

# **Produktivitätsmodell**

## **"Jungwaldpflege in Dickung und Stangenholz 1"**

### **(Z-Baum-Durchforstung inkl. Kronenschnitt)**

#### **Grundlagen**



**Peter Ammann**

Im Auftrag für:

FE Waldressourcen und Waldmanagement

Gruppe „Nachhaltige Forstwirtschaft“

Eidg. Forschungsanstalt WSL

26.02.2020

Das Produktivitätsmodell „Jungwaldpflege in Dickung und Stangenholz 1“ ist Teil einer Sammlung von Produktivitätsmodellen zur Bestandesbegründung und Jungwaldpflege, welche von der Eidg. Forschungsanstalt WSL entwickelt wurden und unter dem Namen "Jungwaldpflege JuWaPfl" auf dem Internet zur Verfügung gestellt werden (<http://www.waldwissen.net>). Das Modell „Jungwaldpflege in Dickung und Stangenholz 1“ wurde im Jahr 2019 erstellt.

<b>Version</b>	<b>Bearbeiter</b>	<b>Datum</b>	<b>Kommentar</b>
1.0	P. Ammann	23.01.2019	Entwurf
1.0	F. Frutig	26.02.2020	Test und redaktionelle Bearbeitung

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Grundlagen .....</b>	<b>3</b>
1.1	Entstehung und Verwendung.....	3
1.2	Beurteilung und Besonderheiten .....	3
<b>2</b>	<b>Prozessbeschreibung.....</b>	<b>4</b>
2.1	Verwendete Methoden .....	4
2.2	Definitionsbereich und Abgrenzungen.....	4
2.3	Arbeitsprozess .....	5
<b>3</b>	<b>Modell .....</b>	<b>5</b>
3.1	Zeitsystem .....	5
3.2	Faktoren für Indirekte Arbeitszeiten, Pausen- und Wegzeiten.....	6
3.3	Produktivitätsmodell .....	6
3.3.1	Zeitaufwand in Abhängigkeit von der Anzahl Z-Bäume (Grundfunktion) .....	6
3.3.2	Eingriffsstärke pro Z-Baum (KF1).....	7
3.3.3	Zeitaufwand für das Bündeln (KF2) .....	8
3.3.4	Hangneigung (KF3) .....	8
3.3.5	Belaubung (KF4) .....	9
3.3.6	Verunkrautung (KF5) .....	9
3.3.7	Rückegassen (KF6) .....	10
3.3.8	Zersägen des Aushiebs (KF7) .....	10
3.3.9	Lufttemperatur (KF8).....	11
3.3.10	Kronenschnitte (KF9) .....	11
3.3.11	Vollständiges Modell mit allen Korrekturfaktoren.....	13
3.3.12	Maschinenkosten .....	13
3.3.13	Gerätekosten für Kronenschnitte.....	14
3.3.14	Gesamtkosten der Jungwaldpflege pro Hektare (Systemkosten) .....	15
<b>4</b>	<b>Benutzerführung.....</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>17</b>

# 1 Grundlagen

## 1.1 Entstehung und Verwendung

Grundlagen des Produktivitätsmodells „Jungwaldpflege in Dickung und Stangenholz 1“ sind Abrechnungen von Jungwaldpflegeaufträgen (ausgeführt von P. Ammann) sowie Dokumentationen zu verschiedenen waldbaulich-ertragskundlichen Beobachtungsflächen des Kantons Aargau, der Fachstelle Waldbau (BZW Lyss) sowie der Fachstelle Gebirgswaldpflege (BZW Maienfeld). Zum Kronenschnitt wurden einfache Zeitstudien ausgeführt (P. Ammann).

## 1.2 Beurteilung und Besonderheiten

Die Jungwaldpflege hat sich gegenüber den Ideen von Schädelin (1934) und Leibundgut (1966) stark gewandelt. Damals wurde eine möglichst hohe Anzahl von Auslesebäumen in allen Entwicklungsstufen angestrebt. Um alle Möglichkeiten offen zu halten und auf „Umsetzungen“ der einzelnen Bäume zu reagieren, wurden die Auslesebäume bei jedem Eingriff bewusst neu ausgewählt. Dies führte zu sehr hohen Aufwänden beim Bändeln (Markieren) und bei der Ausführung der Jungwaldpflege. Die Bedeutung der Vitalität und der baumartenspezifischen Reaktionsfähigkeit war zu dieser Zeit noch ungenügend bekannt, was oft zu Fehleinschätzungen führte (Ammann 2013). Die hohe Anzahl Z-Bäume führte zu Zielkonflikten bzw. ungenügender Freistellung der Bäume, die Konzepte enthielten Leerläufe, indem bereits mehrmals geförderte Auslesebäume entnommen werden mussten. Hintergrund war – zumindest bis in die 1980er Jahre – ein Holzmarkt, welcher bereits schwache Sortimenten bei guter Schaftqualität ansprechend bezahlte. Dies hat sich seither grundlegend geändert.

1975 kam mit der Z-Baum-Durchforstung (Abetz 1975) eine grundsätzliche Neuerung, indem sich die Pflege auf Z-Bäume in baumartenspezifischen Endabständen fokussiert. Zu beachten ist die bewusste Begriffswahl des Z-Baums (Endabstand) gegenüber demjenigen des Auslesebaums (ohne Abstände). Mit der biologischen Rationalisierung (Ammann 1997, 1999, 2004, 2005, 2013, 2014) wurden die Möglichkeiten ausgelotet, baumarten- und zielspezifisch auf Eingriffe solange zu verzichten, wie sich Bestände zielgemäss entwickeln. Dadurch wird die Erziehung mittels Bestandesdichte optimal genutzt und es erfolgt eine natürliche Auslese nach Vitalität als wichtige Voraussetzung für den späteren Durchmesserzuwachs. Für konkurrenzstarke Hauptbaumarten wie Fichte, Tanne, Buche, Bergahorn, Esche, Bergulme und Linde erfolgen Eingriffe oft erst im Stangenholz, während konkurrenzschwache Lichtbaumarten wie Eiche, Kirsche, Nussbaum, Lärche oder Föhre wesentlich frühere und stärkere Eingriffe benötigen. Je nach Bestand und Bestockungsziel lassen sich die beiden Behandlungstypen auch auf der Fläche kombinieren. Diese Konzepte sind in den Checkkarten der Fachstelle Waldbau für Praktiker anschaulich dargestellt und in drei Landessprachen verfügbar (Ammann 2014). Sie wurden in unzähligen Kursen in der ganzen Schweiz vermittelt und sind Teil der Ausbildung an den Försterschulen und den forstlichen Hochschulen; teilweise werden sie auch in der Forstwartausbildung verwendet. In Deutschland wurde ein sehr ähnliches Konzept entwickelt, welches heute eine breite Anwendung findet: die QD-Strategie (Wilhelm und Rieger 2013).

Gleichzeitig hat ein Wandel stattgefunden von gepflanzten, reinen Beständen, hin zu vielfältigen, artenreichen und komplexen Beständen, meist aus Naturverjüngung. Dieser Prozess kann allgemein mit dem Begriff „naturnaher Waldbau“ umschrieben werden. Der gestaffelte Eingriffsbeginn nach Baumarten, aber auch die Kombination von Wertholz-Zielen mit Massenproduktion (z.B. Schütz 1996) oder Naturschutzzielen innerhalb von Beständen, führen zu Eingriffen mit einer variablen Anzahl Z-Bäumen. Dasselbe geschieht in Dauerwaldbetrieben, wo sich Eingriffe auf wenige Z-Bäume pro Hektare („Nachrücker“) fokussieren.

Im Zusammenhang mit den veränderten Zielen und Methoden der Jungwaldpflege steht auch die zunehmende Bedeutung des Kronenschnittes: Anstatt über eine hohe Auslesebasis die gewünschte Qualität zu erreichen, wird an den vorhandenen Individuen der gewünschten Baumarten und hoher Vitalität gezielt eingegriffen um die minimal notwendige Qualität zu erreichen (Einzelbaumerziehung). Dabei handelt es sich um Korrekturschnitte für die Schaftachse (Zwiesel, Steiläste), aber auch um die Entfernung von Starkästen, bevor diese zu dick werden. Kronenschnitte kommen oft zur Anwendung bei

Kirsche und Nussbaum-Arten, aber auch bei Eichen. Ausnahmsweise können auch weitere Baumarten wie z.B. Bergahorne behandelt werden, wenn es sich z.B. um den einzigen valablen, vitalen Wertträger handelt (z.B. in einem Eschen-dominierten Bestand). Der aktuelle Kenntnisstand über Ziel, Anwendungsbereich und Ausführung von Kronenschnitten findet sich im „Leitfaden Kronenschnitt und Wertastung“ (Ammann 2018).

## **2 Prozessbeschreibung**

### **2.1 Verwendete Methoden**

Für sämtliche Jungwaldpflegearbeiten in den Entwicklungsstufen Dickung und Stangenholz 1 wird in den Modellen von der Z-Baum-Methode ausgegangen: Bäume des Zielbestandes mit den gewünschten Eigenschaften nach Baumart, Vitalität und Qualität werden im Endabstand (oder Teilkollektiv in grösseren Abständen) ausgewählt und soweit nötig von ihren Konkurrenten befreit. Im Füllbestand (zwischen den Z-Bäumen) wird nicht eingegriffen, es erfolgt auch keine negative Auslese. Turnus und Eingriffsstärke sind hauptsächlich von der Baumart abhängig, dabei spielen aber auch lokale Erfahrung und die Berücksichtigung von Risiken eine Rolle.

Primäre Eingangsgrösse für das Produktivitätsmodell ist die Anzahl Z-Bäume pro Hektare, welche sehr variabel sein kann (z.B. Ersteingriff im schwachen Stangenholz für 20 Z-Bäume pro Hektare, beispielsweise Lärchen; weitere Z-Bäume wie beispielsweise Buchen kommen erst bei späteren Eingriffen dazu). Ausgeführt wird die Jungwaldpflege in Dickung und Stangenholz üblicherweise mit der Motorsäge. Gertel oder Langgertel sind heute weniger gebräuchlich. Sobald etwas dickere Konkurrenten anfallen, was in den strukturierten, kleinflächigen Schweizer Beständen oft der Fall ist, ist die Motorsäge klar im Vorteil. Selbstverständlich können auch Akku-Elektrosägen verwendet werden.

Kronenschnitte werden nur in der Dickung ausgeführt, da es darum geht, die untersten 4 bis 6 (ausnahmsweise auch mehr) Meter der Schaftachse positiv zu beeinflussen. Hier kommen bis 2.5m Höhe Handscheren oder Handsägen zum Einsatz. Handsägen sind zu favorisieren, weil damit auch grössere Astdurchmesser bewältigt werden können, während bei Handscheren der Astdurchmesser limitiert ist. Weiter oben werden Leitern eingesetzt, die Bäume können auch erklettert werden (Baum als Steighilfe). Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz von Stangensägen oder Stangenscheren.

Zielgrössen sind der Zeitaufwand pro Hektare sowie die Kosten pro Hektare, bestehend aus Personal- und Maschinenkosten (Motorsäge plus Ausrüstung für Kronenschnitte).

Jungwaldpflege sollte aus Sicherheitsgründen nicht in Alleinarbeit ausgeführt werden. Mindestens ein 2er-Team ist erforderlich. Dies hat aber keinen Einfluss auf die Arbeitsproduktivität.

### **2.2 Definitionsbereich und Abgrenzungen**

Abgrenzung bzw. Definitionsbereich der Modelle: Die vorliegenden Produktivitätsmodelle beziehen sich auf die Entwicklungsstufen Dickung (ab  $h_{\text{dom}}$  1.30 m bis  $d_{\text{dom}}$  10 cm) und schwaches Stangenholz ( $d_{\text{dom}}$  10-20 cm, auch Stangenholz 1 genannt). Bei der Jungwaldpflege wird das Holz im Bestand liegen gelassen oder ev. durch Selbstwerber aufgerüstet, was kostenneutral ist bzw. sogar zusätzliche Einnahmen generiert, welche nicht Teil der Produktivitätsmodelle sind.

Bis zum Erreichen der Dickung, also in der Entwicklungsstufe Jungwuchs, gibt es entweder keine Eingriffe (bei Naturverjüngungen), oder es wird eine Kulturpflege durch Austrichern der gesetzten Pflanzen ausgeführt (bei Pflanzungen immer, bei Naturverjüngungen ausnahmsweise). Das Austrichern ist Teil des vorliegenden Produktivitätsmodells.

Oberhalb des Bereichs der vorliegenden Produktivitätsmodelle liegen Eingriffe im starken Stangenholz ( $d_{\text{dom}}$  20-30 cm). Hier wird üblicherweise bereits Holz geerntet und vielfach vollmechanisiert eingegriffen. In Gebirgswäldern erfolgen Eingriffe aus Kostengründen auch in dieser Entwicklungsstufe teilweise noch ohne Holzernte, d.h. mit Liegenlassen des Holzes. Dies führt im Falle der Fichte oft zu hohen Aufwänden aus Gründen des Forstschutzes (Entrinden mit Schälseisen oder Eder/Biber, Schürfen der

Rinde mit der Motorsäge, Zersägen). Eingriffe dieser Art im starken Stangenholz oder sogar Baumholz werden durch das vorliegende Produktivitätsmodell nicht abgedeckt.

## 2.3 Arbeitsprozess

Der Prozess umfasst folgende Teilarbeiten:

- Bestimmen und Bündeln der Z-Bäume (bei Ersteingriffen notwendig, später fakultativ).
- Ausführung der Jungwaldpflege durch Beurteilung der Konkurrenzsituation jedes Z-Baums und Entfernen der Konkurrenten soweit baumartenspezifisch notwendig.
- Ausführung von Kronenschnitten in der Dickungsstufe soweit notwendig

Das Bündeln der Z-Bäume ist ein Zusatzaufwand, welcher auf ein Minimum begrenzt werden sollte. Das Bündeln ist beim Ersteingriff immer notwendig. Im Idealfall sind die Z-Bäume danach dauerhaft markiert, wofür verschiedene Möglichkeiten bestehen:

- Hohe Stöcke der Konkurrenten
- Markierung mit Farbtupfern (Markierspray)
- Markierung mit plastifizierten Bändern

Die permanente Markierung vermindert nicht nur den Aufwand, sondern vermeidet auch Leerläufe (durch das unbewusste Wechseln von Z-Bäumen) und erhöht die Zielerreichung. Wichtige Voraussetzung für den langfristigen Erfolg ist eine sorgfältige Z-Baum-Auswahl unter Berücksichtigung der Vitalität und der baumartenspezifischen Anforderungen.

Auch wenn das vorliegende Produktivitätsmodell für Z-Baum-Durchforstungen im Endabstand mit maximal 200 (Fichte/Tanne) bzw. maximal 50-120 (Laubholz) Z-Bäumen pro Hektare konzipiert wurde, kann es auch Eingriffe „im Halabendabstand“ (z.B. 800 Fichten/ha) oder sogar flächige Eingriffe (bis 2000 Ausleseebäume/ha bzw. systematische Erdünnerung) abdecken, indem die Anzahl Z-Bäume entsprechend hoch gewählt wird. Im Vergleich mit der Literatur (Forstkalender 2018, die Originalliteratur stammt aus den Jahren 1960 bis 1993) ergeben sich plausible Aufwände.

## 3 Modell

### 3.1 Zeitsystem

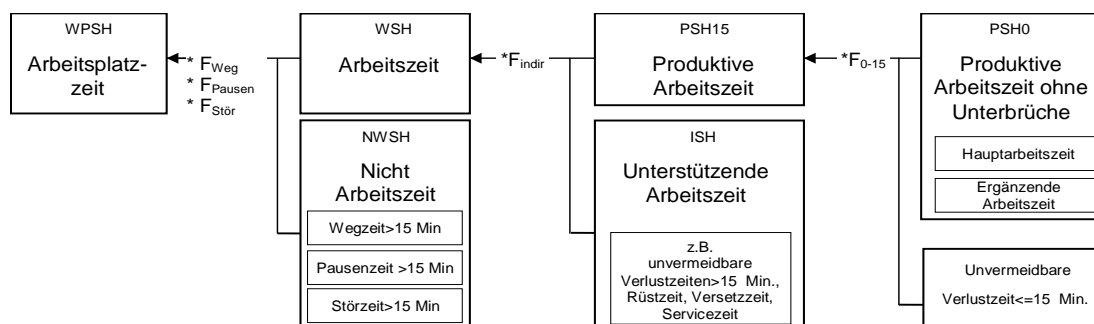


Abbildung 1: Verwendetes Zeitsystem (Björheden und Thompson 1995, Heinemann 1997; verändert).

Die in Abbildung 1 aufgeführten Zeiten können grundsätzlich für das Produktionssystem als Ganzes sowie für die beteiligten Produktionsfaktoren (Motorsäge, Personal) ermittelt werden. Je nachdem spricht man zum Beispiel von der System-, der Maschinen- oder der Personalarbeitszeit. In Anlehnung an die Originalgrundlagen wurden die Abkürzungen von den englischen Begriffen abgeleitet (Tab. 1). Für die Jungwaldpflege sind vor allem die Arbeitsplatzzeit WPSH und die Produktive Arbeitszeit PSH15 wichtig.

Tabelle 1: Übersicht über die verwendeten Zeitbegriffe

Betrachtetes Objekt	Arbeitsplatzzeit				
		Nicht Arbeitszeit (non work time)	Arbeitszeit (work time)		
	workplace...	non work...	work...	indirect...	productive...
System (...system hour)	WPSH	NWSH	WSH	ISH	PSH
Maschine (...machine hour)	WPMH	NWMH	WMH	IMH	PMH <sub>15</sub> =MAS
Personal (...personal hour)	WPPH	NWPH	WPH	IPH	PPH

### 3.2 Faktoren für Indirekte Arbeitszeiten, Pausen- und Wegzeiten

Tabelle 2: Faktoren für Indirekte Arbeitszeiten sowie bezahlte Wegzeiten und Pausen.

Abkürzung	Definition	Default-wert	Def. bereich	Einheit
$F_{indir}$	Indirekte Arbeitszeiten <sup>1)</sup>	1.1	≥1.0	[-]
$F_{pause}$	Bezahlte Pausen		≥1.0	[-]
$F_{Weg}$	Bezahlte Wegzeiten zur Arbeitsfläche und zurück <b>Gewählter Defaultwert:</b> $F_{Pause} * F_{Weg} = 1.133$ Annahme: von 510 Min. Arbeitszeit/Tag sind 60 Min. bezahlte Wegzeiten und Pausen. <b>Die Wegzeiten innerhalb der Arbeitsfläche (von Baum zu Baum) sind bereits in der Grundzeit enthalten.</b>	1.133	≥1.0	[-]

<sup>1)</sup> Erfahrungswert aus den Datenerhebungen der WSL für das Produktivitätsmodell HeProMo

### 3.3 Produktivitätsmodell

#### 3.3.1 Zeitaufwand in Abhängigkeit von der Anzahl Z-Bäume (Grundfunktion)

Für die Erstellung und Kalibrierung des Modells standen die Daten von 9 Eingriffen in Dickungen und 27 Eingriffen in schwachen Stangenhölzern zur Verfügung. Für diese total 36 Eingriffe waren folgende Parameter bekannt: Fläche, Zeitaufwand, Treibstoffverbrauch, Anzahl Konkurrenten, Hangneigung, Lufttemperatur, Art der Ausführung (Zersägen), Jahreszeit (belaubt/unbelaubt), Notwendigkeit des Bündelns, Vorhandensein von Rückegassen sowie erschwerende Verunkrautungen. Der Zeitaufwand für die Wegzeiten zwischen den Bäumen ist im Grundaufwand enthalten.

Als Haupteinflussgrösse für den Zeitaufwand der Jungwaldpflege wurde die Anzahl Z-Bäume pro Hektare verwendet. Durch Division bzw. Subtraktion der genannten weiteren Einflussfaktoren (vgl. Kapitel 3.3.2 bis 3.3.9) ergab sich ein Grundzusammenhang zwischen Anzahl Z-Bäumen und Zeitaufwand (Abbildung 2). Dieses Vorgehen der Eliminierung weiterer Einflussfaktoren entspricht sozusagen einer „Standardisierung“ aller Bestände auf den „Normalfall“ (z.B. Zeitaufwand am Hang 9 Stunden pro Hektare, korrigiert mit Faktor 1.5 für die entsprechende Hangneigungsklasse, ergibt im flachen Gelände 6 Stunden/ha etc.). Um das Modell zu optimieren, wurden die Korrekturfaktoren zuerst gutachtlich abgeschätzt und danach in einem iterativen Prozess variiert. Die erzielten Bestimmtheitsmasse zeigen auf, wie gut die Modelle den Zeitaufwand schätzen konnten.

Es zeigte sich, dass eine höhere Korrelation erreicht wird, wenn die Eingriffe in den Entwicklungsstufen Dickung und Stangenholz 1 separat modelliert werden. ( $R^2=0.8183$  für beide Entwicklungsstufen,  $R^2=0.8503$  für Stangenholz 1,  $R^2=0.9090$  für Dickung; vgl. Abbildung 2.) Dass der Zeitaufwand im Stangenholz 1 aufgrund der höheren Baumdurchmesser höher ist, ist plausibel.

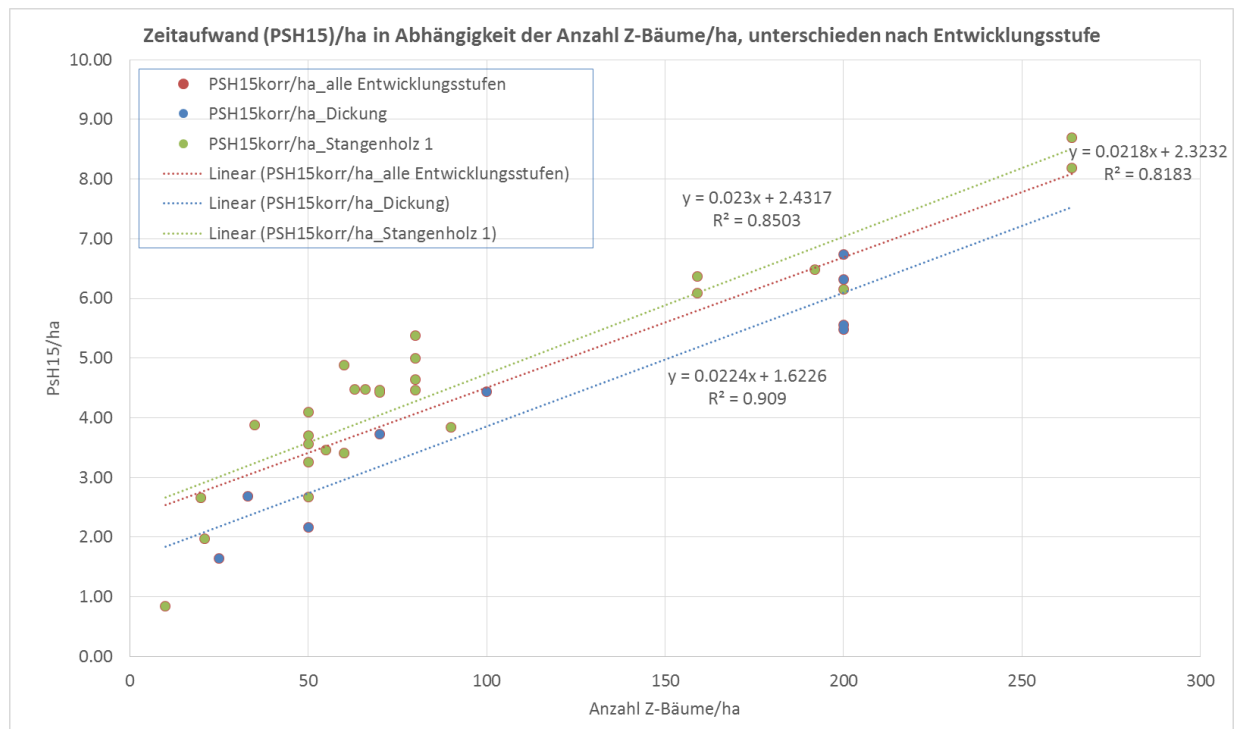


Abbildung 2: Zeitaufwand pro Hektare in Abhängigkeit von der Anzahl Z-Bäume (Zeitstudien von P. Ammann)

Abbildung 2 zeigt auch die Variation der Anzahl Z-Bäume: Diese bewegte sich im Bereich zwischen 10 und 200 Z-Bäumen pro Hektare (ausnahmsweise auch über 200/ha). Am häufigsten waren Eingriffe im Bereich von 50 bis 80 Z-Bäume/ha, aber auch Eingriffe mit weniger als 50/ha waren nicht selten.

Aus der in Abbildung 2 dargestellten Beziehung ergibt sich die Grundfunktion für den Zeitaufwand (PSH15) in Abhängigkeit von der Anzahl Z-Bäume pro Hektare für Eingriffe in Dickungen und im Stangenholz 1:

$$PSH15_{Dickung} = 0.0224 \times Anzahl_{Z-Bäume} + 1.6226$$

$$PSH15_{Stangenholz1} = 0.0230 \times Anzahl_{Z-Bäume} + 2.4317$$

Alle weiteren Einflussgrößen werden als Korrekturfaktoren ins Modell integriert. Diese werden in den folgenden Kapiteln erläutert.

### 3.3.2 Eingriffsstärke pro Z-Baum (KF1)

Je nach Baumarten der Z-Bäume und Situation (Bestandesdichte, Eingriffsturnus) variiert die mittlere Anzahl Konkurrenten pro Z-Baum. Mehr Konkurrenten ergeben mehr Aufwand. Der Zusammenhang ist nicht proportional zum Gesamt-Zeitaufwand, weil ja ein wesentlicher Teil des Aufwandes auf das Begehen des Bestandes entfällt. Ein weiterer Effekt ist, dass bei vielen zu entfernenden Konkurrenten mehr Platz entsteht, was das Fällen einfacher macht bzw. weniger Zersägen/Schrägschnitte erfordert. Folgende Formel ergab die beste Korrelation (für das Gesamtmodell mit allen Einfluss- bzw. Korrekturfaktoren):

$$Eingriffsstärke_{pro\ Z-Baum} = 0.9 + \left( \frac{Anzahl_{Konkurrenten\ pro\ Z-Baum}}{20} \right) = KF1$$

Für 2 Konkurrenten pro Z-Baum nimmt KF1 einen Wert von 1.0 an. Bei sehr starken Eingriffen, z.B. mit 10 Konkurrenten, errechnet sich ein Wert von 1.4, d.h. der Aufwand ist 40% höher als bei 2 Konkurrenten.

Für die 36 vorhandenen Eingriffe variierte die effektiv ausgeführte Eingriffsstärke zwischen 1.5 und 15 Konkurrenten pro Z-Baum, die höchste Eingriffsstärke wurde in einem Bestand mit Walnuss-Z-Bäumen festgestellt.

### 3.3.3 Zeitaufwand für das Bündeln (KF2)

In vielen Fällen von Zweiteingriffen entfällt das Bündeln. KF2 ist kein Korrekturfaktor sondern ein Zuschlag (additiv), der Wert beträgt „0“, falls nicht gebündelt werden muss:

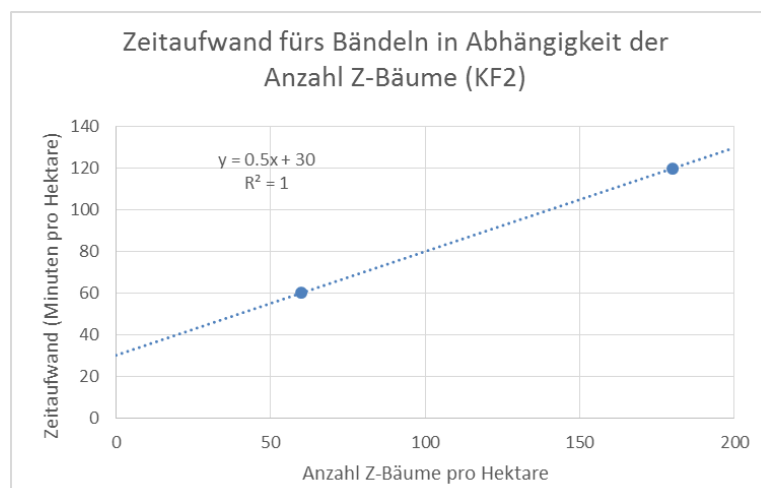
*Tabelle 3: Berücksichtigung des Aufwandes für das Bündeln*

Bündeln	KF2
nein	0
ja	Wert gemäss Formel für KF2

Für das Bündeln wurde ein linearer Verlauf des Aufwandes mit Steigung 0.5 und Konstante 30 angenommen (Abbildung 3). Damit wird die Gehzeit von Z-Baum zu Z-Baum mit berücksichtigt. Je mehr Z-Bäume, desto geringer die Gehzeit zwischen den Bäumen. Selbst wenn letztlich nur ein einziger Z-Baum pro Hektare gewählt würde, errechnet sich ein Aufwand von 30.5 Minuten, da ja trotzdem die gesamte Hektare begangen und alle Bäume angeschaut werden müssen.

$$\text{Zeitaufwand}_{\text{Bündeln}} [\text{Std.}] = \frac{(0.5 \times \text{Anzahl}_{\text{Z-Bäume}}) + 30}{60} = \text{KF2}$$

Dabei handelt es sich um einen „Grundaufwand“ unter standardisierten, optimalen Verhältnissen (hier umgerechnet in Stunden pro Hektare). Der Zeitaufwand für das Bündeln wird im Verlauf der Berechnung mit diversen weiteren Korrekturfaktoren multipliziert (vgl. Kapitel 3.3.11).



*Abbildung 3: Zeitaufwand für das Bündeln in Abhängigkeit von der Anzahl Z-Bäume pro Hektare.*

### 3.3.4 Hangneigung (KF3)

Mit zunehmender Hangneigung erhöht sich der Zeitaufwand. Dies gilt sowohl für das Bündeln, als auch für das Eliminieren der Konkurrenten.



*Tabelle 4: Korrekturfaktoren für die Hangneigung*

Hangneigung	KF3
0-24%	1.00
25-44%	1.10
45-64%	1.25
65-84%	1.50
>=85%	2.00

Gemäss dem vorhandenen Datensatz mit Eingriffen von der Ebene (0%) bis zu felsdurchsetzten Steilhängen mit Absturzgefahr (100%) ist der Zusammenhang zwischen Hangneigung und Zeitaufwand nicht linear, sondern der Zeitaufwand erhöht sich überproportional mit zunehmender Hangneigung.

Mit dem Korrekturfaktor KF3 wird berücksichtigt, dass alle Arbeitsschritte am Hang entsprechend aufwendiger werden.

### 3.3.5 Belaubung (KF4)

Pflegeeingriffe im unbelaubten Zustand sind spürbar effizienter aufgrund der besseren Übersichtlichkeit. Z-Bäume können schneller bestimmt oder wiedergefunden werden. In der jüngeren, stammzahlreichen und dichteren Entwicklungsstufe «Dickung» ist dieser Effekt noch etwas grösser als im Stangenholz.

*Tabelle 5: Korrekturfaktoren für den belaubten Zustand in Dickung und Stangenholz*

Belaubung	KF4 für Dickung	KF4 für Stangenholz 1
Unbelaubt (Winterzustand)	1.0	1.0
Belaubt (oder sehr dichte Nadelholzbestände)	1.3	1.2

### 3.3.6 Verunkrautung (KF5)

Eine Verunkrautung durch Brombeeren, Adlerfarn, Nielen, Brennnesseln oder ähnliches erschwert die Begehrbarkeit und Übersichtlichkeit und führt damit zu höheren Zeitaufwendungen. Dies wird mit dem Korrekturfaktor 5 berücksichtigt.

*Tabelle 6: Korrekturfaktoren für die Verunkrautung in Dickung und Stangenholz*

Verunkrautung	KF5 Dickung	KF5 Stangenholz 1
keine	1.0	1.0
mittel	1.1	1.1
stark	1.2	1.2
extrem stark	1.4	

Eine extrem starke Verunkrautung kam im Datenset beispielsweise bei der Dickungspflege in einer 10-jährigen Eichen-Trupppflanzung vor (Pflanzung vor 8 Jahren). Zwischen den Trupps hatte sich kaum Naturverjüngung etabliert, die Brombeeren konnten sich 8 Jahre lang ungehindert entwickeln und bildeten inzwischen einen rund 2m hohen Teppich, welcher fast nicht zu begehen war. Solche Situationen sind seltene Ausnahmen. Es wird davon ausgegangen, dass Bestände ab der Entwicklungsstufe Stangenholz genügend geschlossen sind, so dass extreme Situationen nicht mehr auftreten (Eingabe „extrem stark“ hier nicht möglich).

Mit dem Korrekturfaktor KF5 kann auch ein allfälliger Mehraufwand für Nielenbekämpfung abgebildet werden.

### 3.3.7 Rückegassen (KF6)

Das Vorhandensein von Rückegassen ist ein wichtiger Einflussfaktor und senkt den Aufwand der Jungwaldpflege gleich in mehrfacher Hinsicht:

- Reduktion der Pflegefläche.  
Beispiel: Bei einem Rückegassenabstand von 30 m wird die Pflegefläche um 20% reduziert, falls von einer Rückegassenbreite von 4 m ausgegangen wird und einem beidseitigen Randstreifen von 1 m, auf welchem möglichst keine Z-Bäume gefördert werden sollten.
- Verbesserung der Übersichtlichkeit.  
Grosse Flächen werden durch die Rückegassen in überschaubare Einheiten unterteilt. Dies ist speziell in flachem Gelände ein wichtiger Effekt (in Hanglagen kann die Höhenlinie zur Orientierung dienen), speziell bei den heutigen Pflegekonzepten mit punktuellen Z-Baum-Eingriffen und einem unbehandelten Füllbestand dazwischen, wo man nicht automatisch sieht, wo man bereits war (früher, bei flächigen Erdünnerungen war dies kein Thema).

Das Vorhandensein von Rückegassen wird als Normalfall angenommen (best practice, KF6=1.0). Rückegassen sollten permanent vorhanden bzw. ihre Linienführung bekannt sein. Falls dies noch nicht so ist, sind sie **vor** einem Pflegeeingriff zu planen und im Gelände zu markieren. Bei fehlenden Rückegassen erhöht sich der Aufwand um den Faktor 1.3.

*Tabelle 7: Korrekturfaktor für das Fehlen von Rückegassen*

Rückegassen vorhanden	KF6
ja	1.0
nein	1.3

Im Seilkrangelände, wo natürlich Rückegassen fehlen, besteht allenfalls die Möglichkeit, durch Pflegegassen die Übersichtlichkeit zu verbessern, was zu entsprechenden Mehrkosten führt. Dieser Fall wird mit dem vorliegenden Modell nicht abgedeckt.

### 3.3.8 Zersägen des Aushiebs (KF7)

Eine wesentliche Rolle für den Aufwand spielt auch die Art und Weise, wie die Bäume gefällt und zersägt werden. Als Normalfall werden hohe Stöcke (Arbeitshöhe) angenommen. Das Belassen von hohen Stöcken ist aus verschiedenen Gründen eine wichtige Einflussgrösse auf die Kosten:

- kostenlose Markierung der Z-Bäume, dadurch entfällt der Aufwand für das Bündeln bei den Folgeeingriffen
- weniger Aufwand, weil der zusätzliche Schnitt für das bodenebene Absägen entfällt
- bessere Ergonomie bzw. geringeres Ermüden, dadurch höhere Arbeitsleistung
- geringere Verunreinigung der Motorsägenkette durch Steine, Sand oder Moos, dadurch höhere Leistung und weniger Zeitverlust durch Feilen der Kette.

Die Bäume werden bei genügend Platz mit Fallkerbe und Fällschnitt gezielt gefällt und ohne weiteres Zersägen liegengelassen. Falls Bäume hängenbleiben, werden sie mit einem oder falls nötig mehreren Schnitten minimal zersägt, so dass die Krone mehrheitlich zu Boden kommt. Bei dichten Verhältnissen empfiehlt sich die Anwendung der Schrägschnittmethode anstelle des Fällschnittes.

Für das feine, schematische Zersägen des Aushiebs kann fast beliebig viel Aufwand betrieben werden. Ausser im Falle von Fichten und akuter Gefahr von Borkenkäferbefall ist dies nie sinnvoll, wird aber doch teilweise noch gemacht. Bei extrem feinem Zersägen erhöht sich der Aufwand sehr stark, es wird von rund einer Verdoppelung ausgegangen.

*Tabelle 8: Korrekturfaktoren für das Zersägen des Aushiebs*

<b>Zersägen des Aushiebs</b>	<b>KF7</b>
minimal (Standard mit hohen Stöcken)	1.0
mittel (bodeneben)	1.2
hoch (bodeneben und fein zersägen)	1.5
extrem (bodeneben und extrem zersägen, asten, Rinde schürfen)	2.0

### **3.3.9 Lufttemperatur (KF8)**

Als letzter Einflussfaktor berücksichtigt das Modell die zum Ausführungszeitpunkt herrschende Lufttemperatur. Jungwaldpflege kann während des ganzen Jahres ausgeführt werden. Klassische Pflegesaison ist der Sommer, Jungwaldpflege wird aber zunehmend auch im Winterhalbjahr ausgeführt, was bei dichten Beständen aus Naturverjüngung mit komplexen Mischungen Vorteile bietet (z.B. Suche und Förderung von einzelnen Eichen) und auch kostenrelevant ist (vgl. Kap. 3.3.5 Belaubung). Bei warmen Temperaturen sinkt die Leistung entsprechend, der Aufwand wird höher.

*Tabelle 9: Korrekturfaktoren für die Produktivität in Abhängigkeit von der herrschenden Lufttemperatur*

<b>Lufttemperatur</b>	<b>KF8</b>
angenehm (<10 Grad)	1.0
warm (10-20 Grad)	1.1
heiss (> 20 Grad)	1.3

### **3.3.10 Kronenschnitte (KF9)**

Kronenschnitte werden mit dem Korrekturfaktor KF9 ins Modell aufgenommen. Sie werden nur in der Dichtung ausgeführt, sind also im Stangenholz 1 nicht relevant. Sie sind nicht bei allen Z-Bäumen nötig, sondern nur bei bestimmten Baumarten und auch bei diesen nur falls die Qualität dies erfordert. Es gibt immer auch Z-Bäume mit genügend regelmässigem Kronenaufbau, welche keine Kronenschnitte erfordern. Kronenschnitte beziehen sich somit auf ein beliebiges Teilkollektiv der Z-Bäume.

Kronenschnitte werden im Normalfall ausschliesslich bei Laubbäumen ausgeführt. Wichtig ist es, Kronenschnitte gleich bei der Pflege auszuführen, damit sie nicht vergessen gehen. Speziell bei den schnellwachsenden Baumarten Kirsche und Nussbaum ist eine Beurteilung und Ausführung von Kronenschnitten in einem Turnus von 2 bis 3 Jahren angezeigt, um allzu starke Äste und entsprechend grosse Verletzungen durch die Schnittmassnahmen zu vermeiden.

Eingangsgrosse ist die Anzahl Bäume pro Hektare mit Kronenschnitten; es kann sein, dass auch nur ein einziger Baum pro Hektare betroffen ist. Weil für die beiden Baumarten, bei welchen am häufigsten Kronenschnitte gemacht werden, nämlich Kirschbaum und Nussbaum-Arten, nicht mehr als 50 Z-Bäume pro Hektare empfohlen werden, können 50 Kronenschnitte pro Hektare als Obergrenze definiert werden.

Eine Systemgrenze besteht bei der Anwendungshöhe des Kronenschnitts: Bis 2.5 m reicht eine Handsäge, welche idealerweise bei der Dichtungspflege immer am Gurt mitgeführt wird. Der Zeitaufwand beschränkt sich in diesem Fall auf das Beurteilen des Baumes und das Entfernen eines oder mehrerer Zwiesel oder Äste. Oberhalb von 2.5 m braucht es eine leichte Leiter oder Stangensäge bzw. Stangenschere. Diese muss mit zusätzlichem Zeitaufwand zum entsprechenden Z-Baum transportiert werden. Möglich ist es oft auch, den Baum zu erklettern, wodurch das Herumtragen der zusätzlichen Geräte entfällt.

Eine Zeitstudie in einer 3 bis 6 m hohen Dichtung von gepflanzten Kirschen ergab für die Ausführung von Kronenschnitten an total 64 Z-Bäumen einen Zeitaufwand von 2 bis 83 Sekunden pro Baum. Im Mittel

wurden 22 Sekunden benötigt, um 1-4 Kronenschnitte pro Baum durchzuführen. Diese Massnahmen wurden vom Boden aus getätigt, zum Teil konnten die jungen Bäume auch heruntergebogen werden, einzelne Bäume wurden erklettert. Suchen der Z-Bäume, Gehzeit zum nächsten Z-Baum sowie Aushieb der Konkurrenten sind bereits im Zeitaufwand für die Z-Baum-Durchforstung in der Dichtung enthalten. Die Dichtung war relativ stark mit Brombeere bewachsen, was die Arbeit tendenziell erschwerte. Für Kronenschnitte bis 2.5 m Ausführungshöhe wird somit von einem Zeitaufwand von 20 Sekunden (also leicht abgerundet) pro Baum ausgegangen, was 1/3 Minute oder 1/180 Stunde entspricht:

$$\text{Zeitaufwand}_{\text{Kronenschnitt bis 2.5m}}[\text{Std.}] = \frac{(\text{Anzahl}_{\text{Z-Bäume mit Kronenschnitt}})}{180}$$

**Kontrolle:**  $\text{Anzahl}_{\text{Z-Bäume mit Kronenschnitt}} \leq \text{Anzahl}_{\text{Z-Bäume}}$

Für Kronenschnitte im Höhenbereich von 2.6 m bis 6 m, ausgeführt mit einer leichten, 3-fach ausziehbaren Anstellleiter an 24 Z-Bäumen der Baumart Kirsche, ergab sich in einer weiteren Zeitstudie ein Aufwand von 67 bis 372 Sekunden, im Mittel 248 Sekunden. Typisch dabei war, dass es sich um zu spät ausgeführte Kronenschnitte handelte, wie es in der Praxis oft vorkommt. Dies bedeutet dickere Äste und somit einen höheren Aufwand (plus grössere Verletzungen für den Z-Baum). Im Mittel wurden also rund 4 Minuten aufgewendet, um die Leiter anzustellen, zu besteigen und einen bis mehrere Äste abzusägen.

Die Gehzeit mit der Leiter oder der Stangensäge ist hier noch nicht enthalten. Diese wäre streng genommen abhängig von der Anzahl Z-Bäume mit Kronenschnitt, d.h. bei wenigen Kronenschnitten ergeben sich grössere Distanzen. Allerdings kann mit dem Erklettern der Bäume in vielen Fällen auf zusätzliche Geräte verzichtet werden. Aufgrund dieser Unsicherheiten wird das allfällige Transportieren einer Leiter oder Stangensäge in eine durchschnittliche Zeit pro Z-Baum mit Kronenschnitt integriert. Für Kronenschnitte im Höhenbereich von 2.6 m bis 6 m wird aus folgenden Gründen ein Zeitaufwand von 4 Minuten pro Z-Baum angenommen:

- In der Zeitstudie handelt es sich um verspätete Kronenschnitte, deshalb ist im Idealfall bei rechtzeitiger Ausführung (bzw. bereits früher erfolgten Kronenschnitten) der Aufwand tiefer bzw. noch „Zeitreserve“ für das allfällige Transportieren der Geräte vorhanden.
- Oft kann geklettert werden, d.h. es ergibt sich kein zusätzlicher Aufwand für Gerätetransport. In diesen Fällen spielt die Anzahl Z-Bäume mit Kronenschnitten keine Rolle.

Somit lautet die Formel für den Zeitaufwand von Kronenschnitten im Höhenbereich von 2.6 bis 6 m:

$$\text{Zeitaufwand}_{\text{Kronenschnitt 2.6 bis 6m}}[\text{Std.}] = \frac{(\text{Anzahl}_{\text{Z-Bäume mit Kronenschnitt}})}{15}$$

**Kontrolle:**  $\text{Anzahl}_{\text{Z-Bäume mit Kronenschnitt}} \leq \text{Anzahl}_{\text{Z-Bäume}}$

Mit der Kontrolle wird sichergestellt, dass die Anzahl Z-Bäume mit Kronenschnitt nicht grösser ist als die Anzahl Z-Bäume sein darf. Es ist also z.B. nicht zulässig, nur 20 Z-Bäume pro Hektare zu fördern, aber an 30 Bäumen Kronenschnitte zu machen. Damit wird sichergestellt, dass nur in Bäume investiert wird, welche tatsächlich auch Z-Bäume sind. Falls dies nicht so ist, soll die Benutzerführung einen entsprechenden Hinweis geben:

„Die Anzahl Z-Bäume mit Kronenschnitt darf die Anzahl Z-Bäume nicht übersteigen.“

Um die Benutzerführung nicht zu kompliziert zu gestalten, kann nur zwischen den beiden Möglichkeiten „Kronenschnitte bis 2.5 m“ und „Kronenschnitte von 2.6 bis 6 m“ gewählt werden. Eine Kombination ist nicht möglich, d.h. es wird von einheitlichen Beständen ausgegangen.

Wie bereits beim Bündeln wird der Kronenschnitt mit einem Zuschlag (additiv) berücksichtigt. Falls keine Kronenschnitte nötig sind, wird der Wert auf „0“ gesetzt. Ebenfalls wird davon ausgegangen, dass sich Hangneigung, Belaubung, Verunkrautung sowie das Vorhandensein oder Fehlen von Rückegassen auch für die Kronenschnitte erschwerend bzw. erleichternd auswirken. Dies gilt für das allfällige zusätzliche

Herumgehen mit Leiter etc., aber auch für die Bewegung um den Baum herum bei den Schnittmassnahmen, welche an steilen Hängen oder bei starker Verunkrautung mühsamer sind. Die Belaubung führt zu eingeschränkter Sicht, was bei der Beurteilung der Kronen betreffend Notwendigkeit von Schnitten relevant ist.

### 3.3.11 Vollständiges Modell mit allen Korrekturfaktoren

Für die Dückung lautet das Produktivitätsmodell:

$$PPH15_{Dückung} = \left( \left( (0.0224 \times \text{Anzahl}_{Z-Bäume} + 1.6226) \times KF1_{Eingriffsstärke} \times KF7_{Zersägen} \times KF8_{Temperatur} \right) + KF2_{Bündeln} + KF9_{Kronenschnitt \text{ bis } 2.5m \text{ oder } 2.6m \text{ bis } 6m} \right) \times (KF3_{Hangneigung} \times KF4_{Belaubung} \times KF5_{Verunkrautung} \times KF6_{Rückegassen})$$

Somit errechnet sich der Zeitaufwand aus der Grundzeit multipliziert mit den Korrekturfaktoren für Eingriffsstärke, Zersägen und Temperatur (welche nur für die Ausführung relevant sind, also nicht für das Bündeln). Dazu wird ein allfälliges Bündeln addiert. Ebenfalls additiv hinzu kommt ein allfälliger Kronenschnitt, wobei es 2 Auswahlmöglichkeiten gibt, je nach Höhenbereich der Massnahme. Der gesamte Term (Ausführung, Bündeln und Kronenschnitt) wird nun mit den weiteren Korrekturfaktoren multipliziert wie Hangneigung, Belaubung, Verunkrautung und Rückegassen. Beispielsweise erhöht eine steile Hanglage den Aufwand für das Eliminieren der Konkurrenten wie auch für das Begehen beim Bündeln. Hingegen ist die Eingriffsstärke nur beim Ausführen relevant; auch für die Temperatur wird davon ausgegangen, dass diese beim Bündeln nicht relevant ist, da es sich um eine körperlich wenig anstrengende Arbeit handelt.

Für Eingriffe in schwachen Stangenhölzern basiert das Modell auf derselben Formel mit anderen Konstanten für die Grundzeit, hier entfällt die Komponente Kronenschnitt (KF9):

$$PPH15_{Stangenholz1} = \left( \left( (0.0230 \times \text{Anzahl}_{Z-Bäume} + 2.4317) \times KF1_{Eingriffsstärke} \times KF7_{Zersägen} \times KF8_{Temperatur} \right) + KF2_{Bündeln} \right) \times (KF3_{Hangneigung} \times KF4_{Belaubung} \times KF5_{Verunkrautung} \times KF6_{Rückegassen})$$

### 3.3.12 Maschinenkosten

Die Maschinenkosten betreffen zur Hauptsache die Motorsägenkosten. Diese basieren ebenfalls auf dem Datenset der 36 vorhandenen Abrechnungen von ausgeführten Jungwaldpflege-Aufträgen (vgl. Abbildung 4). Zielgrösse ist der Treibstoffverbrauch in Litern pro Hektare. Dieser kann mit dem entsprechenden Kostensatz in Kosten pro Hektare umgerechnet werden.

In den Motorsägekosten pro Liter Treibstoff sind der Kettenölverbrauch sowie die Kosten für Amortisation und Unterhalt der Motorsäge eingerechnet.

Einflussgrössen sind die bereits beim Zeitaufwand benötigten Parameter Anzahl Z-Bäume pro Hektare und Anzahl Konkurrenten pro Z-Baum. Daraus lässt sich die Anzahl Konkurrenten pro Hektare errechnen:

$$\text{Anzahl}_{\text{Konkurrenten/ha}} = \text{Anzahl}_{Z-Bäume/ha} \times \text{Anzahl}_{\text{Konkurrenten/Z-Baum}}$$

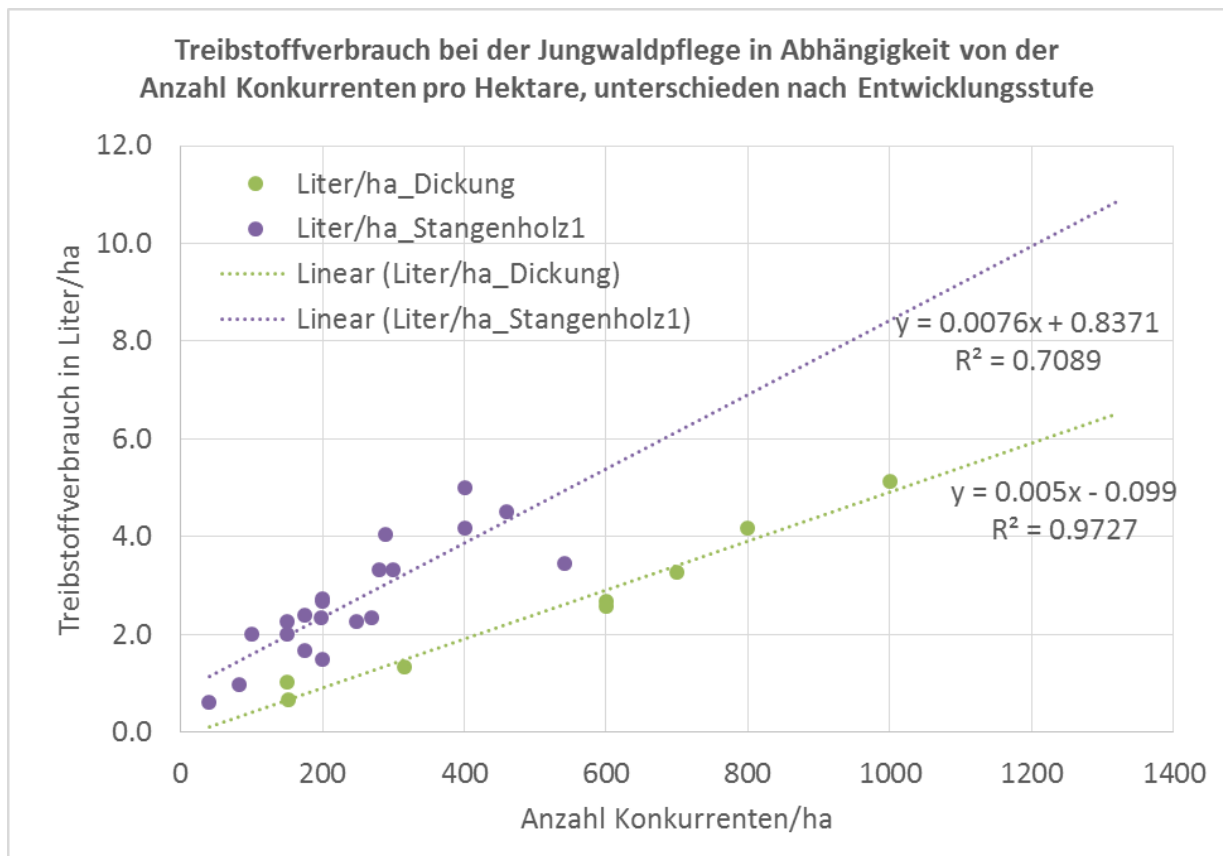


Abbildung 4: Treibstoffverbrauch der Motorsäge bei der Jungwaldpflege.

Der Treibstoffverbrauch ist in schwachen Stangenhölzern erwartungsgemäss höher, da hier die Konkurrenten bereits höhere Durchmesser haben und aufgrund der grösseren Baumhöhen eher bzw. in mehr Stücke zersägt werden müssen um den Aushieb zu Boden zu bringen.

Aus den gefundenen Funktionen (Abbildung 4) lassen sich die Formeln für den Treibstoffverbrauch pro Hektare herleiten. Dabei erhöht sich der Treibstoffverbrauch, je feiner die Bäume zersägt werden. Dies wird durch Multiplikation mit dem Korrekturfaktor7 (vgl. 3.3.8) abgebildet:

$$\begin{aligned} \text{Treibstoffverbrauch/ha}_{\text{Dickung}} \\ = (0.005 \times (\text{Anzahl}_{\text{Z-Bäume/ha}} \times \text{Anzahl}_{\text{Konkurrenten/ZBaum}}) - 0.099) \times \text{KF7} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Treibstoffverbrauch/ha}_{\text{Stangenholz1}} \\ = (0.0076 \times (\text{Anzahl}_{\text{Z-Bäume/ha}} \times \text{Anzahl}_{\text{Konkurrenten/ZBaum}}) + 0.8371) \times \text{KF7} \end{aligned}$$

### 3.3.13 Gerätekosten für Kronenschnitte

Die Gerätekosten für Kronenschnitte in der Dickung wurden dem Produktivitätsmodell Wertastung (Ammann 2018) entnommen. Für leichte Anstellleitern wurden bei Anschaffungskosten von Fr. 150.00 und einer Amortisation über 1'000 Kronenschnitte Kosten von Fr. 0.15 pro Z-Baum mit Kronenschnitt angenommen. Für die Handsäge ergaben sich bei Anschaffungskosten von Fr. 60.00 und einer Amortisation von 150 Astungsbäumen Kosten von Fr. 0.40 pro Baum. Dieser Wert gilt allerdings für Wertastung mit sehr vielen Schnitten pro Baum und höherer Abnutzung aufgrund von Dürrrästen. Bei Kronenschnitten handelt es sich meist um Grünäste und nur einen bis einige wenige Schnitte pro Baum. Die Amortisation wird deshalb auf eine 4-fach höhere Anzahl berechnet, dies ergibt folglich Kosten von Fr. 0.10 pro Baum mit Kronenschnitt. Derselbe Betrag wird auch für Handscheren angenommen. Für Stangensägen/-scheren ergeben sich unter den getroffenen Annahmen (ebenfalls höhere Amortisation) Kosten von Fr. 0.25 pro Baum mit Kronenschnitt.

Tabelle 10: Kosten für die Ausrüstung

Nr.	Ausrüstung	Anschaffungskosten, gemittelt, gerundet	Amortisation, Anzahl Bäume	Kosten pro Baum	Quelle
1	Anstellleiter bis 4.50m	Fr. 150.00	1'000	Fr. 0.15	
2	Handsäge	Fr. 60.00	600	Fr. 0.10	<a href="https://www.murer-shop.ch/">https://www.murer-shop.ch/</a>
3	Handschere	Fr. 60.00	600	Fr. 0.10	<a href="https://www.murer-shop.ch/">https://www.murer-shop.ch/</a>
4	Stangensäge/-schere	Fr. 400.00	1'600	Fr. 0.25	<a href="http://de.rolandschmid.ch/">http://de.rolandschmid.ch/</a>

Für Kronenschnitte bis 2.5 m Höhe betragen die Kosten Fr. 0.10 pro Baum. Für Kronenschnitte von 2.6 bis 6 m Höhe sind es Fr. 0.25 pro Baum, unabhängig von der Methode.

Tabelle 11: Materialkosten für verschiedene Konfigurationen der Ausrüstung

Methode	Notwendige Ausrüstung	Kosten pro Baum
Kronenschnitte bis 2.5m mit Handsäge oder Handschere	2 oder 3	Fr. 0.10
Kronenschnitte 2.6 bis 6m mit Anstellleiter und Handsäge	1+2	Fr. 0.25
Kronenschnitte 2.6 bis 6m mit Stangensäge/-schere	4	Fr. 0.25

Im Maximum ergeben sich bei 50 Z-Bäumen pro Hektare mit Kronenschnitten bis 2.5 m Gerätekosten von Fr. 5.00 pro Hektare und mit Kronenschnitten 2.6 bis 6 m Gerätekosten von Fr. 12.50 pro Hektare. Falls die Bäume erklettert werden, entfallen die Materialkosten der Leiter oder Stangensäge; dieser Fall wird aber nicht berücksichtigt, um das Modell nicht zu kompliziert zu gestalten. Die Gerätekosten sind ohnehin im Vergleich zu den Personalkosten sehr gering.

$$\text{Gerätekosten Kronenschnitt bis 2.5m/ha}_{\text{Dickung}} = (\text{Anzahl}_{\text{Z-Bäume mit Kronenschnitt}}) \times 0.10$$

$$\text{Gerätekosten Kronenschnitt 2.6m bis 6m/ha}_{\text{Dickung}} = (\text{Anzahl}_{\text{Z-Bäume mit Kronenschnitt}}) \times 0.25$$

### 3.3.14 Gesamtkosten der Jungwaldpflege pro Hektare (Systemkosten)

Die Personalkosten werden durch Multiplikation des Zeitaufwandes pro Hektare mit dem Personalkostensatz errechnet:

$$\text{Personalkosten/ha}_{\text{Dickung}} = (\text{Zeitaufwand/ha}_{\text{Dickung}} \times \text{Kostenansatz}_{\text{Personal}})$$

$$\text{Personalkosten/ha}_{\text{Stangenholz1}} = (\text{Zeitaufwand/ha}_{\text{Stangenholz1}} \times \text{Kostenansatz}_{\text{Personal}})$$

Die Maschinenkosten resultieren aus dem Treibstoffverbrauch pro Hektare multipliziert mit dem Maschinenkostensatz:

$$\text{Maschinenkosten/ha}_{\text{Dickung}} = (\text{Treibstoffverbrauch/ha}_{\text{Dickung}} \times \text{Kostenansatz}_{\text{Motorsäge}})$$

$$\text{Maschinenkosten/ha}_{\text{Stangenholz1}} = (\text{Treibstoffverbrauch/ha}_{\text{Stangenholz1}} \times \text{Kostenansatz}_{\text{Motorsäge}})$$

Die Systemkosten pro Hektare setzen sich zusammen aus der Summe aus Personalkosten und Maschinenkosten sowie Gerätekosten für den Kronenschnitt (betrifft nur Dickung):

$$\begin{aligned} \text{Systemkosten/ha}_{\text{Dickung}} &= \text{Personalkosten/ha}_{\text{Dickung}} + \text{Maschinenkosten/ha}_{\text{Dickung}} \\ &+ \text{Gerätekosten Kronenschnitt bis 2.5m oder 2.6 bis 6m} \end{aligned}$$

$$\text{Systemkosten/ha}_{\text{Stangenholz1}} = \text{Personalkosten/ha}_{\text{Stangenholz1}} + \text{Maschinenkosten/ha}_{\text{Stangenholz1}}$$

Für die Kosten pro effektiver Fläche bzw. pro Auftrag werden die Kosten pro Hektare mit der Fläche des Bestandes multipliziert:

$$\text{Kosten pro Auftrag}_{\text{Dickung}} = \text{Systemkosten/ha}_{\text{Dickung}} \times \text{Fläche}$$

$$\text{Kosten pro Auftrag}_{\text{Stangenholz1}} = \text{Systemkosten/ha}_{\text{Stangenholz1}} \times \text{Fläche}$$

## 4 Benutzerführung

Tabelle 12: Übersicht über den Aufbau des Produktivitätsmodells

<b>Fläche [ha]</b>	Zahl zwischen 0.1 und 10.0, <i>Default 0.8</i>	Eingabe
<b>Entwicklungsstufe</b>	Dickung	Auswahl, entweder oder
	<i>Stangenholz 1</i>	
<b>Anzahl Z-Bäume pro Hektare</b>	Zahl zwischen 1 und 2'000, <i>Default 80</i>	Eingabe, ganzzahlig
<b>Anzahl Konkurrenten pro Z-Baum</b>	Zahl zwischen 1 und 15, <i>Default 2.5</i>	Eingabe, 1 Kommastelle möglich
<b>Bündeln</b>	<i>Nein (Z-Bäume bekannt / markiert)</i>	Auswahl, entweder oder
	Ja (Ersteingriff)	
<b>Hangneigung</b>	0-24%	Auswahl, 1 Möglichkeit
	25-44%	
	45-64%	
	65-84%	
	>=85%	
<b>Belaubung</b>	<i>unbelaubt (Winterzustand)</i>	Auswahl, entweder oder
	belaubt (oder sehr dichte Nadelholzbestände)	
<b>Verunkrautung</b>	<i>keine</i>	Auswahl, 1 Möglichkeit
	mittel	
	stark	
	extrem stark	
<b>Rückegassen vorhanden</b>	<i>Ja</i>	Auswahl, entweder oder
	Nein	
<b>Zersägen des Aushiebs</b>	<i>minimal (Standard mit hohen Stöcken)</i>	Auswahl, 1 Möglichkeit
	mittel (bodeneben)	
	hoch (bodeneben und fein zersägen)	
	extrem (bodeneben und extrem zersägen, asten, Rinde schürfen)	
<b>Lufttemperatur</b>	<i>angenehm (bis 10 Grad)</i>	Auswahl, 1 Möglichkeit
	warm (10-20 Grad)	
	heiss (über 20 Grad)	
<b>Anzahl Z-Bäume mit Kronenschnitt*</b>	Zahl zwischen 0 und 50, <i>Default 0</i>	Eingabe, ganzzahlig
<b>Ausführungshöhe Kronenschnitt</b>	<i>bis 2.5 m</i>	Auswahl, entweder oder
	2.6 bis 6 m	

Die für das IT-Tool gewählten Defaultwerte sind **kursiv** geschrieben.

\*Eingaben zum Kronenschnitt sind nur in der Entwicklungsstufe Dickung möglich



## 5 Literatur

Abetz, P. 1975: Eine Entscheidungshilfe für die Durchforstung von Fichtenbeständen. Allg Forstztg 30: 666–667.

Ammann, P. 2018: Produktivitätsmodell Wertastung. Teil A, Grundlagen. Dokumentation im Projekt Juwapfl. Im Auftrag für WSL, Birmensdorf.

Ammann, P. 2018: Leitfaden Wertastung und Kronenschnitt. Herausgeber: CODOC.

Ammann, P., Arnet, A., und Felder U. 2014 : Biologische Rationalisierung auch im Bergwald ? Natürliche Abläufe nutzen. Wald und Holz 11/2014: 34-36.

Ammann P. 2014: Jungwaldpflege / Biologische Rationalisierung. Checkkarte. [http://waldbau-sylviculture.ch/publica/2014\\_FWB\\_Checkkarte\\_BR\\_d.pdf](http://waldbau-sylviculture.ch/publica/2014_FWB_Checkkarte_BR_d.pdf)

Ammann P. 2014: Soins à la jeune forêt / Rationalisation biologique. Carte aide-mémoire. [http://waldbau-sylviculture.ch/publica/2014\\_FWB\\_Checkkarte\\_BR\\_f.pdf](http://waldbau-sylviculture.ch/publica/2014_FWB_Checkkarte_BR_f.pdf)

Ammann P. 2014: Cure al bosco giovane / Razionalizzazione biologica. Scheda pro-memoria. [http://waldbau-sylviculture.ch/publica/2014\\_FWB\\_Checkkarte\\_BR\\_i.pdf](http://waldbau-sylviculture.ch/publica/2014_FWB_Checkkarte_BR_i.pdf)

Ammann P. 2013: Erfolg der Jungwaldpflege im Schweizer Mittelland? Analyse und Folgerungen. Schweiz Z Forstwes 164 (2013) 9: 262–270.

Ammann P. 2005: Biologische Rationalisierung. Teil 1: Einleitung und ökonomische Grundlagen. Wald und Holz 1/2005: 42-45.

Ammann P. Biologische Rationalisierung. Teil 2: Biologische Rationalisierung bei Fichte. Wald und Holz 2/2005: 47-51.

Ammann P. 2005: Biologische Rationalisierung. Teil 3: Biologische Rationalisierung bei Esche, Bergahorn und Buche. Wald und Holz 3/2005: 29-33.

Ammann P. 2005: Biologische Rationalisierung. Teil 4: Biologische Baumartenmischung, Geltungsbereich, Folgerungen. Wald und Holz 4/2005: 35-37.

Ammann P. 2004: Untersuchung der natürlichen Entwicklungsdynamik in Jungwaldbeständen – Biologische Rationalisierung der waldbaulichen Produktion bei Fichte, Esche, Bergahorn und Buche. DISS. ETH Nr. 15761. Shaker Verlag.

Ammann P. 1999: Analyse unbehandelter Jungwaldbestände als Grundlage für neue Pflegekonzepte. Schweiz Z Forstwes 750(1999) 12: 460-470.

Ammann, P. 1997: Wie wirksam ist unsere Jungwaldpflege? Wald und Holz 13/1997: 7-11.

Forstkalender 2018. Tabelle über den Arbeitsaufwand von Kultur- und Pflegearbeiten. Zusammengestellt von M. Breitenstein und V. Erni, WSL, Birmensdorf (2004). (Die Originaldaten wurden in den Jahren 1960 bis 1993 publiziert!)

Leibundgut, H. 1966: Die Waldpflege. Bern: Haupt 192 S.

Schädelin, W. 1934: Die Durchforstung als Auslese- und Veredelungsbetrieb höchster Wertleistung. Bern: Haupt. 96 S.

Schütz, J.-Ph. 1996: Bedeutung und Möglichkeiten der biologischen Rationalisierung im Forstbetrieb. Schweiz Z Forstwes 147: 315–349.

Wilhelm, G. J. und Rieger, H, 2013: Naturnahe Waldwirtschaft mit der QD-Strategie. Stuttgart, Ulmer Verlag.