein / unbekannt	Praxisberechnung über Jahre	+ * 0 -
Messbarkeit der Input-Variablen	messbar / <u>teilw. messbar</u> / nicht messbar	Mittleres Seilvolumen muss hergeleitet werden	+ * 0 -
Detaillierungsgrad	Anzahl Inputvariablen: .7????		+ * 0 -
Output	Zeitbedarf / Leistung / Kosten pro m3 / pro Holzschlag / pro ha		+ * 0 -

#### Fazit: (kurze verbale Charakterisierung )

Das Modell ist aufgrund der je nach Gelände zu erwartenden Schwierigkeiten, des grossen Erstellungs- und Betreuungsaufwandes sehr genau ausgearbeitet. Jede der möglichen Teilarbeiten kann den Schwierigkeiten entsprechend angepasst und berechnet werden.

\*

Beurteilung durch: ...Fg.....

Datum: .19.08.98

