



Netze zum Schutz von Fichten- und Tannenholz gegen Insektenschäden

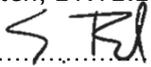
Bachelorarbeit von Sebastian Fassbind
Vorgelegt bei Anke Schütze und Dr. Simon Blaser
Zollikofen, 22. Dezember 2023

Selbstständigkeitserklärung und Gewährung der Nutzungsrechte

Durch meine Unterschrift erkläre ich, dass

- ich die „Richtlinien über den Umgang mit Plagiaten an der Berner Fachhochschule“ kenne und mir die Konsequenzen bei deren Nichtbeachtung bekannt sind,
- ich diese Arbeit in Übereinstimmung mit diesen Grundsätzen erstellt habe,
- ich diese Arbeit persönlich und selbständig erstellt habe,
- ich mich einverstanden erkläre, dass meine Arbeit mit einer Plagiat-Erkennungssoftware getestet und in die BFH-Datenbank der Software aufgenommen wird,
- ich der HAFL ein kostenloses, unbefristetes, nicht-exklusives Nutzungsrecht an meiner Arbeit gewähre.

Ort, Datum Olten, 21.12.2023

Unterschrift 

Mitteilung über die Verwendung von studentischen Arbeiten der Hochschule für Agrar-, Forst und Lebensmittelwissenschaften HAFL

Alle Rechte an Semesterarbeiten, Minorarbeiten sowie Bachelor und Master Theses der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL sind im Besitze des/der Verfasser/in der Arbeit. Die HAFL genießt jedoch ein kostenloses, unbefristetes, nicht-exklusives Nutzungsrecht an den Arbeiten ihrer Studierenden.

Semesterarbeiten, Minorarbeiten sowie Bachelor und Master Theses sind Bestandteile des Ausbildungsprogramms und werden von den Studierenden selbständig verfasst. Die HAFL übernimmt keine Verantwortung für eventuelle Fehler in diesen Arbeiten und haftet nicht für möglicherweise daraus entstehende Schäden

Zollikofen, Dezember 2015
Die Direktion

Dank

Ein grosser Dank geht an alle Beteiligten des Projekts. Dazu gehören die Kantone Bern, Baselland, Baselstadt, Aargau und Zürich. Dieser Dank geht auch an alle genannten Forstbetriebe und Sägereien, welche sich tatkräftig beim Anlegen der Polter sowie deren Auswertung beteiligt haben.

Weiter bedanken möchte ich mich bei Sharon Möller und Romain Angeleri, welche wichtige Daten für die Auswertung beigesteuert haben. Auch der WSL, welche mir beratend zur Seite stand, möchte ich danken.

Waldorganisationen

Forst Surbtal
Forstbetrieb Illnau-Effretikon
Forstbetrieb Sigriswil
Forstbetrieb unteres Laufental
Forstbetrieb Wid
Forstrevier Ergolzquelle
Forstrevier Riedbach
Frienisberger Holz AG
Staatsforstbetrieb Kanton Bern
Staatswaldbetrieb Aare-Rhein
Staatswald Turbenthal
Wald Kommunal +
WOKA Waldorganisation Kiesen- & Aaretal AG
Zweckverband Forstrevier oberes Diegtertal

Sägereien

Deligno AG
Gebr. Knecht AG
Lang Sägewerk AG
Meier Holz AG
OLWO AG
Sägewerk Berger AG
Schafroth AG
Schwere AG

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	1
Tabellenverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis	2
Zusammenfassung	3
1 Einleitung	4
2 Stand der Forschung	5
2.1 Holzbefallende Käferarten	5
2.1.1 <i>Trypodendron lineatum</i> (Liniertes Nutzholzborkenkäfer)	5
2.1.2 <i>Hylecoetus dermestoides</i> (Sägehörniger Werftkäfer)	6
2.1.3 Cerambycidae (Bockkäfer)	7
2.1.3.1 <i>Tetropium castaneum</i> (Fichtenbock)	7
2.1.3.2 <i>Monochamus sartor</i> (Schneiderbock)	7
2.1.3.3 <i>Monochamus galloprovincialis</i> (Bäckerbock)	7
2.1.3.4 <i>Rhagium bifasciatum</i> (Zweibindiger Zangenbock)	7
2.1.4 Siricidae (Holzwespen)	8
2.2 Einfluss von Insektenschäden auf die Holzigenschaften	8
2.3 Chemische Holzschutzmittel	10
2.3.1 Chemische Pflanzenschutzmittel (PSM) in flüssiger Form	10
2.3.2 Mit PSM behandelte Netze	11
2.4 Unbehandelte Netze	11
2.4.1 Versuch WaldZug 2021	11
2.4.2 Versuch BFH-HAFL 2022	11
3 Material und Methoden	12
3.1 Ermittlung der Schutzwirkung von Netzen	12
3.1.1 Verwendetes Netz	12
3.1.2 Polteranlage und Standorte	12
3.1.2.1 Nullpolter	13
3.1.2.2 Mit Netz geschützte Holzpolter	13
3.1.3 Zeitplan	14
3.1.4 Insektenfallen	14
3.1.5 Wahl der auszuwertenden Stämme	15
3.1.6 Auswertung der Stämme im Sägewerk	15
3.1.6.1 Differenzierung der Schadinsekten	16
3.1.7 Statistische Auswertung	16
3.1.7.1 Analyse der Schutzwirkung von Netzen nach Befallstyp mittels Wilcox-Test	16
3.1.7.2 Analyse der gesamthaften Schutzwirkung von Netzen gegen Insektenschäden mittels Wilcox-Test	16
3.1.7.3 Ermittlung des Einflusses der Lage der Stämme im Polter auf die Befallsintensität	17
3.2 Ermittlung der Kosten für die Anwendung von Netzen und PSM	17
3.2.1 Zeitstudie für Pflanzenschutzmittel in flüssiger Form	18
3.2.2 Zeitstudie für die Netzanwendung	20
3.2.3 Statistische Betrachtung der Kostenermittlung	25
4 Ergebnisse	26
4.1 Auswertung der Falleninhalte	26
4.2 Schutzwirkung Netze	26
4.2.1 Schutzwirkung der Netze gegen die jeweiligen Befallstypen	27
4.2.1.1 Befallstyp 1	27
4.2.1.2 Befallstyp 2	28
4.2.1.3 Befallstyp 3	29
4.2.2 Gesamthafte Schutzwirkung der Netze gegen Insektenbefall	30
4.2.3 Einfluss der Lage der Stämme im Polter als Faktor der Befallsintensität	31

4.2.3.1 Netzgeschützte Polter	31
4.2.3.2 Nullpolter	33
4.3 Betrachtung der Kosten für die Anwendung von Netzen und flüssigen PSM	35
4.3.1 Pflanzenschutzmittel in flüssiger Form	35
4.3.2 Netze	37
4.3.2.1 Kostenanteile	38
5 Diskussion	40
5.1 Bedeutung der mittels Fallen erhobenen Daten	40
5.2 Schutzwirkung von Netzen gegen Befall des Holzes durch Schadinsekten	40
5.2.1 Bewertung des durch den Befall am Holz entstandenen Schadensausmass	40
5.2.2 Befallsintensität der Polter nach Exposition	41
5.3 Diskussion der Kostenbetrachtung für Polter, welche mit Netzen bzw. mit PSM geschützt werden	41
5.3.1 PSM	41
5.3.2 Netze	43
5.3.3 Vergleich der Kosten zwischen PSM-Behandlung und Netz	45
6 Folgerungen	47
7 Literaturverzeichnis	49
Anhang 51	

Abkürzungsverzeichnis

PSM	Pflanzenschutzmittel
PW	Personenwagen
MS	Motorsäge
Fm	Festmeter
SD	Standardabweichung
Lfm	Laufmeter

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ansätze zur Kostenkalkulation	17
Tabelle 2: Definition von Start und Ende der ausgeführten Teilschritte beim Behandeln der Polter mit PSM	19
Tabelle 3: Definition von Start und Ende der ausgeführten Teilschritte beim Abdecken der Polter mit Netzen	23
Tabelle 4: Definition der Teilarbeitsschritte beim Entfernen des Netzes von den Versuchspoltern	25
Tabelle 5: Vorhandensein der Käferarten <i>Trypodendron lineatum</i> , <i>Hylecoetus dermestoides</i> und <i>Rhagium bifasciatum</i> nach Standorten	26
Tabelle 6: Aufgewendete Arbeits- bzw. Fahrzeit zum Schutz mit flüssigen PSM pro Polter	35
Tabelle 7: Ermittelte Kosten für die Anwendung flüssigen pro Polter (inkl. Fahrzeit)	35
Tabelle 8: Aufgewendete Arbeits- bzw. Fahrzeit zum Schutz mit Netzen pro Polter	37
Tabelle 9: Ermittelte Kosten für die Anwendung von Schutznetzen pro Polter (inkl. Fahrzeit)	37

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Polter zum Lagern von Holz im Wald (eigene Abbildung)	4
Abbildung 2: adulter Trypodendron lineatum (WSL, ohne Datum)	5
Abbildung 3: Typischer Brutgang des Trypodendron lineatum	5
Abbildung 4: Austrittslöcher von Hylecoetus dermestoides (WSL ohne Datum-b)	6
Abbildung 5: Männchen und Weibchen des Hylecoetus dermestoides (WSL ohne Datum-b)	6
Abbildung 6: Fichtenbock (Tetropium castaneum) (WSL ohne Datum)	7
Abbildung 7: Larve des Zangenbocks	7
Abbildung 8: Riesenholzwespe (Urocerus gigas) (blogger.com 2014)	8
Abbildung 9: Einteilung der Stämme im Polter nach Exposition (Graf, E., Manser, P. 1993)	8
Abbildung 10: Einsatz von flüssigen PSM zum Schutz von Wertholz (LWF ohne Datum)	10
Abbildung 11: Storanet Schutznetz (L.E.S. CR GARD IM PLANTAX ohne Datum)	11
Abbildung 12: Schematische Darstellung des minimalen Polters	13
Abbildung 13: Mit Netz abgedeckter Holzpolter in den Berner Voralpen	13
Abbildung 14: Fallenaufbau nach Gossner et al. (ohne Datum, 4)	14
Abbildung 15: Für die Auswertung markierte Stämme im Holzpolter	15
Abbildung 16: Korridor, in welchem Äste und Sträucher rund um den Polter entfernt werden	20
Abbildung 17: Ausbreiten des Netzes	21
Abbildung 18: Anbringen des Netzes über dem Polter	21
Abbildung 19: Beschweren des Netzes	22
Abbildung 20: Verteilung der Befallsintensität durch Befallstyp 1 pro Polter	27
Abbildung 21: Festgestellte Schäden an einem der verwendeten Netze	28
Abbildung 22: Verteilung der Befallsintensität durch Befallstyp 3 pro Polter	29
Abbildung 23: Verteilung der Befallsintensität durch die Summe aller Befallstypen pro Polter	30
Abbildung 24: Befallsintensität der netzgeschützten Polter durch Befallstyp 1 nach Exposition	31
Abbildung 25: Befallsintensität der netzgeschützten Polter durch Befallstyp 3 nach Exposition	32
Abbildung 26: Befallsintensität der Nullpolter durch Befallstyp 1 nach Exposition	33
Abbildung 27: Befallsintensität der Nullpolter durch Befallstyp 3 nach Exposition	34
Abbildung 28: Aufteilung der Kosten für die Behandlung von Holzpoltern mit PSM	36
Abbildung 29: Aufgewendete Zeit pro PSM Polter aufgeteilt in Fahr- und Arbeitszeit	36
Abbildung 30: Aufteilung der Kosten für die Behandlung von Holzpoltern mit Netz (1x verwendet)	38
Abbildung 31: Aufteilung der Kosten für die Behandlung von Holzpoltern mit Netz (5x verwendet)	38
Abbildung 32: Aufgewendete Zeit pro netzgeschütztem Polter, aufgeteilt in Fahr- und Arbeitszeit	39
Abbildung 33: Summierte Befallsintensität der Polter mit sichtbarem Grenzwert von 12 Einstichen/Lfm	40
Abbildung 34: lineare Regression von Poltervolumen und Kosten pro fm bei der Anwendung von PSM (ohne Fahrzeiten)	42
Abbildung 35: lineare Regression von Poltervolumen und Kosten pro Fm beim Schutz mit Netz (ohne Fahrzeiten)	43
Abbildung 36: Anteil der Kosten des Netzes, bei mehrmaliger Verwendung	44
Abbildung 37: Kosten und deren Anteile nach Schutzmethode (inkl. Fahrzeit)	45
Abbildung 38: Kosten und deren Anteile nach Schutzmethode (exkl. Fahrzeit)	46

Zusammenfassung

Sebastian Fassbind, Netze zum Schutz von Fichten- und Tannenholz gegen Insektenschäden

Oft sind in der Holzverarbeitenden Industrie nicht genügend Lagerplätze vorhanden, um Rohholz für die ganzjährige Verarbeitung bereitzustellen. Dennoch sind die Betriebe während dem ganzen Jahr auf im Winter geschlagenes Holz angewiesen. Dies führt dazu, dass Wertholz oft im Wald gelagert werden muss. Um dieses im Wald gelagerte Wertholz vor Befall durch Insekten zu schützen, kamen bisher meist chemische Pflanzenschutzmittel (PSM) zum Einsatz. Die Zulassung solcher PSM für den Wald ist jedoch befristet und es besteht Unsicherheit darüber, ob sie nach dem Ablauf der Frist durch die Hersteller erneuert werden. Zudem stehen PSM zunehmend in der Kritik, Umweltschäden zu verursachen und gesundheitsschädlich zu sein. Daher wurde in einem vorhergehenden Projekt ein feinmaschiges Netz (Maschenweite: 0.77 x 0.27mm) bezüglich der Schutzwirkung gegen technische Holzschädlinge getestet. Als Weiterführung des Projektes, wurden in dieser Arbeit einerseits die Schutzwirkung als auch die Kosten für die Anwendung weiter untersucht.

Für die Beurteilung der Schutzwirkung wurden an verschiedenen Standorten 23 Holzpolter mit Netzen geschützt. An jedem Polterstandort wurde ein weiterer ungeschützter Polter, ein sogenannter Nullpolter, erstellt. Anschliessend wurde die Befallsintensität (Einstiche pro Laufmeter (Lfm)) zwischen dem jeweiligen Nullpolter und dem mit Netz geschützten Polter verglichen. Zusätzlich wurden drei Befallstypen nach den verursachenden Insekten und dem Schadensbild definiert. Dem Befallstyp 1 wurden die Käferarten *Trypodendron lineatum* und *Hylecoetus dermestoides* zugeordnet. Diese verursachten Löcher mit einem Durchmesser von bis zu 2mm. Dabei ist zu beachten, dass *Hylecoetus dermestoides* nur beim Eintritt ins Holz Schäden vom Befallstyp 1 verursacht. Beim Austreten der adulten Käfer bohrt *Hylecoetus dermestoides* grössere Löcher von rund 3-5mm, welche dem Befallstyp 2 zugeordnet wurden. Der Befallstyp 3 wurde definiert als Schaden durch die Insekten der Familie der Cerambycidae sowie der Siricidae mit Löchern von 5 bis 10mm.

Aus verschiedenen Gründen konnten nicht alle Polter ausgewertet werden. Dennoch bestätigte sich die Schutzwirkung der Netze gegen zwei der drei Befallstypen. Für Befallstyp 1 war die Befallsintensität mit Netz 84x kleiner und betrug im Mittelwert 0.01 Einstiche/Lfm (Wilcox-Test, $p=2.9 \cdot 10^{-4}$, $n=19$). Für Befallstyp 3 war die Befallsintensität mit Netz 5,2-mal kleiner und betrug im Mittelwert 0.06 Einstiche/Lfm (Wilcox-Test, $P=0.028$, $n=19$). Die Häufigkeit von Befallstyp 2 war für eine statistische Auswertung zu klein. In einer gesamthaften Betrachtung wurden alle drei Befallstypen summiert. Dabei ergab sich, dass die Befallsintensität unter Einbezug aller Befallstypen fast 17-fach kleiner war mit Netz als ohne (Wilcox-Test, $p=1.07 \cdot 10^{-4}$, $n=19$). Im Mittel wiesen Polter mit Netz eine Befallsintensität von 0.07 Einstichen/Lfm auf.

Gemäss verschiedenen Literaturquellen führen Schäden vom Befallstyp 1 zu keinen Stabilitätseinbußen beim Holz, sondern nur zu optischen Mängeln und damit einem Wertverlust. Bezüglich Befallstyp 2 und 3 konnte keine Aussage zur Stabilität nach einem Befall gemacht werden.

Weiter wurde bei sieben mit Netz und fünf mit PSM geschützten Holzpoltern eine Zeitstudie zur Kostenermittlung durchgeführt. Kann das Netz fünf Mal wiederverwendet werden, lagen die Kosten bei CHF 5.24 pro Festmeter (Fm), diejenigen der Anwendung von PSM bei 2.34 CHF/Fm.

Das durchschnittliche Volumen der mit Netz geschützten Polter lag bei 44 Fm. Die Kosten setzten sich im Versuch aus Materialkosten (24%), Personalkosten (70%) und Maschinenkosten (6%) zusammen. Die mit PSM geschützten Polter waren im Mittel 55 Fm gross. Hier setzten sich die Kosten zusammen aus Materialkosten (40%), Personalkosten (48%) und Maschinenkosten (12%).

Es ist davon auszugehen, dass die Kosten pro Fm mit zunehmendem Poltervolumen abnehmen.

Die Folgerung aus der vorliegenden Arbeit ist, dass die Netze eine effektive Alternative zum Schutz mit PSM sein können. Allerdings fielen die Kosten für den Holzschutz mit Netz wesentlich höher aus. Nützlich sind Netze speziell dann, wenn PSM aufgrund von fehlenden zugelassenen Produkten oder aufgrund von politischem Druck im Wald nicht mehr verfügbar sind.

Schlagwörter: Holzschutz, Holzschutznetz, Pflanzenschutzmittel

1 Einleitung

Holz ist ein wichtiger Rohstoff für verschiedenste Anwendungen im täglichen Leben. Alleine in der Schweiz sind im Jahr 2022 rund 5.2 Millionen Kubikmeter Holz geschlagen worden (BFS 2022). Rund 2 Millionen Kubikmeter wurden in lokalen Sägereien verarbeitet (ebd.). Davon profitieren rund 3000 Beschäftigte in der Branche (Wirth et al. 2013). Wird die daran anschliessende Holzverarbeitende Industrie mit eingerechnet, sind gar 80'000 Arbeitsplätze vom Schweizer Holz abhängig (ebd.).

Damit die Produktion ganzjährig aufrechterhalten werden kann, sind grosse Lagerflächen nötig. Dabei sind die wenigsten Schweizer Sägereien im Stande, diese Flächen bereitzustellen. Zudem weist im Sommer geschlagenes Holz schlechtere Eigenschaften für die anschliessende Weiterverarbeitung auf als im Winter geschlagenes Holz (Schütze et al. 2020).

Als gängige Methode hat sich dafür die Lagerung des Holzes im Wald etabliert. Nach einem Holzschlag wird das geerntete Holz vor Ort an sogenannten Poltern (Abbildung 1) gelagert. Der Transport ins Sägewerk erfolgt erst kurz vor der Verarbeitung. Damit ist es möglich, die Lagerplätze der Sägereien verhältnismässig klein und kosteneffizient zu halten.



Abbildung 1: Polter zum Lagern von Holz im Wald (eigene Abbildung)

Während der grosszügig verfügbare Platz zur Holzlagerung im Wald ein grosser Vorteil ist, gibt es auch Nachteile, welche zu beachten sind. Dazu gehört unter anderem das Risiko des Befalls durch Schadinsekten. Die Schadinsekten werden dabei in zwei Kategorien aufgeteilt. Einerseits gibt es die rindenbrütenden Käfer, welche (fast) nicht ins Holz eindringen und andererseits die Holzbrütenden Käfer, welche auch Frassschäden im Holz hinterlassen (Schütze et al. 2020). Die rindenbrütenden Käfer stellen hauptsächlich ein Waldschutzrisiko für den umliegenden stehenden Bestand dar (ebd.). Die Holzbrütenden Käfer befallen meist nur Totholz und gefälltes Holz und legen Brutgänge im Holzkörper an (ebd.). In beiden Fällen kommt es durch den Befall zu einer Wertminderung und damit zu einem finanziellen Schaden, welcher vermieden werden soll (Schütze et al. 2020).

Für den Schutz vor Schäden am liegenden Nutzholz sind unterschiedliche Strategien bekannt. Dazu gehören die Entrindung, das Lagern des Holzes ausserhalb des Waldes, die Nasslagerung sowie die Folienlagerung (Schütze et al. 2020). Jedoch kann vorweggenommen werden, dass alle hier genannten Methoden in der Praxis eher selten Anwendung finden (ebd.). Der Grund dafür ist, dass die genannten Anwendungen meist zu teuer sind oder nicht zu dem gewünschten Ergebnis führen. (Schütze et al. 2020).

In der Schweiz wird am häufigsten die in Kapitel 2.3.1 beschriebene Behandlung des im Wald gelagerten Holzes mit chemischen Pflanzenschutzmitteln angewendet (Schütze et al. 2020). Diese Methode wird jedoch aufgrund der negativen Einflüsse auf die Umwelt und den Gesundheitsrisiken zunehmend kritisch gesehen (ebd.). So sollen in der Schweiz bis 2027 die durch PSM bestehenden Risiken für Gewässer naturnahe Lebensräume um 50% gesenkt werden (Ständerat 2023).

Da bisher keine vollends befriedigende und umweltfreundliche Methode zum Schutz des im Wald gelagerten Holzes besteht, wurde 2021 ein Projekt gestartet, bei welchem Netze, welche bereits im Weinbau gegen Kirschesigfliegen verwendet werden, als mechanische Barriere vor dem Eindringen von Schadinsekten in die Holzpolter schützen sollen (Fassbind 2022). Die Ergebnisse zur Effektivität der Holzschutznetze waren dabei sehr erfreulich (ebd.). Allerdings wurde die Stichprobe als zu klein beschrieben, um eine gewichtige Aussage machen zu können (ebd.).

Als Fortsetzung des Versuches von 2021/2022 soll in der vorliegenden Arbeit einerseits die Stichprobe vergrössert werden und andererseits zusätzlich eine Betrachtung der Kosten für die neu angewandte Methode stattfinden. Damit soll überprüft werden, ob eine Anwendung der Netze eine praktikable Alternative für die Branche darstellt.

2 Stand der Forschung

2.1 Holzbefallende Käferarten

Im folgenden Kapitel soll auf Holzschädlinge eingegangen werden, welche eine Minderung der Qualität von liegendem Rundholz verursachen. Namentlich sind das Nutzholzborkenkäfer. Diese legen Brutgänge bis in den Holzkörper hinein an.

Rindenbrütende Insekten wie Borkenkäfer werden nicht behandelt. Solche führen zwar auch zu einer Wertminderung, können jedoch den Baum schon lange vor dem Holzschlag befallen und schädigen.

2.1.1 *Trypodendron lineatum* (Liniertes Nutzholzborkenkäfer)

Der Nutzholzborkenkäfer *Trypodendron lineatum* (auch *Xyloterus lineatus*, Abbildung 2) ist ein Vertreter der Nutzholzborkenkäfer (Schmidt und Roth 1975, 349). Der frisch ausgewachsene Käfer hat eine Grösse von ca. 3.5mm und die Schwärmzeit dauert von März bis August (Niesar 2013, 1). Dabei kommt jedoch nur eine Käfergeneration pro Jahr vor (ebd.). Da ein einzelner adulter Käfer mehrere Brutstätten in verschiedenen Bäumen anlegt, kann der Eindruck von mehreren Generationen pro Jahr entstehen (Niesar 2013, 1).

Für die Fortpflanzung ist der Käfer auf bereits liegendes Totholz angewiesen (Niesar 2013, 1). Dafür eignet sich sowohl natürlich vorkommendes Totholz im Wald als auch durch die Holzwirtschaft geschlagenes Holz. Bevorzugt wird dabei Fichten- oder Tannenholz (Niesar 2013, 1). Ist solches nicht ausreichend vorhanden, kann auch Kiefern- und Lärchenholz befallen werden (ebd.). Entgegen der verbreiteten Annahme, dass Entrinden vor dem Befall durch den linierten Nutzholzborkenkäfer schützt, sind auch entrindete Stämme nicht befallsfrei (WSL ohne Datum-c).

Zudem muss das Holz eine Holzfeuchte zwischen 30% und 120% aufweisen, damit der eingebrachte Ambrosiapilz gedeihen kann (Niesar 2013, 1). Das befruchtete Weibchen bohrt sich für die Eiablage ins Holz (WSL ohne Datum-c). Dabei wird das Bohrmehl ausgestossen (ebd.). Die entstehenden Bohrmehlhäufchen sind von aussen sichtbar (ebd.). Auf beiden Seiten des Hauptganges werden sogenannte Muttergänge gebohrt (Abbildung 3), in welchen das Weibchen die Eier ablegt (ebd.).

Zusammen mit den Eiern trägt der Käfer bei der Eiablage Pilzsporen eines Pilzes mit sich, welcher den Larven nach dem Schlüpfen als Nahrung dient. Auf den Reifungsfrass der Larven folgt auch die Verpuppung noch im Holz (ebd.). Zwischen Anfang Juli und Mitte August verlassen die nun adulten Käfer den Brutbaum und graben sich zur anschliessenden Winterruhe in einem Umkreis von maximal 30 Meter in die Streuschicht, um dort bis im nächsten Frühjahr zu überwintern (Niesar 2013, 2). Um im Frühjahr die Winterruhe zu verlassen, wird eine Bodentemperatur von mindestens 10°C und eine Lufttemperatur von mindestens 15°C benötigt (ebd.). Diese Temperaturen werden je nach geografischer Lage das erste Mal etwa Mitte März erreicht.



Abbildung 2: adulter *Trypodendron lineatum* (WSL, ohne Datum)



Abbildung 3: Typischer Brutgang des *Trypodendron lineatum*

Für die Gattung der Nutzholzborkenkäfer sind die bereits beschriebenen, bis ins Holz hinein angelegten, Brutgänge typisch (ebd.). Im Falle des *Trypodendron lineatum* werden für die maximale Tiefe je nach Quelle unterschiedliche Werte angegeben. So werden in der Studie «Einfluss von Xylotherus-Einbohröffnungen auf die Festigkeit von Holzmasten» von Schmidt und Roth (1975, 349) maximale Tiefen von bis zu 5 cm beschrieben, während Glos und Seerieder (1986, 30) in «Ausmass eines Xyloterus lineatus Befalls an Kiefern- und Fichtenholz» bei Föhrenholz eine maximale Einbohrtiefe von 10.2cm festgestellt haben. Dabei wurde hauptsächlich das Splintholz befallen (Glos und Seerieder 1986, 30). Die maximale Einbohrtiefe ins Kernholz betrug bei der Fichte maximal 1.3cm und bei der Föhre sogar maximal nur 0.6cm (ebd.). Der Durchmesser der Einbohröffnungen beträgt dabei 1-2mm (Schmidt und Roth 1975, 349). Obwohl beide Studien bereits vor längerer Zeit durchgeführt wurden, kann davon ausgegangen werden, dass die gesammelten Daten weiterhin relevant sind.

2.1.2 *Hylecoetus dermestoides* (Sägehörniger Werftkäfer)

Hylecoetus dermestoides, zu Deutsch Sägehörniger Werftkäfer (Abbildung 5), ist wie *Trypodendron lineatum* ein technischer Schädling an Nutzholz (Lohrer 2013). Die Käfer können eine Länge zwischen 6 und 18 mm erreichen (ebd.). Dabei sind die männlichen Individuen etwas kleiner und braungelb bis schwarz gefärbt (ebd.). Die Weibchen sind grösser und gelbbraun (ebd.). Der ausgewachsene Käfer nimmt keine Nahrung auf und lebt nur sehr kurz, maximal wenige Tage (Lohrer 2013). Das befruchtete Weibchen legt seine Eier anders als *Trypodendron lineatum* nicht ins Holz ab, sondern verwendet dafür bereits vorhandene Risse in Holz und Rinde (WSL ohne Datum-d). Befallen werden geschwächte Bäume oder Totholz (Lohrer 2013). Darunter fällt auch von der Forstwirtschaft gefälltes Nutzholz. Die hauptsächlich befallenen Holzarten sind Buche, Eiche, Birke und Fichte (ebd.). Nach dem Ablegen der Eier durch den weiblichen Käfer schlüpfen die Larven nach etwa zwei Wochen (WSL ohne Datum-d). Anschliessend bohren sich diese in das Holz (ebd.). Dieser Vorgang führt erst zum eigentlichen Holzschaden, wobei das Einbohrloch mit nur ca. 0.3mm Durchmesser noch sehr klein ist (Lohrer 2013). Die Einbohrlöcher sind dabei derer des *Trypodendron lineatum* sehr ähnlich, jedoch unverzweigt. Während ein bis drei Jahren entwickelt sich die Larve im Holzinnern und ernährt sich dabei von dem durch den Mutterkäfer eingebrachten Ambrosiapilz (ebd.). Da sowohl der Sägehörnige Werftkäfer als auch der linierte Nutzholzborkenkäfer vom Wachstum des Ambrosiapilzes abhängig sind, brauchen beide Käferarten sehr ähnliche Holzeigenschaften, um gedeihen zu können. Die Einbohrlöcher von *Hylecoetus dermestoides* sind ebenfalls schwarz verfärbt (WSL ohne Datum-d). Während ihrer Entwicklungszeit kann die Larve tiefe Gänge ins Holz bohren. Je nach Quelle werden unterschiedliche maximale Längen des Ganges angegeben. Die WSL (ohne Datum-d) schreibt von maximal 25cm, während Lohrer (2013) von maximal 30cm spricht. Die Gänge verlaufen ohne sich zu verzweigen radial, bzw. bei dünneren Holzdurchmessern auch parallel zur Holzoberfläche (Lohrer 2013). Nach der langen Wachstumsphase verpuppt sich die Larve für eine Woche anfangs Frühling (ebd.). Der nach der Verpuppung vollständig entwickelte Käfer verlässt nun das Holz wieder über ein 3-5mm grosses, kreisrundes Loch (Abbildung 4) (WSL ohne Datum-d).



Abbildung 5: Männchen und Weibchen des *Hylecoetus dermestoides* (WSL ohne Datum-b)



Abbildung 4: Austrittslöcher von *Hylecoetus dermestoides* (WSL ohne Datum-b)

2.1.3 Cerambycidae (Bockkäfer)

In der Familie der Bockkäfer (Cerambycidae) sind verschiedene Arten vertreten, welche technische Schäden an liegendem Nutzholz verursachen können. Die drei wichtigsten sind der Fichtenbock (*Tetropium castaneum*), der Schneiderbock (auch Langhornbock, *Monochamus sartor*) und der Bäckerbock (*Monochamus galloprovincialis*) (Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft ohne Datum). Weiter kann der Zangenbock (*Rhagium bifasciatum*) ein relevanter Schädling sein (Blaser S. 2023, persönliche Mitteilung). Der hauptsächlich verursachte Schaden sind die ovalen, bis zu einem Zentimeter breiten, Gänge (ebd.).

2.1.3.1 *Tetropium castaneum* (Fichtenbock)

Die Entwicklung des Fichtenbocks (Abbildung 6) dauert ein bis zu zwei Jahre (WSL ohne Datumb). Nach dem Verlassen der Puppenwiege als fertig entwickelter Käfer ist die Flugzeit von April bis Juli (ebd.). In dieser Zeit legt der weibliche Fichtenbock seine Eier unter Rindenschuppen von Fichten ab (ebd.). Nach dem Schlüpfen fressen die Larven Hakengänge bis in das Nutzholz (ebd.). Am Ende jedes Hakenganges befindet sich die sog. Puppenwiege, in welcher sich die Larve verpuppt (WSL ohne Datum).



Abbildung 6: Fichtenbock (*Tetropium castaneum*) (WSL ohne Datuma)

2.1.3.2 *Monochamus sartor* (Schneiderbock)

Der Schneiderbock, auch Langhornbock genannt, ist in seiner Lebensweise nicht wesentlich verschieden zum Fichtenbock. Er befällt hauptsächlich Fichten, seltener auch Tannen und Föhren (insektenbox 2023). Seine Flugzeit ist von Juli bis September (ebd.).

2.1.3.3 *Monochamus galloprovincialis* (Bäckerbock)

Wie der Fichtenbock und der Schneiderbock ist auch der Bäckerbock ein Schädling für liegendes Fichtenholz (Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft ohne Datum). Der wesentliche Unterschied zu den anderen beiden Arten ist die Flugzeit, welche erst im Mai beginnt und bis Ende September andauert (EU-Insekten ohne Datum).



Abbildung 7: Larve des Zangenbocks

2.1.3.4 *Rhagium bifasciatum* (Zweibindiger Zangenbock)

Auch der Zangenbock gehört zu der Familie der Bockkäfer. Die Larve des Zangenbocks trägt eine gut erkennbare Zange am Körperende (Abbildung 7). Die Flugzeit der adulten Käfer ist von Mai bis August (Steiner A. ohne Datum).

2.1.4 Siricidae (Holzwespen)

Unter der Familie Siricidae sind verschiedene Vertreter bekannt, welche als Holzschädlinge gelten, unter anderem die Riesenholzwespe (Abbildung 8). Gemeinsam haben sie alle, dass das befruchtete Weibchen seine Eier mit einem Legstachel im Splintholz ablegt (WSL ohne Datuma). Anschliessend entwickeln sich daraus Larven, welche runde Gänge ins Splintholz fressen (ebd.). Diese können bis zu zehn Zentimeter tief sein (ebd.). Im Unterschied zu den Werftkäfern, deren Larvengänge ebenfalls rund sind, sind die Bohrgänge der Holzwespen mit festgepresstem Bohrmehl gefüllt (WSL ohne Datuma). Die Entwicklung zum adulten Insekt



Abbildung 8: Riesenholzwespe (*Urocerus gigas*) (blogger.com 2014)

kann bei Holzwespen zwischen ein und drei Jahren dauern (ebd.). Auch das Überwintern findet im befallenen Holz statt (ebd.). Geschlagenes Holz ist aber nur dann gefährdet, wenn es frisch geschlagen wurde (ebd.). Trocknet das Holz zu stark aus, ist es für die Holzwespe nicht mehr zur Eiablage geeignet.

2.2 Einfluss von Insektenschäden auf die Holzeigenschaften

In vielen Fällen soll das im Wald gelagerte Holz anschliessend zu Produkten weiterverarbeitet werden, welche klare Anforderungen bezüglich Stabilität und Optik erfüllen müssen. Beispielsweise müssen statische Bauteile von Gebäuden eine bestimmte Festigkeit aufweisen. Zudem können bei Sichthölzern durch die sichtbaren Löcher oder durch von den Käfern mitgetragene Bläuepilze optische Schäden entstehen.

Hier wurde durch die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) bereits 1993 Vorarbeit geleistet. Graf E. und Manser P. untersuchten in einer Studie den Einfluss eines Befalls durch *Trypodendron lineatum* und *Hylecoetus dermestoides* auf Fichten- und Tannenholz. Als Versuchsgrundlage dienten fünf ungeschützte Versuchspolter, welche an unterschiedlichen Standorten im Wald gelagert wurden (Graf, E., Manser, P. 1993). Zudem wurde die Flugaktivität der Käfer mittels vier Schlitzfallen in der näheren Umgebung untersucht (ebd.). Damit waren Aussagen möglich über den Befall sowie über die Befallsdichte des Holzes (ebd.).

Zur Quantifizierung des Insektenbefalls wurden Kanthölzer sowie Seitenbretter untersucht. Die Einstiche wurden auf allen vier sichtbaren Seiten gezählt (Graf, E., Manser, P. 1993). Die Lochdichte war dabei definiert als Anzahl sichtbare Einstichlöcher pro Laufmeter und cm Umfang des Brettes (ebd.). Bei der Untersuchung wiesen 84% der untersuchten Stämme gar keine Insektenschäden auf (ebd.). Der Befall fand dabei zu einem grösseren Teil auf der Polter-Aussenseite statt (ebd.). Stämme im Halbschatten (Abbildung 9: A) wurden mit einer Wahrscheinlichkeit von 75,3% und Stämme im Schatten (Abbildung 9: B) mit einer Wahrscheinlichkeit von 70% befallen (ebd.). Stämme im Polterinnern (Abbildung 9: C) und solche mit Bodenkontakt (Abbildung 9: D) wurden nur zu 48.6% bzw. 35.6% befallen (ebd.). Dabei wurde kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Befallsintensität und der Anzahl Käfern in den Käferfallen festgestellt (Graf, E., Manser, P. 1993). Oft war trotz weniger Käfer in den Fallen ein starker Befall des Rundholzes vorhanden (ebd.).

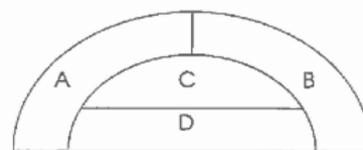


Abbildung 9: Einteilung der Stämme im Polter nach Exposition (Graf, E., Manser, P. 1993)

In einem weiteren Schritt wurde die Biegefestigkeit der befallenen Seitenbrettern und der Balken untersucht (Graf, E., Manser, P. 1993). Bei den 3cm dicken und 30cm breiten Seitenbrettern wurde trotz einer Lochdichte von 12 keine signifikante Abnahme der Biegefestigkeit festgestellt (ebd.). Bei Seitenbrettern mit einer Lochdichte, welche grösser als 12 war, wurde eine leichte Reduktion in der Biegefestigkeit beobachtet. Für Balken mit maximal 126 Bohrlöchern pro Laufmeter wurde keine signifikante Abnahme der Biegefestigkeit ermittelt (ebd.).

Ein Brett im Versuch der EMPA war durch die Holzwespe oder den Fichtenbock befallen (Graf, E., Manser, P. 1993). Dieser Befall führt zu einem Lochdurchmesser von bis zu einem Zentimeter (WSL ohne Datumb). Hier wurde eine Abnahme der Biegefestigkeit um 20% beobachtet (Graf, E., Manser, P. 1993).

Die gezogene Schlussfolgerung von Graf E. und Manser P. (1993) ist, dass Rundholz, welches im Wald gelagert wird, nur dann vor Insektenbefall geschützt werden muss, wenn dieses anschliessend als Sichtholz optischen Anforderungen genügen muss. Des weiteren wurde die Vermutung angestellt, dass Bohrlöcher im Holz zu sekundären Schäden führen können, wenn durch diese Pilze einfacher ins Holz eindringen können (Graf, E., Manser, P. 1993).

Zu einem bezüglich der Festigkeit von Holz nach dem Befall durch *Trypodendron lineatum* ähnlichen Resultat kamen Schmidt H. und Roth W.v. (1975). In dieser Studie wurden Föhrenmasten mit einem Durchmesser von 16cm bzw. 22cm untersucht. Der hier genannte Grenzwert für einen Befall ohne signifikante Stabilitätseinbussen liegt bei 25 Einstichlöchern auf 5cm Mastenlänge (Schmidt und Roth 1975, 352). Umgerechnet auf die von Graf E. und Manser P. definierte Lochdichte entspricht dies einer Befallsstärke für Masten von 16cm Dicke von rund 20 bzw. einer Lochdichte für Masten mit 22cm Durchmesser von rund 14. Dabei kann jedoch keine exakte Umrechnung stattfinden, da Graf E. und Manser P. ihre Einheit nur für Sägestücke mit rechteckigem Querschnitt definiert haben.

2.3 Chemische Holzschutzmittel

2.3.1 Chemische Pflanzenschutzmittel (PSM) in flüssiger Form

Die in der Praxis mit Abstand am meisten verwendete Methode, um liegendes Holz im Wald zu schützen, ist die Behandlung der Polter mit flüssigen Pflanzenschutzmitteln (PSM) (Abbildung 10) (Schütze et al. 2020). Dies, obwohl der Einsatz von PSM durch die ChemRRV im Schweizer Wald grundsätzlich verboten ist (Bundeskanzlei 2023). Jedoch sieht das Gesetz auch eine Ausnahmegewilligung vor, wenn keine gleichwertigen Ersatzmassnahmen möglich sind (ebd.). Zudem ist die Sonderbewilligung gebunden an besondere Auflagen. Diese sind, dass die Lagerplätze nicht in den Gewässerschutzzonen S1, S2 und S_n liegen dürfen sowie ein Mindestabstand, welcher zu Oberflächengewässern eingehalten werden muss (ebd.). Dabei kann der geforderte Mindestabstand je nach eingesetztem Spritzmittel und der gewählten Ausbringmethode variieren (BLV 2022). Weiter muss der Lagerplatz so beschaffen sein, dass Massnahmen gegen das Versickern und Abschwemmen der eingesetzten PSM getroffen werden (Bundeskanzlei 2023). PSM in kantonalen oder nationalen Naturschutzgebieten sind immer verboten (ebd.).



Abbildung 10: Einsatz von flüssigen PSM zum Schutz von Wertholz (LWF ohne Datum)

Wer PSM im Wald anwenden will, benötigt bereits jetzt eine Fachbewilligung (BLV 2022). Das Ausbildungssystem wird so angepasst, dass ab 2026 die Anwenderinnen und Anwender von PSM zum Erwerb des Fachzertifikats immer eine schriftliche und mündliche Prüfung absolvieren müssen (Schütze 2023, persönliche Mitteilung). Anschliessend besteht eine Weiterbildungspflicht im Abstand von maximal fünf Jahren (Bundesrat 2017).

Der PSM-Bedarf im Schweizer Wald ist klein. Zurzeit sind noch vier unterschiedliche PSM für den Wald zugelassen, davon sind drei sogenannte Cypermethrine (BLV 2023). Schweizweit wurden im Jahr 2017 etwas unter einer Tonne Cypermethrin verkauft (Rösch et al. 2019, 56). Dies beinhaltet aber auch Cypermethrine, welche in der Landwirtschaft verwendet werden (ebd.). Aufgrund dieses kleinen Marktes und des sehr teuren Zulassungsverfahrens für PSM wird davon ausgegangen, dass die Verfügbarkeit von PSM, welche im Wald zugelassen sind, weiter abnimmt (Schütze et al. 2020).

Neben der Verfügbarkeit kommen in Fachkreisen zunehmend Bedenken auf, was die Umwelteinflüsse von PSM betrifft. Cypermethrine wirken auf das Nervensystem von Insekten (Rösch et al. 2019, 55). Dabei wird der Ionenaustausch der Nervenzellen blockiert, was faktisch dazu führt, dass die Nervenaktivität des Insekts blockiert wird und dieses so stirbt (ebd.). Dieser Schutz der Holzpolter hält ca. 12 Wochen an (Schütze et al. 2020). Neue Studien zeigen, dass die Cypermethrine nicht nur bei Insekten Schäden hervorrufen, sondern auch besonders kritisch für Wasserorganismen sind (ebd.). Bedenklich ist, dass Grenzwerte für Cypermethrin in Gewässern immer wieder überschritten werden (Rösch et al. 2019, 61). So stuft beispielsweise der Bund Cypermethrin als eines von 12 besonders problematischen Pestiziden ein (Schütze et al. 2020). FSC international will den Einsatz von PSM in zertifizierten Wäldern langfristig unterbinden (ebd.).

2.3.2 Mit PSM behandelte Netze

Bis vor kurzen wurden durch die Firma Storanet Netze produziert und vertrieben, welche mit dem Wirkstoff Alpha-Cypermethrin behandelt waren (Abbildung 11) (BASF 2020). Dieser ist Stand heute nicht mehr auf der Liste der zugelassenen Wirkstoffe zu finden (BLV 2023). Somit sind die PSM-behandelten Netze auch nicht mehr für die Anwendung im Wald zugelassen.

Der Hersteller bewarb die Netze damit, dass die Wirkungsdauer mit bis zu 6 Monaten höher ist als diejenige von klassischen PSM und der Umwelteintrag massiv reduziert sei (BASF 2020). Jedoch haben sich die Netze auf dem Markt nicht durchgesetzt. Ein wesentlicher Grund dafür waren vermutlich die hohen Kosten und der erhöhte Aufwand für die Anwendung. Zudem müssen die Netze nach der Anwendung speziell als Sondermüll entsorgt werden (BASF 2020).



Abbildung 11: Storanet Schutznetz (L.E.S. CR GARD IM PLANTAX ohne Datum)

2.4 Unbehandelte Netze

2.4.1 Versuch WaldZug 2021

Bereits 2021 wurden im Kanton Zug Versuche mit unbehandelten Netzen durchgeführt. Eine schriftliche Dokumentation des Versuches ist nicht vorhanden. Jedoch führte Anke Schütze im Anschluss daran ein Interview mit Ruedi Bachmann, dem Geschäftsführer von WaldZug. Eine quantitative Beurteilung der Ergebnisse wurde nicht vorgenommen (Bachmann R. 2021, Interview). Die gutachtliche Beurteilung ergab jedoch, dass das mit Netz geschützte Holz weniger befallen wurde als ohne Schutzmassnahmen, jedoch stärker als jenes, welches mit PSM geschützt wurde (ebd.). Als Grund für das unbefriedigende Ergebnis wurde angenommen, dass die einzelnen Netzbahnen nicht vernäht waren und damit an den Stössen mögliche Eintrittspforten für Insekten offenblieben sowie mit grobmaschigeren Netzen gearbeitet wurde (ebd.).

2.4.2 Versuch BFH-HAFL 2022

Als Folgeprojekt wurde 2022 ein weiterer Versuch mit Insektenschutznetzen durchgeführt (Fassbind 2022). Dabei wurden vier Holzpolter mit demselben Netz geschützt, welches auch im Versuch vorliegender Arbeit verwendet wurde und in Kapitel 3.1.1 beschrieben ist (ebd.). Einer der Polter wurde rundherum, also auch zu Boden hin, mit dem Netz geschützt. Die anderen drei Polter blieben zum Boden hin offen (ebd.). Weiter wurden ein unbehandelter und ein mit PSM behandelter Polter untersucht (ebd.).

Die Ergebnisse waren erfreulich (Fassbind 2022). Nur der ungeschützte Polter war befallen (ebd.). Gemessen wurde am befallenen Polter ein durchschnittlicher Befall von einem Einstich/Lfm durch den Nutzholzborkenkäfer *Trypodendron lineatum* (ebd.).

Als Folgerung daraus ergab sich, dass der Schutz von Holzpoltern mittels Netzen erfolgversprechend schien, jedoch die Stichprobe zu klein für ein aussagekräftiges Ergebnis war (Fassbind 2022). Weiter wurde gefolgert, dass der Schutz des Holzes mittels Netz zum Boden hin einen erheblichen Mehraufwand bei gleicher Schutzwirkung ergab und dadurch nicht zielführend ist (ebd.).

3 Material und Methoden

3.1 Ermittlung der Schutzwirkung von Netzen

Um die Wirkung von Schutznetzen zu überprüfen, wurden analog zum Versuch von 2022 (Kapitel 2.4.2) Holzpolter mit einem Netz geschützt und anschliessend ausgewertet. Als Erweiterung wurde an jedem Polterstandort ein Nullpolter erstellt, welcher als Referenz diente.

Da im Laufe der Auswertung festgestellt wurde, dass nicht nur Befall durch *Trypodendron lineatum* stattfand, wurden auch andere Insektenschäden aufgenommen.

3.1.1 Verwendetes Netz

Das für den Versuch verwendete Netz stammt von der Firma Whailex aus Deutschland. Die genaue Bezeichnung lautet «Whailex-A-AGA 2010». Gemäss Hersteller ist die Maschenweite 0.27 x 0.77mm. Die Maschenweite wurde so klein gewählt, da davon ausgegangen wird, dass alle in Kapitel 2.1 beschriebenen Käfer zu gross sind, um das Netz durchdringen zu können. Der für die Produktion der Netze verwendete Kunststoff ist Polyethylen (P.R.P. Produzione Reti Plastiche srl ohne Datum).

In der Landwirtschaft wird dieses Netz gegen die Kirschessigfliege (*Drosophila suzukii*) verwendet. Trotz der geringen Maschenweite ist das Netz wasserdurchlässig.

Entsprechend der geplanten Poltergrössen wurden die Netze durch den Hersteller zusammengenäht. Das Mass der kleinsten Netze betrug 12x20m (für Polter von ca. 75 m³) und das der grössten 12x40m (für Polter von ca. 150 m³).

Die UV-Dauerhaftigkeit des Netzes entspricht gemäss Hersteller 600 kLy (P.R.P. Produzione Reti Plastiche srl ohne Datum). Michael Sander (2023, persönliche Mitteilung), Dozent für Umweltchemie an der ETH Zürich, beurteilte aufgrund von dieser Zahl die Dauerhaftigkeit des Netzes auf rund 4-5 Jahre. Da sich die Netze nicht ganzjährig im Freien befinden, sondern nur in den Sommermonaten, wird in vorliegendem Versuch mit einer Dauerhaftigkeit von fünf Jahren gerechnet. Somit kann davon ausgegangen werden, dass sich ein Netz fünf Mal wiederverwenden lässt.

Das verwendete Netz ist klar von denjenigen in Kapitel 2.3.2 beschriebenen, mit PSM behandelten Netzen zu unterscheiden, da in diesem Versuch keine chemischen Wirkstoffe zur Erhöhung der Schutzwirkung eingesetzt werden.

3.1.2 Polteranlage und Standorte

Für den Versuch wurden insgesamt 46 Holzpolter bereitgestellt. Diese 46 Polter setzten sich zusammen aus 23 Poltern, welche mit dem beschriebenen Netz geschützt wurden und 23 Poltern, welche unbehandelt gelassen wurden. Die ungeschützten Polter werden im weiteren Text als «Nullpolter» bezeichnet. Auf die Anlage von chemisch geschützten Poltern wurde verzichtet. Gemäss Fassbind S. (2022) wurde davon ausgegangen, dass mit PSM geschützte Polter befallsfrei sind.

Beim Anlegen der Polter wurde darauf geachtet, dass zwischen den zusammengehörenden geschützten und ungeschützten Poltern möglichst wenig Distanz lag. War es aufgrund der Gegebenheiten nicht möglich, dass sich die beiden Polter unmittelbar nebeneinander befanden, betrug der maximale Abstand 50m.

Die gewählten Standorte befanden sich in den Kantonen Bern, Baselland, Baselstadt, Aargau und Zürich. Die Wahl der genauen Standorte war den zuständigen Förstern überlassen. Das Anlegen der Versuchspolter sowie das Anbringen und Entfernen der Netze übernahmen die Waldbesitzer, bzw. deren Vertretung.

3.1.2.1 Nullpolter

Ein Nullpolter bestand im Versuch aus mindestens 12 Stämmen. Dabei sollten fünf Stämme in der untersten Lage auf dem Boden, vier Stämme in der mittleren und drei Stämme in der obersten Lage liegen (Abbildung 12). Damit wurde gewährleistet, dass eine Stammauswahl, wie in Kapitel 3.1.5 beschrieben, möglich war. An den Nullpoltern wurden keine Massnahmen getroffen, welche zu Schutz des Holzes beigetragen hätten. Da davon ausgegangen wurde, dass das Holz der Nullpolter durch Schadinsekten befallen wird, wurde teilweise qualitativ weniger hochwertiges Holz verwendet, um den finanziellen Schaden gering zu halten.

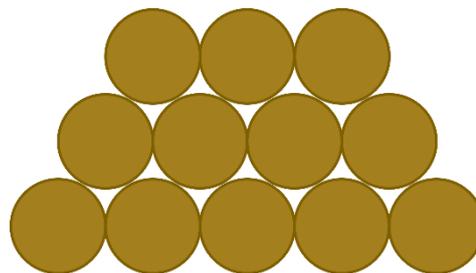


Abbildung 12: Schematische Darstellung des minimalen Polters

3.1.2.2 Mit Netz geschützte Holzpolter

Die minimale Grösse der mit Netz geschützten Holzpolter wurde identisch zu derjenigen gewählt, welche bereits im Zusammenhang mit den Nullpoltern beschrieben wurde. Zum Schutz des Holzes vor Insektenschäden wurde dieser Poltertyp mittels den in Kapitel 3.1.1 beschriebenen Netzen geschützt (Abbildung 13). Dazu wurden die Netze über die Polter gezogen und rundherum so beschwert, dass kein Verrutschen durch Windeinflüsse möglich war.



Abbildung 13: Mit Netz abgedeckter Holzpolter in den Berner Voralpen

Die genauen Schritte, um ein Holzpolter mit dem Netz zu schützen sind in Kapitel 3.2 ausführlich beschrieben.

3.1.3 Zeitplan

Die Holzpolter wurden in der Holzertesaison 2022/2023 erstellt. Wie in Kapitel 2.1 beschrieben wurde, beginnt die Flugzeit der ersten relevanten Schädlinge im März. Wichtig beim Abdecken der Holzpolter mit Netzen ist, dass dies vor dem Ausflug der ersten Schadinsekten passiert. Sind die Insekten bereits im Holz, kann der Schaden durch die Netze nicht mehr verhindert werden. Dem entsprechend hatten die am Versuch teilnehmenden Förster die Aufgabe, die jeweiligen Holzpolter bis spätestens Anfangs März abzudecken. Ab Ende Juni 2023 wurde damit begonnen, die Holzpolter in den Sägewerken einzuschneiden und auszuwerten. Da nach dem Abdecken der Holzpolter das Holz maximal noch eine Woche, falls möglich kürzer, im Wald verblieb, war der Zeitpunkt des Entfernens des Netzes wenig relevant. Damit die Möglichkeit bestand, dass das Holz von Käfern befallen wird, wurden die ersten Polter jedoch erst ab Ende Juni in die Sägereien transportiert. Die letzten Holzpolter wurden Anfangs November 2023 eingeschnitten.

3.1.4 Insektenfallen

An jedem Polterstandort wurde neben den beiden Holzpoltern eine Insektenfalle aufgestellt.

Aufgebaut war die Falle nach dem Vorbild von Gossner et al. (ohne Datum, 4). Dabei wurde ein Becherglas mit 99 Teilen 96% Ethanol und einem Teil Petrolether und das andere mit 70% Ethanol befüllt (ebd.). Pro Becher wurden rund 100ml der beiden Flüssigkeiten eingefüllt (ebd.). Als Lockstoff wurde im Fangtrichter, welcher aus einer alten Flasche gebaut war, Watte, getränkt mit dem Lockstoff Linosan, befestigt. Um die Falle vor Regen zu schützen, befand sich an der Oberseite ein Dach aus Plexiglas. Die Anordnung der Komponenten wurde wie in Abbildung 14 gewählt.

Unabhängig von der Distanz wurde die Falle immer mittig zwischen den Poltern platziert.

Gemäss Graf E. und Manser P. (1993) korreliert die Befallsintensität nicht mit der Anzahl festgestellter Insekten in der Falle am Standort. Daher sollten die Fallen nicht dazu dienen, eine Aussage zur Befallsstärke machen zu können, sondern lediglich im Falle eines nicht vorhandenen Holschadens die Anwesenheit der Schadinsekten zu bestätigen.

Die Auswertung der Inhalte aus dem Becherglas wurden durch Romain Angeleri (wissenschaftlicher Mitarbeiter HAFL-BFH) gemacht. Dazu wurden die Becherinhalte sortiert und die Art der vorhandenen Insekten bestimmt. Als Ergebnis wurde für die drei Arten *Trypodendron lineatum*, *Hylecoetus dermestoides* und *Rhagium bifasciatum* das Vorhandensein bestätigt oder verneint. Eine Auszählung der Abundanz fand nicht statt.

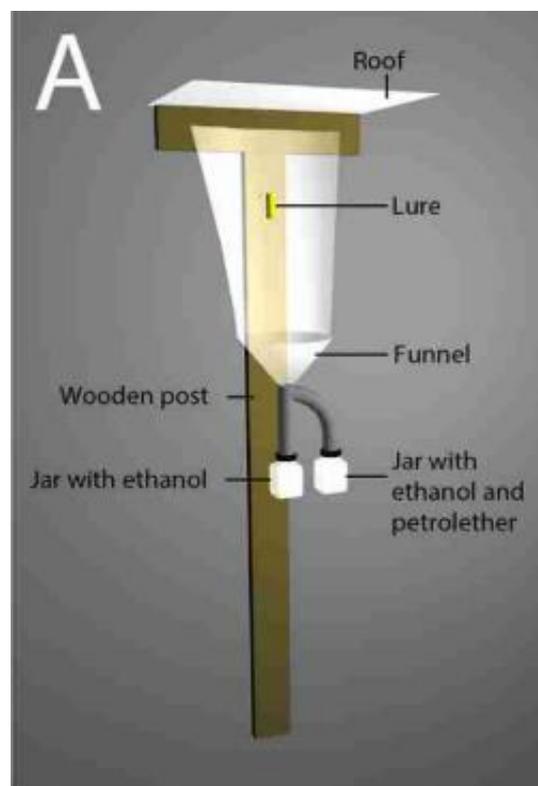


Abbildung 14: Fallenaufbau nach Gossner et al. (ohne Datum, 4)

3.1.5 Wahl der auszuwertenden Stämme

Das einzige Merkmal, auf welches bei der Auswahl der Stämme geachtet wurde, war die Lage im Polter. Dabei sollten zwei Stämme auf der Polteroberseite, zwei Stämme in der Poltermitte und zwei Stämme auf dem Boden innerhalb des Polters liegen. Diese Auswahl fand so zufällig wie möglich statt.



Abbildung 15: Für die Auswertung markierte Stämme im Holzpolter

Damit die Stämme bei der Auswertung zugeordnet werden konnten, wurden pro Polter jeweils die zwei Stämme mit derselben Lage im Polter auch mit derselben, eindeutigen Nummer beschriftet. Zusätzlich wurde am Stammende eine farbliche Markierung angebracht, welche die Lage im Polter verdeutlichte (Abbildung 15).

3.1.6 Auswertung der Stämme im Sägewerk

Für die Auswertung wurde die Schnittfläche der gesägten Bretter untersucht sowie die Länge jedes Brettes gemessen. Jeder sichtbare Brutgang wurde dabei gezählt und einer der in Kapitel 3.1.6.1 beschriebenen Kategorien zugeordnet. Als Einheit für die weitere Bewertung der Schäden wurde die Befallsintensität definiert. Diese setzt sich aus der Anzahl sichtbarer Brutgänge geteilt durch die Länge des Brettes zusammen und trägt die Einheit Einstiche/Lfm. Für die Nachverfolgbarkeit wurde jedes Brett einer vor dem Abtransport aus dem Wald angebrachten Stammnummer zugeordnet. Der Einschnitt erfolgte nach den Ansprüchen der Säger. Dadurch wurden weder einheitliche Brettlängen noch Brettdicken erreicht. Da jedoch die Auswertung auf der Sägefläche unabhängig von der Brettdicke und der verwendete Index längenabhängig ist, spielen beide Faktoren keine wesentliche Rolle. Der einzige Faktor, welcher dadurch beeinflusst wurde, ist die Anzahl ausgewerteter Bretter pro Stamm.

Wurde ein Brutgang mehr als einmal angeschnitten, so wurde er als mehrere Einstiche gezählt.

3.1.6.1 Differenzierung der Schadinsekten

Die Gemeinsamkeit der als relevant betrachteten Holzschädlinge ist, wie in Kapitel 2.1 beschrieben, die Anlage von Brutgängen im Nutzholz. Damit es möglich war, bei der Auswertung die verschiedenen Käfertypen zu unterscheiden, wurden für die Auswertung des Holzes im Sägewerk drei Kategorien von Befallstypen unterschieden:

- | | |
|---------------|--|
| Befallstyp 1: | Runde Brutgänge mit dunkler Verfärbung. Der Durchmesser liegt zwischen ein und zwei Millimeter.
Diese Löcher sind typisch für <i>Trypodendron lineatum</i> und <i>Hylecoetus dermestoides</i> beim Einbohren ins Holz. |
| Befallstyp 2: | Kreisrunde Brutgänge, welche normalerweise nicht verfärbt sind. Der Durchmesser beträgt 3-5mm.
Diese Löcher sind typisch für <i>Hylecoetus dermestoides</i> beim Austritt der entwickelten Käfer aus dem Holz. |
| Befallstyp 3: | Ovale Brutgänge ohne Verfärbung. Der Durchmesser kann bis zu einem Zentimeter betragen.
Diese Löcher sind typisch für die Familie der Cerambycidae. Weiter wurden Löcher der Familie der Siricidae zu dieser Kategorie gezählt. |

3.1.7 Statistische Auswertung

3.1.7.1 Analyse der Schutzwirkung von Netzen nach Befallstyp mittels Wilcox-Test

Unter der Verwendung der gemessenen Befallsintensität pro Polter wurde ein Wilcox-Test verwendet, um die Signifikanz des Unterschieds zwischen abgedeckten Poltern und Nullpoltern zu ermitteln. Total wurden 38 Stichproben untersucht. Die Paarung der Proben stellt der Standort dar, welchen jeweils ein abgedeckter Polter sowie ein Nullpolter gemeinsam hatten. Der Test wurde einseitig ausgeführt, da es keinen Grund zur Annahme gab, dass die mit einem Netz geschützten Polter einen stärkeren Befall aufweisen als die Nullpolter. Dieser Test wurde für jeden der drei definierten Befallstypen identisch wiederholt.

3.1.7.2 Analyse der gesamthaften Schutzwirkung von Netzen gegen Insektenschäden mittels Wilcox-Test

Für die Betrachtung der gesamthaften Schutzwirkung wurden die drei Befallsintensitäten von Befallstyp 1, Befallstyp 2 und Befallstyp 3 summiert. Die statistische Analyse mittels Wilcox-Test wurde identisch zu der in Kapitel 3.1.7.1 beschriebenen Methode durchgeführt. Die Anzahl Stichproben lag ebenfalls bei 38. Die Paarung der Proben ist gegeben durch die Standorte. Der Test wurde einseitig durchgeführt.

3.1.7.3 Ermittlung des Einflusses der Lage der Stämme im Polter auf die Befallsintensität

Sowohl für die netzgeschützten als auch für die Nullpolter wurde die Lage der Stämme im Polter vor dem Abtransport des Holzes aus dem Wald markiert.

Zur statistischen Auswertung vom Einfluss der Lage im Polter auf die Befallsintensität wurde eine Repeated Measures ANOVA verwendet. Als abhängige Variable wurde der jeweilige Befallstyp verwendet. Als Subjekt diente der Polter, in welchem sich die jeweiligen Stämme befanden. Als unabhängige Variable wurde die Lage im Polter gewählt.

Zum Teil konnten nicht in jedem Polter alle Stämme ausgewertet werden. Der Grund dafür war entweder, dass Stämme nach dem Transport in die Sägerei nicht mehr auffindbar waren oder, dass deren Wuchsform es unmöglich machte, die Stämme in die Sägen einzuspannen. War dies der Fall, wurde der gesamte Polter aus der statistischen Berechnung herausgenommen.

Der Einfachheit halber wurden jeweils die beiden Stämme mit derselben Exposition in einem Holzpolter als ein Objekt behandelt.

3.2 Ermittlung der Kosten für die Anwendung von Netzen und PSM

Neben der Effektivität spielen auch immer die Kosten eines neuen Verfahrens eine wichtige Rolle, um dieses bezüglich dessen Wirtschaftlichkeit beurteilen zu können. Daher wurde neben der Studie zur Wirksamkeit der Netze eine weitere Studie zu den entstandenen Kosten gemacht. Als Grundlage diente eine Zeitstudie, welche sowohl für den Schutz von Nutzholz mittels Schutznetzen als auch mittels PSM gemacht wurde. Die Arbeiten zum Schutz der Holzpolter wurden von an dem Versuch Beteiligten und deren Dienstleistern ausgeführt. Zur besseren Vergleichbarkeit wurde jedoch mit denselben Kostenansätzen gerechnet (Tabelle 1).

Tabelle 1: Ansätze zur Kostenkalkulation

Beschreibung	Ansatz	Einheit
Forstwart	84.-	CHF/Std
Motorsäge	20.-	CHF/Std
Personenwagen	40.-	CHF/Std
Spritze	-.40	CHF/Liter
Spritzmittel	-.15	CHF/Liter

Obwohl in beiden Prozessen auch Lernende mit einem tieferen Kostenansatz eingesetzt wurden, wurde nur mit dem Ansatz für ausgebildete Forstwarte als Arbeiter gerechnet. Der Grund dafür ist, dass nicht jeder Betrieb Lernende für diese Arbeiten einsetzen kann. Da dies in beiden Kalkulationen übernommen wurde, ist die Vergleichbarkeit gegeben.

Zudem muss berücksichtigt werden, dass gewisse Arbeiten spezifisch pro Polter und andere allgemein für alle Polter ausgeführt werden. Die spezifischen Arbeiten wurden pro Polter gemessen (bezeichnet mit spezifisch). Die allgemeinen Arbeiten (bezeichnet mit allgemein) wurden pro Festmeter gelagertem Holz berechnet.

Die Kosten pro verwendetes Netz betragen CHF 243.- bei einer Netzgrösse von 12x20m.

3.2.1 Zeitstudie für Pflanzenschutzmittel in flüssiger Form

Als Referenz zu den netzgeschützten Poltern wurde eine Zeitstudie nach den gleichen Ansätzen für fünf mit PSM geschützte Holzpolter von Sharon Möller (Studentin der Waldwissenschaften an der HAFL-BFH) durchgeführt. Für die Arbeiten wurden drei Personen eingesetzt. Zur Ausbringung kam eine auf einen Personenwagen aufgebaute Spritze mit Benzinpumpe zum Einsatz. Für die Arbeitsausführung wurden sieben Teilschritte definiert.

- **Vorbereitung im Werkhof**
Zur Vorbereitung wird im Werkhof das PSM in der Spitze zu vorgegebenen Anteilen mit Wasser gemischt. Zusätzlich ins Fahrzeug eingeladen werden benötigte Werkzeuge und Schutzkleidung. (allgemein)
- **Vorbereitung im Wald**
Da PSM negative Auswirkungen auf den menschlichen Organismus haben können, muss vor dem PSM Einsatz Schutzkleidung angezogen werden. (spezifisch)
- **Polter mit PSM behandeln**
Mittels der Spritze wird das PSM-Wasser-Gemisch auf den Polter aufgebracht. (spezifisch)
- **Nachbereitung im Wald**
Die getragene Schutzkleidung wird nach der PSM-Anwendung wieder ausgezogen. (spezifisch)
- **Nachbereitung im Werkhof**
Das Material muss im Werkhof ordnungsgemäss weggeräumt und entsorgt werden. Zudem muss die verwendete Spritze fachgerecht gereinigt werden, um die Kontamination von Personen zu verhindern. (allgemein)
- **Fahrzeit**
Strecken zwischen Werkhof und den Holzpoltern werden mit einem Fahrzeug zurückgelegt. (allgemein)
- **Unterbrechungen**
Unterbrechungen wurden nur dann als solche aufgenommen, wenn diese länger als 15 Minuten dauerten. Alle anderen Unterbrechungen wurden zum laufenden Arbeitsschritt dazugezählt. (spezifisch)

Auch für die Behandlung von Holzpoltern mit PSM wurden eindeutige Prozessgrenzen definiert (Tabelle 2).

Tabelle 2: Definition von Start und Ende der ausgeführten Teilschritte beim Behandeln der Polter mit PSM

Teilarbeitsschritt	Start	Ende
Vorbereitung im Werkhof	Die Arbeiter sind mit angezogener Arbeitskleidung bereit	Das PSM-Gemisch ist in den Tank gefüllt, alles Material ist eingeladen, Die Arbeiter sind bereit zur Abfahrt im PW
Vorbereitung im Wald	Der Motor des PW wird beim zu schützenden Polter ausgeschaltet	Die Arbeiter sind mit der Schutzbekleidung ausgerüstet.
Behandlung des Holzpolters mit PSM	Die Arbeiter stehen mit Schutzbekleidung beim Auto	Der Polter ist gespritzt, Die Arbeiter stehen wieder beim Auto
Nachbereitung im Wald	Die Arbeiter stehen beim Auto	Die Arbeiter sitzen ohne Schutzbekleidung im Auto
Nachbereitung im Werkhof	Der Motor des PW wird beim Werkhof ausgeschaltet	Alles Material ist ordentlich aufgeräumt, MA sind in Arbeitskleidung bereit für neue Aufgaben
Unterbrechungen	Arbeiter sind mehr als 15 Min nicht mit den anderen definierten Teilarbeitsschritten beschäftigt	Arbeiter nehmen einen der definierten Teilarbeitsschritte wieder auf
Fahrzeit	Alle Arbeiter sitzen bereit zur Abfahrt im PW bereit, der Motor wird gestartet	Motor wird am Zielort ausgeschaltet

3.2.2 Zeitstudie für die Netzanwendung

Das Abdecken von Holzpoltern mit einem Netz ist ein neues Verfahren. Daher fehlte grösstenteils die Erfahrung, wie der Prozess effizient ausgeführt werden kann. Von Vorteil dabei ist, dass die verwendeten Netze mit einer Grösse von 12x20m ein Gewicht von 30kg nicht überschreiten. Somit können die Netze gut von zwei Personen bewegt werden. Die insgesamt acht Netze wurden während zwei Nachmittagen angebracht. Im Rahmen des Versuches wurden acht Teilprozesse definiert, von welchen dann bei der Ausführung jeweils die Zeit gemessen wird. Diese sind:

- **Vorbereitungen im Werkhof:**
Zu den Vorbereitungen im Werkhof wurden alle Arbeiten gezählt, welche vorgängig nötig sind. Dazu gehört das Aufladen von Netzen und Werkzeugen sowie das Anhängen eines Anhängers an das Auto zum einfacheren Transport. (allgemein)
- **Entfernen von Ästen und Sträuchern in einem Korridor rund um den Polter**
Zur einfacheren Handhabung des Netzes ist es wichtig, alle Äste und Sträucher bis zu einer Distanz von ca. 1.5m um den Polter zu entfernen. Damit wird verhindert, dass sich das Netz verfangen kann. (spezifisch)



Abbildung 16: Korridor, in welchem Äste und Sträucher rund um den Polter entfernt werden

- **Ausbreiten des Schutznetzes**

Das Schutznetz wird vor dem Holzpolter, auf der Waldstrasse komplett ausgebreitet. (spezifisch)



Abbildung 17: Ausbreiten des Netzes

- **Anbringen des Schutznetzes**

Das Schutznetz wird von Hand von der Waldstrasse über den Polter gezogen. Wichtig dabei ist, dass das Netz beim über den Polter ziehen nirgends hängen bleibt und auf allen Seiten des Holzpolters auf dem Boden aufliegt. (spezifisch)



Abbildung 18: Anbringen des Netzes über dem Polter

- **Beschweren der Netzränder**

Um ein Wegwehen des Netzes zu verhindern, werden die Kanten rundherum beschwert. Im vorliegenden Versuch wurde das mit Stammstücken von ca. 15cm dicken Bäumen gemacht. Diese wurden im selben Teilschritt, von im Rahmen des Holzschlages gefällten Stämmen, abgesägt. Damit ist es möglich, die Arbeit von Hand auszuführen, ohne, abgesehen von einer Motorsäge, eine Maschine einsetzen zu müssen. Denkbar wären beispielsweise auch grössere Steine oder aus der Landwirtschaft bekannte Gewichte, welche verwendet werden, um Futtersilos abzudecken. (spezifisch)



Abbildung 19: Beschweren des Netzes

- **Nachbereitung im Werkhof**

Nach den Arbeiten müssen Werk- und Fahrzeuge wieder ordnungsgemäss weggeräumt werden. (allgemein)

- **Fahrzeit**

Strecken zwischen Werkhof und den Holzpoltern werden mit einem Fahrzeug zurückgelegt. (allgemein)

- **Unterbrechungen**

Unterbrechungen wurden nur dann als solche aufgenommen, wenn diese länger als 15 Minuten dauerten. Alle anderen Unterbrechungen wurden zum laufenden Arbeitsschritt dazugezählt. (spezifisch)

Für die Zeitstudie wichtig ist eine klare Abgrenzung der unterschiedlichen Arbeitsschritte. Innerhalb dieser wurden die für den Arbeitsschritt benötigten Zeiten gemessen und festgehalten (Tabelle 3).

Tabelle 3: Definition von Start und Ende der ausgeführten Teilschritte beim Abdecken der Polter mit Netzen

Teilarbeitsschritt	Start	Ende
Vorbereitung	Arbeiter sind mit angezogener Kleidung bereit	Alle beteiligten Arbeiter sitzen bereit zur Losfahrt im PW
Entfernen von Ästen und Sträuchern in einem Korridor rund um den Polter	Motor des PW wird beim zu schützenden Polter ausgeschaltet	MS wird ausgeschaltet, abgestellt und alle losen Äste und Sträucher sind vom Holzpolter entfernt
Ausbreiten des Netzes	Die erste Hand eines Arbeiters ist an der Netzrolle	Das Netz liegt ausgebreitet auf der Waldstrasse vor dem Polter
Anbringen des Schutznetzes	Das Netz liegt ausgebreitet auf der Waldstrasse vor dem Polter	Das Netz liegt fertig ausgerichtet auf dem Polter
Beschweren der NetZRänder	Das Netz liegt fertig ausgerichtet auf dem Polter	Die NetZRänder sind rundherum beschwert, die MS ist im PW
Nachbereitung im Werkhof	Motor des PW wird im Werkhof ausgeschaltet	Alles Material ist ordentlich weggeräumt. Die Arbeiter sind in Arbeitskleidung bereit für eine neue Aufgabe
Unterbrechungen	Arbeiter sind mehr als 15 Min nicht mit den anderen definierten Teilarbeitsschritten beschäftigt	Arbeiter nehmen einen der definierten Teilarbeitsschritte wieder auf
Fahrzeit	Alle Arbeiter sitzen bereit zur Abfahrt im PW bereit, der Motor wird gestartet	Motor wird am Zielort ausgeschaltet

Im Unterschied zum Holzschutz mit Pflanzenschutzmitteln muss am Ende der Holzschutzperiode das Netz auch wieder von den Holzpoltern entfernt werden. Dafür wurde identisch zum Abdecken ebenfalls ein Arbeitsablauf definiert (Tabelle 4). Dieser umfasst:

- **Vorbereitung im Werkhof**
Alles Material, welches benötigt wird, wird vorbereitet und in das verwendete Fahrzeug eingeladen. (allgemein)
- **Entfernen der beschwerenden Materialien**
Die Materialien, welche zum Beschweren der Netze verwendet wurden, müssen wieder entfernt werden. Im vorliegenden Fall waren dies ausschliesslich Holzstücke, welche anschliessend nicht mehr weiterverwendet werden sollen. Daher können diese einfach im Wald liegen gelassen werden. (spezifisch)

- **Entfernen von Ästen und Laub auf den Netzen**
Über die Zeit sammeln sich auf dem Netz abgebrochene Äste sowie heruntergefallenes Laub an. Diese müssen vor dem Entfernen des Netzes davon heruntergenommen werden, um die Arbeit zu vereinfachen und das Netz vor Beschädigungen zu schützen. (spezifisch)
- **Entfernen der Netze vom Polter**
Die Netze werden auf die vor dem Holzpolter liegende Waldstrasse gezogen und dort so ausgebreitet, dass sich evtl. hängengebliebenes Laub noch lösen kann. Wenn einzelne Blätter hängen bleiben, stellt dies kein Problem dar. (spezifisch)
- **Zusammenfalten der Netze**
Anschliessend an das Ausbreiten werden die Netze so zusammengelegt, dass sie einerseits gut zu transportieren, und andererseits einfach zu lagern sind. Dafür wurden die Netze zu Quadraten gefaltet, welche ungefähr eine Kantenlänge von 80cm haben. Damit können sie auf Paletten gestapelt werden. Zusätzlich ist es sinnvoll, eine Befestigung, beispielsweise eine Schnur, anzubringen, damit sich das Netz nicht wieder auffaltet. (spezifisch)
- **Lagern der Netze**
Im Werkhof werden die Netze auf einer Palette an ihren Lagerort gebracht und dort abgestellt. (allgemein)
- **Nachbereitung im Werkhof**
Nach den Arbeiten müssen Werk- und Fahrzeuge wieder ordnungsgemäss weggeräumt werden. (allgemein)
- **Fahrzeit**
Strecken zwischen Werkhof und den Holzpoltern werden mit einem Fahrzeug zurückgelegt. (allgemein)
- **Unterbrechungen**
Unterbrechungen wurden nur dann als solche aufgenommen, wenn diese länger als 15 Minuten dauerten. Alle anderen Unterbrechungen wurden zum laufenden Arbeitsschritt dazugezählt. (spezifisch)

Tabelle 4: Definition der Teilarbeitsschritte beim Entfernen des Netzes von den Versuchspoltern

Teilarbeitsschritt	Start	Ende
Vorbereitung im Werkhof	Arbeiter sind mit angezogener Kleidung bereit	Alle beteiligten Arbeiter sitzen bereit zur Losfahrt im PW
Entfernen der beschwerenden Materialien	Motor wird beim Polter ausgeschaltet	Alle beschwerenden Holzabschnitte sind vom Netz entfernt
Entfernen von Ästen und Laub auf dem Netz	Alle beschwerenden Holzabschnitte sind vom Netz entfernt	Alle Äste und ein Grossteil vom Laub sind vom Polter entfernt
Entfernen der Netze vom Polter	Alle Fremdkörper sind vom Netz entfernt	Das Netz liegt ausgebreitet auf der Waldstrasse
Zusammenfalten der Netze	Das Netz liegt ausgebreitet auf der Waldstrasse	Das Netz ist fertig zusammengefaltet und mit einer Schnur fixiert sowie im PW verstaut
Lagern der Netze	Die Netze sind im PW verstaut	Die Netze sind im Werkhof so gelagert, dass sie bis zur nächsten Saison dort bleiben können
Nachbereitung im Werkhof	Die Netze sind fertig gelagert	Alles Material ist ordentlich weggeräumt. Die Arbeiter sind in Arbeitskleidung bereit für eine neue Aufgabe
Fahrzeit	Arbeiter sind mehr als 15 Min nicht mit den anderen definierten Teilarbeitsschritten beschäftigt	Arbeiter nehmen einen der definierten Teilarbeitsschritte wieder auf
Unterbrechungen	Alle Arbeiter sitzen bereit zur Abfahrt im PW bereit, der Motor wird gestartet	Motor wird am Zielort ausgeschaltet

3.2.3 Statistische Betrachtung der Kostenermittlung

Für die Ermittlung der Kosten für den Holzschutz mit flüssigen PSM und Sprühapplikation wurde an fünf Holzpoltern eine Zeitstudie durchgeführt. Für die Kostenermittlung der Polter durch Insektenschutznetze wurden sieben Polter für die Zeitstudie gewählt. Die Betrachtung einer höheren Anzahl von Versuchspoltern war aus zeitlichen Gründen nicht möglich. Die erhobene Datenmenge wurde als nicht ausreichend betrachtet, um eine belastbare statistische Aussage machen zu können. Daher fand keine konsequente Auswertung mittels anerkannter statistischer Verfahren statt. Wo dies jedoch sinnvoll erschien, wurden statistische Elemente verwendet, um die Daten zu veranschaulichen.

4 Ergebnisse

4.1 Auswertung der Falleninhalte

Von den 21 aufgestellten Fallen waren die Inhalte von nur 13 auswertbar. Ein häufig aufgetretenes Problem war, dass die Flüssigkeit in den Fallen nicht ausreichte und die Fallen dadurch vor der Auswertung austrockneten. Jedoch hat dies nur bei einer Falle zum Totalausfall geführt. Die restlichen Fallen, welche nicht ausgewertet werden konnten, waren zum Versuchsende hin entweder defekt oder konnten gar nicht mehr aufgefunden werden.

4.2 Schutzwirkung Netze

Von den insgesamt 46 bereitgestellten Polter konnten acht nicht ausgewertet werden. Der Grund dafür war bei vier Poltern, dass die Infrastruktur in den Sägewerken dies nicht zulies. Zwei Polter konnten nicht ausgewertet werden, da der Nullpolter am Standort vor dem Markieren der Stämme abtransportiert wurde. Zwei weitere Polter konnten nicht ausgewertet werden, da beide am Standort vorhandenen Polter mit einem Netz geschützt waren.

Gemäss Tabelle 5 war an allen verfügbaren Standorten *Trypodendron lineatum* vorhanden. *Hylecoetus dermestoides* konnte an zehn Standorten angetroffen werden. *Rhagium bifasciatum* war nur an einem Standort vorhanden.

Tabelle 5: Präsenz / Absenz der Käferarten *Trypodendron lineatum*, *Hylecoetus dermestoides* und *Rhagium bifasciatum* nach Standorten

Standort	<i>Trypodendron lineatum</i>	<i>Hylecoetus dermestoides</i>	<i>Rhagium bifasciatum</i>
1	Ja	Ja	Nein
4	Ja	Ja	Nein
5	Ja	Ja	Nein
6	Ja	Ja	Nein
7	Ja	Ja	Nein
10	Ja	Ja	Nein
11	Ja	Nein	Nein
12	Ja	Ja	Nein
13	Ja	Ja	Nein
15	Ja	Ja	Ja
16	Ja	Nein	Nein
17	Ja	Ja	Nein
18	Ja	Nein	Nein

4.2.1 Schutzwirkung der Netze gegen die jeweiligen Befallstypen

Die Schutzwirkung der Netze gegen die drei Befallstypen wurde untersucht. Dabei entsprach der Befallstyp 1 einem Befall durch *Lineatus trypodendron* oder dem Einstich von *Hylecoetus dermestoides*. Der Befallstyp 2 entsprach den Austrittslöchern von adulten *Hylecoetus dermestoides*. Befallstyp 3 wurde dem Befall durch verschiedene Arten der Familie der Cerambycidae sowie durch Siricidae zugeordnet.

4.2.1.1 Befallstyp 1

Die Nullpolter (Mdn=0.19) weisen bezüglich des Befallstyp 1 eine signifikant höhere Befallsintensität auf als die abgedeckten Polter (Mdn=0; Exakter Wilcoxon-Test: $p=2.9 \cdot 10^{-4}$, $n=19$) (Abbildung 20).

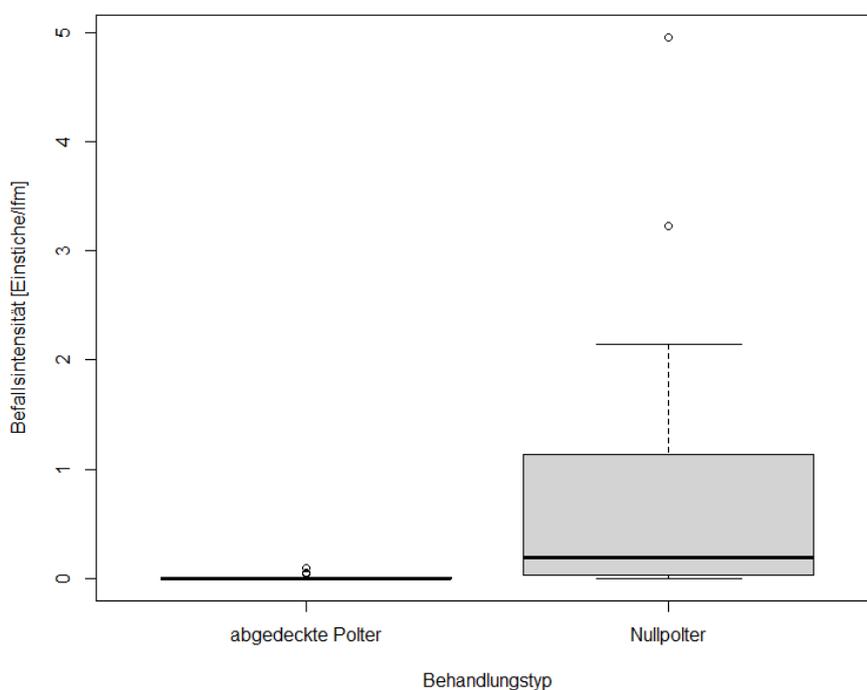


Abbildung 20: Verteilung der Befallsintensität durch Befallstyp 1 pro Polter

Im Mittelwert betrug die Befallsintensität durch Befallstyp 1 0.84 Einstiche/Lfm für die Nullpolter. Die Befallsintensität der netzgeschützten Polter war im Versuch um den Faktor 84 kleiner und lag im Mittelwert nur bei 0.01 Einstichen/Lfm. Der stärkste beobachtete Befall eines Nullpolters lag bei 4.96 Einstichen/Lfm.

Der Anteil an befallenen Nullpoltern lag bei 74% mit 14 von 19 befallenen Poltern. Von den geschützten Poltern waren nur 5 befallen, was einen Anteil von 26% ergibt.

An einem der untersuchten Polter wurden Schäden am Netz festgestellt (Abbildung 21). Augenscheinlich entstanden die Schäden durch Vögel, welche durch das Netz hindurch die Insekten darunter herauspiketen. Die am Polter festgestellte Befallsintensität war jedoch mit 0.28 Einstichen/Lfm nicht aussergewöhnlich hoch.



Abbildung 21: Festgestellte Schäden an einem der verwendeten Netze

4.2.1.2 Befallstyp 2

Nur bei einem Nullpolter konnten Schäden von Befallstyp 2 festgestellt werden. Bei diesem Polter betrug die Befallsintensität 0.46 Einstiche pro Lfm. Da der Befallstyp 2 jedoch nur einmal beobachtet wurde, ist keine statistisch belastbare Aussage möglich.

4.2.1.3 Befallstyp 3

Die Nullpolter (Mdn=0.0028) weisen bezüglich des Befallstyp 3 eine signifikant höhere Befallsintensität auf als die abgedeckten Polter (Mdn=0; Exakter Wilcox-Test: $p=0.028$, $n=19$) (Abbildung 22).

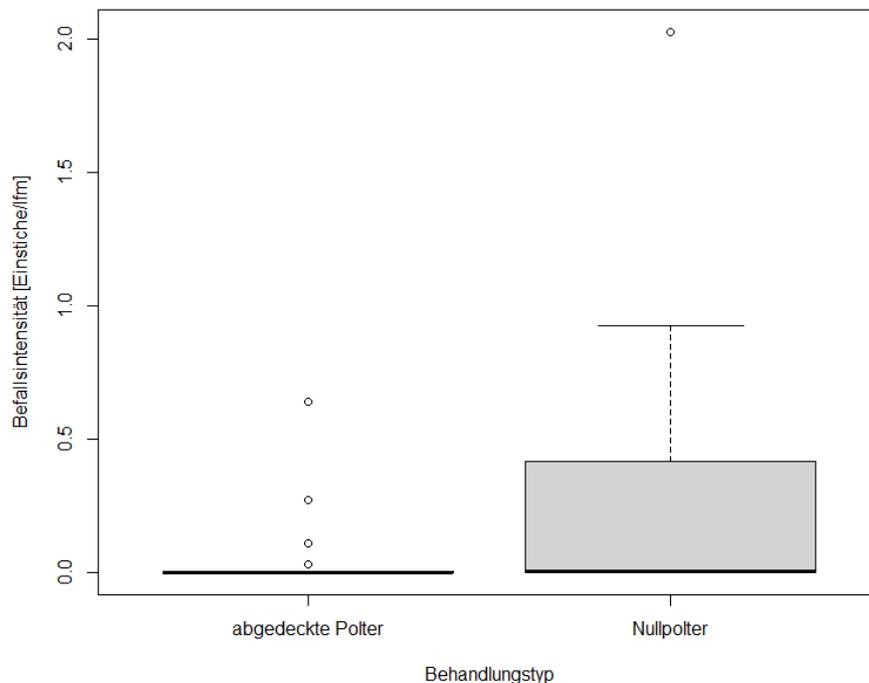


Abbildung 22: Verteilung der Befallsintensität durch Befallstyp 3 pro Polter

Die Schutzwirkung der Netze gegen den Befallstyp 3 war geringer als diejenige gegen den Befallstyp 1. Der Mittelwert der Befallsintensität der netzgeschützten Polter lag bei 0.06 Einstichen/Lfm. Die ungeschützten Polter wiesen eine Befallsintensität von 0.31 Einstichen/Lfm im Mittelwert auf. Somit reduzierte das Netz im Versuch den Befall durch den Befallstyp 3 um den Faktor 5.2. Der stärkste beobachtete Befall eines Nullpolters lag bei 2.03 Einstichen/Lfm. Der stärkste Befall eines netzgeschützten Polters bei 0.64.

Befallen waren total 9 von 19 Nullpoltern oder 47%. Die geschützten Polter waren zu 21% befallen.

4.2.2 Gesamthafte Schutzwirkung der Netze gegen Insektenbefall

Die Nullpolter (Mdn=0.92) weisen bezüglich der Summe aller Befallstypen eine signifikant höhere Befallsintensität auf als die abgedeckten Polter (Mdn=0; Exakter Wilcoxon-Test: $p=1.07 \cdot 10^{-4}$, $n=19$) (Abbildung 23).

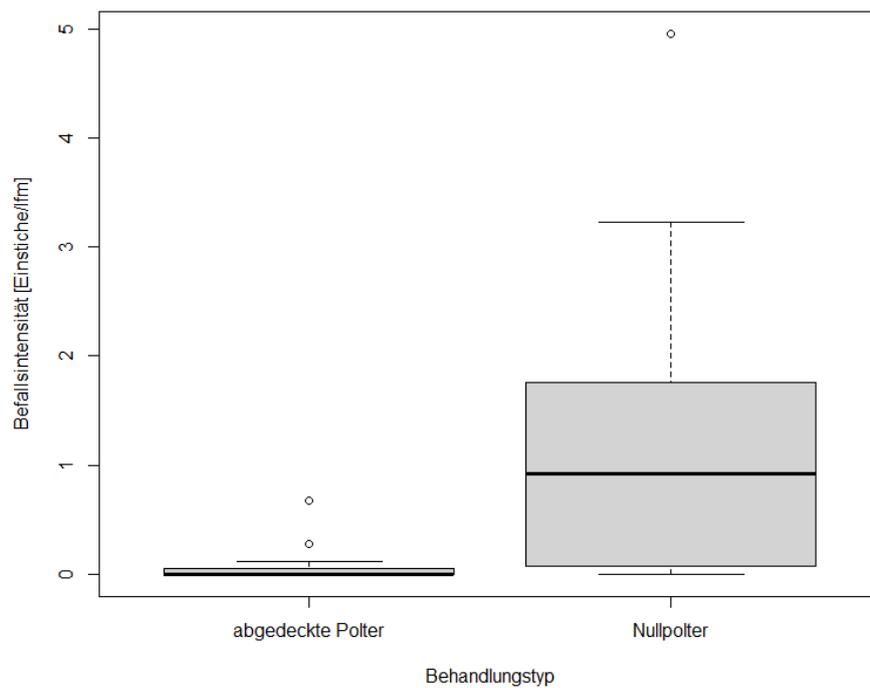


Abbildung 23: Verteilung der Befallsintensität durch die Summe aller Befallstypen pro Polter

Der Mittelwert aus der Summe aller Befallstypen betrug für die Nullpolter 1.18 Einstiche/Lfm. Damit war dieser fast 17-fach so hoch wie derjenige der netzgeschützten Polter, bei welchen der Mittelwert bei 0.07 Einstichen/Lfm lag.

16 von 19 Nullpolter waren durch einen der drei Befallstypen beschädigt. Das ergibt einen Anteil von 84%. Die geschützten Polter waren zu 42% befallen. Bei 8 von 19 netzgeschützten Poltern wurde ein Befall festgestellt.

4.2.3 Einfluss der Lage der Stämme im Polter als Faktor der Befallsintensität

4.2.3.1 Netzgeschützte Polter

Total 21 mit Netz geschützte Polter lieferten Daten, welche für die Auswertung genutzt werden konnten. Der statistische Test wurde für jeden der drei Befallstypen separat durchgeführt.

Befallstyp 1: Die Ergebnisse der statistischen Auswertung zeigen, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen den drei unterschiedlichen Expositionen der Stämme gibt ($F=0.084$, $p=0.92$; Abbildung 1).

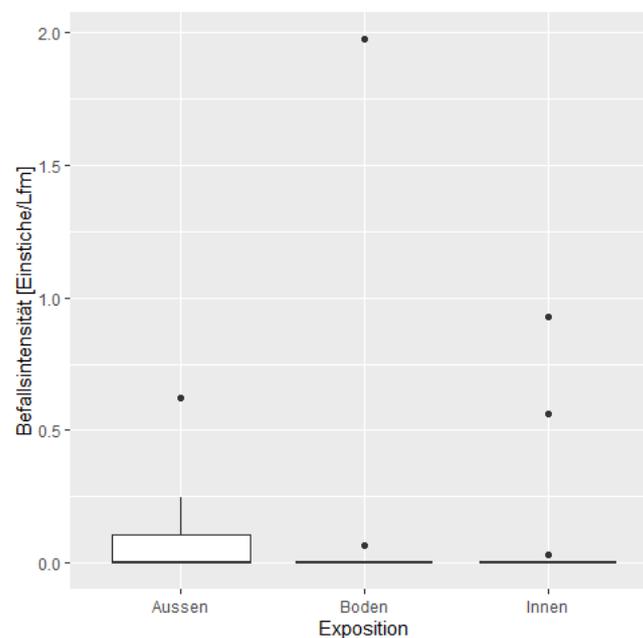


Abbildung 24: Befallsintensität der netzgeschützten Polter durch Befallstyp 1 nach Exposition

Befallstyp 2: An den mit Netz geschützten Polter wurde kein Befall durch den Befallstyp 2 festgestellt. Somit ist keine Aussage möglich über den Einfluss der Exposition auf die Befallsintensität.

Befallstyp 3: p-Wert: 0.31 nicht signifikant daher kein Unterschied zwischen den Expositionen

Wie bei Befallstyp 1 konnte auch für Befallstyp 3 kein signifikanter Unterschied der Befallsintensität zwischen den drei unterschiedlichen Expositionen festgestellt werden ($F=1.19$, $p=0.32$; Abbildung 25)

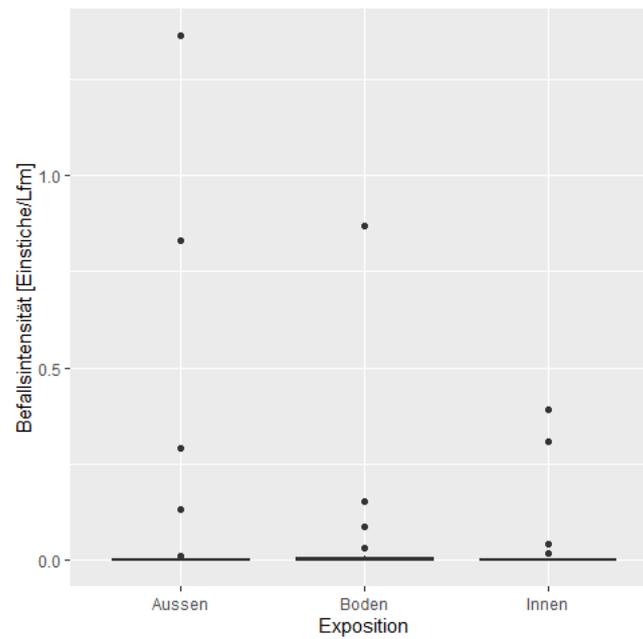


Abbildung 25: Befallsintensität der netzgeschützten Polter durch Befallstyp 3 nach Exposition

4.2.3.2 Nullpolter

15 Nullpolter konnten aufgrund der gesammelten Daten ausgewertet werden. Auch hier fand für jeden Befallstyp eine separate statistische Betrachtung statt.

Befallstyp 1: Der Unterschied der Befallsintensität der drei Expositionen ist auch bei den Nullpoltern nicht signifikant ($F=1.28$, $p=0.29$; Abbildung 26).

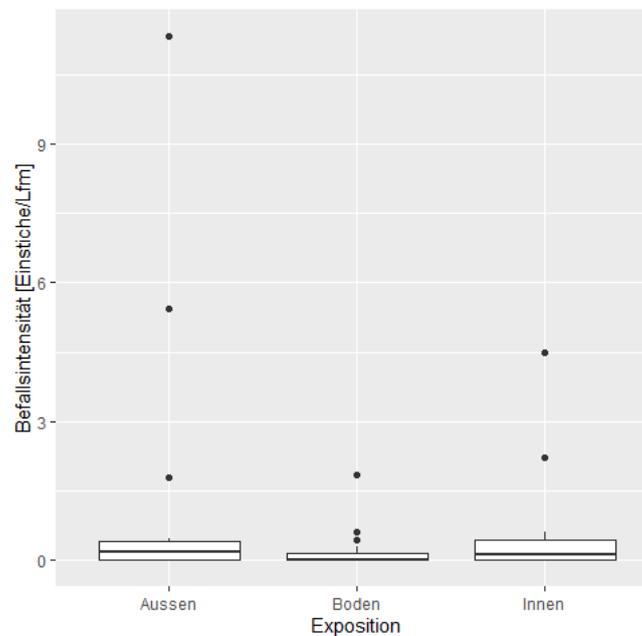


Abbildung 26: Befallsintensität der Nullpolter durch Befallstyp 1 nach Exposition

Befallstyp 2: Der Befallstyp 2 wurde nur an zwei Expositionen desselben Polters beobachtet. Beim beschriebenen Polter wurde innen eine Befallsintensität von 0.16 festgestellt. Am Boden war die Befallsintensität 1.00. Aufgrund der wenigen verfügbaren Daten wurde für den Befallstyp 2 keine statistische Auswertung durchgeführt.

Befallstyp 3: p-Wert: 0.076 knapp nicht signifikant, daher kein Unterschied zwischen den Expositionen

Der Unterschied der Befallsintensität zwischen den drei Expositionen von Nullpoltern war knapp nicht signifikant ($F=2.84$, $p=0.076$; Abbildung 27). Der Mittelwert der aussenliegenden Stämme betrug 0.43 Einstiche/Lfm. Für die innenliegenden Stämme betrug der Mittelwert 0.42 Einstiche/Lfm für diejenigen am Boden 0.03 Einstiche/Lfm.

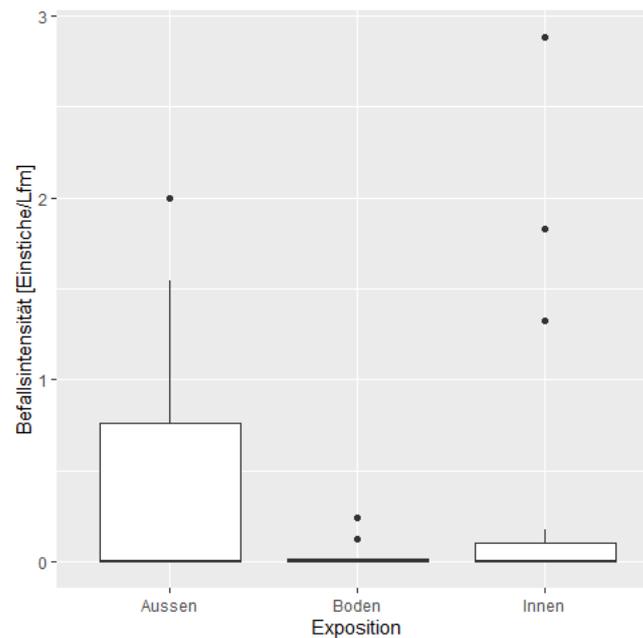


Abbildung 27: Befallsintensität der Nullpolter durch Befallstyp 3 nach Exposition

4.3 Betrachtung der Kosten für die Anwendung von Netzen und flüssigen PSM

4.3.1 Pflanzenschutzmittel in flüssiger Form

Insgesamt fünf Holzpolter wurden mit flüssigen Pflanzenschutzmitteln behandelt. Das durchschnittliche geschätzte Poltervolumen betrug 55 fm. Im Mittelwert wurde pro Polter eine aufgewendete Zeit von 52 Minuten inkl. Fahrzeit (SD=28.9) gemessen. Die durchschnittlichen Kosten pro geschütztem Fm Holz belaufen sich auf CHF 2.34 (SD=0.2). Die gemessenen Zeiten pro Polter wurden in Tabelle 6 aufgelistet. In Tabelle 7 wird das geschätzte Volumen sowie die durchschnittlichen Kosten pro Fm aufgezeigt.

Eine exakte Auflistung der Daten befindet sich in Anhang 1.

Tabelle 6: Aufgewendete Arbeits- bzw. Fahrzeit zum Schutz mit flüssigen PSM pro Polter

Polternummer	Arbeitszeit [min]	Fahrzeit [min]	Total [min]
1	28	34	62
2	32	66	98
3	20	14	34
4	14	16	30
5	16	18	34

Tabelle 7: Ermittelte Kosten für die Anwendung flüssigen pro Polter (inkl. Fahrzeit)

Polternummer	Geschätztes Volumen [fm]	CHF/fm
1	63	2.29
2	123	2.07
3	26	2.65
4	30	2.3
5	32	2.38

Wie in Abbildung 28 zu sehen ist, sind die Personalkosten mit einem durchschnittlichen Anteil von 48% der grösste Kostenfaktor bei der Behandlung von Holzpoltern mit flüssigen PSM. Der zweitgrösste Faktor sind die Maschinenkosten. Dies entspricht den Kosten für den verwendeten PW sowie der eingesetzten Spritze.

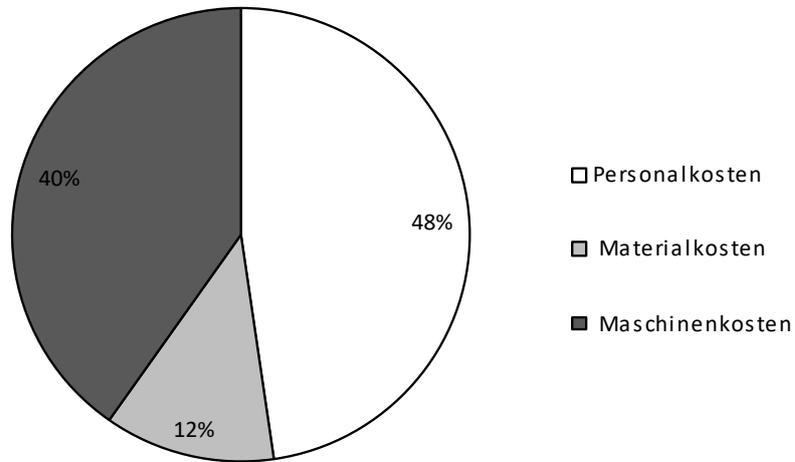


Abbildung 28: Aufteilung der Kosten für die Behandlung von Holzpoltern mit PSM

Werden die Personalkosten weiter aufgeteilt in Arbeitszeit und Fahrzeit wird sichtbar, dass ein Gross- teil der Personalkosten der Fahrzeit zugeordnet werden kann (Abbildung 29).

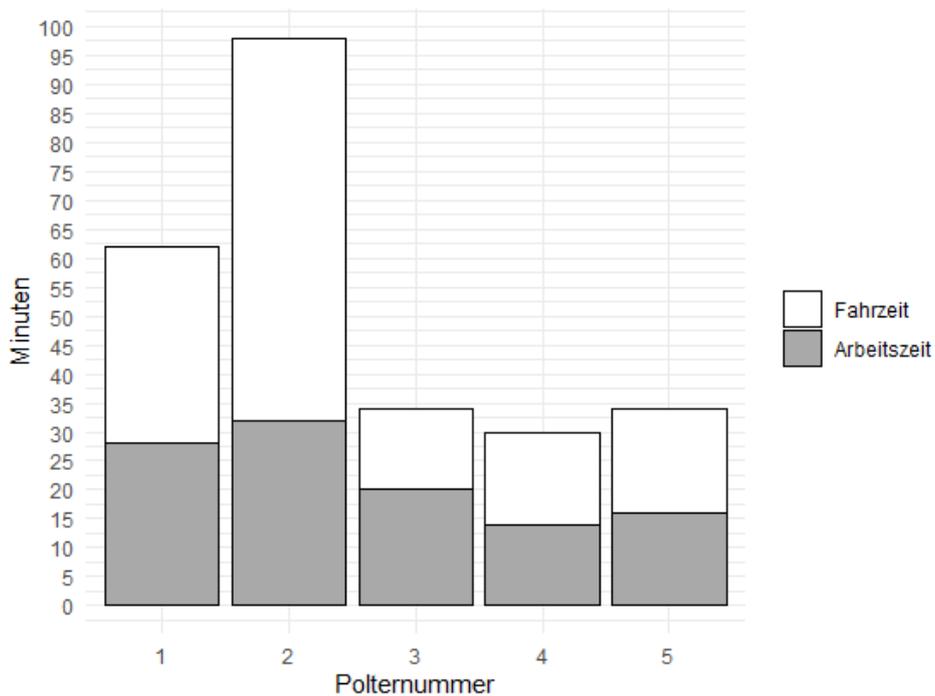


Abbildung 29: Aufgewendete Zeit pro PSM Polter aufgeteilt in Fahr- und Arbeitszeit

Die Materialkosten mit einem Anteil von 12% sind für die Gesamtkosten am wenigsten relevant.

4.3.2 Netze

Insgesamt sieben Holzpolter wurden für den Versuch mit dem beschriebenen Netz geschützt. Dabei war das durchschnittlich geschätzte Volumen der Polter 44 Fm (SD=18.9). Der Mittelwert der aufgewendeten Zeit inkl. der Fahrzeit war 49 Minuten (SD=18.6) pro Polter. Unter der Annahme, dass das Netz nur einmal verwendet wird, betragen die durchschnittlichen Kosten pro Fm CHF 10.59 (SD=4.46). Wie in Kapitel 3.1.1 beschrieben wird, besteht die Annahme, dass ein Netz fünf Mal wiederverwendet werden kann. In diesem Fall beträgt der Mittelwert der ermittelten Kosten CHF 5.24 (SD=1.78). Auch hier werden die gemessenen Daten in Tabelle 8 und Tabelle 9 abgebildet. Eine exakte Auflistung der Daten befindet sich in Anhang 2.

Tabelle 8: Aufgewendete Arbeits- bzw. Fahrzeit zum Schutz mit Netzen pro Polter

Polternummer	Arbeitszeit Abdecken [min]	Fahrzeit Abdecken [min]	Arbeitszeit Netze entfernen [min]	Fahrzeit Netze entfernen [min]	Total [min]
1	22	6	11	9	48
2	21	3	10	4	38
3	17	3	6	5	31
4	17	8	15	13	53
5	24	9	13	14	60
6	20	5	15	8	48
7	24	9	17	15	65

Tabelle 9: Ermittelte Kosten für die Anwendung von Schutznetzen pro Polter (inkl. Fahrzeit)

Polternummer	Geschätztes Volumen [fm]	CHF/fm (einmalige Verwendung)	CHF/fm (fünfmalige Verwendung)
1	42.5	9.33	4.76
2	20	18.2	8.48
3	22.5	15	6.63
4	59	6.91	3.62
5	62	7.02	3.88
6	36	10.85	5.45
7	66	6.83	3.88

4.3.2.1 Kostenanteile

Die Kostenanteile beim Holzschutz mit Netz sind stark verschieden zu denjenigen mittels PSM. So machen unter der Annahme, dass das Netz nur einmal verwendet wird, die Materialkosten einen Anteil von 61% aus. Diese entsprechen den Kosten für das Netz. Die Personalkosten sind der zweitgrösste Kostenfaktor mit etwas mehr als einem Drittel der Gesamtkosten. Die Maschinenkosten haben einen Anteil von nur 3% und sind damit sehr gering (Abbildung 30).

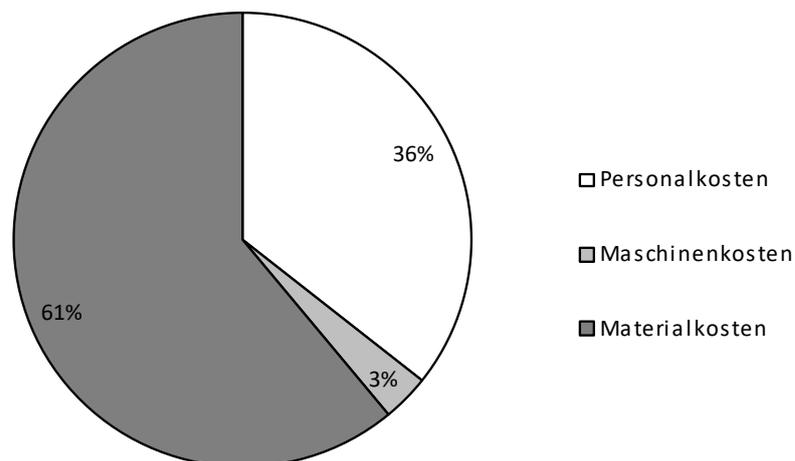


Abbildung 30: Aufteilung der Kosten für die Behandlung von Holzpoltern mit Netz (1x verwendet)

Wird davon ausgegangen, dass das Netz fünf Mal verwendet werden kann, verändern sich die Kostenanteile stark (Abbildung 31). Der Anteil der Personalkosten ist dabei der grösste Faktor mit rund 70%. Die Materialkosten sind rund noch ein Viertel, während die Maschinenkosten bei 6% liegen.

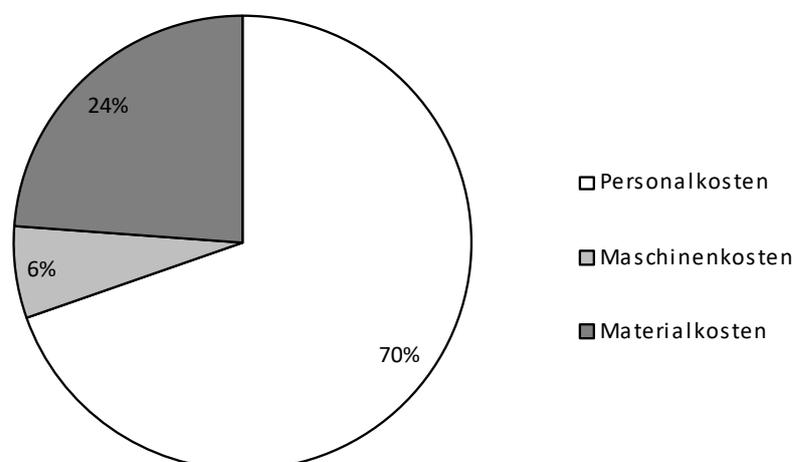


Abbildung 31: Aufteilung der Kosten für die Behandlung von Holzpoltern mit Netz (5x verwendet)

Auch hier können die Personalkosten aufgeteilt werden in Arbeitszeit und Fahrzeit. Ähnlich wie beim Holzschutz mit PSM ist die Fahrzeit ein grosser Anteil an den Personalkosten (Abbildung 32).

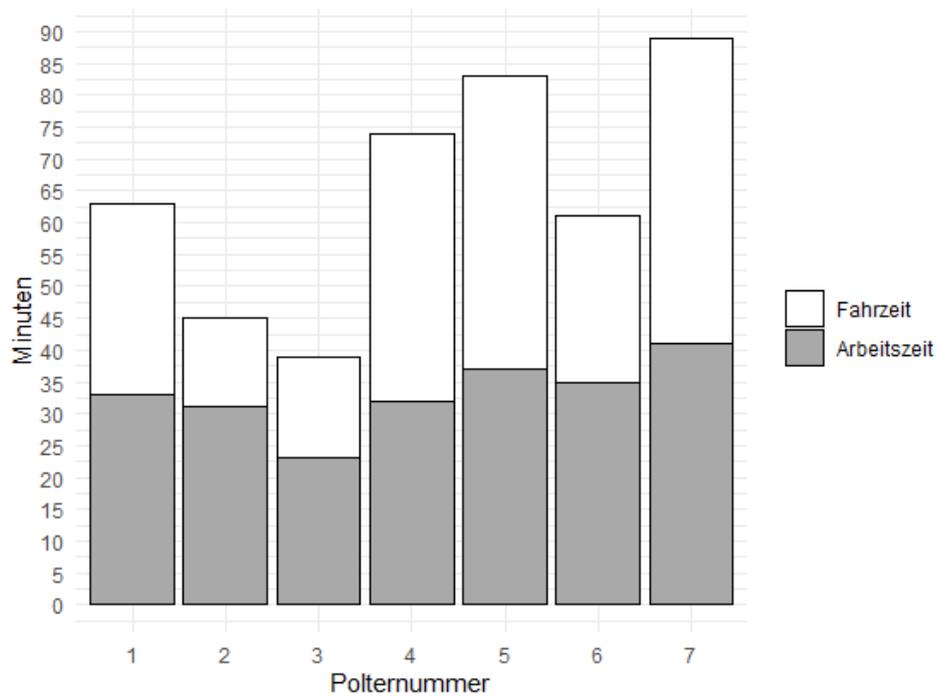


Abbildung 32: Aufgewendete Zeit pro netzgeschütztem Polter, aufgeteilt in Fahr- und Arbeitszeit

5 Diskussion

5.1 Bedeutung der mittels Fallen erhobenen Daten

Die Daten, welche mit den Fallen erhoben wurden, zeigen, wo welche der drei Käferarten vorhanden war. Mindestens ein Befall durch *Trypodendron lineatum* war an allen Standorten potenziell möglich. Die Tatsache, dass *Hylecoetus dermestoides* an fast allen Standorten anzutreffen war, jedoch keine Einstichlöcher vom Befallstyp 2 festgestellt werden konnten, liegt daran, dass *Hylecoetus dermestoides* gemäss Kapitel 2.1.2 beim Eintritt in das Holz Einstichlöcher vom Befallstyp 1 macht. Die Löcher vom Befallstyp 2 entstehen erst, wenn der adulte Käfer das Holz wieder verlässt.

5.2 Schutzwirkung von Netzen gegen Befall des Holzes durch Schadinsekten

Die Schutzwirkung der Netze gegen den Befall des Holzes durch Schadinsekten konnte nachgewiesen werden. Dabei ist der Schutz gegenüber den Befallstypen 1 und 3 klar ersichtlich. Aufgrund von fehlenden Daten ist keine Aussage bezüglich Befallstyp 2 möglich. Da jedoch der Befallstyp 2 nur an einem Polter beobachtet wurde, ist davon auszugehen, dass der Befallsdruck durch die betreffenden Insekten, namentlich insbesondere *Hylecoetus dermestoides*, welche als adulte Käfer das Holz verlassen, in der Holzertesaison 2022/2023 zu vernachlässigen war.

Die beobachtete Summe der drei unterschiedlichen Befallstypen betrug im Mittelwert für die netzgeschützten Polter 0.07 Einstichen/Lfm, derjenige der Nullpolter bei 1.18 Einstichen/Lfm. Die netzgeschützten Polter wurden im Schnitt also 16.8-fach weniger befallen als die Nullpolter.

5.2.1 Bewertung des durch den Befall am Holz entstandenen Schadensausmass

Gemäss Kapitel 2.2 führen Schäden von Befallstyp 1 bis zu einer Befallsintensität von ca. 12 Einstichen/Lfm zu keinen nennenswerten Einbussen der Festigkeit des Holzes. Dieser Grenzwert wurde, gemittelt über den ganzen Stamm, bei keinem der untersuchten Stämme beobachtet. Der höchste Wert lag knapp darunter bei 11.32 Einstichen/Lfm (Abbildung 33). Es kann also davon ausgegangen werden, dass der Befallstyp 1 im Versuch nicht zu Stabilitätseinbussen geführt hat.

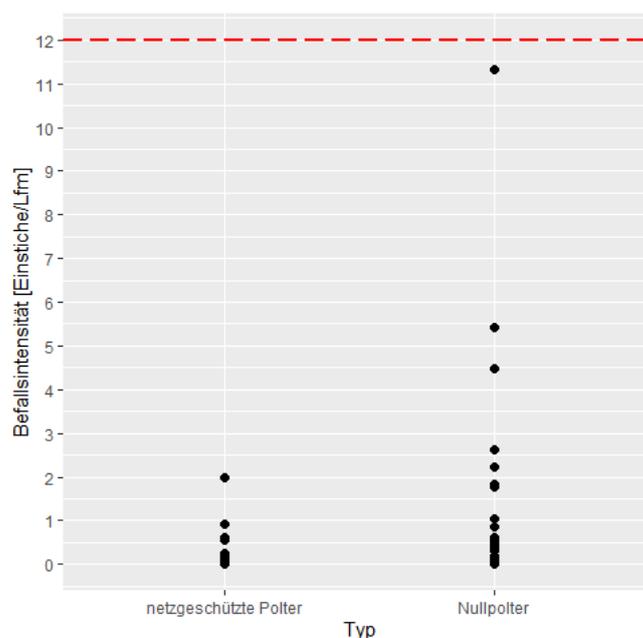


Abbildung 33: Summierte Befallsintensität der Polter mit sichtbarem Grenzwert von 12 Einstichen/Lfm

Schäden durch den Befallstyp 2 werden als wenig relevant betrachtet, da sie nur an einem Polter festgestellt wurden.

Schwierig zu bewerten sind die Schäden durch Befallstyp 3. Diese können gemäss Graf E. und Manser P. (1993) zu Einbussen der Biegefestigkeit des Holzes führen. Jedoch wurden diese Einbussen nicht quantifiziert. Im vorliegenden Versuch wiesen jedoch nur 8 Stämme eine Befallsintensität von mehr als 1 Einstich/Lfm auf. Einer der sieben Stämme stammte aus einem mit Netz geschützten Polter.

Optische Schäden sind aufgrund von fehlender Literatur schwierig zu beurteilen. Eine objektive Beurteilung ist fast unmöglich. Ob sich der Betrachter beispielsweise durch ein einzelnes schwarzes Loch mit einem Durchmesser von wenigen Millimeter gestört fühlt, ist sehr individuell. Zudem ist klar, dass optische Schäden nur dort eine Rolle spielen, wo das Holz auch sichtbar ist.

Eine Möglichkeit für die Beurteilung der Schäden wäre die Analyse der Verkaufspreise mit oder ohne Befall. Diese wurde in der vorliegenden Arbeit nicht durchgeführt. Klar ist aber, dass ein sichtbarer Befall zu starken Preiseinbussen führt.

5.2.2 Befallsintensität der Polter nach Exposition

Entgegen der von Graf E. und Manser P. (1993) beschriebenen Beobachtung konnte in der vorliegenden Arbeit kein signifikanter Unterschied zwischen aussen- und innenliegenden sowie auf den Boden gelegten Stämmen festgestellt werden.

Die Tendenz der Verteilung (ohne statistische Signifikanz) von Befallstyp 3 stimmt zwar mit den Ergebnissen der EMPA überein, jedoch wurde dieser Befallstyp im Versuch von 1993 nicht untersucht.

Wie in Kapitel 2.1 beschrieben wurde, überwintern die Schadinsekten teilweise in der Streuschicht. Daher wäre theoretisch ein Befall durch den Boden möglich. Dass in den Stämmen weiter unten im Polter kein signifikant höherer Befall vorhanden war, entkräftet diese Befürchtung aber.

5.3 Diskussion der Kostenbetrachtung für Polter, welche mit Netzen bzw. mit PSM geschützt werden

Wie in den Ergebnissen ersichtlich ist, wurde sowohl für die Zeitstudie der Anwendung der Netze sowie auch für diejenige der Anwendung der flüssigen PSM die Fahrzeit mit in die Kostenbetrachtung einbezogen. Da aber nicht jede Fahrt vom Werkhof direkt zu den Holzpoltern und zurück führte, sondern auch von Polter zu Polter, wurde die Fahrzeit direkt proportional zu den gelagerten Fm jedes Polters berechnet. Dies ist einerseits sinnvoll für eine Betrachtung der tatsächlichen Kosten, andererseits führt es aber für den Vergleich der unterschiedlichen Holzpolter und Schutzmethoden zu einem Fehler, da die Fahrzeit je nach Standort der Polter sehr unterschiedlich ausfallen kann. Daher soll für die Diskussion der Daten die Fahrzeit teilweise ausgenommen werden.

5.3.1 PSM

Hauptkostenfaktoren sind einerseits die Poltergrösse und andererseits der Standort der Polter. Obwohl eine lineare Regression mit nur fünf Datenpunkten wenig relevant ist, ist trotzdem die Tendenz sichtbar, dass mit zunehmender Poltergrösse die Kosten pro geschütztem Fm abnehmen (Abbildung 34). Wie in Kapitel 3.2 beschrieben, wurden die Fahrzeit entsprechend dem Volumen auf die Polter verteilt. Um die Daten nicht zu verfälschen, wurden in Abbildung 34 bewusst die Personalkosten, entstanden durch die Fahrzeit, ausgelassen.

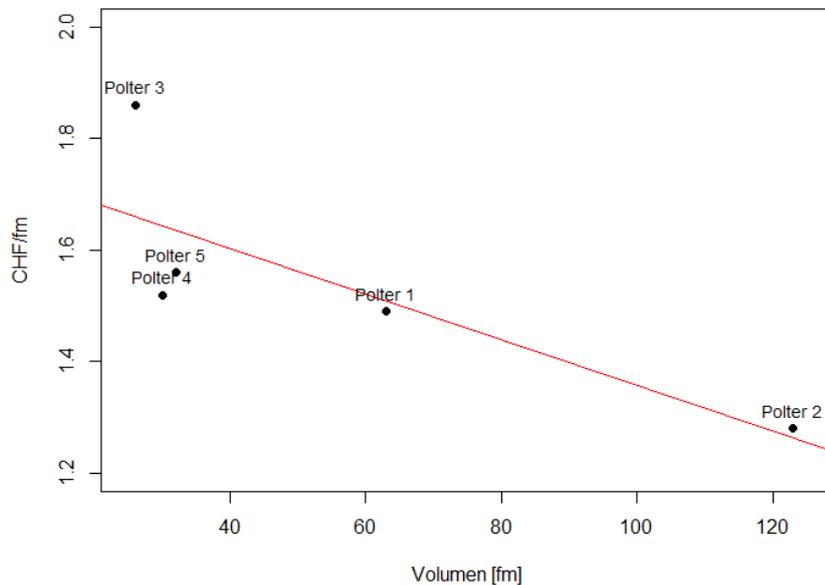


Abbildung 34: lineare Regression von Poltervolumen und Kosten pro fm bei der Anwendung von PSM (ohne Fahrzeiten)

Es ist anzunehmen, dass der Grund für die abnehmenden Kosten pro Fm mit zunehmender Poltergrösse darin liegt, dass gewisse Arbeiten wie die Vor- oder Nachbereitung unabhängig vom geschätzten Volumen ausgeführt werden müssen.

Der zweite Faktor, der Polterstandort, ist unabhängig von den anderen Parametern. Ist die zurückzulegende Distanz gross, steigen sowohl die Personalkosten als auch die Maschinenkosten für das verwendete Fahrzeug.

Der Faktor der Maschinenkosten, verursacht durch die Auslastung der verwendeten Spritze, wurde als vernachlässigbar betrachtet.

5.3.2 Netze

Werden Holzpolter mit einem Netz geschützt, ist die Poltergrösse ebenfalls ein wichtiger Kostenfaktor. In der linearen Regression ist ein negativer Zusammenhang zwischen Polter-Volumen und Kosten pro Fm sichtbar (Abbildung 35). Auch hier wurden die Fahrkosten in der Berechnung ausgelassen, um eine Verfälschung der Daten zu verhindern.

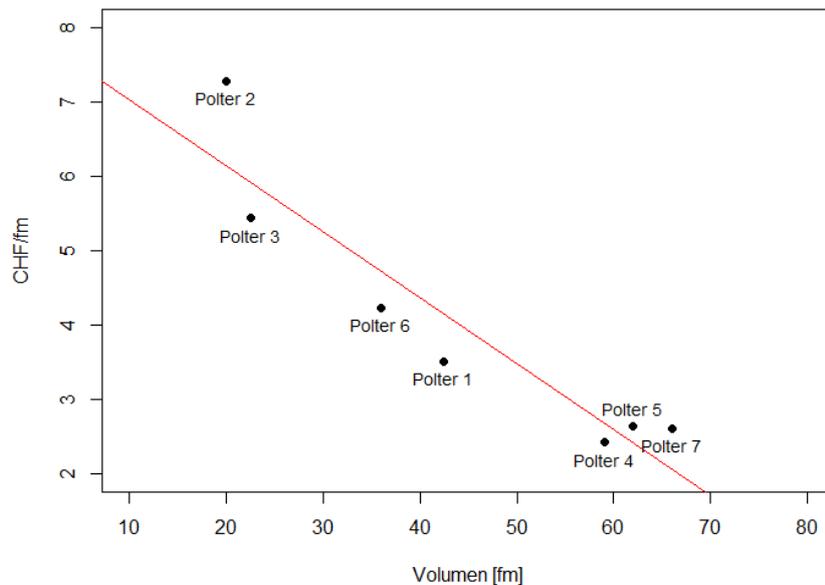


Abbildung 35: lineare Regression von Poltervolumen und Kosten pro Fm beim Schutz mit Netz (ohne Fahrzeiten)

Als weiterer Faktor ist auch hier der Standort der Polter zu werten. Steigt die zurückzulegende Distanz, steigen auch die Personalkosten sowie die Maschinenkosten verursacht durch den PW.

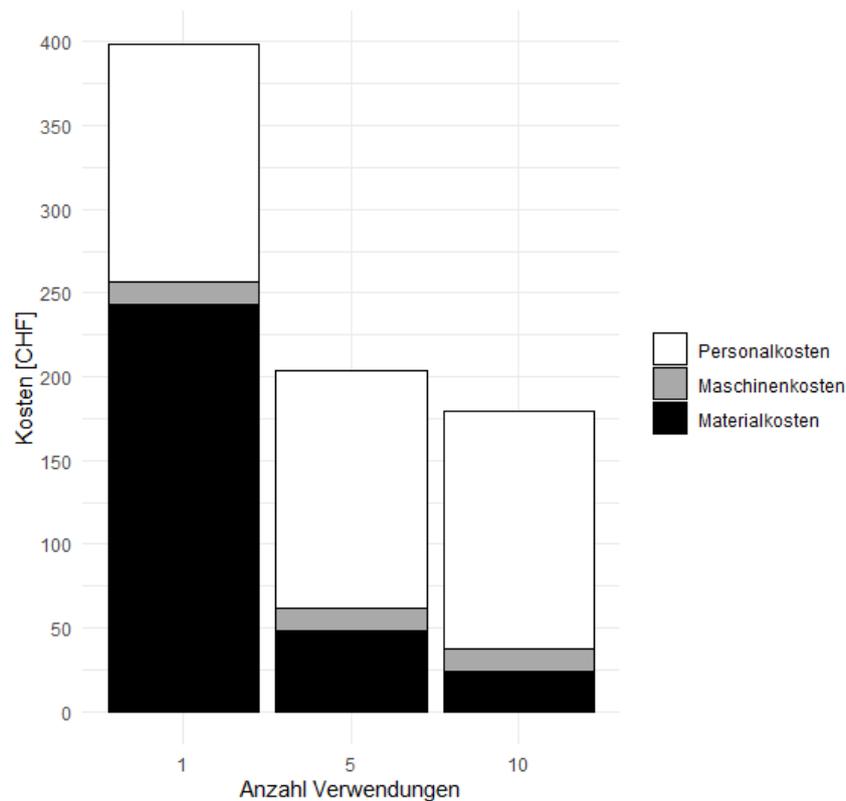


Abbildung 36: Anteil der Kosten des Netzes, bei mehrmaliger Verwendung

Im Unterschied zum Holzschutz mit PSM ist beim Holzschutz mit Netzen ein dritter wichtiger Faktor vorhanden. Dieser ist die wiederholte Verwendung der Schutznetze (Abbildung 36). Wie bereits in Kapitel 4.3.2.1 aufgezeigt wurde, kann der Anteil der Materialkosten, verursacht durch die Netze, hoch sein. So liegt dieser bei nur einer Verwendung bei fast zwei Dritteln. Kann das Netz fünf Mal verwendet werden, sinkt der Anteil auf ca. ein Viertel. Könnte das Netz sogar zehn Mal verwendet werden, wäre der Anteil sogar bei 14%. Somit ist für die Kosteneffizienz der Schutzmethode mit Netzen wichtig, dass die Netze so häufig wie möglich verwendet werden können. Diesen Faktor gilt es insbesondere bei der Beschaffung der Netze zu beachten. Ist ein Netz bei gleicher Schutzwirkung etwas teurer, kann dafür aber häufiger verwendet werden, ist dieses vermutlich kostentechnisch die bessere Wahl. Wie in Kapitel 4.2 aufgezeigt wurde, ist zudem zu verhindern, dass Netze beschädigt werden. Diese Kosten sind in keiner Kostenkalkulation inbegriffen. Ein Schaden kann sowohl beim Anbringen der Netze als auch durch Faktoren, welche nicht zu beeinflussen sind, verursacht werden. Zu diesen Faktoren gehören Vögel, aber auch Vandalismus durch Waldbesucher.

5.3.3 Vergleich der Kosten zwischen PSM-Behandlung und Netz

Werden die Kosten von Netz und PSM nebeneinander betrachtet, so ist ersichtlich, dass beim Netz sowohl die Kosten für das Material als auch für die Personalaufwände höher sind. Dafür sind beim Einsatz des Netzes die Maschinenkosten wesentlich geringer (Abbildung 37). Dies vor allem, weil der Einsatz einer Spritze wegfällt.

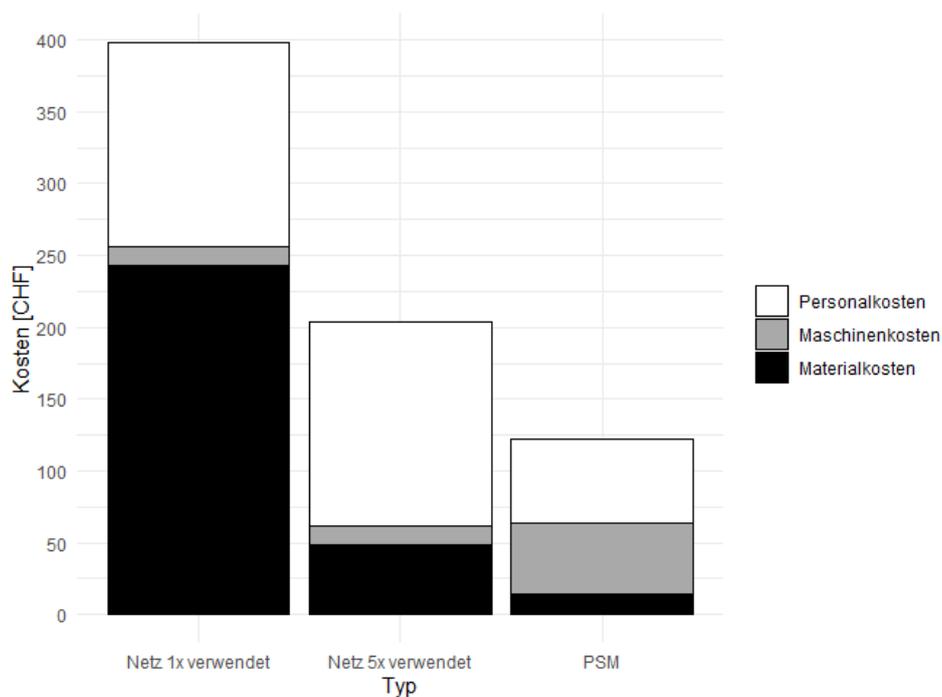


Abbildung 37: Kosten und deren Anteile nach Schutzmethode (inkl. Fahrzeit)

Insgesamt ist der Schutz mittels PSM gemessen an den oben genannten Faktoren die günstigste Holzschutzmethode mit CHF 2.34 pro Fm Holz. Kann das Netz fünf Mal wiederverwendet werden, ist der Schutz mit diesem mit CHF 5.24 etwas mehr als doppelt so teuer als die PSM. Ist nur eine einmalige Verwendung möglich, kosten der Schutz pro Fm Holz sogar CHF 10.59.

Auch hier können die unterschiedlichen Schutztypen ohne die Kosten der Fahrt betrachtet werden (Abbildung 38). Dabei zeigt sich, dass die Maschinenkosten für die Installation des Netzes vernachlässigbar sind. Einzig die verwendete Motorsäge macht sich mit einem verschwindend kleinen Anteil bemerkbar. Wird das Holz mit PSM geschützt, ist der Anteil der Maschinenkosten aufgrund der verwendeten Spritze höher. Eine wesentliche Veränderung der Anteile zwischen den Schutzmethoden ist aber nicht festzustellen.

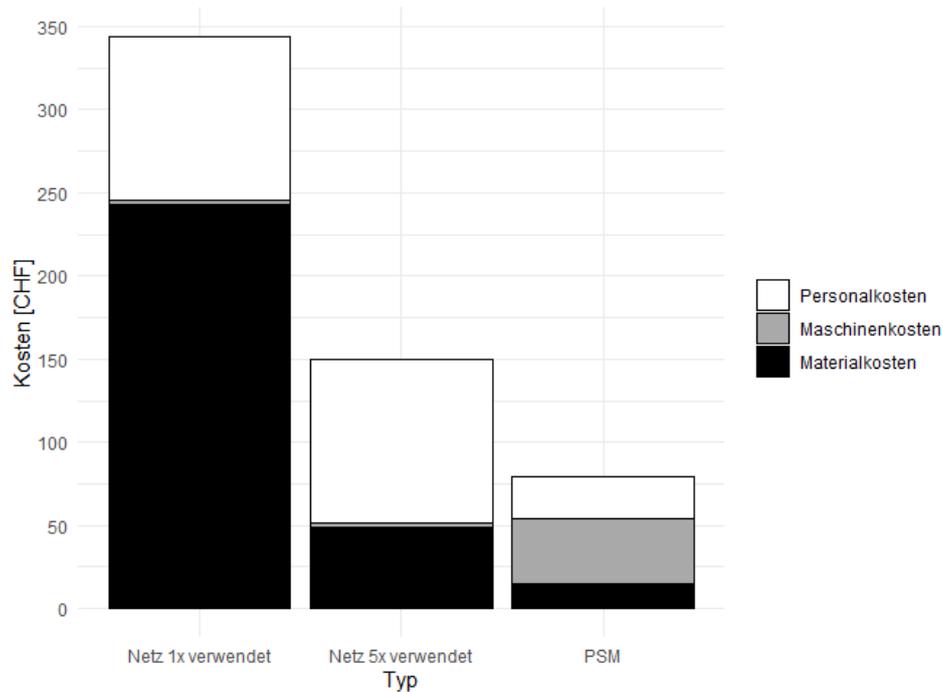


Abbildung 38: Kosten und deren Anteile nach Schutzmethode (exkl. Fahrzeit)

6 Folgerungen

Die Schutzwirkung der Netze konnte aufgezeigt werden. Die mit dem Netz geschützten Polter waren weniger stark befallen als diejenigen, welche ungeschützt belassen wurden. Für den Befallstyp 1 war der beobachtete Befall der mit Netz geschützten Polter gegenüber denjenigen, welche ungeschützt waren, um den Faktor 84 kleiner. Für den Befallstyp 3 wurde eine Reduktion des Befalls um den Faktor 5.2 erreicht. Wird die Befallsintensität über alle drei Befallstypen betrachtet, so lag diese für ungeschützte Polter bei 1.18 Einstichen/Lfm und für die mit Netz geschützten Polter bei 0.07 Einstichen/Lfm. Dies entspricht bei einem fünf Meter langen Brett 5.9 bzw. 0.35 Einstichen. Eine Relevanz der Exposition der Stämme im Holzpolter bezüglich der Befallsintensität konnte nicht nachgewiesen werden.

Die ermittelten Kosten betragen für die Anwendung des Netzes 5.24 CHF pro geschütztem Fm Holz, diejenigen für den Schutz mittels PSM 2.34 CHF pro geschütztem Fm Holz. Je grösser der Polter ist, desto geringer sind die Kosten pro geschütztem Fm.

Um eine möglichst gute Schutzwirkung zu erzielen, ist beim Anbringen der Netze darauf zu achten, dass diese rundherum dicht zum Boden abschliessen. Weiter wichtig ist, dass die Netze rechtzeitig angebracht werden. Der Vorteil der Netze ist dabei, dass dies, anders als bei der zeitlich beschränkten Wirkungsdauer von PSM, zu keinen Einbussen bezüglich Schutzwirkung und -dauer führt, auch wenn die Polter zu früh geschützt werden. Damit ist das Anbringen der Netze bis Ende Februar bzw. gleich nach der Polteranlage sinnvoll. Für ein einfaches Anbringen der Netze sind die Polter im besten Fall astfrei und kompakt geschichtet. Idealerweise ist der Polter zudem freiliegend, also ohne Stützbäume.

Der Einsatz der verschiedenen Holzschutzmethoden hängt schliesslich vom Standpunkt des Holzbesitzers ab. Egal, ob das Holz mittels PSM oder Netz geschützt wird, muss dieser entscheiden, ob die Kosten, welche durch den Holzschutz verursacht werden, für ihn in einem guten Verhältnis zu dem gewonnenen Mehrwert stehen. Will der Holzeigentümer eine möglichst kostengünstige Methode, so wird er sich wahrscheinlich weiterhin für die chemische Variante entscheiden. Liegt dem Holzeigentümer etwas daran, die Umwelt vor Schadstoffbelastungen zu schützen oder möchte er Holzpolter an Orten schützen, wo kein Einsatz von PSM zugelassen ist, bieten die Schutznetze eine interessante und brauchbare Alternative.

Weiter wird die Politik und die daraus folgende Gesetzgebung einen grossen Einfluss haben. Wie beschrieben steht insbesondere Cypermethrin als Wirkstoff stark in der Kritik. Es ist wahrscheinlich, dass dieser Wirkstoff in Zukunft keine Zulassung mehr erhalten wird. Als Anreiz für die Verwendung von PSM-freien Alternativen wäre zudem ein finanzieller Beitrag von Bund und Kantonen zu prüfen. Interessant wäre diese Diskussion im Zusammenhang mit den politischen Plänen, die Risiken durch PSM bis 2027 um 50% zu reduzieren.

Die im Moment bestehenden Zulassungen für PSM im Wald sind zeitlich beschränkt. Ob sich die Hersteller nach dem Ablauf für eine erneute Zulassung entscheiden werden, ist offen. Die Kosten für ein solches Zulassungsverfahren sind hoch und der Schweizer Wald ist ein kleiner Markt. Daher ist auch denkbar, dass nach dem Auslaufen der bestehenden Zulassungen keine neuen PSM mehr zur Verfügung stehen. In diesem Fall wäre die Nutzung einer Alternative unumgänglich. Es stellt sich ausserdem die Frage, um die Wirkung der Netze mit der von PSM zu vergleichen, wie der Wirkungsgrad von PSM aussieht. Denn auch hier wird wohl ein 100% Schutz nicht gegeben sein. Diese Frage war aber nicht Gegenstand dieses Projekts. Erst wenn man dies weiss, kann man jedoch die Schutzwirkung der Netze mit der von PSM vergleichen und beurteilen.

Das Interesse am Versuch war bereits während der Durchführung sehr gross. Kantone, Forstbetriebe und Sägereien wünschten sich schon vor Abschluss des Projekts mehr Informationen. Dies zeigt, dass die Akzeptanz in der Branche für eine neue Schutzmethode vorhanden ist. Ein sicher nicht zu vernachlässigender Faktor ist dabei, dass der Verzicht auf PSM auch im Kundenstamm der unterschiedlichen Branchenzweigen ein Verkaufsargument sein kann.

Eine weitere Frage, welche durch Aussenstehende gestellt wurde, war, ob das Netz auch verwendet werden könne, um durch Borkenkäfer befallenes Holz abzudecken und so den Waldschutz des

umliegenden Bestandes sicherzustellen. Dazu ist festzuhalten, dass aufgrund der durchgeführten Studie keine Aussage möglich ist. Jedoch ist dies bei einer rationalen Betrachtung denkbar.

Ist der Entscheid zur Anwendung der Netze gefallen, bleibt offen, wie der Schutzprozess (Materialauswahl, Abdeckzeitpunkt, Vorgehen...) gestaltet wird. Auch noch nicht abschliessend behandelt ist die Wahl des geeigneten Netzes. In vorliegender Arbeit wurde nur ein Netztyp untersucht. Die Möglichkeit besteht, dass auf dem Markt ein besser geeignetes Produkt zu finden ist. Um sich für ein Produkt zu entscheiden sind mehrere Faktoren wichtig. Am wichtigsten dabei ist der Schutz gegen die Schadinsekten. Dafür ist entweder ein Netz mit sehr kleiner Maschenweite nötig, oder Fliese, welche wasserdurchlässig sind und zu keinem veränderten Klima im Polter führen. Weiter sind die Kosten wichtig. Diese sind abhängig vom Materialpreis, der Aufwändigkeit des Anbringens sowie der Wiederverwendbarkeit der Netze. Es ist wahrscheinlich, dass das insgesamt kosteneffizienteste Produkt nicht das günstigste in der Anschaffung ist, dieses jedoch häufiger wiederverwendet werden kann. Um keinen Eintrag von anderen Schadstoffen in die Umwelt zu verursachen, müssen die Produkte entweder biologisch abbaubar oder ausreichend stabil sein. Als letzter Faktor zählt die Marktverfügbarkeit des Produkts. Da häufig die Grösse der Polter erst während dem Holzschlag bekannt ist, sollten die Lieferfristen möglichst kurz sein.

Es bleibt zu hoffen, dass die Chance, Schutznetze anstelle von PSM zu verwenden, durch die Branche aber auch die Politik erkannt wird. Werden die Netze auch im Vergleich zu PSM als gute und praxistaugliche Alternativen anerkannt, wäre dies ein gutes Argument, um auf PSM zu verzichten. Die Netze wären dann im Sinne der ChemRRV (Anhang 2.5) eine Massnahme, die PSM ersetzen und dabei die Umwelt weniger belasten könnten. Durch eine häufige Anwendung in der Praxis und weitere Forschung können vermutlich sowohl die Effizienz als auch die Effektivität der Netze noch weiter gesteigert werden, was zu einem Gewinn für Anwender, Kunden und Umwelt führt.

7 Literaturverzeichnis

- Bachmann R. GW, 2021. Schutz von Holz mit unbehandelten Netzen im Kanton Zug 2021. Interview vom 02.11.2021.
- BASF, 2020. Gebrauchsanleitung. Storanet, 9 S.
- Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, ohne Datum. Fichtenschadinsekten, 26.11.2023, <https://www.lwf.bayern.de/waldschutz/forstentomologie/211432/index.php>
- BFS (Bundesamt für Statistik), 2022. Forstwirtschaft. Das Wichtigste in Kürze. Bundesamt für Statistik, <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/land-forstwirtschaft/forstwirtschaft.html>
- Blaser S., 2023. Identifizieren einer Käferlarve. E-Mail vom 21.11.2023.
- BLV (Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen), 2022. Weisungen der Zulassungsstelle betreffend die Massnahmen zur Reduktion der Risiken bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, 11 S.
- BLV (Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen), 2023. Pflanzenschutzmittelverzeichnis. Kultur: Liegendes Rundholz im Wald und auf Lagerplätzen. Abgerufen am 11.11.2023, <https://www.psm.admin.ch/de/kulturen/9956>
- Bundeskanzlei S, 2023. Verordnung 814.81 zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen. ChemRRV, 184 S.
- Bundesrat, 2017. Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, 78 S.
- EU-Insekten, ohne Datum. Bäckerbock, http://www.eu-insekten.de/steckbrief.php?tier=Mono-chamus_galloprovincialis
- Fassbind S, 2022. Netze zum Schutz von Fichten- und Tannenholzpoltern. Wissenschaftlicher Versuch zur Effektivität von Holzschutznetzen gegen den Nutzholzborkenkäfer *Xyloterus lineatus*. Berner Fachhochschule, Hochschule für Agrar-, Forst-, und Lebensmittelwissenschaften, Zollikofen, 25 S.
- Glos P, Seerieder W, 1986. Ausmass eines *Xyloterus lineatus* Befalls an Kiefern- und Fichtenholz. Holz als Roh- und Werkstoff, 30.
- Gossner M., Falck K., Weiser W., ohne Datum. Supplementary Material. Effects of management on ambrosia beetles and their antagonists in European beech forests, 114 S.
- Graf, E., Manser, P., 1993. Einfluss einer fehlenden Behandlung des berindeten Rundholzes mit chemischen Pflanzenbehandlungsmitteln im Wald auf den Befall durch den Linierten Nutzholzborkenkäfer (*Trypodendron lineatum* Oliv.) und den Sägehörnigen Werftkäfer (*Hylecoetus dermestoides* L.) sowie auf die damit verbundene Qualitätsminderung des Holzes. Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), St. Gallen, 54 S.
- insektenbox, 2023. Langhornbock, 26.11.2023, <http://www.insektenbox.de/kaefer/lanboc.htm>
- Lohrer T, 2013. Sägehörniger Werftkäfer. University of Applied Science Weihenstephan - Triesdorf. Abgerufen am 06.11.2023, <https://www.arbofux.de/saegehoerniger-werftkaefer.html>
- Niesar M, 2013. Infomeldung Nr. 1/2013 vom 16.Mai 2013. Gestreifter Nutzholzborkenkäfer. *Trypodendron lineatum* (= *Xyloterus lineatus*). Mensch Wald!, 1–2.
- P.R.P. Produzione Reti Plastiche srl, ohne Datum. Technical detail AGA 2010 - 50 mesh, 1 S.
- Rösch A, Beck B, Hollender J, Stamm C, Singer H, Doppler T, Junghans M., 2019. GERINKE KONZENTRATIONEN MIT GROSSER WIRKUNG. NACHWEIS VON PYRETHROID- UND ORGANOPHOSPHAT- INSEKTIZIDEN IN SCHWEIZER BÄCHEN IM pg I-1 -BEREICH, 13 S.
- Sander M., 2023. Meeting an der EAWAG. E-Mail vom 03.02.2023.
- Schmidt H, Roth Wv, 1975. Einfluss von *Xyloterus*-Einbohröffnungen auf die Festigkeit von Holzmassen. Holz als Roh- und Werkstoff, 349–352.
- Schütze A, 2023. Änderungen in der Ausbildung. Digitaler Kommentar vom 15.12.2023.
- Schütze A, Dietsch P, Thomas M, 2020. Prüfung von Alternativen zu Pflanzenschutzmitteln im Wald. Schlussbericht zur externen Vorstudie. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU). Berner Fachhochschule, Hochschule für Agrar-, Forst-, und Lebensmittelwissenschaften, Bern, 54 S.
- Ständerat, 2023. Das Risiko beim Einsatz von Pestiziden reduzieren. Bericht der Kommission für Wirtschaft und Abgaben des Ständerats vom 3. Juli 2020, Bern. Abgerufen am 16.12.2023, <https://www.parlament.ch/de/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaeft?AffairId=20190475>
- Steiner A., ohne Datum. natur-in-nrw. Abgerufen am 26.11.2023, <https://www.natur-in-nrw.de/HTML/Tiere/Insekten/Kaefer/Cerambycidae/TK-3968.html>
- Wirth K, Moulin J, Dürig R, Hopf s, 2013. Berufskunde. Forstwartin/Forstwart. Codoc - Koordination und Dokumentation Bildung Wald, Lyss, 34 S.
- WSL, ohne Datum. Riesenholzwespe. *Urocerus gigas*, 4 S.

- WSL (Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft), ohne Datum-b. Fichtenbock.
Tetropium castaneum, 3 S.
- WSL (Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft), ohne Datum-c. Gestreifter Nutzholzborkenkäfer. Trypodendron lineatum (=Xyloterus lineatus), 3 S. Abgerufen am 06.11.2023.
- WSL (Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft), ohne Datum-d. Sägehörniger Werftkäfer, 3 S.

Anhang

Anhang 1

Anhang 1: Messdaten aus der Zeitstudie für die Anwendung von flüssigen PSM

Fahrzeit [min] 73
 Vorbereitung im Werkhof [min] 5
 Nachbereitung im Werkhof [min] 7

Polter 1		Geschätztes Volumen		63	
MA-Zeit		Spritze-Zeit		PW-Zeit	
Beschreibung	Zeit [min]	Beschreibung	Zeit [min]	Beschreibung	Zeit [min]
Anteil Fahrzeit	0	Spritzen	8	Anteil Fahrzeit	0
Anteil Vorbereitung Werkhof	1	Schlauch ab- und aufrollen	1	Total	0
Vorbereitung Wald	2	Total	9		
Polter spritzen (1. Person) bzw. Dokumentation und Mithilfe (2. Person)	8				

Nachbereitung Wald 1
 Anteil Nachbereitung Werkhof 2
 Unterbrechungen >15min 0
Total 14

Polter 2		Geschätztes Vo- lumen		123	
MA-Zeit		Spritze-Zeit		PW-Zeit	
Beschreibung	Zeit [min]	Beschreibung	Zeit [min]	Beschreibung	Zeit [min]
Anteil Fahrzeit	0	Spritzen	9	Anteil Fahrzeit	0
Anteil Vorbereitung Werkhof	2	Schlauch ab- und aufrollen	1	Total	0
Vorbereitung Wald	1	Total	10		
Polter spritzen (1. Person) bzw. Dokumentation und Mit-hilfe (2. Person)	9				

Nachbereitung Wald	1
Anteil Nachbereitung Werkhof	3
Unterbrechungen >15min	0
Total	16

Polter 3		Geschätztes Vo- lumen		26	
MA-Zeit		Spritze-Zeit		PW-Zeit	
Beschreibung	Zeit [min]	Beschreibung	Zeit [min]	Beschreibung	Zeit [min]
Anteil Fahrzeit	0	Spritzen	6	Anteil Fahrzeit	0
Anteil Vorbereitung Werkhof	0	Schlauch ab- und aufrollen	1	Total	0
Vorbereitung Wald	1	Total	7		
Polter spritzen (1. Person) bzw. Dokumentation und Mit-hilfe (2. Person)	6				

Nachbereitung Wald	2
Anteil Nachbereitung Werkhof	1
Unterbrechungen >15min	0
Total	10

Polter 4	Geschätztes Vo- lumen				
MA-Zeit		30		PW-Zeit	
Beschreibung	Zeit [min]	Spritze-Zeit		Beschrei- bung	Zeit [min]
Anteil Fahrzeit	0	Beschreibung	Zeit [min]	Anteil Fahr- zeit	0
Anteil Vorbereitung Werkhof	1	Spritzen	3	Total	0
Vorbereitung Wald	2	Schlauch ab- und aufrollen	1		
Polter spritzen (1. Person) bzw. Dokumentation und Mit- hilfe (2. Person)	3	Total	4		

Nachbereitung Wald	1
Anteil Nachbereitung Werkhof	1
Unterbrechungen >15min	0
Total	7

Polter 5	Geschätztes Vo- lumen				
MA-Zeit		32		PW-Zeit	
Beschreibung	Zeit [min]	Spritze-Zeit		Beschrei- bung	Zeit [min]
Anteil Fahrzeit	0	Beschreibung	Zeit [min]	Anteil Fahr- zeit	0
Anteil Vorbereitung Werkhof	1	Spritzen	3	Total	0
Vorbereitung Wald	2	Schlauch ab- und aufrollen	1		
Polter spritzen (1. Person) bzw. Dokumentation und Mit- hilfe (2. Person)	3	Total	4		

Nachbereitung Wald	2
Anteil Nachbereitung Werkhof	1
Unterbrechungen >15min	0
Total	8

Anhang 2

Anhang 2: Messdaten aus der Zeitstudie über die Anwendung von Netzen

Polter 1		Geschätztes Volumen		42.5	
MA-Zeit		MS-Zeit		PW-Zeit	
Beschreibung	Zeit [min]	Beschreibung	Zeit [min]	Beschreibung	Zeit [min]
Anteil Fahrzeit		6 Polter Freisägen	3	3 Anteil Fahrzeit	6
Anteil Vorbereitung		1 Holzrugel sägen	6	Total	6
Freisägen des Polters	4	Total	9		
Ausbreiten des Netzes	2				
Netz über Polter ziehen	4				
Beschweren des Netzes	10				
Anteil Nachbereitung	1				
Unterbrechungen >15min	0				
Total	28				

Polter 2		Geschätztes Volumen		20	
MA-Zeit		MS-Zeit		PW-Zeit	
Beschreibung	Zeit [min]	Beschreibung	Zeit [min]	Beschreibung	Zeit [min]
Anteil Fahrzeit		3 Polter Freisägen	1	1 Anteil Fahrzeit	3
Anteil Vorbereitung		0 Holzrugel sägen	8	Total	3
Freisägen des Polters	1	Total	9		
Ausbreiten des Netzes	3				
Netz über Polter ziehen	5				
Beschweren des Netzes	11				
Anteil Nachbereitung	1				
Unterbrechungen >15min	0				
Total	24				

Polter 3		Geschätztes Volumen			
		22.5			
MA-Zeit		MS-Zeit		PW-Zeit	
Beschreibung	Zeit [min]	Beschreibung	Zeit [min]	Beschreibung	Zeit [min]
Anteil Fahrzeit		3 Polter Freisägen	1	1 Anteil Fahrzeit	3
Anteil Vorbereitung		1 Holzrugel sägen	6	Total	3
Freisägen des Polters	2	Total	7		
Ausbreiten des Netzes	2				
Netz über Polter ziehen	6				
Beschweren des Netzes	6				
Anteil Nachbereitung	1				
Unterbrechungen >15min	0				
Total	20				

Polter 4		Geschätztes Volumen			
		59			
MA-Zeit		MS-Zeit		PW-Zeit	
Beschreibung	Zeit [min]	Beschreibung	Zeit [min]	Beschreibung	Zeit [min]
Anteil Fahrzeit		8 Polter Freisägen	0	0 Anteil Fahrzeit	8
Anteil Vorbereitung		1 Holzrugel sägen	7	Total	8
Freisägen des Polters	0	Total	7		
Ausbreiten des Netzes	3				
Netz über Polter ziehen	3				33
Beschweren des Netzes	8				
Anteil Nachbereitung	2				
Unterbrechungen >15min	0				
Total	25				

Polter 5		Geschätztes Volumen	
		62	
MA-Zeit		MS-Zeit	PW-Zeit
Beschreibung	Zeit [min]	Beschreibung	Zeit [min]
Anteil Fahrzeit		Polter Freisägen	2
Anteil Vorbereitung		Holzrugel sägen	9
Freisägen des Polters	3	Total	10
Ausbreiten des Netzes	2		
Netz über Polter ziehen	5		
Beschweren des Netzes	11		
Anteil Nachbereitung	2		
Unterbrechungen >15min	0		
Total	33		

Polter 6		Geschätztes Volumen	
		36	
MA-Zeit		MS-Zeit	PW-Zeit
Beschreibung	Zeit [min]	Beschreibung	Zeit [min]
Anteil Fahrzeit		Polter Freisägen	1
Anteil Vorbereitung		Holzrugel sägen	4
Freisägen des Polters	1	Total	5
Ausbreiten des Netzes	2		
Netz über Polter ziehen	6		
Beschweren des Netzes	9		
Anteil Nachbereitung	1		
Unterbrechungen >15min	0		
Total	25		

Polter 7		Geschätztes Volumen			
			66		
MA-Zeit		MS-Zeit		PW-Zeit	
Beschreibung	Zeit [min]	Beschreibung	Zeit [min]	Beschreibung	Zeit [min]
Anteil Fahrzeit	9	Polter Freisägen	3	Anteil Fahrzeit	9
Anteil Vorbereitung		Holzrugel sägen	2	Total	9
Freisägen des Polters		Total	3	Total	11
Ausbreiten des Netzes			1		
Netz über Polter ziehen			5		
Beschweren des Netzes			12		
Anteil Nachbereitung			2		
Unterbrechungen					
>15min			0		
Total	34				

Anhang 3

Anhang 3: Erhobene Daten für die Bewertung der Befallsintensität pro Stamm

Standort	Polternummer	Stamm Nummer	Typ	Exposition	Länge Total	Anzahl Löcher Befallstyp 1	Anzahl Löcher Befallstyp 3	Anzahl Löcher Befallstyp 2
1	1	11	A	A	85	0	0	0
1	1	12	A	I	65	0	0	0
1	1	13	A	B	130	0	0	0
2	2	21	A	A	144.83	0	0	0
2	2	22	A	I	110.7	0	0	0
2	2	23	A	B	147.3	0	0	0
3	3	31	A	A	123.8	0	0	0
3	3	32	A	I	86.95	0	0	0
3	3	33	A	B	116.5	0	0	0
4	4	41	A	A	61.2	0	0	0
4	4	42	A	I	117.3	0	0	0
4	4	43	A	B	71.4	0	0	0
5	5	51	A	A	107.1	0	0	0
5	5	52	A	I	66.3	0	0	0
5	5	53	A	B	117.3	0	0	0
6	6	61	A	A	114.7	0	0	0
6	6	62	A	I	56.1	0	0	0
6	6	63	A	B	96.9	0	0	0
7	7	71	A	A	81.6	0	0	0
7	7	72	A	I	61.2	0	0	0
7	7	73	A	B	81.6	0	0	0
1	8	81	N	A	49.2	0	0	0
1	8	82	N	I	52.5	0	0	0
1	8	83	N	B	25.5	0	0	0
2	9	91	N	A	149.1	0	0	0
2	9	92	N	I	161.2	0	0	0
2	9	93	N	B	201.5	2	0	0
3	10	101	N	A	91.45	7	0	0
3	10	102	N	I	93.05	5	0	0
3	10	103	N	B	37	0	0	0
4	11	112	N	I	20.4	21	0	0
4	11	113	N	B	45.9	121	0	0
5	12	121	N	A	64	348	0	0
5	12	122	N	I	25.5	0	0	0
5	12	123	N	B	32.8	14	0	0
6	13	131	N	A	35.3	6	0	0
6	13	132	N	I	75.9	46	0	0
6	13	133	N	B	79.6	147	0	0
7	14	141	N	A	72.3	819	0	0

7	14	142	N	I	70.1	25	0	0
7	14	143	N	B	27.85	0	0	0
11	15	151	A	A	82	51	0	0
11	15	152	A	I	100	56	0	0
11	15	153	A	B	85	168	0	0
12	17	171	A	A	56.54	0	47	0
12	17	172	A	I	61.8	2	0	0
12	17	173	A	B	81.28	0	7	0
12	18	181	N	A	51.2	20	0	0
12	18	182	N	I	51.6	27	0	0
12	18	183	N	B	56.87	0	0	0
13	19	191	A	A	51.28	0	0	0
13	19	192	A	I	92.12	0	4	0
13	19	193	A	B	123.84	0	4	0
13	20	201	N	A	45.78	0	3	0
13	20	202	N	I	66.22	0	2	0
13	20	203	N	B	23	0	0	0
14	21	211	A	A	93.68	23	0	0
14	21	212	A	I	66.85	0	0	0
14	21	213	A	B	89.11	0	0	0
14	22	223	N	B	86.62	9	0	0
15	25	251	A	A	72.52	1	21	0
15	25	252	A	I	53.04	0	1	0
15	25	253	A	B	72.31	0	0	0
15	26	261	N	A	54.26	10	54	0
15	26	262	N	I	41.43	186	0	0
15	26	263	N	B	77.3	48	1	0
16	27	271	A	A	76.29	8	104	0
16	27	272	A	I	30.77	0	12	0
16	27	273	A	B	98.21	0	15	0
16	28	281	N	A	34.86	62	41	0
16	28	282	N	I	53.93	120	0	0
16	28	283	N	B	76.78	23	0	0
8	29	291	A	A	83.26	0	0	0
8	29	292	A	I	62.52	0	0	0
8	29	293	A	B	51.9	0	0	0
8	30	301	N	A	69	14	36	0
8	30	302	N	I	84.15	10	15	0
8	30	303	N	B	72.94	0	9	0
9	31	311	A	A	75	0	0	0
9	31	312	A	I	67.6	0	0	0
9	31	313	A	B	173.2	0	0	0
9	32	321	N	A	155	0	0	0
9	32	322	N	I	51	0	0	0
9	32	323	N	B	151.4	0	1	0
10	33	331	A	A	241.3	0	0	0

10	33	332	A	I	155	0	0	0
10	33	333	A	B	132.6	0	0	0
10	34	341	N	A	98.1	0	196	0
10	34	342	N	I	142.6	52	411	0
10	34	343	N	B	59.4	0	1	0
17	44	441	N	A	41.72	19	4	0
17	44	442	N	I	20.82	0	38	0
17	44	443	N	B	36.52	0	9	0
18	45	451	A	A	204.64	1	0	0
18	45	452	A	I	171.62	0	0	0
18	45	453	A	B	223.41	0	2	0
18	46	461	N	A	92.8	0	143	0
18	46	462	N	I	20.44	4	27	0
18	46	463	N	B	71.97	0	1	0
19	47	471	A	A	103.08	21	0	0
19	47	472	A	I	96.71	0	0	0
19	47	473	A	B	170.6	0	0	0
19	48	482	N	I	88.83	37	73	14
19	48	483	N	B	51.1	24	51	51
20	49	491	A	A	108.45	27	0	0
20	49	492	A	I	46.44	43	2	0
20	49	493	A	B	163.18	11	2	0
21	51	511	A	A	98.6	13	1	0
21	51	512	A	I	15.42	0	0	0
21	51	513	A	B	183.24	0	0	0
21	52	521	N	A	33.12	28	1	0
21	52	523	N	B	15.6	0	33	0
20	53	531	A	A	82.25	3	11	0
20	53	532	A	I	146.02	0	45	0
20	53	533	A	B	47.19	0	41	0