



Universität für Bodenkultur Wien

Ökonomische Aspekte eines Multikopters und Risikoanalyse mittels Monte-Carlo-Simulation zur Kontrolle von *Ostrinia nubilalis* Hübner

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades Diplom-Ingenieur
im Rahmen des Studiums Agrar- und Ernährungswirtschaft

Name: **Michael GLÖSMANN, BSc**

Matrikelnummer: **114 1593**

Betreuer:

Univ. Prof. Dr. Jochen Kantelhardt

Ass. Prof. Dr. Michael Eder

Institut für Agrar- und Forstökonomie

Department für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften

Wien, November 2015



*„Es ist nicht genug, zu wissen, man muss auch anwenden;
es ist nicht genug, zu wollen, man muss auch tun.“*

Johann Wolfgang von Goethe (1749 – 1832)

Vorwort/Danksagung

Ich möchte mich bei allen Personen bedanken, die mich während der Erstellung dieser Masterarbeit unterstützt haben.

Ein großer Dank gilt dem wissenschaftlichen Personal am Institut für Agrar- und Forstökonomie. Im Besonderen Herrn Ass. Prof. Dr. Michael Eder, der mir bei fachlichen und wissenschaftlichen Fragestellungen stets weiterhelfen konnte. Aber auch für die vielen Gespräche und Anregungen während des Verfassens dieser Masterarbeit.

Herrn Jochen Winkler (Landratsamt Lörrach) möchte ich für die Bereitstellung der erforderlichen Daten danken. Ein weiterer Dank gilt Herrn Dr. Axel Weckschmied während der Datenerhebung mit dem Hexakopter.

Weiters möchte ich mich bei der Raiffeisen Ware Austria AG unter Herrn Mag. Thomas Karl, Dipl.-Ing. Christoph Metzker, Ing. Kurt Graf und Ing. Horst R. Kirchmayr für die fachliche und finanzielle Unterstützung bedanken.

Danken möchte ich auch meinen Eltern die mir die Möglichkeit gaben, das Studium an der BOKU zu absolvieren.

Meiner Freundin Marie-Christine danke ich für ihre wertvolle Unterstützung während meiner gesamten Studienzeit und den steten Rückhalt.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
Kurzfassung/Abstract	VIII
1. Problemstellung und Zielsetzung	1
2. Einleitung	3
2.1. Multikopter.....	3
2.1.1. Definition.....	4
2.1.2. Rechtliche Grundlagen	6
2.2. Maiszünslerproblematik	7
2.2.1. Maiszünsler (<i>Ostrinia nubilalis</i>)	9
2.2.2. Verfahren zur Bekämpfung des Maiszünslers.....	11
3. Material und Methoden	16
3.1. Methodik der Arbeitszeitbedarfsermittlung.....	17
3.1.1. Standort der Arbeitszeitermittlung	18
3.1.2. Arbeitsgeräte und Materialien.....	20
3.1.3. Durchführung der Arbeitszeitermittlung.....	22
3.1.4. Ermittlung der Arbeitskraftstunden	23
3.2. Durchschnittskosten des Koptereinsatzes.....	23
3.2.1. Abschreibung für Abnutzung (AfA).....	24
3.2.2. Zinskosten.....	26
3.2.3. Versicherung und Unterbringung	26
3.2.4. Betriebsstoff- und Reparaturkosten	27
3.2.5. Arbeitskosten.....	27
3.3. Risikoanalyse mittels Monte Carlo Simulation	27
3.3.1. Grundlagen zur Risikoanalyse	28
3.3.2. Stochastische Simulation mittels Monte Carlo Simulation	30
3.3.3. Modellierung der Monte-Carlo-Simulation	32
3.3.4. Durchführung der Monte-Carlo-Simulation	40
4. Ergebnisse	41
4.1. Arbeitszeitbedarfsermittlung.....	41
4.2. Mindesteinsatzfläche	47
4.3. Risikoanalyse	51
4.3.1. Trichogramma-Varianten	53
4.3.2. Insektizid-Varianten.....	55
4.3.3. Gegenüberstellung praxisüblicher Varianten	58
5. Diskussion.....	60
5.1. Arbeitszeitbedarf	60
5.2. Mindesteinsatzfläche	61
5.3. Monte-Carlo-Simulation der Maiszünslerbekämpfungsverfahren	61
6. Zusammenfassung.....	65
7. Quellenverzeichnis	67
Anhang	71

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: PRECISION FARMING KOMPONENTEN (GRIEPENTROG, 2015)	5
ABBILDUNG 2: ANBAUFLÄCHEN DER WICHTIGSTEN FELDFRÜCHTE IN ÖSTERREICH (GRÜNER BERICHT, 2015)	7
ABBILDUNG 3: MAISZÜNSLERMONITORING IN ÖSTERREICH (AGES ET AL., 2015)	8
ABBILDUNG 4: ENTWICKLUNGSZYKLUS DES MAISZÜNSLERS O. NUBILALIS (HURLE ET AL., 1996)	11
ABBILDUNG 5: MAISZÜNSLERBEKÄMPFUNGSVERFAHREN VERÄNDERT NACH ZELLNER (2013)	12
ABBILDUNG 6: GEOGRAFISCHE LAGE DES STANDORTES IN BRAKEL (D)	19
ABBILDUNG 7: MAISZÜNSLER WARNDIENST (PROPLANTEXPERT.COM, 2015)	19
ABBILDUNG 8: TRICHO-KOPTER® HP-X6	21
ABBILDUNG 9: AUSBRINGUNGSSCHEMA TRICHOGRAMMA-KUGELN (BIOCARE, 2015)	22
ABBILDUNG 10: VERLAUF DER ABSCHREIBUNG JE JAHR IN ABHÄNGIGKEIT DES EINSATZUMFANGS	25
ABBILDUNG 11: MAISZÜNSLERMONITORING EFRINGEN-KIRCHEN (DE) 2002-2014 (WINKLER, 2015)	35
ABBILDUNG 12: HAUPTARBEITSZEIT KOPTER- UND HANDAUSBRINGUNG (ABSOLUT)	42
ABBILDUNG 13: HAUPTARBEITSZEIT KOPTER- UND HANDAUSBRINGUNG JE HEKTAR (RELATIV)	43
ABBILDUNG 14: GESAMTARBEITSZEIT HAND- UND KOPTERAUSBRINGUNG	44
ABBILDUNG 15: GESAMTARBEITSZEIT HAND- UND KOPTERAUSBRINGUNG JE HEKTAR	45
ABBILDUNG 16: ANTEIL DER KOSTENARTEN AUF DIE DURCHSCHNITTSKOSTEN DES MULTIKOPTERS	49
ABBILDUNG 17: ÜBERSICHT DER SIMULIERTEN MAISZÜNSLERBEKÄMPFUNGSVERFAHREN	52
ABBILDUNG 18: DICHT- UND VERTEILUNGSFUNKTION DECKUNGSBEITRAG UNBEHANDELTE KONTROLLE ...	53
ABBILDUNG 19: VERTEILUNGSFUNKTION DECKUNGSBEITRAG EINMALIGE TRICHOGRAMMA-ANWENDUNG MIT/OHNE KOPTERAUSBRINGUNG	54
ABBILDUNG 20: VERTEILUNGSFUNKTION DECKUNGSBEITRAG ZWEIMALIGE TRICHOGRAMMA-ANWENDUNG MIT/OHNE KOPTERAUSBRINGUNG	55
ABBILDUNG 21: DICHT- UND VERTEILUNGSFUNKTION DECKUNGSBEITRAG INSEKTIZID-FELDSPRITZE	56
ABBILDUNG 22: DICHT- UND VERTEILUNGSFUNKTION DECKUNGSBEITRAG INSEKTIZID-STELZENTRAKTOR	57
ABBILDUNG 23: VERTEILUNGSFUNKTION DECKUNGSBEITRAG DER INSEKTIZID-VARIANTEN	58
ABBILDUNG 24: VERTEILUNGSFUNKTION DECKUNGSBEITRAG PRAXISÜBLICHER VARIANTEN	59

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: KOSTEN UND WIRKUNGSGRADE DER MAISZÜNSLERBEKÄMPFUNG	15
TABELLE 2: ARBEITSABLAUF DER KOPTERAUSBRINGUNG VON TRICHOGRAMMA-NÜTZLINGEN	18
TABELLE 3: VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER VERTEILUNG EINER AGGREGIERTEN ZUFALLSVARIABLE	29
TABELLE 4: INPUTGRÖßEN IM DECKUNGSBEITRAGSMODELL	32
TABELLE 5: KOSTEN HANDELSDÜNGER	33
TABELLE 6: HERBIZIDKOSTEN	33
TABELLE 7: VARIABLE MASCHINENKOSTEN	34
TABELLE 8: KÖRNERMAISERTRÄGE DER TRICHOGRAMMA-VARIANTEN VON 2000-2013	36
TABELLE 9: KÖRNERMAISERTRÄGE DER INSEKTIZID-VARIANTEN 2001-2013	36
TABELLE 10: KÖRNERMAISERTRÄGE DER KONTROLLPARZELLE	37
TABELLE 11: ERZEUGERPREIS MAIS INKL. CCM 2007-2014	38
TABELLE 12: KOSTENVERGLEICH DER MAISZÜNSLERBEKÄMPFUNG NACH ÖKL-SÄTZEN	39
TABELLE 13: DECKUNGSBEITRAGSMODELL KÖRNERMAIS DER UNBEHANDELTEN KONTROLLPARZELLE	40
TABELLE 14: HAUPTARBEITSZEIT KOPTER- UND HANDAUSBRINGUNG	41
TABELLE 15: GESAMTARBEITSZEIT HAND- UND KOPTERAUSBRINGUNG	43
TABELLE 16: ÜBERSICHT DER AKH/HA VON HAND- UND KOPTERAUSBRINGUNG	46
TABELLE 17: GRENZEN DER AUTOMATISIERUNG	47
TABELLE 18: DURCHSCHNITTSKOSTEN BEI UNTERSCHIEDLICHER AUSLASTUNG DES MULTIKOPTERS	48
TABELLE 19: MINDESTEINSATZFLÄCHE BEI UNTERSCHIEDLICHEM ANSCHAFFUNGSWERT	50

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
€	Euro
®	Registrierte Marke
AKh	Arbeitskraftstunden
bspw.	beispielsweise
Bt	Bacillus thuringiensis
ca.	Circa
cm	Zentimeter
DB	Deckungsbeitrag
DK	Durchschnittskosten
dt	Dezitonne (=100 kg)
etc.	et cetera
GAZ	Gesamtarbeitszeit
GPS	Global Positioning System
h	Stunde
ha	Hektar
HAZ	Hauptarbeitszeit
inkl.	Inklusive
kg	Kilogramm
kW	Kilowatt
l	Liter
max.	Maximum
Min	Minuten
mm	Millimeter
N.N.	Normalnull
PF	Precision Farming
Pfl. Reg. Nr.	Pflanzenschutzmittelregisternummer
t	Tonnen
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
USt.	Umsatzsteuer
z.B.	zum Beispiel

Abstract

The use of a multicopter for the application of the egg parasitoid *Trichogramma brassicae* is an alternative instead for the hand application to control the European corn borer. The first aim of this master thesis is the analyzing of the labour requirements of the multicopter application. With the calculation of the average cost of the multicopter application, the minimum application area will be charged. Using the data of a longstanding trial, a risk profile is developed. With the Monte-Carlo-Simulation, a quantitative risk analysis method, a risk profile of the control methods of the European corn borer is developed. The objective criterion is the gross margin of the corn production. As a result the impact of *Trichogramma* application and the insecticide treatment is analyzed. The master thesis gives an overview of the opportunities for the European corn borer control methods. Also their risk-bearing components in the calculation of the gross margin are shown.

Kurzfassung

Der Einsatz eines Multikopters zur Ausbringung von *Trichogramma*-Nützlingen bietet für die biologische Maiszünslerbekämpfung eine alternative Möglichkeit zur Handausbringung. In der vorliegenden Masterarbeit wird der Arbeitszeitbedarf der Kopterausbringung analysiert. Mit der Kalkulation der Durchschnittskosten eines Multikopters zur Nützlingsausbringung wird die Mindesteinsatzfläche erhoben. Mit den Daten eines langjährigen Versuches zur Kontrolle des Maiszünslers wird mit der Monte-Carlo-Simulation, einer quantitativen Risikoanalysemethode, ein Risikoprofil erstellt. Als Zielgröße wurde der Deckungsbeitrag gewählt. Als Ergebnis wird die Auswirkung des mittleren Deckungsbeitrages einer unbehandelten Variante, der Variante *Trichogramma*-Anwendung und der Variante Insektizidbehandlung analysiert. Die Masterarbeit gibt einen Überblick über die Möglichkeiten der Maiszünslerbekämpfung und deren risikobehafteten Komponenten in der Deckungsbeitragsrechnung.

1. Problemstellung und Zielsetzung

Precision Farming gewinnt in der Landwirtschaft immer mehr an Bedeutung. Mit den neuen Technologien können in der pflanzlichen Produktion Verfahren optimiert werden. Zu Precision Farming gehört neben der Teilflächenbewirtschaftung (z.B. die kleinräumige Anpassung der Betriebsmittelapplikation) auch die Feldrobotik (z.B. Parallelfahrssysteme) und die automatische Dokumentation (GANDORFER et al., 2011). Ebenso GPS-gesteuerte Drohnen fallen unter den Begriff Precision Agriculture (ZHANG UND KOVACS, 2012). ANDERSON (2014) sieht die Agrardrohne als eine der zukunftsweisenden Technologien, die in den kommenden Jahren eine bedeutende Rolle spielen werden. Mit dem Einsatz von Drohnen in der Landwirtschaft ist es möglich Inputfaktoren effizienter einzusetzen und Kosten für den landwirtschaftlichen Betrieb zu reduzieren. Nach GANDORFER et al. (2011) sind durch die alleinige Anpassung des Betriebsmitteleinsatzes nur begrenzte ökonomische Effekte zu erwarten. Entscheidend ist, dass die Payoff-Funktion auf ein höheres Niveau verschoben werden muss. Dies geschieht entweder durch Verschieben der naturalen Produktionsfunktion oder auf Ebene des Preises (GANDORFER et al., 2011). Agrardrohnen haben den großen Vorteil, bodenschonende Arbeitsgänge durchzuführen und somit ertragsreduzierende Bodenverdichtungen zu vermeiden. Ein weiterer Vorteil der Drohne ist, dass im Gegensatz zu Verbrennungsmotoren kein CO₂ ausgestoßen wird. Problematisch für den Drohnenflug sind unter anderem Niederschlag, Wind und extreme Temperaturen. Deshalb können Drohnen nur bei bestimmten Wetterbedingungen eingesetzt werden.

Eine Anwendungsmöglichkeit einer Agrardrohne in der Pflanzenproduktion ist das Ausbringen von Trichogramma-Nützlingen. Die biologische Pflanzenschutzmaßnahme der Schlupfwespen wird bei der Bekämpfung des Maiszünslers (*Ostrinia nubilalis*) eingesetzt. Ausgebracht werden diese Kugeln oder Kapseln üblicherweise mit der Hand. Problematisch sind jedoch der deutlich höhere Arbeitsanfall, die höheren Kosten und die Wahl des richtigen Ausbringungszeitpunktes (HURLE et al., 1996). Mithilfe der GPS-gesteuerten Multikopterausbringung könnte der Nachteil des höheren Arbeitsanfalls und der Arbeitskosten minimiert werden und dadurch aber auch der Nützlingseinsatz mit Trichogramma an Beliebtheit gewinnen. Die Anwendung von Nützlingen ist ein wesentlicher Bestandteil im biologischen als auch im integrierten Pflanzenschutz. Bislang fehlten für Betriebe mit geringer Arbeitskapazität und größerer Flächenausstattung maschinelle

Ausbringungsmöglichkeiten für einen großflächigen Einsatz von Trichogramma (FREIER et al., 2015). Eine weitere Möglichkeit für die maschinelle Trichogramma Ausbringung ist ein Kugelstreuer, der auf einem Traktor aufgebaut wird (BIOCARE, 2015). Nach FREIER et al. (2015) ergeben sich dadurch zukünftig neue Marktchancen für den Einsatz von Trichogramma, der vor allem für Gebiete mit schwachen bis mittleren Befall eine ausreichende Wirkung garantiert.

Der erfolgreiche Einsatz von Drohnen im Agrarbereich ist im deutschsprachigen Raum noch kaum untersucht worden. Zudem fehlen auch Versuchsergebnisse bei denen Drohnen eingesetzt wurden. Deshalb werden in der vorliegenden Arbeit die möglichen Zeiteinsparungen sowie eine Durchschnittskostenkalkulation eines Multikopters zur Trichogramma-Ausbringung durchgeführt. Um eine Entscheidung zu treffen, welche Maßnahme zur Maiszünslerkontrolle gewählt werden soll, sind die risikobehafteten Variablen zu berücksichtigen. Deshalb müssen hier auch die alternativen Maizünslerbekämpfungsverfahren und deren unterschiedlichen Wirkungsgrade und Kosten untersucht werden. Bei den Leistungen schwankt das Ertrags- und Preisniveau jährlich, was zusätzlich zu Unsicherheit der Entscheidung führt. Davon abhängig ist die Risikoeinstellung des Entscheiders. Ein risikoaverser Entscheider wählt eine Handlungsalternative dann aus, wenn bei gleichem Risiko der zu erwartende Deckungsbeitrag (Erwartungswert) höher ist oder umgekehrt. Bei gewissen Zuständen muss auch die Risikoeinstellung des Entscheiders bekannt sein. Dadurch soll diese Masterarbeit herausfinden, welche Variante der Maiszünslerkontrolle die ökonomisch effizienteste Lösung hinsichtlich Deckungsbeitrag für den jeweiligen landwirtschaftlichen Betrieb, bei einem bestimmten Risikoverhalten, ist.

Zu Beginn der Masterarbeit wird mittels Literatur ein Überblick gegeben über die Einsatzmöglichkeiten von Drohnen und deren rechtlichen Rahmenbedingungen bei einem Einsatz in der Landwirtschaft. Mit Hilfe von Literatur wird die Maisproduktion in Österreich, der Maiszünsler als Schädling und deren Bekämpfungsmöglichkeiten beschrieben. In einem weiteren Kapitel werden die verwendeten Daten und die angewendeten Methoden erläutert. Im Anschluss erfolgt die Präsentation und Diskussion der Ergebnisse. Abschließend erfolgt eine Schlussfolgerung, die aus der Masterarbeit abgeleitet werden kann.

2. Einleitung

Maschinen und Geräte sind Hilfsmittel zur Arbeitserledigung. Sie liefern mit der Einsparung von Arbeitszeit, der Verbesserung der Arbeitsqualität, der Erleichterung der Arbeit und Erhöhung der Arbeitssicherheit einen mittelbaren Beitrag zum Betriebserfolg. Ebenso stellen sie hohe Anforderung an Qualifikation, Konzentration und Reaktionsvermögen (DABBERT UND BRAUN, 2006).

In der Vergangenheit war der technische Fortschritt einer der stärksten Triebkräfte für Veränderungen in Unternehmen (DABBERT UND BRAUN, 2006). Nach KLODT UND SCHÄFER (2015) wird der technische Fortschritt als „Herstellung neuartiger oder wesentlich verbesserter Produkte und Materialien sowie Anwendung neuer Verfahren, die eine rationellere Produktion der bekannten Produkte und Materialien erlaubt,...“ definiert. Der Präzisionslandwirtschaft sollte man in diesem Zusammenhang besondere Aufmerksamkeit schenken. Denn Ziele und Themenschwerpunkte von Precision Farming (PF) sind die Reduzierung von Kohlendioxid, Umweltbelastungen und Kosten indem der Betriebsmitteleinsatz optimiert wird (SELBECK et al., 2014). Die zusätzlichen Kosten können durch neue Managementmöglichkeiten und genauere Informationen kompensiert werden (AUERNHAMMER, 2001).

2.1. Multikopter

GPS-gesteuerte unbemannte Luftfahrzeuge, so genannte Multikopter, werden ebenso in PF-Technologien untergliedert. Elektrisch betriebene Multikopter sind umweltfreundliche, effiziente Produktions- und Managementsysteme. Da die Fortbewegung unabhängig von der Geländeform ist, können sie Arbeitszeit und Treibstoffkosten einsparen. Drohnen können Echtzeitdaten generieren und dabei große Flächen vermessen und analysieren. Einige internationale Beispiele zeigen wie breit solche unbemannten Luftfahrzeuge im Agrarbereich eingesetzt werden können:

In Japan wird zum Beispiel seit Jahren der Yamaha RMax Kopter beim Anbau und im Pflanzenschutz zur Bekämpfung tierischer Schädlinge in der Reisproduktion eingesetzt. Mit 28 kg maximalem Ladegewicht integriert er zwei 8 Liter Tanks und kann innerhalb von 10 Minuten 1,3 ha applizieren (FREEMAN UND FREELAND, 2014). Die Landwirtschaft in Japan ist relativ klein strukturiert mit einer durchschnittlichen Ackerfläche von 1,5 ha je Betrieb und einer durchschnittlichen Schlaggröße von 3 ha

(THE ECONOMIST, 2013). 40 % der japanischen Reisfelder werden mit solchen Drohnen behandelt (NICAS, 2014).

In Australien werden die UAS bei der Unkrautbekämpfung, der Düngung sowie beim Tier- und Weidemanagement eingesetzt (FREEMAN UND FREELAND, 2014). Die Einsatzmöglichkeiten von Multikopter sind mehr als vielfältig. Neben der Landwirtschaft werden UAV's in der Fernerkundung, Vermessung, Fotografie, Wissenschaft, etc. bereits erfolgreich eingesetzt.

2.1.1. Definition

In den verschiedensten Literaturartikeln werden die unterschiedlichsten Bezeichnungen für unbemannte Luftfahrzeuge verwendet. Im englischsprachigen Raum wird vielfach die Abkürzung „UAV“ oder „UAS“ benutzt, was so viel bedeutet wie Unmanned Aerial Vehicle bzw. System. Eine Subunterteilung innerhalb der UAS sind die sUAS (= small unmanned aerial systems), die ein Gewicht von max. 50 kg haben (LALIBERTE UND RANGO, 2011). Drohne ist ein sehr gebräuchlicher Name für unbemannte Luftfahrzeuge. Das Wort Drohne leitet sich aus den 1930er Jahren vom ferngesteuerten DeHavilland Flugzeug her, welches auch Queen Bee genannt wurde (VROEGINDEWEIJ et al., 2014). Ein weiterer vielfach verwendeter Begriff für unbemannte Luftfahrzeuge ist der des Flugroboters.

Die Einteilung von Drohnen kann nach der Anzahl der Rotoren erfolgen z.B. Quadrokopter, Hexakopter oder Oktokopter. Diese drei Formen werden auch unter dem Sammelbegriff Multikopter zusammengefasst. Multikopter sind somit alle Kopterarten, die mehr als 2 Rotoren in einer Ebene angeordnet haben (WESTPHAL UND MÖNCHHOFF, 2015).

Da der Begriff Drohne jedoch von einem starken militärischen Zusammenhang geprägt wird, wird in dieser Arbeit bewusst auf den Begriff Drohne verzichtet.

Unbemannte Luftfahrzeuge können als Drehflügler oder als Starrflügler konzipiert sein. Drehflügler unterscheiden sich von Starrflügler dadurch, dass der Auftrieb durch rotierende Flächen (Drehflügel) erzeugt wird (KORNMEIER, 2012).

VROEGINDEWEIJ et al. (2014) kategorisieren UAV's in Bezug auf Anwendungsmöglichkeiten in der Landwirtschaft wie folgt:

1. Fixe Tragflügel ähnlich einem konventionellen Flugzeug (Vorwärtsbewegung). Sie können lange Distanzen überwinden, jedoch nur mit geringer Wendigkeit

2. Vertikales Abheben und Landen mit Hilfe von Rotoren wie z.B. Hubschrauber- sehr gute Wendigkeit, aber nur geringe Flugdistanzen möglich
3. Micro UAV's haben eine Größe von wenigen Zentimeter, die für Flüge in begrenzten Räumlichkeiten geeignet sind
4. Segelflieger und Ballone können sehr lange fliegen, jedoch sind sie sehr groß mit geringer Wendigkeit.
5. Auch Kombinationen aus den vorigen Punkten sind möglich, um die Vorteile beiderseits zu nutzen.

Kopter, die ein integriertes Global-Positioning-Systems (GPS) haben, können unter den Begriff Precision Agriculture eingliedert werden. Nach Gandorfer (2005) lässt sich der Begriff Precision Agriculture in drei Hauptbereiche einteilen:

1. Präzise Weidewirtschaft (Precision Pasturing)
2. Präziser Ackerbau (Precision Farming)
3. Präzise Tierhaltung (Precision Livestock Farming)

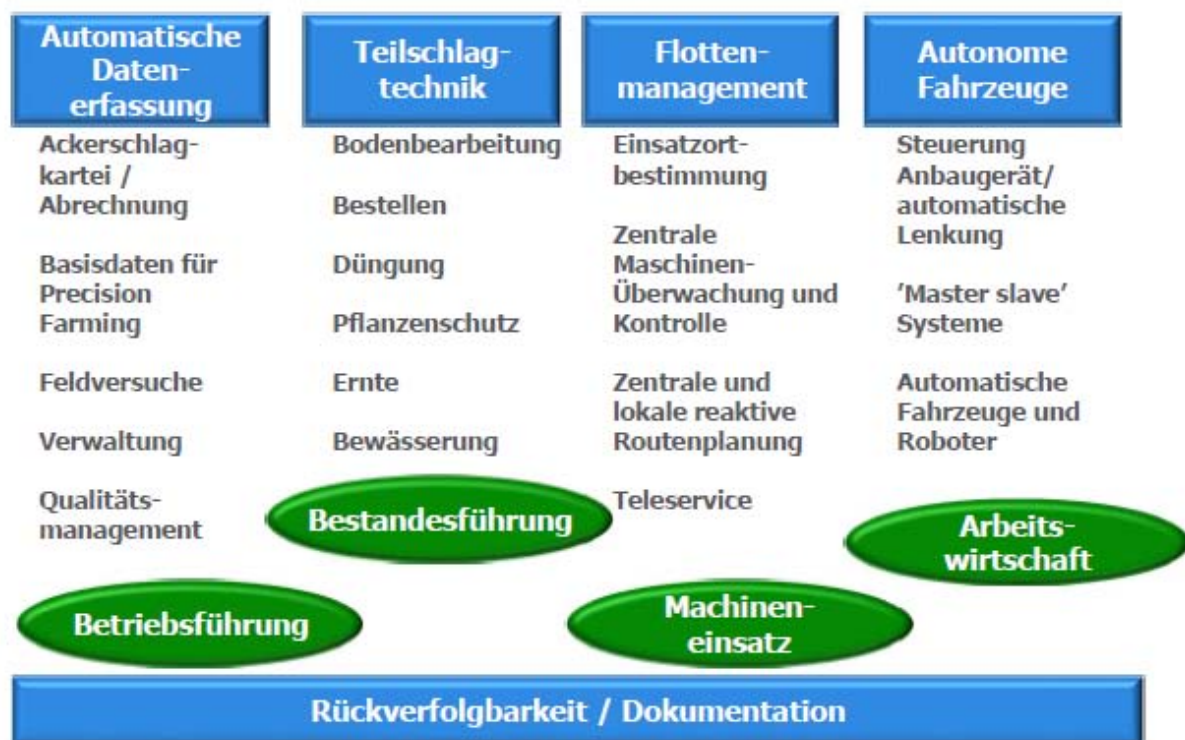


Abbildung 1: Precision Farming Komponenten (GRIEPENTROG, 2015)

Die in dieser Masterarbeit beschriebene GPS-gesteuerte Ausbringung von Trichogramma Nützlingen mittels Drohne, ist nach der Definition von GRIEPENTROG (2015) oder GANDORFER (2005) eigentlich eine Querschnittsaufgabe. Vergleicht man

nun die in Abbildung 1 genannten Komponenten, wird diese Querschnittsaufgabe verdeutlicht. Aufgrund der genauen Ablage bzw. des genauen Abwerfens, wird eine Teilschlagtechnik des Pflanzenschutzes zur genauen Bestandesführung angewendet. Durch die exakte Flugplanung bzw. Routenplanung, unter Verwendung von Telemetriedaten vor der eigentlichen Ausbringung, wird der Maschineneinsatz genau vordefiniert. Während der Ausbringung wird völlig autonom geflogen, wodurch die Kategorie „Autonome Fahrzeuge“ zusätzlich zutrifft.

Für einen Flugeinsatz mit UAV's in der Landwirtschaft müssen im Vorhinein die rechtlichen Rahmenbedingungen des jeweiligen Landes beachtet werden. Deshalb wird im folgenden Kapitel ein kurzer Überblick über die rechtliche Situation in Österreich gegeben.

2.1.2. Rechtliche Grundlagen

Bei einem Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugen müssen die diversen Gesetze und Regelungen beachtet und eingehalten werden. Dazu wird ein rechtlicher Überblick am Beispiel der Trichogramma-Ausbringung aus Luftfahrzeugen gegeben. Die gesetzlichen Rahmenbedingungen bei der Inbetriebnahme von UAV's sind überwiegend im Luftfahrtgesetz (LFG) geregelt. Im LFG (1957 idgF.) wird unterschieden zwischen:

- Flugmodelle (§24c.)
- unbemannte Geräte bis zu 79 Joule maximaler Bewegungsenergie (§24d.)
- unbemannte Luftfahrzeuge der Klasse 1 (§24f.)
- unbemannte Luftfahrzeuge der Klasse 2 (§24g.)

Als Flugmodelle werden unbemannte Fluggeräte definiert, die ausschließlich unentgeltlich und nicht gewerblich verwendet werden und nicht weiter als im Umkreis von 500 m betrieben werden. Flugmodelle mit einem Gewicht von unter 25 kg dürfen ohne Bewilligung betrieben werden. Bei einem Gewicht über 25 kg ist eine Bewilligung von Seiten der Austro Control GmbH erforderlich. Unbemannte Luftfahrzeuge der Klasse 1 sind unbemannte Geräte die weiter als 500 m fliegen und/oder gegen Entgelt oder gewerblich betrieben werden. Eine Bewilligung der Austro Control GmbH ist in diesem Fall zwingend erforderlich. Unbemannte Luftfahrzeuge der Klasse 2 sind solche die ohne Sichtverbindung betrieben werden können. Hier ist ein Pilotenschein zwingend erforderlich (§24g LFG).

Darüber hinaus ist bei einem Betrieb von unbemannten Luftfahrzeugen sicherzustellen, dass keine Menschen, Tiere oder Gegenstände gefährdet werden. Auch eine Gefährdung der Sicherheit der Luftfahrt muss verhindert werden. Bei einem Start von einem Grundstück ist weiters eine Einverständniserklärung des Grundstückseigentümers einzuholen. Die entstehenden Lärmgeräusche sind ebenso zu beachten. In Sicherheitszonen rund um Militär- und Zivilflugplätzen sind weitere Vorschriften zu beachten. Die entsprechenden Bestimmungen nach den §§ 146 bis 168 über Haftung und Versicherung sind ebenso zu berücksichtigen.

Im Bezug auf das Ausbringen von Trichogramma Kugeln mittels Drohne ist der §133 (LFG) über das „Abwerfen von Sachen“ wichtig. Grundsätzlich ist das Abwerfen von festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen aus Zivilluftfahrzeugen verboten. Ausnahmen kann dazu der jeweilige Landeshauptmann erteilen.

Die Trichogramma Nützlinge sind ein Pflanzenschutzmittel mit einer Pflanzenschutzmittelregisternummer (AGES, 2015). Bei der Verwendung von Pflanzenschutzmittel sind in Österreich die jeweiligen Landes-Pflanzenschutzmittelgesetze zu beachten.

2.2. Maiszünslerproblematik

Die landwirtschaftliche Nutzpflanze Mais (*Zea mays* L.) ist eine bedeutende Kultur in Österreich. Auf einer Fläche von 216.316 Hektar (ha) wurde im Jahr 2014 Körnermais angebaut. Addiert man dazu die Anbaufläche von Silo- und Grünmais, kommt man zu einer Maisanbaufläche von 299.780 ha. Somit wird die Fläche von Winterweichweizen mit 277.027 ha klar übertroffen (BMLFUW, 2015).



Quelle: Statistik Austria, Anbau auf dem Ackerland

Abbildung 2: Anbauflächen der wichtigsten Feldfrüchte in Österreich (GRÜNER BERICHT, 2015)

Reduzierte Bodenbearbeitungsverfahren wie die pfluglose, konservierende Bearbeitung, die Mulch- und Direktsaat, oder die Minimalbodenbearbeitung gewinnen an Attraktivität. Erstens werden Maschinenkosten durch weniger Überfahrten und kraftstoffsparenden Bearbeitungsverfahren gesenkt. Zweitens gibt es zusätzliche Subventionen aus dem österreichischen Programm für umweltgerechte Landwirtschaft (kurz ÖPUL) für erosionsmindernde und reduzierte Bodenbearbeitungsverfahren. Diese Entwicklung führt zu einer möglichen Zunahme des Maiszünslers, vor allem in Gebieten wo viele Betriebe reduzierte Bodenbearbeitungsverfahren anwenden. Deshalb sollte in diesen Gebieten dem Maiszünsler besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden (Graf und Kirchmayr, 2015). Die Zucker- und Süßmaisflächen sind für den Maiszünsler besonders attraktiv. 2014 wurden 716 ha Zuckermais in Österreich angebaut (STATISTIK AUSTRIA, 2015a).

Ein wichtiges Instrument für den integrierten Pflanzenschutz sind Monitoringdaten, um die Entwicklung und Ausbreitung des Schädling analysieren zu können. Abbildung 3 gibt einen Überblick über die Maiszünslerfänge in Österreich je Fallenstandort und Jahr an. Der Fallentyp ist jeweils eine UV-Lichtfalle.

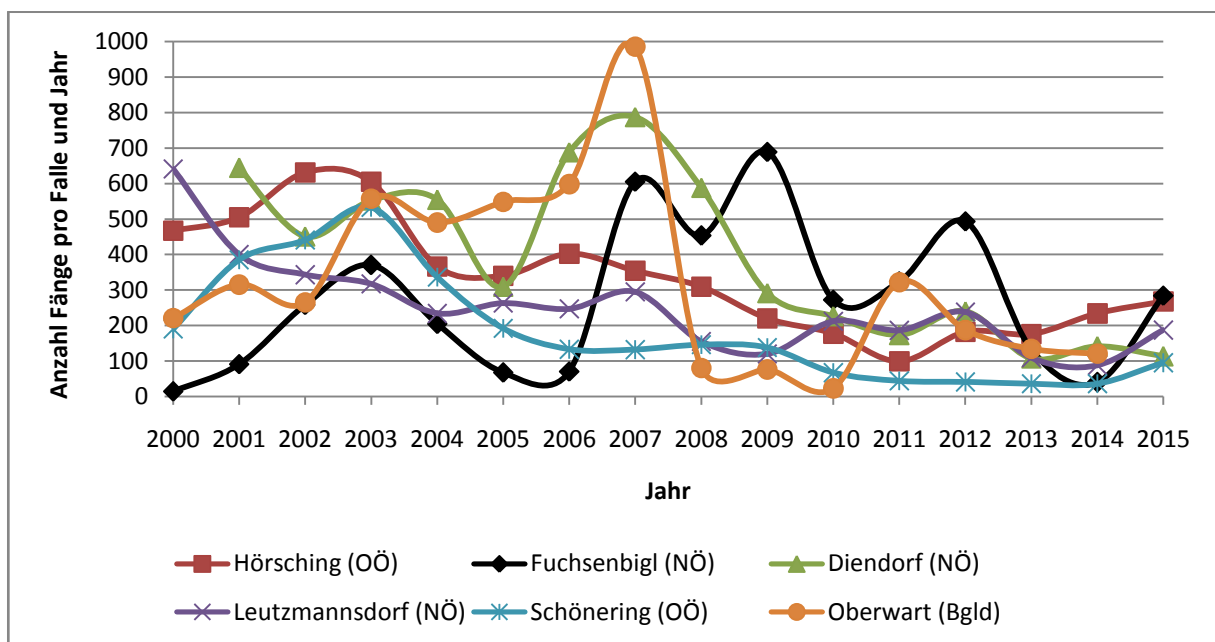


Abbildung 3: Maiszünslermonitoring in Österreich (AGES et al., 2015)

2.2.1. Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*)

Der Maiszünsler (lat. *Ostrinia nubilalis*, Hübner 1796; eng. European corn borer) gehört zur Ordnung der Lepidoptera (Schmetterlinge) und zur Familie der Pyralidae (Zünsler) (BÖRNER et al., 2009). Seinen Ursprung hat *O. nubilalis* wahrscheinlich im asiatischen Steppengebiet (ZWÖLFER, 1928). Aus Europa kommend wurde *O. nubilalis* zwischen den Jahren 1909 und 1914 vermutlich von Ungarn oder Italien nach Nordamerika eingeschleppt (SMITH, 1920). In Deutschland ist der Maiszünsler mittlerweile der bedeutendste Maisschädling. In Europa ist der Schädling in allen nördlichen Mittelmeer-Anrainerstaaten, in Polen, in der Tschechischen Republik, in der Slowakei, in Ungarn, in der Schweiz, in Österreich, in Südengland und in Südschweden verbreitet (MEISE, 2003). Zwei Rassen des Maiszünslers gilt es zu unterscheiden. Die auf Mais spezialisierte Z-Rasse tritt vor allem in der Schweiz und Südwestdeutschland auf. Die polyphagere E-Rasse befällt auch andere Pflanzen wie z.B. Hopfen, Kartoffel oder Sonnenblumen und tritt in den nördlichen und östlichen anschließenden Gebieten auf (LIEBE, 2005). Der Maiszünsler ist vor allem bei Saatmaisvermehrung, Körner- und Speisemais ein gefährlicher Schädling (HEITEFUSS et al., 2000).

O. nubilalis überwintert im Larvenstadium L₅, welche als Prae-Puppenstadium in Hohlräumen der Pflanzenstängel in Bodennähe überwintern (MEISE, 2003). Ab Mitte Mai beginnt sich die Raupe dann zu verpuppen, wobei der Anflug der Falter Ende Juni beginnt und bis Ende August andauert (HEITEFUSS et al., 2000). Je nach Witterung sind Flugbeginn und Flughöhepunkt unterschiedlich. Charakteristisch sind die dachziegelartig abgelegten Eipakete an der Blattunterseite der Maispflanze. Die schlüpfenden Jungrauen fressen zunächst äußerlich an den Blättern und Fahnen und dringen ab dem dritten Larvenstadium in den Stängel ein (BÖRNER et al., 2009). Der Schädling ist somit die Larve und nicht der Schmetterling an sich. Die Larve des Schädlings miniert in der Pflanze charakteristisch von oben nach unten. Durch die Fraßtätigkeit der Larven am oberen Ende der Pflanze, kommt es abschließend zum Abbrechen der Fahne. Größere Schäden entstehen jedoch bei einem Stängelbruch unterhalb des Kolbens (HEITEFUSS et al., 2000). Der Kolbenfraß ist meist gering, aber der Zucker- und Speisemais wird dadurch unverkäuflich (HEITEFUSS et al., 2000). Ein typisches Schadbild sind Bohrlöcher und Bohrmehl an Stängeln und Kolben. Größere

Schäden durch Kolbenfraß verursacht der bivoltine Maiszünsler. Er tritt vor allem im Süden Europas mit zwei Generationen pro Jahr auf. Bereits 2002 wurde der bivoltine Zünsler auch rund um den Genfersee in der Schweiz beobachtet. 2006 breitete sich dieser Typ auch in Baden-Württemberg in Deutschland aus (ZIMMERMANN et al., 2014). Im Herbst ist die Larve unten im Stängel angekommen und überwintert in den Maisstoppeln. Abbildung 4 zeigt übersichtlich den Entwicklungszyklus des Maiszünslers. Mit dem Einbohren in die Maispflanze entstehen Eindringpforten für pilzliche Schaderreger und diese können wiederum gesundheitsschädliche Mycotoxine wie Deoxynivalenol (DON), Zearalenon (ZEO) oder Fumonisine bilden (ALBERT et al., 2008). Die von vielen *Fusarium*-Arten gebildeten sekundären Stoffwechselprodukten, so genannte Mykotoxine, stellen vor allem in Regionen in denen Mais als Hauptnahrungsmittel eingesetzt wird, eine potentielle Gefährdung für Mensch und Tier dar (SCHORLING, 2005). Deshalb ist es wichtig diesen Schädling im Rahmen des integrierten Pflanzenschutzes unter Kontrolle zu halten. In Österreich wird diesem Schädling oft wenig bis keine Beachtung geschenkt. Immer wieder zeigen Versuche, dass der Maiszünsler beachtliche Schäden wie etwa eine Ertragsreduzierung oder höhere Mycotoxingehalte verursacht (vgl. AMT DER NÖ LANDESREGIERUNG, 2015; ROSNER, 2014).

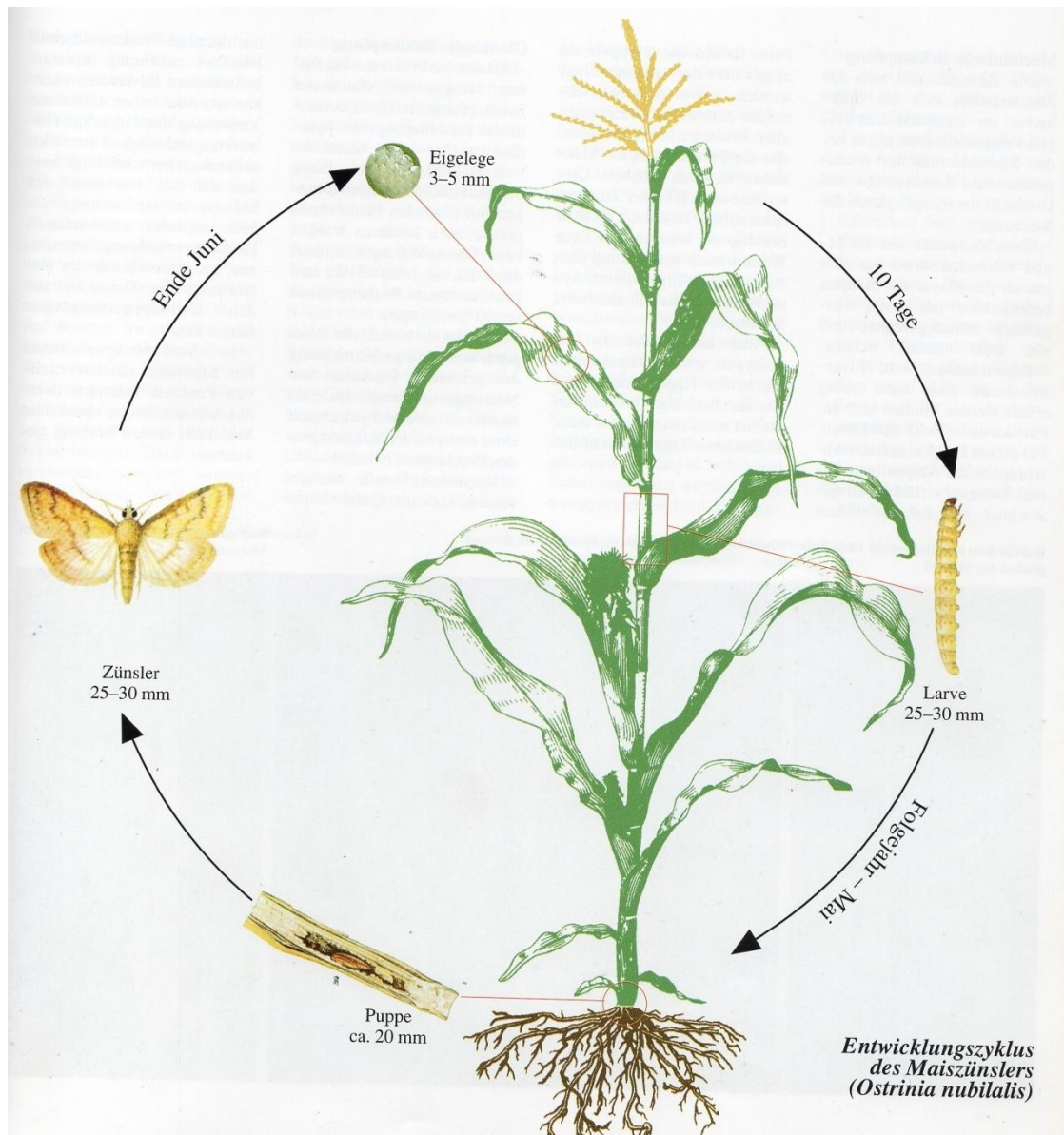


Abbildung 4: Entwicklungszyklus des Maiszünslers *O. nubilalis* (HURLE et al., 1996)

2.2.2. Verfahren zur Bekämpfung des Maiszünslers

Nach BÖRNER et al. (2009) ist eine Bekämpfung erforderlich, wenn an 100 Pflanzen 4 bis 8 Eigelege festgestellt werden. Nach HURLE et al. (1996) liegt die Schadensschwelle jedoch erst bei 10 bis 15 Eigelegen je 100 Maispflanzen. Diese Schadschwellen sind in der Praxis nur bedingt brauchbar, da einige Bekämpfungsverfahren dem Auftreten des Schädling vorausseilen (vgl. HURLE et al., 1996). In Abbildung 5 sind die verschiedenen Maiszünslerbekämpfungsverfahren grafisch dargestellt.

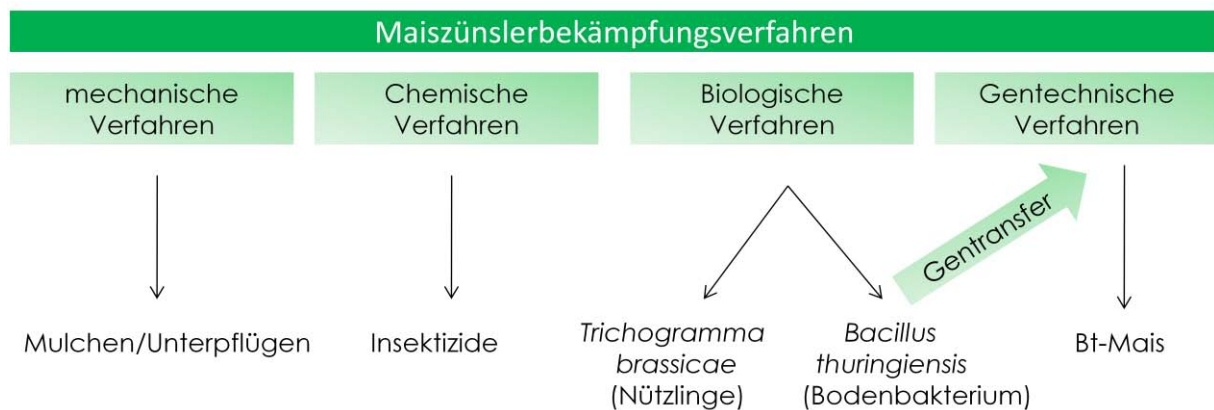


Abbildung 5: Maiszünslerbekämpfungsverfahren verändert nach ZELLNER (2013)

Mechanisches Verfahren

Als vorbeugende Maßnahme zur Kontrolle des Maiszünslers ist das tiefe Abschlegeln und Unterpflügen der Maisstoppeln sehr wirkungsvoll, wenn es flächendeckend durchgeführt wird (HEITEFUSS et al., 2000). Wirkungsgrade von ca. 50 % sind beim Schlegeln der Maisstoppeln als Einzelmaßnahme zu erreichen (ALBERT et al., 2008). Nach LANGENBRUCH et al. (2007) wurden die besten Ergebnisse erzielt, wenn die Maisstoppeln nach der Ernte gründlich gefräst und anschließend tief unterpflügt wurden. Bei einer optimalen Durchführung kann laut FREIER et al. (2015), durch das Mulchen der Maisstoppeln, die Larvendichte um bis zu 98 % reduziert werden. Beim Verfahren der Minimalbodenbearbeitung ist jedoch ein Unterpflügen nicht in Einklang zu bringen (HURLE et al., 1996).

Zunehmend wird auf einen Pflugeinsatz verzichtet, der für eine erfolgreiche, vorbeugende Bekämpfung des Maiszünslers wichtig ist. In einem Starkbefallsgebiet kann es bereits durch wenige, die auf einen Pflugverzicht setzen, zu hohen Ertrags- und Qualitätsverlusten führen. Es gilt dabei abzuwägen, ob man dem Pflugeinsatz zur Bekämpfung des Maiszünslers Vorrang gibt, oder dem Erosionsschutz durch eine konservierende Bodenbearbeitung (LENZ, 2007).

Chemisches Verfahren

Eine Anwendung von registrierten Insektiziden sollte nach dem Schlüpfen der Larven erfolgen (BÖRNER et al., 2009). In Österreich sind derzeit die Wirkstoffe Cypermethrin, Chlorantraniliprole, Indoxacarb und Methoxyfenozid als Insektizid zugelassen.

Pyrethroide erreichen Wirkungsgrade um 90 % (ALBERT et al., 2008) und können mit der Feldspritze relativ billig und schnell ausgebracht werden. Pyrethroide sind Fraßgifte, welche noch vor dem Einbohren der Larven in die Pflanze ausgebracht werden müssen (MEISE, 2003). Die Bekämpfung mit Pyrethroiden ist jedoch mit einer Problematik behaftet, die wiederholt nachgewiesen wurde. Aufgrund der vollständigen Vernichtung der Nützlingsorganismen kommt es in weiterer Folge zu einer beträchtlichen Blattlausvermehrung. Die Blattläuse können sich im Spätsommer ungehindert vermehren und gefährden das Getreide durch die verstärkte Übertragung der virösen Gelbverzwergung (ALBERT et al., 2008; HURLE et al., 1996). Die Behandlung mit der Feldspritze kann bis zu einer Maishöhe von ca. einem Meter erfolgen. Diese Behandlung wird auch als „Meterspritzung“ bezeichnet. Erfolgt die Behandlung mit Insektiziden in der Hauptflugzeit bzw. bei beginnender Eiablage, kann meistens nur mehr mit einem Stelzentraktor gefahren werden. Zusätzlich sind bei einem Insektizideinsatz die Sicherheitsabstände von Gewässern zu berücksichtigen.

Biologische Verfahren

Das biologische Verfahren der Schlupfwespe *Trichogramma evanescens* [sic. *brassicae*] erfasst im Gegensatz von Insektiziden nur den Maisschädling selbst (HEITEFUSS et al., 2000). Dabei sucht das Weibchen die Eipakete des Zünslers auf und legt in jedes Zünlerei ein eigenes Ei. In den Eigelegen des Maiszünslers entwickeln sich anschließend die Larven der Schlupfwespe und zerstören somit die Zünlereier. Die Schlupfwespen verbleiben relativ ortstreu im Maisfeld, da sie mehr laufend als fliegend die Eigelege des Zünslers suchen (HURLE et al., 1996). Erhältlich sind die Nützlinge in Form von Kärtchen, Kapseln und Kugeln. Je nach Herstellern und Formulierung ist die unterschiedliche Anzahl an Erzwespen je Träger verschieden. Pro Hektar sollen rund 200.000 Parasiten ausgebracht werden. Die erste Behandlung erfolgt zu Flugbeginn des Falters und die zweite Behandlung wird im Abstand von 10 bis 14 Tagen durchgeführt. Die Kärtchen bzw. Anhänger werden in einem 14 m bzw. 15 m Raster im Feld verteilt. Bei den Kugeln und Kapseln werden je 2 pro Rasterpunkt im Abstand von 7 mal 20 m abgeworfen (ALBERT et al., 2008). Das Schlüpfen der Erzwespen erfolgt gestaffelt im Abstand von 15 Tagen, damit das Suchen und schließlich die Parasitierung nach Eigelegen bis Mitte August gewährleistet ist (ALBERT et al., 2008). Da *Trichogramma brassicae* in Mitteleuropa kaum Überlebenschancen hat, muss der Parasit jährlich ausgesetzt werden (HURLE et al., 1996). Der Einsatz von *Trichogramma* ist stark witterungsabhängig und teurer, jedoch kann die Wirkung

besser sein als eine Insektizidbehandlung (LIEBE, 2005). Der Wirkungsgrad liegt im langjährigen Mittel in Baden Württemberg bei 80 %. In Praxisversuchen zeigte sich ein durchschnittlicher Wirkungsgrad von 72 bis 75 %. Erhöht man die Anzahl der Schlupfwespen und die Ausbringungsstellen im Mais, so ist ein Wirkungsgrad von bis zu 95 % möglich (ALBERT et al., 2008). LENZ (2007) beschreibt dieses, in den 1980er Jahren entwickelte Nützlingseinsatzsystem, als das am Besten funktionierende im Ackerbau.

Gefördert wird die Ausbringung von Trichogramma in Mais im Agrarumweltprogramm FAKT (vormaliges MEKA-Programm) in Baden Württemberg mit 60 €/ha bei zweimaliger Ausbringung bzw. bei einer einmaligen Ausbringung mit erhöhter Aufwandmenge (MLR, 2015). Rund 30 % der Anbauflächen von Saat- und Körnermais, das sind über 20.000 ha Behandlungsfläche, werden in Baden Württemberg mit diesem eiparasitierenden Nützling behandelt (JEHLE et al., 2014). Auch in Rheinland-Pfalz wird die Trichogramma Ausbringung mit 40 €/ha im Agrarumweltprogramm EULLa 2014 gefördert. In Österreich wird diese biologische Bekämpfungsmaßnahme derzeit nicht subventioniert.

Ein weiteres biologisches Bekämpfungsverfahren sind Präparate aus dem Bodenbakterium *Bacillus thuringiensis*. Die Zünslerraupen nehmen die aufgesprühten Endotoxinkristalle mit dem Blattgewebe auf. Im Insektendarm der Raupe wird das Protein in die aktive Form überführt und zerstört die Darmwand, was zum Tod der Raupe führt. Ein großer Vorteil dieses Verfahrens ist, dass die Toxine sehr wirtsspezifisch wirken und somit keine Nützlinge zu Schaden kommen (SCHORLING, 2005). Die Wirkungsgrade sind jedoch nicht zufriedenstellend, wodurch die Schlupfwespen mit ihren höheren Wirkungsgraden an Bedeutung gewonnen haben (LIEBE, 2005).

Gentechnische Verfahren

Bei den gentechnisch veränderten Bt-Mais Sorten wurde das Gen des Bodenbakteriums *Bacillus thuringiensis* übertragen, welches ständig das Bt-Toxin im Pflanzengewebe bildet (ALBERT et al., 2008). Durch Fraß nehmen die Schädlinge das Bt-Toxin auf und sterben an der Toxinwirkung (MEISE, 2003). Das Toxingen Cry1Ab wird in Maispflanzen eingebaut, da es hoch wirksam gegen den Maiszünsler ist (MEISE, 2003). Nach LANGENBRUCH et al. (2007) ist der Maiszünsler-tolerante Bt-Mais mit einem Wirkungsgrad von 99,9 % die beste Bekämpfungsvariante, jedoch besteht das

Problem der Resistenzgefahr. In Österreich und Deutschland sind derzeit keine Bt-Mais Sorten zugelassen.

In Tabelle 1 sind die Kosten sowie die Wirkungsgrade der vorbeugenden und direkten Maiszünslerbekämpfungsverfahren übersichtlich dargestellt. Diese Werte sind allgemeine Literaturwerte. Vor allem die Wirkungsgrade können aufgrund unterschiedlichster Faktoren wie etwa der Standort, der Zeitpunkt, die Verteilungsgenauigkeit, etc. variieren.

Tabelle 1: Kosten und Wirkungsgrade der Maiszünslerbekämpfung

Verfahren	Kosten [€/ha]	Wirkungsgrad
<u>Vorbeugend:</u>		
Tiefes zeitiges Häckseln		Alle Maßnahmen konsequent durchgeführt bis 99 % Einzelmaßnahmen nur bis 60 %
Drusch mit guter Strohzerkleinerung		
Mulchen von Maisstroh und Maisstoppeln*	20 bis 30	
Saubere Pflugfurche*	40 bis 55	
<u>Direkt</u>		
Trichogramma-Schlupfwespen**	72	50 bis 90 %
Insektizide (Steward)**	55	60 bis 98 %
Bt-Mais (derzeit keine Zulassung)	45	99 bis 100 %

*Variable und feste Maschinenkosten ohne Arbeitserledigungskosten

**Inkl. Ausbringung

Quelle: LENZ (2007)

3. Material und Methoden

Dieses Kapitel beschreibt die verwendeten Daten und Methoden, die in dieser Masterarbeit angewendet werden. Als erstes werden die Daten und Methoden zur Ermittlung des Arbeitszeitbedarfs beschrieben. Zweitens werden die Daten und Methoden zur Berechnung der Durchschnittskosten und der Mindesteinsatzfläche eines Koptereinsatzes zur Nützlingsausbringung gezeigt. Drittens wird das Modell zur Risikoanalyse mittels Monte-Carlo-Simulation der Maiszünslerbekämpfungsverfahren dargestellt.

Für die ökonomische Bewertung der Nützlingsausbringung mittels Multikopter sowie der weiteren Alternativen der Maiszünslerbekämpfungsverfahren wird ein mehrstufiges Bewertungsschema verwendet.

In der Stufe 1 werden die beiden Verfahren Kopterausbringung und Handausbringung der Trichogramma-Nützlinge verglichen. In dieser Stufe soll die Frage beantwortet werden, ob der GPS-gesteuerte Koptereinsatz effektiver bzw. technisch effizienter hinsichtlich Arbeitsproduktivität gegenüber der traditionellen Ausbringung mit der Hand ist. Unter Verwendung der selbst ermittelten Zeitdaten, wird der jeweilige Vorteil des Verfahrens monetär bewertet. Wirkt sich die Kopterausbringung positiv gegenüber der Handausbringung aus, so besteht ein ökonomisches Potential.

Da die Durchschnittskosten des Maschineneinsatzes bei steigendem Einsatzumfang abnehmen (Kostendegression), sollte man sich vor der Anschaffung einer Maschine klar sein, dass eine entsprechende Auslastung gewährleistet ist (DABBERT UND BRAUN, 2006). Deshalb wird im zweiten Schritt, mit Hilfe der Berechnung der Mindesteinsatzfläche bei Eigenmechanisierung, jene Schwelle berechnet, ab welcher Einsatzfläche es sich lohnt in einen eigenen Multikopter zur Trichogramma-Ausbringung zu investieren. Mit diesem Schritt soll gezeigt werden, ob bzw. ab wann es ökonomisch sinnvoll ist, die Arbeit von einem Lohnunternehmen bzw. einem Maschinenring erledigen zu lassen oder selbst in die Maschine zu investieren.

Beim dritten Schritt im Modell zur ökonomischen Bewertung wird eine Risikoanalyse durchgeführt. Neben Ertrags- und Preisschwankungen als unsichere Variablen, ist auch der Einsatzzeitpunkt bei der Maiszünslerbekämpfung entscheidend. Weiters muss sich der Entscheider die Frage stellen, wie sich die anderen Handlungsalternativen der Maiszünslerbekämpfung auf die Wirtschaftlichkeit

auswirken. Mit Hilfe der Methode der stochastischen Dominanz soll ermittelt werden, wie sich die einzelnen Verfahren auf den Deckungsbeitrag auswirken und wie risikobehaftet die Verfahren sind.

3.1. Methodik der Arbeitszeitbedarfsermittlung

Da die Ausbringung von Trichogramma-Nützlingen mit Hilfe des Multikopters eine neue technische Möglichkeit darstellt, stehen in der Literatur noch kaum verifizierte Daten zur Verfügung. Deshalb wurde im Zuge dieser Masterarbeit der Arbeitszeitbedarf ermittelt. Der erhobene Arbeitszeitbedarf dient in weiterer Folge als Grundlage für die monetäre Kalkulation der Arbeitskosten, um festzustellen, ob Kostenoptimierungen mit diesem Verfahren möglich sind. Auch für die Durchschnittskostenkalkulation wird die Arbeitszeit berücksichtigt. Dazu ist es eine genaue Zeitmessung der einzelnen Arbeitsvorgänge und Arbeitselemente wichtig.

Bei der Arbeitszeiterfassung können in der Landwirtschaft einerseits finale Methoden und andererseits kausale Methoden unterschieden werden. Bei der finalen Methode werden die Arbeitszeiten geschätzt. Bei den kausalen Zeitermittlungsmethoden stehen hingegen exakte Messungen der Arbeitszeiten im Vordergrund (PÖTZ, 2012; TAMTÖGL, 2010). Für die Arbeitszeitanalyse wurde nach der Methode der Zeitelementmethode, wie in AUERNHAMMER (1976) beschrieben, vorgegangen. Diese Methode entspricht der genaueren kausalen Zeitermittlungsmethode. Die Zeiterfassung wurde in dieser Masterarbeit mit Hilfe der Arbeitsbeobachtung im Feldversuch durchgeführt. Um eine Aussage über den Zeitbedarf eines Arbeitsvorganges zu treffen, muss in der Arbeitszeitanalyse der Arbeitsablauf systematisch in seine Bestandteile gegliedert werden (AUERNHAMMER, 1976).

Die Gliederung der Arbeitsabschnitte erfolgte in Anlehnung an AUERNHAMMER (1976) und RÖHNER (1956) und ist in Tabelle 2 übersichtlich dargestellt. Die Arbeitsarten entsprechen dem typischen Ablauf von Feldarbeiten.

Tabelle 2: Arbeitsablauf der Kopterausbringung von Trichogramma-Nützlingen

Arbeitsarten	Kopterausbringung
Rüstzeit Hof	Flugplanung
Rüstzeit Feld	Befüllung mit Kugeln und Nachjustierung der Flugroute
Wegzeit	Zum und vom Feld
Hauptzeit	Flug mit Ausbringung der Nützlinge
Nebenzeit	Nachfüllung der Kugeln und Akkutausch
Verlustzeit	Diverse Verlustzeiten

Neben der Zeiterfassung der Kopterausbringung wurde gleichzeitig auch die Zeit der üblichen Methode der Handausbringung auf denselben Ackerschlägen aufgezeichnet.

3.1.1. Standort der Arbeitszeitermittlung

Die Ermittlung des Arbeitszeitbedarfs wurde am 07. Juli 2015 in Deutschland durchgeführt. In der Umgebung von Brakel im Kreis Höxter im Bundesland Nordrhein-Westfalen wurden fünf Maisflächen mit verschiedenen Schlaggrößen ausgewählt. Die Ortschaft Brakel liegt auf einer Seehöhe von 145 m über N.N. mit einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von 888 mm pro Jahr (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2015). Die Ausbringung der Trichogramma-Kugeln mittels Hexakopter wurde von Dr. Axel Weckschmied durchgeführt. In Abhängigkeit des Warndienstes ProPlantexpert.com wurde die Ausbringung bzw. der Einsatzzeitpunkt festgelegt. Für die Region 33034 Brakel wurde die Wetterstation Beverungen/Drenke verwendet.



Abbildung 6: Geografische Lage des Standortes in Brakel(D)

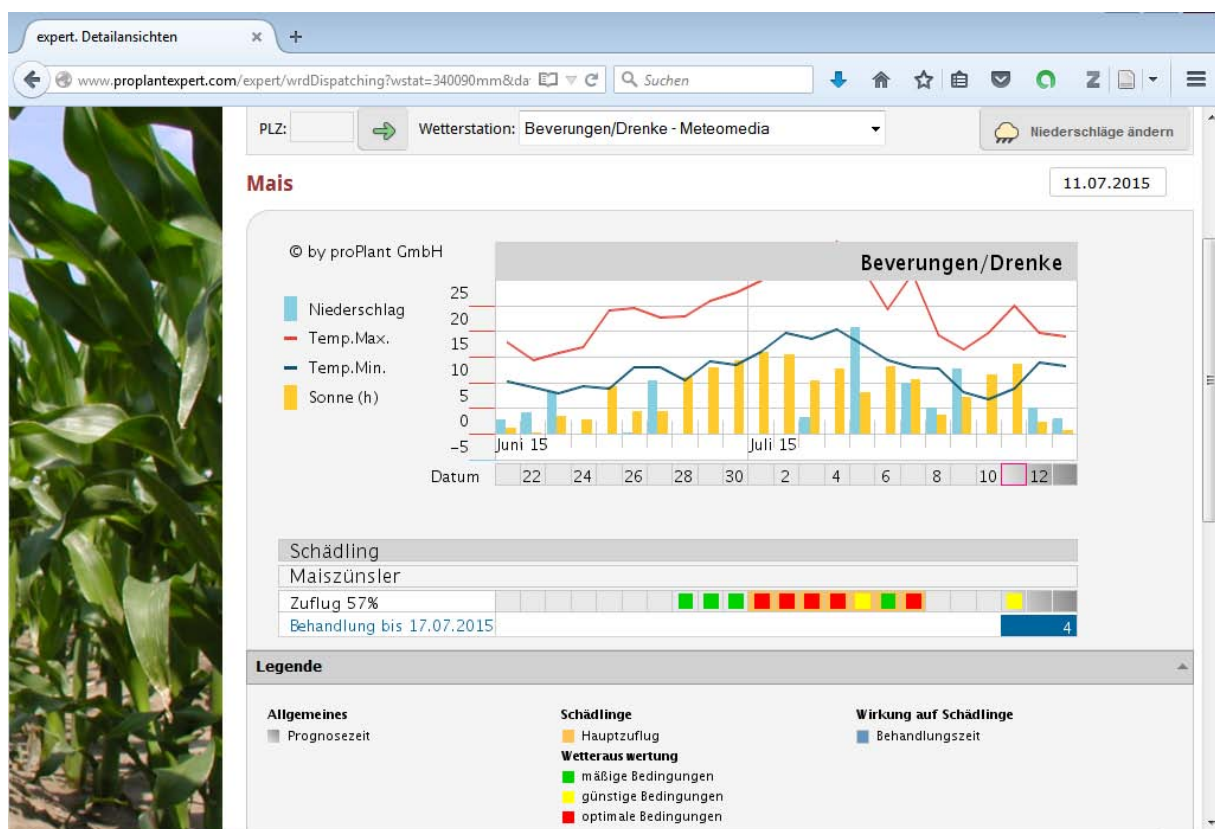


Abbildung 7: Maiszünsler Warndienst (PROPLANTEXPERT.COM, 2015)

3.1.2. Arbeitsgeräte und Materialien

Die Ausbringung erfolgte mit dem in Abbildung 8 dargestellten Tricho-Kopter® der speziell für die biologische Applikation der Trichogramma-Kugeln konzipiert ist. An diesem Kopter ist die Ausbringvorrichtung Tricho-Dropper® vom Typ „HP-DT“ angebracht. Sie ist konstruiert für das gezielte Auswerfen eines biologischen Schädlingsbekämpfungsmittels gegen den Maiszünsler (WECKSCHMIED, 2015).

Technische Daten:

- Kopter inkl. Landegestell
 - Typ: HP-X6 (Tricho-Kopter®)
 - Hersteller: AHLtec / HEXAPILOTS (D)
 - Durchmesser: 105 cm (Spitze zu Spitze Rotorblatt)
 - Höhe: 52 cm
- Auswurfvorrichtung
 - Typ: Tricho-Dropper® HP-TD
 - Hersteller: AHLtec / HEXAPILOTS (D)
 - Füllmenge: max. 500 Kugeln der Firma Biocare
max. 360 Kugeln der Firma AMW
 - Leergewicht: 1.070 g inkl. Akku
- Koptersteuerung
 - Typ: PIXHAWK
 - Hersteller: 3D Robotics / USA
- Fernsteuerung:
 - Typ: Taranis X9D
 - Hersteller: FrSKY (China)
- Gewichte
 - Kopter inkl. Elektronik und Landegestell 2.285 g
 - Tricho-Dropper 1.070 g
 - maximale Zuladung (Akku/Kugeln) 1.645 g
 - GESAMT max. 5.000 g
- Flugzeit: ca. 20 bis 22 min.
- Besonderheiten
 - auch bei Ausfall eines Motors noch sicher steuerbar
 - 1 m genau Positionierung mittels GPS
 - automatisches Abfliegen von Waypoints

- Coming Home - Funktion
- automatisches Coming Home und Landen bei Funkausfall
- automatisches Landen bei zu niedriger Akkuspannung
- Telemetrieanzeige der Flugakkuspannung (Gesamt und Einzelzellen)
- automatische Überstromabschaltung des Tricho-Droppers



Abbildung 8: Tricho-Kopter® HP-X6

Für diese beflogenen Maisflächen wurden Trichosafe®-Kugeln von der Firma Biocare verwendet. Bei einer Dosierung von 100 Kugeln/ha werden ca. 110.000 Tiere/ha ausgebracht (BIOCARE, 2015). In den Kugeln der Firma Biocare befinden sich von Schlupfwespen parasitierte Eier in verschiedenen Entwicklungsstadien sowie nicht parasitierte Wirtseier. Dadurch schlüpfen die Schlupfwespen in sechs Schlupfwellen und es erfolgt eine integrierte Minizucht (BIOCARE, 2015). Die Kugeln bestehen aus einer biologisch abbaubaren Papierverpackung aus Zellstoff und Paraffin (BIOCARE, 2015).

In Anlehnung an das Ausbringungsschema (siehe Abbildung 9) wurde die Flugroute der jeweiligen Ackerschläge geplant, wo anschließend die Kugeln auf das jeweilige Feld ausgebracht wurden. Zur Planung der Flugroute wurde die Software Mission Planner verwendet. Im Anhang sind die Flugroutenplanungen der beflogenen Mais-Ackerschläge angeführt.

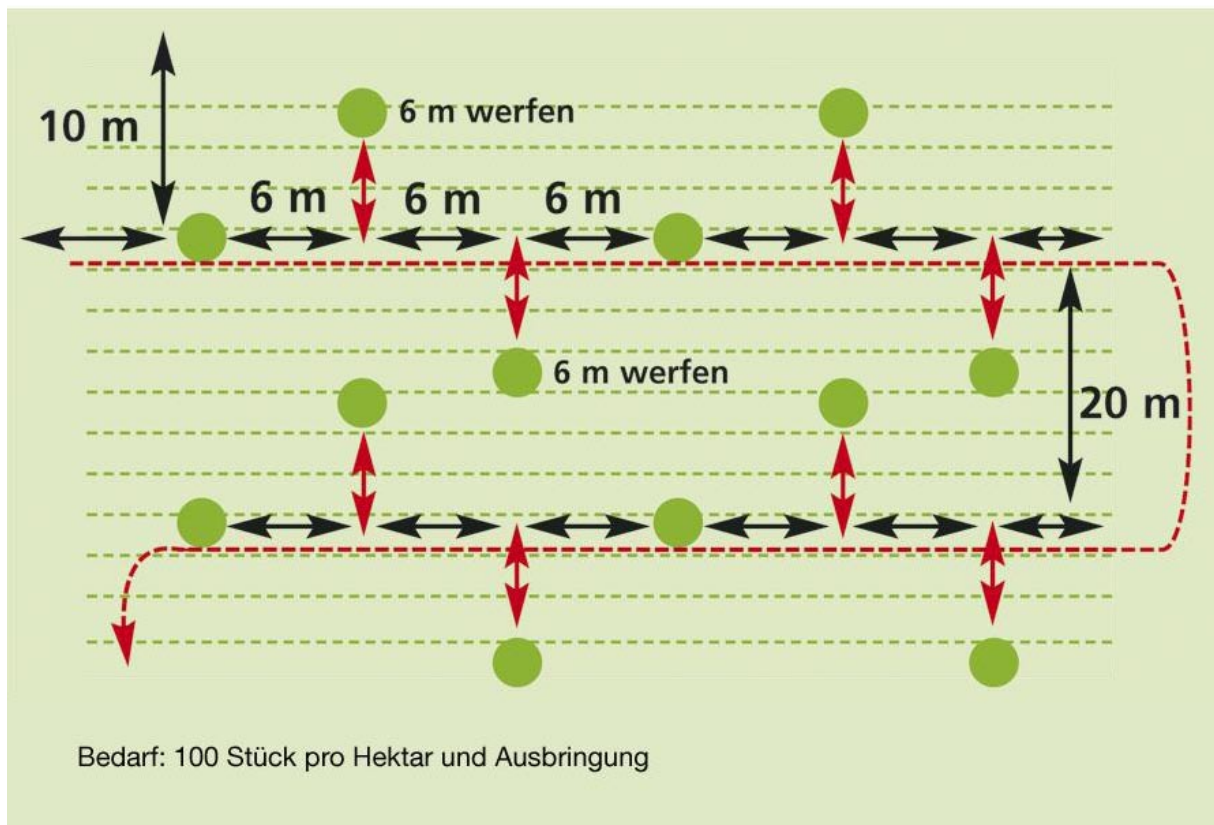


Abbildung 9: Ausbringungsschema Trichogramma-Kugeln (BIOCARE, 2015)

3.1.3. Durchführung der Arbeitszeitermittlung

Für die Ermittlung des Arbeitszeitbedarfs für die Kopterausbringung der Trichogramma-Kugeln wurde die jeweilige Feldarbeitszeit der tatsächlichen Flugzeit des Multikopters aufgezeichnet. Für die Zeitaufzeichnung wurden Stoppuhren verwendet. Die Rüstzeiten wie zum Beispiel die Flugroutenplanung, die Befüllung des Behälters mit Kugeln sowie die Feinplanung vor Ort wurden je Schlag ebenso mittels Stoppuhr aufgezeichnet. Mit Hilfe der Feldarbeitszeiten und den Rüstzeiten wurden die jeweiligen Arbeitskraftstunden je Schlag und anschließend die Arbeitskraftstunden je Hektar berechnet.

Während der Zeitmessung wurde der Pilot ständig begleitet und die Aufzeichnungen wurden in das vorbereitete Formblatt (siehe Anhang) eingetragen. Die Aufzeichnung der Handausbringung wurde selbst durchgeführt und mittels Stoppuhr der Zeitbedarf ermittelt. Es wurden dabei dieselben Ackerschläge wie bei der Kopterausbringung verwendet.

3.1.4. Ermittlung der Arbeitskraftstunden

Mit Hilfe der im ersten Schritt gewonnen Daten der Arbeitszeitbedarfsermittlung wird der jeweilige Zeitvorteil des Verfahrens bewertet. Wirkt sich die Kopterausbringung positiv gegenüber der Handausbringung aus, so besteht ein ökonomisches Potential.

Für den Vergleich der Handausbringung und der Kopterausbringung wird zuerst die tatsächliche Zeitdifferenz berechnet. Dabei wird erstens die reine Hauptarbeitszeit der beiden Verfahren gegenübergestellt. Zweitens wird die Zeitdifferenz der Gesamtarbeitszeiten (inkl. Rüst-, Weg-, Neben- und Verlustzeit) berechnet. Anschließend werden die Zeitdifferenzen der Gesamtarbeitszeit und der Hauptarbeitszeit mit einem kalkulatorischen Lohnansatz von 10 € monetär bewertet. Angenommen wird damit, dass die frei werdende Arbeitszeit alternativ effizienter eingesetzt werden kann.

Weiters wird je Schlaggröße die Arbeitskraftstunde je Hektar (AKh) berechnet. Dazu werden die ermittelten Zeiten der Haupt-, Rüst-, Weg-, Neben- und Verlustzeiten jeweils in Minuten addiert und durch 60 dividiert. Danach werden die Stunden je Hektar (AKh/Schlaggröße) durch die tatsächliche Schlaggröße dividiert, um die AKh/ha zu erhalten.

Da jede Schlaggröße einmal mit dem Kopter befliegen und einmal zu Fuß begangen wurde, werden die jeweiligen Schlaggrößen als einzelne Fallbeispiele betrachtet. Auch deshalb, da es unterschiedlich große Schläge mit unterschiedlicher Schlagform sind.

3.2. Durchschnittskosten des Koptereinsatzes

Mit diesem Schritt soll gezeigt werden, ob bzw. ab wann es ökonomisch sinnvoll ist, diese Arbeit von einem Lohnunternehmen bzw. eines Maschinenringes erledigen zu lassen oder selbst in die Maschine zu investieren. Mit den Kosten des Mindesteinsatzumfangs (Auslastungsschwelle) wird ermittelt, ab welcher Flächenausstattung eine Investition in einen eigenen Multikopter rentabel ist. Die Eigenmechanisierung lohnt sich dann, wenn die Kosten der eigenen Maschine niedriger oder gleich den Kosten des überbetrieblichen Einsatzes sind. Über dieses Kriterium hinaus ist weiters die notwendige Schlagkraft bei Arbeitsspitzen, die Verfügbarkeit und die damit verbundene termingerechte Arbeitserledigung zu

berücksichtigen (DABBERT UND BRAUN, 2006). Nach MUBHOFF UND HIRSCHAUER (2013) wird die Formel (1) zur Berechnung der Mindesteinsatzfläche verwendet.

$$jA = \left[\frac{AW - RW}{N} + [(AW - RW) * 0,5 + RW] * i_{\text{ kalk}} + \frac{1}{N} * \sum_{t=1}^N BK \right] / P\ddot{U} \quad (1)$$

jA=Mindesteinsatzfläche [ha/Jahr]

AW=Anschaffungswert [€]

RW=Restwert [€]

N=Nutzungsdauer [Jahre]

$i_{\text{ kalk}}$ = Zinssatz in % dividiert durch 100

BK= Betriebskosten (variable Kosten) [€/ha]

$P\ddot{U}$ = Überbetrieblicher Verrechnungspreis [€/ha]

Für die weitere Berechnung sind die Fixkosten und die variablen Kosten zu unterscheiden. Folgend werden die verwendeten Fixkosten beschrieben.

3.2.1. Abschreibung für Abnutzung (AfA)

Um den Wertverlust zu berücksichtigen, wird bei Gebrauchsgütern die Abschreibung berechnet (DABBERT UND BRAUN, 2006). Vor der Berechnung der Abschreibung gilt es zu unterscheiden, ob nach Zeit oder nach Leistung abgeschrieben wird. Die **Abschreibung nach Zeit** berechnet sich nach Formel (2).

$$\text{AfA je Jahr} = \frac{A - R}{N} \quad (2)$$

wobei

A = Anschaffungswert [€]

R = Restwert am Ende der Nutzungsdauer [€]

N = Nutzungsdauer [Jahre]

Die **Abschreibung nach der Leistung** berücksichtigt die nutzungsbedingte Wertminderung (SCHNEEBERGER UND PEYERL, 2011). Dazu muss zuerst der Gesamtleistungsvorrat (n) bestimmt werden. Nach SCHNEEBERGER UND PEYERL (2011) erfolgt zuerst die Berechnung der Abschreibung pro Leistungseinheit (3) und danach wird der jährliche Abschreibungsbetrag (4) ermittelt:

1) Berechnung der Abschreibung pro Leistungseinheit

$$\text{Abschreibung je Leistungseinheit} = \frac{A - R}{n} \quad (3)$$

2) Berechnung der jährlichen Abschreibung

$$\text{Abschreibung je Jahr} = \text{Abschreibung je Leistungseinheit} \times j \quad (4)$$

j = jährliche Leistungsbeanspruchung (ha)

Die Abschreibung nach Zeit wird den fixen Kosten einer Abrechnungsperiode zugeordnet. Da die Leistungsbeanspruchung eines Gebrauchsgutes bei der Abschreibung nach Leistung je Abrechnungsperiode unterschiedlich ist, wird sie den variablen Kosten zugerechnet (SCHNEEBERGER UND PEYERL, 2011). Als Schwelle der variablen Abschreibung (S) wird der Wechsel aufgrund der durchschnittlichen jährlichen Leistungsbeanspruchung von der fixen in die variable Abschreibung genannt (DABBERT UND BRAUN, 2006). Die Schwelle der variablen Abschreibung (S) wird nach der Formel (5) berechnet.

$$S = \frac{n}{N} \quad (5)$$

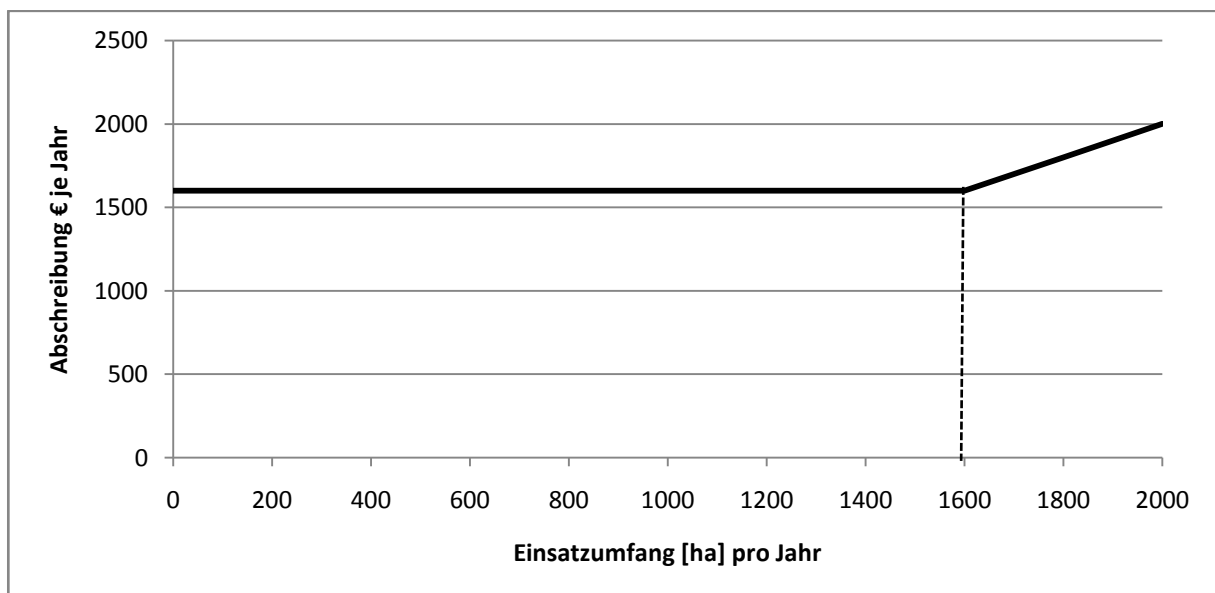


Abbildung 10: Verlauf der Abschreibung je Jahr in Abhängigkeit des Einsatzumfangs

Dem Kopter wird in dieser Arbeit eine Nutzungsdauer von 5 Jahren unterstellt, da der Wertverlust überwiegend auf dem technischen Fortschritt zurückzuführen ist. Der

Restwert wird mit dem Wert Null vorgegeben. Der Gesamtleistungsvorrat wird mit einer Einsatzfläche von 8.000 ha angenommen. In der Praxis hat sich gezeigt, dass je Ausbringungstermin in etwa 800 Hektar befliegen werden können. Pro Jahr werden im Durchschnitt zwei Trichogramma-Ausbringungen gemacht. Mit einer Nutzungsdauer von 5 Jahren ergibt sich somit eine Schwelle der variablen Abschreibung (S) von 1.600 ha (siehe Abbildung 10).

3.2.2. Zinskosten

Für das Gebrauchsgut muss ein Betrieb in seiner Kostenrechnung noch die Kosten für das eingesetzte Kapital berücksichtigen. Wird die Maschine mit Fremdkapital finanziert, so entstehen Zinsausgaben die an die Bank abgeführt werden müssen (DABBERT UND BRAUN, 2006). Zinskosten werden in der Literatur auch als kalkulatorische Zinsen oder als Zinsansatz bezeichnet (MUBHOFF UND HIRSCHAUER, 2013; SCHNEEBERGER UND PEYERL, 2011). Bei Finanzierung mit Eigenkapital wird die Verzinsung mit dem Entgang der Zinsen bei alternativer Verwendung des Kapitals (Opportunitätskosten) begründet (SCHNEEBERGER UND PEYERL, 2011). Nach DABBERT UND BRAUN (2006) muss das durchschnittlich gebundene Kapital ermittelt werden, um die einzelnen Perioden vergleichbar zu machen. Bei einem Restwert von Null ist durchschnittlich der halbe Anschaffungswert gebunden. Die Berechnung der Zinskosten erfolgt somit nach der Formel (6).

$$\text{Zinskosten je Jahr} = \frac{A}{2} \times i \quad (6)$$

A= Anschaffungskosten

i= Zinssatz in % dividiert durch 100

Bei der Berechnung der Durchschnittskosten des Multikopters wird, aufgrund der derzeitigen Zinssituation, ein kalkulatorischer Zinssatz von 3 % unterstellt.

3.2.3. Versicherung und Unterbringung

Die Kosten der Versicherung und Unterbringung bei Maschinen entstehen unabhängig von der Auslastung pro Jahr und sind somit den fixen Kosten zuzuordnen (KTBL, 2010). Für die Versicherung und Unterbringung werden, in Anlehnung an den ÖKL-Werten, 2 % der Anschaffungskosten in Ansatz gebracht.

Folgend werden die variablen Kosten (Betriebskosten) des Multikopters zur Trichogramma-Ausbringung beschrieben.

3.2.4. Betriebsstoff- und Reparaturkosten

Wie auch DABBERT UND BRAUN (2006) schreiben, ist die Erfassung der Reparaturkosten für die voraussichtliche Nutzungsdauer im Betrieb in der Praxis fast unmöglich. Auch die Erfassung der Stromkosten, in diesem Fall für den Betrieb des Kopters, kann nur mit großer Unsicherheit abgeleitet werden. Deshalb werden für die Strom- und Reparaturkosten 0,20 €/je ha in Ansatz gebracht.

3.2.5. Arbeitskosten

Im überbetrieblichen Verrechnungspreis in Formel (1) ist bereits der Lohn für die eingesetzte Arbeitskraft enthalten. Deshalb muss auch, in dieser Berechnung der Durchschnittskosten bei Eigenmechanisierung, der Lohnansatz berücksichtigt werden. Bei den variablen Kosten ist somit auch der Lohnansatz des jeweiligen Betriebes einzubeziehen. In dieser Arbeit wird ein Lohn von 1,67 €/ha für die Kopterausbringung unterstellt. Dieser berechnet sich aus einem Lohnansatz von 10 €/h. Und wie aus den Berechnungen aus Kapitel 4.1. hervorgegangen ist, werden für einen Hektar 10 Minuten an Arbeitszeit benötigt.

3.3. Risikoanalyse mittels Monte Carlo Simulation

Aufgrund der unsicheren Variablen im Deckungsbeitragsmodell beim Vergleich der verschiedenen Pflanzenschutzmaßnahmen sowie deren unterschiedlichen Wirkungsgrade, macht es nötig mit Hilfe der Risikoanalyse die einzelnen Maiszünslerbekämpfungsverfahren zu vergleichen. Als Vergleich werden die chemische Variante mit Insektiziden, die biologische Variante mit Trichogramma sowie eine unbehandelte Variante gegenübergestellt.

Die Risikoanalyse mittels Monte-Carlo-Simulation soll den Betriebsleitern als Entscheidungshilfe, bei unsicheren Umweltbedingungen, dienen. Die Simulation analysiert die Deckungsbeiträge bei den unterschiedlichen Bekämpfungsverfahren unter Berücksichtigung der unsicheren Preis- und Ertragssituationen sowie der unterschiedlichen Kosten der einzelnen Maiszünslerbekämpfungsverfahren.

3.3.1. Grundlagen zur Risikoanalyse

Die Risikoanalyse verwendet systematisch verfügbare Informationen, um herauszufinden, wie oft bestimmte Ereignisse auftreten können und sich somit auf den Deckungsbeitrag von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen auswirken. Die Risikoanalyse ermöglicht eine Untersuchung der positiven und negativen Ereignisse und man kann mit ihr gute, neue Gelegenheiten identifizieren (PALISADE, 2015a).

Unterschieden wird zwischen qualitativer und quantitativer Risikoanalyse. Bei der qualitativen Risikobewertung erfolgt die Einschätzung der Schadenshöhe und der Schadenswahrscheinlichkeit subjektiv-qualitativ d.h. die Schadenshöhen und deren Eintrittswahrscheinlichkeiten erfolgt beispielsweise anhand einer Skala von „sehr gering“ bis „sehr hoch“ (MUBHOFF UND HIRSCHAUER, 2013). Die quantitative Risikoanalyse kann auf verschiedene Weise ausgeführt werden. Zum einen können Einzelpunktschätzungen (niedrig, häufig, hoch) verwendet werden - deterministische Risikoanalyse. Zum anderen können Wahrscheinlichkeitsverteilungen, durch Eingabe von unbestimmt möglichen Werten, die Grundlage bilden - stochastisches Verfahren (= Monte Carlo Simulation) (PALISADE, 2015a). Nach MUBHOFF UND HIRSCHAUER (2013) müssen für alle Zufallsvariablen, die einen relevanten Einfluss auf die Zielgröße haben, Wahrscheinlichkeitsverteilungen bestimmt werden.

Die Problematik ist, dass theoretische Wahrscheinlichkeiten für ein Ergebnis nicht bekannt und nur sehr aufwändig zu berechnen sind. Diese Wahrscheinlichkeiten können z.B. durch eine häufige Wiederholung von Zufallsexperimenten ermittelt werden. Anstatt einer realen Durchführung der Experimente, werden diese an einem Modell durchgeführt (Monte Carlo Simulation) (KAPFER, 2014).

Die Schätzung von Verteilungen ist die zentrale Voraussetzung jeder Risikoanalyse, die folgend kurz beschrieben wird (MUBHOFF UND HIRSCHAUER, 2013).

Bei der **Schätzung statistischer Verteilungen** wird die Häufigkeitsverteilung einer Stichprobe mittels statistischer Tests analysiert. Bei diesem methodischen Ansatz unterstellt man von vornherein, dass der arithmetische Mittelwert der beobachteten Werte dem Erwartungswert entspricht. Man geht davon aus, dass sich Erwartungswert und Standardabweichung im Zeitablauf nicht ändern (MUBHOFF UND HIRSCHAUER, 2013).

Handelt es sich bei den beobachteten Werten um eine Zeitreihe mit einem systematischen zeitlichen Entwicklungsmuster, dann werden so genannte

Zeitreihenanalysen verwendet. MUBHOFF UND HIRSCHAUER (2013) nennen hier als Beispiel den Züchtungsfortschritt bei Weizen. Würde man einfach den Mittelwert der Beobachtungswerte der letzten Jahre mit den zukünftigen zu erwarteten Erträgen gleichsetzen, dann trifft man eine falsche Planannahme. Diesen funktionalen Zusammenhang bezeichnet man als stochastischen Prozess oder Zeitreihenanalyse (MUBHOFF UND HIRSCHAUER, 2013).

Bei der Bestimmung der Verteilung einer aggregierten Zufallsvariable unterscheiden MUBHOFF UND HIRSCHAUER (2013) zwischen analytischen und numerischen, und zwischen nicht-parametrischen und parametrischen Verfahren (siehe Tabelle 3).

Nicht-parametrische Verfahren, wie die historische Simulation, beruhen auf den relativen Häufigkeitsverteilungen der in der Stichprobe beobachteten Werte der einzelnen Zufallsvariablen. Diese Verfahren werden auch als empirische Verteilungen oder verteilungsfreie Verfahren bezeichnet, da sie nicht durch z.B. den Erwartungswert und Standardabweichung charakterisiert werden können. Bei den parametrischen Verfahren werden die Verteilungen direkt über wenige Verteilungsparameter bestimmt (MUBHOFF UND HIRSCHAUER, 2013).

Das **analytische** Verfahren basiert auf einer geschlossenen Formel. Bei den **numerischen** Verfahren handelt es sich um Simulationen, bei denen man wiederholt ausprobiert, welche Werte die interessierende Zielgröße bei unterschiedlichen Realisationen der einzelnen Zufallsvariablen annimmt.

Tabelle 3: Verfahren zur Bestimmung der Verteilung einer aggregierten Zufallsvariable

	Nicht-parametrisch	Parametrisch
analytisch	–	Varianz-Kovarianz-Methode Anwendungsvoraussetzung: Normalverteilung für alle additiv verknüpften Unsicherheitsvariablen
numerisch	Historische Simulation Anwendungsvoraussetzung: Beobachtungswerte für alle Unsicherheitsvariablen	Stochastische Simulation Anwendungsvoraussetzung: Beliebige parametrische Verteilungen für alle Unsicherheitsvariablen

Quelle: MUBHOFF UND HIRSCHAUER (2013)

3.3.2. Stochastische Simulation mittels Monte Carlo Simulation

Der erste, der sich theoretisch fundiert mit Schätzproblemen auseinandersetzte und die Brücke zwischen Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung schlug, war Jakob Bernoulli (1655-1705). Er beschrieb das Gesetz der großen Zahlen, das bis heute Gültigkeit hat und als theoretische Begründung für die Anwendbarkeit der Monte-Carlo-Simulation dient (COTTIN UND DÖHLER, 2013). Anfangs wurde dieses Konzept von Wissenschaftlern bei der Entwicklung von Atombomben verwendet und nach dem für seine Casinos bekannten Ort Monaco benannt (PALISADE, 2015b). Im Allgemeinen fasst man unter dem Begriff Monte-Carlo-Simulation eine Vielzahl an verschiedener Simulationsmethoden zusammen. Die grundsätzliche mathematische Idee der Monte-Carlo Simulation ist, ein Experiment sehr oft zu simulieren (COTTIN UND DÖHLER, 2013). Nach COTTIN UND DÖHLER (2013) kann man die allgemeine Vorgehensweise wie folgt zusammenfassen:

1. Erzeuge n Simulationen $U_1, \dots, U_n$ des zugrunde liegenden Zufallsexperiments
2. Berechne daraus Simulationen der interessierenden Größe
 $X_1 = g(U_1), \dots, X_n = g(U_n)$.
3. Werte die Simulationen $X_1, \dots, X_n$ aus, z. B. durch Berechnung des Mittelwerts oder der Stichprobenquantile.

Aus den Eingabewahrscheinlichkeiten werden während der Simulation Zufallswerte erhoben. Als Iteration werden die einzelnen Wertprobensätze bezeichnet und schließlich wird jedes Ergebnis aufgezeichnet. Nach beispielsweise 10.000 Iterationen erhält der Anwender 10.000 Ergebnisse und diese ergeben danach eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der möglichen Ergebnisse (PALISADE, 2015b). Die Berechnung der Deckungsbeiträge unterschiedlicher Maiszünslerbekämpfungsverfahren wird mit 10.000 Iterationen durchgeführt.

Bei der Nutzung der stochastischen Simulation zur Bestimmung des Risikoprofils ergeben sich nach MUBHOFF UND HIRSCHAUER (2013) folgende Ablaufschritte:

1. Identifizierung der mit Risiko behafteten Portfoliokomponenten (disaggregierten Zufallsvariablen)
2. Beschaffung geeigneter Daten (Zeitreihen) für die statistische Analyse der disaggregierten Zufallsvariablen
3. Schätzung der am besten zu den Daten passenden parametrischen Verteilungen für die disaggregierten Zufallsvariablen sowie Berechnung der Korrelationen

4. Computergestützte Ziehung einer Zufallszahl für jede disaggregierte Zufallsvariable gemäß ihrer geschätzten Verteilung und unter Beachtung von Korrelationen
5. Berechnung der aggregierten Zielgröße anhand der gezogenen (simulierten) Werte der disaggregierten Zufallsvariablen
6. Sehr häufige Wiederholung der Schritte 4 und 5 (mindestens 10.000 Simulationsläufe)
7. Erstellung des Risikoprofils in Form einer kumulierten relativen Häufigkeitsverteilung der aggregierten Zielgröße
8. Gegebenfalls Schätzung einer parametrischen Verteilung für die aggregierte Zielgröße

Vorteil der stochastischen Simulation ist, dass für die einzelnen Portfoliokomponenten jede beliebige parametrische Verteilungsfunktion unterstellt werden kann. Im Gegensatz zur historischen Simulation können auch Verteilungen aus Expertenbefragungen integriert und verarbeitet werden. Nachteil der Monte-Carlo-Simulation ist, dass sie mehr Rechenzeit in Anspruch nimmt als die Varianz-Kovarianz-Methode. Auch die Erstellung eines entsprechenden Modells ist aufwändiger als bei der historischen Simulation (MUBHOFF UND HIRSCHAUER, 2013).

Nach PALISADE (2015b) bietet die Monte-Carlo-Simulation folgende Vorteile gegenüber der deterministischen Analyse:

- Wahrscheinlichkeitsergebnisse zeigen auch die einzelnen Auftretenswahrscheinlichkeiten der einzelnen Ergebnisse
- Grafische Ergebnisse wie z.B. Diagramme der einzelnen Ergebnisse können einfach mittels der generierten Daten erstellt werden
- Mit einer Empfindlichkeitsanalyse kann erkannt werden, welche Eingaben die größten Auswirkungen auf die Endergebnisse haben
- Anhand der Szenario-Analyse kann man sehen, welche Eingaben bei gewissen Ergebnissen bestimmte Wertekombinationen enthielten
- Eingabekorrelationen ermöglichen eine genaue Darstellung, wie sich einige Faktoren im Verhältnis zueinander verhalten (z.B. Preis und Ertrag)

3.3.3. Modellierung der Monte-Carlo-Simulation

Als Grundlage des Vergleichs der einzelnen Pflanzenschutzmaßnahmen, zur Kontrolle des Maiszünslers, dient ein einstufiges Deckungsbeitragsmodell (Teilkostenrechnung). Die Modellierung erfolgt durch das Einsetzen von fixen und variablen Inputgrößen, sowie der abhängig variablen Inputgrößen. Einen Überblick über die verschiedenen Inputgrößen im Deckungsbeitragsmodell gibt die Tabelle 4. Die Preise und Kosten verstehen sich unter Berücksichtigung der österreichischen Umsatzsteuer.

Tabelle 4: Inputgrößen im Deckungsbeitragsmodell

Fixe Inputgrößen	Variable Inputgrößen	Abhängig Variable Inputgrößen
Z-Saatgut	Ertrag Körnermais	Trocknungskosten
Handelsdünger	Preis Körnermais	Körnermaistransport
Pflanzenschutz-Herbizid	Pflanzenschutz-Maiszünsler	
Hagelversicherung		
Variable Maschinenkosten (ohne Maiszünslerbekämpfungsmaßnahme)		

3.3.3.1. Fixe Inputgrößen

Z-Saatgut

Im Deckungsbeitragsmodell der Monte-Carlo-Simulation wird, in Anlehnung an den Internetdeckungsbeitragsrechner der Bundesanstalt für Agrarwirtschaft (AWI), zertifiziertes Saatgut verwendet. Es werden 1,7 Einheiten pro ha an Saatgutmenge verwendet. Das entspricht rund 8 Pflanzen pro m². Als Preis werden 100 € je Einheit veranschlagt (AWI, 2015). Eine Einheit entspricht 50.000 Körner.

Handelsdünger

Ein weiterer wesentlicher Kostenfaktor bei der Produktion von Körnermais sind die Düngungskosten. Im verwendeten Modell wird der Nährstoffbedarf nach den Richtlinien der sachgerechten Düngung mit den Reinnährstoffkosten multipliziert. Anschließend erhält man die Nährstoffkosten des jeweiligen Nährstoffes. Die Reinnährstoffe werden auf Grundlage von Kalkammonalspeter, Diammonphosphat und Kalisalz berechnet. Tabelle 5 gibt eine Übersicht über die Berechnung der Kosten des Handelsdüngers, die in das Berechnungsmodell integriert werden.

Tabelle 5: Kosten Handelsdünger

Reinnährstoff	Nährstoffbedarf [kg/ha]	Preis [€/kg]	Nährstoffkosten [€/ha]
N	183	1,17	214
P ₂ O ₅	81	1,06	86
K ₂ O	51	0,85	43
Gesamt			343

Quelle: AWI (2015)

Pflanzenschutz-Herbizid

In der konventionellen Körnermaisproduktion erfolgt eine Herbizidmaßnahme entweder im Vorauf- oder Nachauf. Weiters unterscheidet sich die Intensität der Kulturführung sowie der Standort, ob in einem Trocken- oder Feuchtgebiet produziert wird. Davon abhängig sind die Kosten für die Unkrautbekämpfung. Die Herbizidstrategie, die in das Deckungsbeitragsmodell einfließt, ist in Tabelle 6 dargestellt. Die Bezeichnung, die Aufwandmenge und der Preis beziehen sich auf das Wirtschaftsjahr 2015. Die Preise entsprechen der Liste der unverbindlich empfohlenen Verkaufspreise inkl. Umsatzsteuer der Raiffeisen Ware Austria AG.

Tabelle 6: Herbizidkosten

Bezeichnung	Aufwandmenge [l/ha]	Preis [€/l]	Kosten [€/ha]
Mais Banvel WG (Pfl.Reg.Nr. 2674)	0,2	80,57	16,11
Gardo Gold (Pfl.Reg.Nr. 2775)	4	16,44	65,76
Gesamt			81,87

Quelle: Eigene Berechnungen nach RWA (2015)

Hagelversicherung

Die Versicherungsprämie für Körnermais errechnet sich aus folgenden Kriterien. Der Standard-Versicherungsbeitrag beträgt 20,92 €/ha und anschließend wird eine 20%ige Höherversicherung gewählt (AWI, 2015). Somit entsteht eine Versicherungsprämie von 24,20 €/ha, die in das Simulationsmodell eingesetzt werden.

Variable Maschinenkosten

In Tabelle 7 werden, für die Berechnung der variablen Maschinenkosten, die Arbeitsvorgänge für die Produktion von Körnermais definiert. Dabei wurden weitere Grundparameter festgelegt. Für die Körnermaisproduktion wird ein konservierendes Bodenbearbeitungsverfahren gewählt. Die Schlaggröße beträgt 2 ha. Die Mulcheinzelkornsaat und der Korndrusch werden vom Maschinenring erledigt. Da ein pauschalierter Betrieb ausgewählt wird, kommen bei den Leistungen über Maschinenring (Mulcheinzelkornsaat und Lohndrusch) 12 % USt. zum Ansatz. Die Arbeitsvorgänge und die Kosten sind mit Werten von ÖKL (2015), AWI (2015) und BMLFUW (2008) berechnet worden.

Tabelle 7: Variable Maschinenkosten

55 kW-Traktor 12,61 €/h 80 kW-Traktor 21,56 €/h		55 kW- Traktor		80 kW- Traktor		Maschine bzw. Gerät				Summe €/ha
Arbeitsgang	AKh/ ha	h	€	h	€		h	€/h	€	
Dünger holen inkl. 20% USt	0,1			0,1	2,16	6 t-Kipper 1-achsig	0,1	9,67	0,97	3,12
Mineraldünger streuen (Grunddüngung) inkl. 20% USt	0,2	0,2	2,52			Schleuderstreuer 800l, 12m	0,2	14,90	2,98	5,50
Mulcheinzelkornsaat inkl. 12% USt. (Maschinenring)										45,90
Pflanzenschutz (Herbizid) 200l/ha inkl. 20% USt.	0,3	0,3	3,78			Feldspritze 800l, 15m	0,3	31,51	9,45	13,24
N-Düngung inkl. 20% USt.	0,1	0,1	1,26			Schleuderstreuer 800l, 15m	0,1	14,90	1,49	2,75
Lohndrusch inkl. 12% USt. (Maschinenring)										145
Gesamt inkl. USt.										215,52

Quelle: Eigene Berechnungen nach ÖKL (2015), AWI (2015) und BMLFUW (2015)

3.3.3.2. Variable Inputgrößen

Ertrag Körnermais

Die Ertragsdaten beruhen auf einem einzigartigen Datenpool im Bereich der Maiszünslerbekämpfung. Die Daten stammen vom Landratsamt Lörrach (DE), Abteilung Landwirtschaft und Naturschutz, die von Herrn Jochen Winkler erhoben wurden. Einzigartig für eine Monte-Carlo-Simulation deswegen, da neben den Wirkungsgraden auch die Erträge der jeweiligen Varianten gemessen wurden. Die Versuchspartellen wurden als Großpartellenversuch ohne Wiederholungen am Gütlinhof in Wintersweiler angelegt. Wintersweiler befindet sich im Landkreis Lörrach im Regierungsbezirk Freiburg in Baden-Württemberg. In Abbildung 11 sind die

Maiszünslermonitoring-Daten aus Efringen-Kirchen für diese Region dargestellt. Diese Daten beruhen auf Fänge je UV-Lichtfalle. Vergleicht man diese Lichtfallenfänge mit den Monitoringdaten in Abbildung 3, so sind diese in etwa vergleichbar mit Österreich. Die Anzahl an Fängen pro Falle und Jahr ist natürlich von Region zu Region unterschiedlich. Auffallend ist in Efringen-Kirchen das Jahr 2009 mit einem sehr hohen Wert, im Vergleich zu den restlichen Jahren.

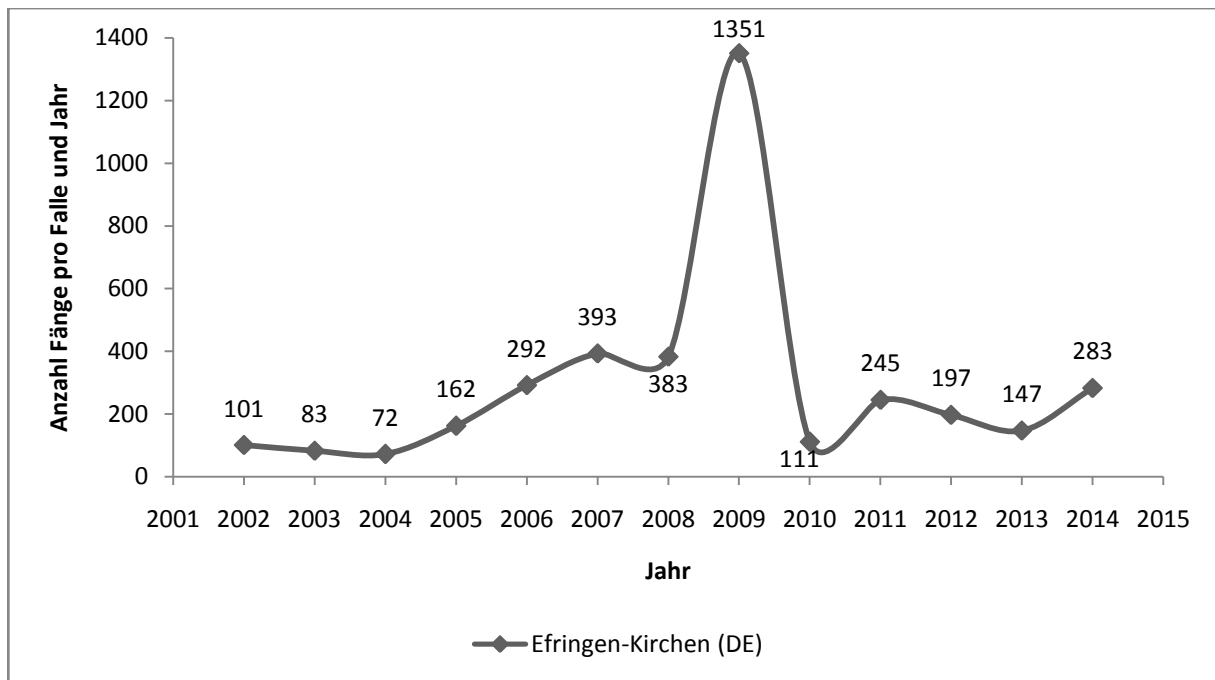


Abbildung 11: Maiszünslermonitoring Efringen-Kirchen (DE) 2002-2014 (WINKLER, 2015)

Bei den Ertragsdaten sind einige weitere Faktoren zu berücksichtigen. Eine Versuchsvariante hat eine Größe von 0,5 ha. Durch diverse Bodenunterschiede können die einzelnen Varianten beeinflusst worden sein. Auch ertragsbeeinflussend waren Stengelbruch sowie ein hoher Windenbesatz im Jahr 2002. Zur Ertragsermittlung wurde ein 9 m breiter Kerndrusch durchgeführt. In jedem Jahr wurde eine unbehandelte Variante angelegt, die zwischen den behandelten Varianten positioniert wurde. Deshalb lässt sich eine Beeinflussung durch die Nachbarvarianten, aber auch Einflüsse zwischen den behandelten Varianten nicht ausschließen.

Die Trichogramma-Varianten wurden mit Kugeln und Kärtchen der Firmen AMW, Biocare und Fenaco behandelt. Eine Parzelle wurde mit Trichogramma einmalig (100.000 bis 110.000 Parasiten pro ha) behandelt und eine weitere Parzelle wurde zweimalig (200.000 bis 220.000 Parasiten pro ha) behandelt. Es wird hier nicht

unterschieden welches Produkt verwendet wurde. Die Werte der Wiederholungen (Wdh) entsprechen der Anzahl an Ergebnissen (n), wo eine einmalige bzw. zweimalige Trichogramma-Ausbringung durchgeführt wurde. In Tabelle 8 sind die Werte der Trichogramma-Varianten, die in das Simulationsmodell einfließen, dargestellt.

Tabelle 8: Körnermaiserträge der Trichogramma-Varianten von 2000-2013

Jahr	Wdh n	Trichogramma zweimalig Mittelwert [dt/ha]	Wdh n	Trichogramma einmalig Mittelwert [dt/ha]
2000	3	127,67	-	-
2001	7	101,00	-	-
2002	7	98,86	-	-
2003	9	98,11	-	-
2004	7	109,71	1	108,00
2006	8	98,42	2	103,00
2007	7	96,31	1	83,00
2008	7	113,00	1	122,00
2009	6	108,67	1	120,00
2012	7	113,86	1	118,00
2013	4	117,25	1	122,00

Quelle: eigene Darstellung nach WINKLER (2015)

Die Insektizid-Varianten (siehe Tabelle 9) wurden mit dem Produkt Steward® der Firma DuPont durchgeführt. Bei einer Parzelle brachte man die Insektizide zu einem früheren Termin mit einer Feldspritze aus. Eine weitere Parzelle wurde zu einem späteren Termin mit einem Stelzentraktors behandelt. Auch hier sind die Wiederholungen (Wdh) von der Anzahl an Ergebnissen (n) im jeweiligen Jahr arithmetisch gemittelt worden.

Tabelle 9: Körnermaiserträge der Insektizid-Varianten 2001-2013

Jahr	Wdh n	Insektizid mit Feldspritze [dt/ha]	Wdh n	Insektizid mit Stelzentraktors [dt/ha]
2001	1	89,00	-	-
2002	1	100,00	-	-
2003	1	92,00	-	-
2004	1	114,00	-	-
2006	1	97,00	1	99,00
2007	-	-	1	118,00
2008	1	122,00	1	120,00
2009	2	122,00	2	120,00
2012	1	121,00	-	-
2013	2	132,00	1	121,00

Quelle: eigene Darstellung nach WINKLER (2015)

Neben den Varianten Trichogramma und Insektizid wurde auch jedes Jahr eine unbehandelte Kontrollparzelle angelegt. In dieser Nullparzelle wurde keine Behandlung gegen den Maiszünsler durchgeführt. In Tabelle 10 sind die Erträge der Kontrollparzelle dargestellt.

Tabelle 10: Körnermaiserträge der Kontrollparzelle

Jahr	Nullparzelle [dt/ha]
2000	118
2001	81
2002	105
2003	89
2004	104
2006	96
2007	74
2008	103
2009	97
2012	115
2013	106

Quelle: eigene Darstellung nach WINKLER (2015)

Die Versuchsreihe führt vom Jahr 2000 bis 2013. Mit dieser langen Versuchsperiode unter freier Natur treten oft unerwartete Ereignisse auf. Deshalb konnte im Jahr 2005, aus Gründen von einem Elementarereignis (Hagelschaden), keine Ertragsauswertung bei allen Varianten gemacht werden. Die Versuchsjahre 2010 und 2011 wurden komplett aus den Versuchsergebnissen genommen, da die Zünslerbonitur und die Erträge zu stark schwankten (WINKLER, 2015).

Erzeugerpreis

Der erzielte Leistungsbetrag in der Deckungsbeitragsrechnung hängt vom jeweiligen Ertrag und der variablen Größe des Erzeugerpreises ab. Tabelle 11 gibt einen Überblick der ausgewählten Erzeugerpreise aus den Jahren 2007 bis 2014.

Tabelle 11: Erzeugerpreis Mais inkl. CCM 2007-2014

Jahr	Erzeugerpreis [€/dt] inkl. 12 % USt.
2007	23,49
2008	10,05
2009	10,51
2010	20,04
2011	16,67
2012	24,75
2013	16,43
2014	12,46

Quelle: eigene Darstellung nach STATISTIK AUSTRIA (2015b)

Pflanzenschutzmaßnahmen Maiszünsler

Für den Vergleich der jeweiligen Maiszünslerbekämpfungsvarianten wird im Deckungsbeitragsmodell die Pflanzenschutzmaßnahme zur Maiszünslerbekämpfung für jede Variante erstellt. Für die Kosten der Insektizidvarianten wird das Produkt Steward® mit einem Hektarpreis von 56,71 € bei einer Aufwandmenge von 125g je ha angenommen (RWA, 2015). Für eine Überfahrt mit der Feldspritze (800l, 15m) und einem 55 kW Traktor wird mit einem Wert von 13,24 €/ha kalkuliert, der aus den ÖKL-Richtlinien abgeleitet wurde. Ebenso den ÖKL-Richtlinien wurden die Maschinenkosten für den Stelzentraktor (Selbstfahrer, 4.000l, 30m, 155 kW) von 35,68 €/ha inkl. 12 % USt. entnommen. Da Stelzentraktoren in der Regel überbetrieblich eingesetzt werden, wird in dieser Berechnung die Leistung von einem Maschinenring in Anspruch genommen. Bei den Trichogramma-Varianten wird als Basis für die Hektarkosten das Produkt Trichosafe® verwendet. Bei einer einmaligen Ausbringung mit 100 Kugeln (110.000 Tiere/ha) entstehen 41,95 €/ha. Und bei einer zweimaligen Ausbringung mit 200 Kugeln/ha (2 mal 110.000 Tiere/ha) ergeben sich 60,31 €/ha an Mittelkosten (RWA, 2015). Für die Kopterausbringung wird ein praxisüblicher Ausbringungspreis von 20 €/ha und je Flug angesetzt. Als Ausbringungskosten bei der Handausbringung wird ein üblicher Lohnansatz einer Saisonarbeitskraft von 10 €/h

verwendet. Das ergibt, bei einem Arbeitsaufwand von 15 Minuten je ha, 2,50 €/ha an Ausbringungskosten.

Betrachtet man in Tabelle 12 nur die Mittelkosten und Ausbringungskosten, die für eine Maiszünslerbekämpfung anfallen, so ist die kostengünstigste Variante die einmalige Trichogramma-Anwendung.

Tabelle 12: Kostenvergleich der Maiszünslerbekämpfung nach ÖKL-Sätzen

Verfahren	Mittelkosten [€/ha] ¹⁾	Ausbringungskosten [€/ha]	Gesamtkosten [€/ha]
Insektizid (Feldspritze)	56,71	13,24	69,95
Insektizid (Stelzentraktor)	56,71	23,79	80,50
Trichogramma 1x (Kopterausbringung)	41,95	20	61,95
Trichogramma 2x (Kopterausbringung)	60,31	40	100,31
Trichogramma 1x (Handausbringung)	41,95	2,50	44,45
Trichogramma 2x (Handausbringung)	60,31	2,50	62,81

¹⁾ Mittelkosten nach unverbindlich empf. Verkaufspreise inkl. USt.

Quelle: eigene Berechnungen nach ÖKL (2015) und RWA (2015)

3.3.3.3. Abhängig variable Inputgrößen

Trocknungskosten

Eine weitere abhängige variable Inputgröße sind die Trocknungskosten. Sie sind abhängig von den entsprechenden Erträgen die geliefert werden. Angenommen wird eine durchschnittliche Feuchtware von 28 % die auf 14 % getrocknet werden soll. Das entspricht einer weg zu trocknenden Feuchte von 14 %. Der Sockelbetrag wird mit 1,80 €/dt angenommen und 0,15 €/dt je 1 % weggetrocknete Feuchte (AWI, 2015).

Kornabfuhr/Körnermaistransport

Die Transportkosten des Erntegutes hängen vom jeweiligen Ertrag ab. Deshalb sind die Kosten für die Kornabfuhr unabhängig von den fixen Maschinenkosten. Unter Verwendung der ÖKL-Richtwerte, wird ein 6 t Zweiachskipper und ein 80 kW Traktor zur Kornabfuhr verwendet. Für den Transport mit dem Zweiachskipper ergeben sich 2,06 €/t Erntegut und je AKh an Kosten inkl. 20 % USt. Dem Traktor werden wie in Tabelle 7 21,56 € je AKh unterstellt.

Jeder variablen Inputgröße wurde mit dem Programm @RISK eine Dichte- bzw. Verteilungsfunktion unterstellt, die am besten den Daten angepasst ist. Da in dieser Risikoanalyse die Inputgrößen annähernd normalverteilt sind, liegt jeder geschätzten Verteilung eine Normalverteilung zugrunde.

3.3.4. Durchführung der Monte-Carlo-Simulation

Unter Verwendung der Risiko- und Analysesoftware @RISK Version 7, wurde mit Hilfe von Microsoft Excel, ein Deckungsbeitragsmodell simuliert. Die aggregierte Zielgröße besteht aus 10.000 Iterationen. Für jedes Maiszünslerbekämpfungsverfahren wird eine eigene Simulation durchgeführt. In Tabelle 13 ist beispielhaft das DB-Modell der Kontrollparzelle angeführt. Die Werte entsprechen der Ausgabe eines Simulationsdurchlaufes. Diese können sich geringfügig verändern, wenn ein neuer Simulationsdurchlauf gemacht wird.

Tabelle 13: Deckungsbeitragsmodell Körnermais der unbehandelten Kontrollparzelle

Leistungs-/Kostenart	Einheit	Wert
Ertrag lt. Tabelle 10	dt	98,85
Preis lt. Tabelle 11	€/dt	16,85
Summe Leistung	€/ha	1665,82
Z-Saatgut	€/ha	170
Handelsdünger lt. Tabelle 5	€/ha	343
Pflanzenschutz-Herbizid	€/ha	81,87
Pflanzenschutz Maiszünsler	€/ha	-
Hagelversicherung	€/ha	24,40
Variable Maschinenkosten lt. Tabelle 7	€/ha	215,52
Körnermaistransport	€/ha	41,96
Trocknungskosten	€/ha	385,50
Summe variablen Kosten	€/ha	1262,57
Deckungsbeitrag	€/ha	403,26

4. Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Arbeitszeitbedarfsermittlung, der Kalkulation der Mindesteinsatzfläche eines Kopters zur Trichogramma-Ausbringung und der Monte-Carlo-Simulation der Maiszünslerbekämpfungsverfahren präsentiert.

4.1. Arbeitszeitbedarfsermittlung

In Tabelle 14 werden die Hauptarbeitszeiten (HAZ) der Kopterausbringung sowie der Handausbringung bei unterschiedlichen Schlaggrößen dargestellt. Hier werden die unterschiedlichen Schlaggrößen als einzelne Fallbeispiele miteinander verglichen. Bei den Hauptarbeitszeiten kann man erkennen, dass die Ausbringung mit dem GPS-gesteuerten Kopter weniger Zeit in Anspruch nimmt als die Ausbringung mit der Hand. Zu sehen ist auch, dass je größer die Schlaggröße ist, desto größer wird die absolute Zeitdifferenz. Vergleicht man nun die Differenz der Arbeitskosten pro Hektar, dann kann man bei der Schlaggröße mit 3 ha die größte Differenz erkennen. Dies kann man darauf zurückführen, dass die Form dieses Schlages für die Kopterausbringung gut passt. Denn die Schlagform ist rechteckig und hat keine größeren Unregelmäßigkeiten in der Ausformung. Die Arbeitskosten beziehen sich auf einen Lohnansatz von 10 € pro Stunde.

Tabelle 14: Hauptarbeitszeit Kopter- und Handausbringung

Schlaggröße [ha]	0,9	3	3,9	4,3	6
HAZ Handausbringung min.	8	33	40	47	65
HAZ Kopterausbringung min.	6	12	17	20	35
Delta Zeitaufwand [min/Schlag]	2	21	23	28	30
Delta Zeitaufwand [min/ha]	2,2	7,0	5,9	6,4	5,0
Personalkosten Hand € je Schlag	2,0	8,3	10,0	11,8	16,3
Personalkosten Kopter € je Schlag	1,5	3,0	4,3	4,9	8,8
Delta Arbeitskosten €/Schlag	0,5	5,3	5,8	6,9	7,5
Delta Arbeitskosten €/ha	0,6	1,8	1,5	1,6	1,3

Im kleinsten Fallbeispiel von 0,9 ha ist die Zeitdifferenz zwischen der Kopter- und Handausbringung von 2 Minuten relativ gering. Im Vergleich zu den anderen Fallbeispielen lässt sich dies in Abbildung 12 gut erkennen. Da die Form dieses

Schlages eine spitze Ausformung hat, musste der Kopter viele Wendungen fliegen. Es scheint also, dass bei kleinen Schlägen unter einem Hektar, mit unregelmäßiger Schlagausformung, keine großen Zeitdifferenzen und sich dadurch Zeiteinsparungen ergeben.

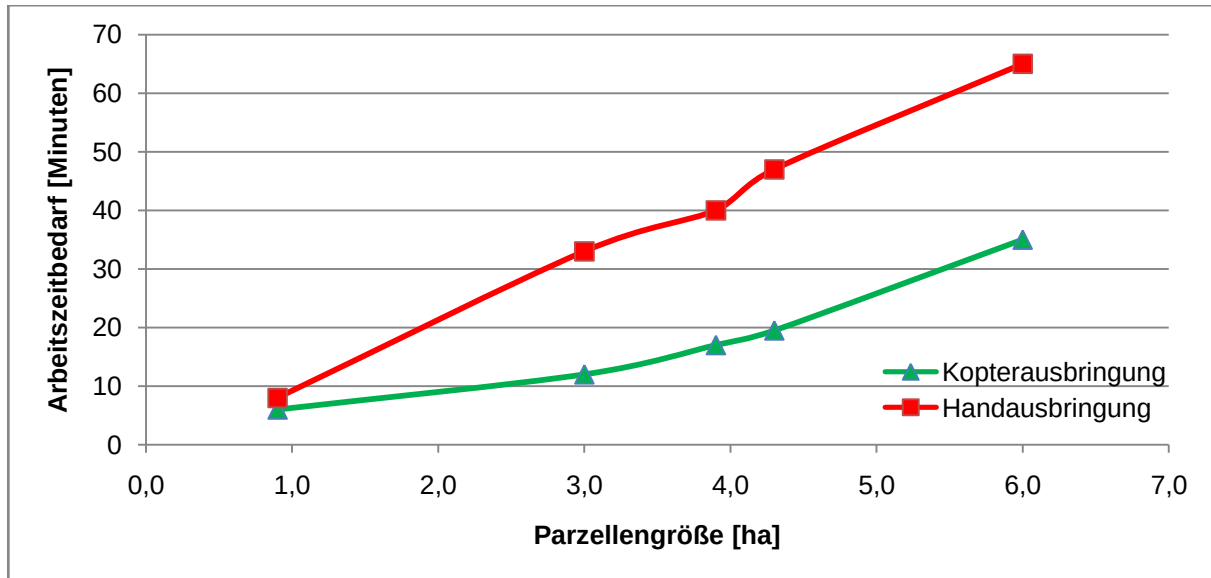


Abbildung 12: Hauptarbeitszeit Kopter- und Handausbringung (absolut)

In Abbildung 13 werden die Hauptarbeitszeiten der beiden Verfahren der Nützlingsausbringung bezogen auf ein Hektar verglichen. Der mögliche Grund, warum ab 5 Hektar der Arbeitszeitbedarf wieder ansteigt, ist die maximale Füllmenge der Abwurfvorrichtung des Kopters. Bei einer Aufwandmenge von 100 Kugeln je ha und einer maximalen Zuladung von 500 Trichosafe®-Kugeln muss spätestens nach 5 ha Einsatzfläche der Behälter wieder gefüllt werden. Diese kurze Unterbrechung kann genutzt werden, um einen Akkutauch durchzuführen, da die maximale Flugzeit mit diesem Kopter bei ca. 20 bis 25 Minuten liegt.

Bei der Schlaggröße mit 4 ha lässt sich in Abbildung 13 bei der Handausbringung erkennen, dass die Messung von der Kurve etwas abweicht. Der Grund liegt möglicherweise an einem Messfehler. Bezogen auf den relativen Zeitbedarf je Hektar kann man auch hier wieder den zeitlichen Vorteil der GPS-gesteuerten Kopterausbringung im Vergleich zur Handausbringung feststellen.

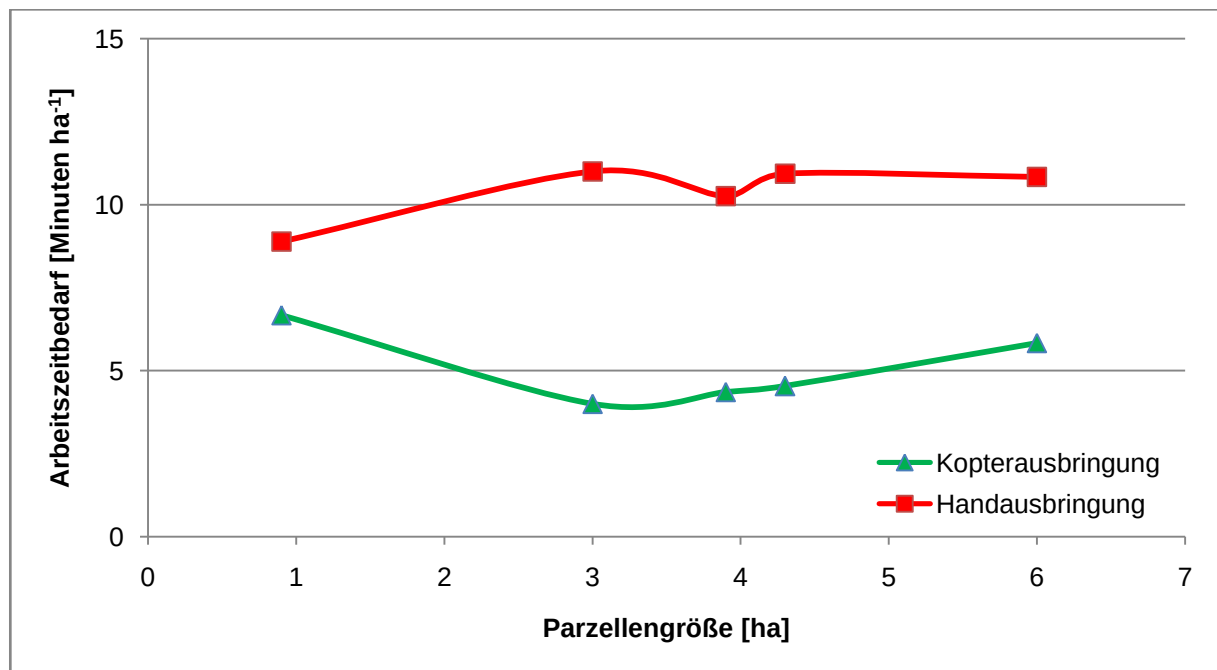


Abbildung 13: Hauptarbeitszeit Kopter- und Handausbringung je Hektar (relativ)

In Tabelle 15 sind die Gesamtarbeitszeiten (GAZ) der GPS-gesteuerten Kopterausbringung und der Handausbringung angeführt. Bei den Gesamtarbeitszeiten sind nun auch die Rüst-, Neben- und Verlustzeiten integriert. Bei der Schlaggröße von 0,9 ha ergibt sich ein zeitlicher Nachteil gegenüber der Handausbringung. Die Ursache liegt vor allem in den hohen Rüstzeiten für diese Schlaggröße. Da auch bei kleinen Schlägen eine Flugroutenplanung mit dem Kopter durchgeführt werden muss, entstehen hier größere Vorbereitungszeiten, die sich schlussendlich auf die Gesamtarbeitszeit niederschlagen.

Tabelle 15: Gesamtarbeitszeit Hand- und Kopterausbringung

Schlaggröße [ha]	0,9	3	3,9	4,3	6
GAZ Handausbringung min.	13	38	45	51	70
GAZ Kopterausbringung min.	26	32	37	40	60
Delta Zeitaufwand [min/Schlag]	-13	6	8	12	10
Delta Zeitaufwand [min/ha]	-14	2	2	3	2
Personalkosten Hand € je Schlag	2,2	6,3	7,5	8,5	11,7
Personalkosten Kopter € je Schlag	4,3	5,3	6,2	6,6	10,0
Delta Arbeitskosten €/Schlag	-2,2	1,0	1,3	1,9	1,7
Delta Arbeitskosten €/ha	-2,4	0,3	0,3	0,4	0,3

Bei dem 4,3 ha großen Schlag ergibt sich bei der Kopterausbringung die größte Zeitdifferenz von ca. 12 Minuten im Vergleich zur Handausbringung. Der 6 ha Schlag weist bereits eine geringere Zeitdifferenz auf, da wiederum ab 5 Hektar die Kugeln nachgefüllt werden müssen. Dadurch entstehen wieder zusätzliche Rüstzeiten. Bei der Handausbringung sind beim 6 ha Schlag keine Pausen gemacht worden.

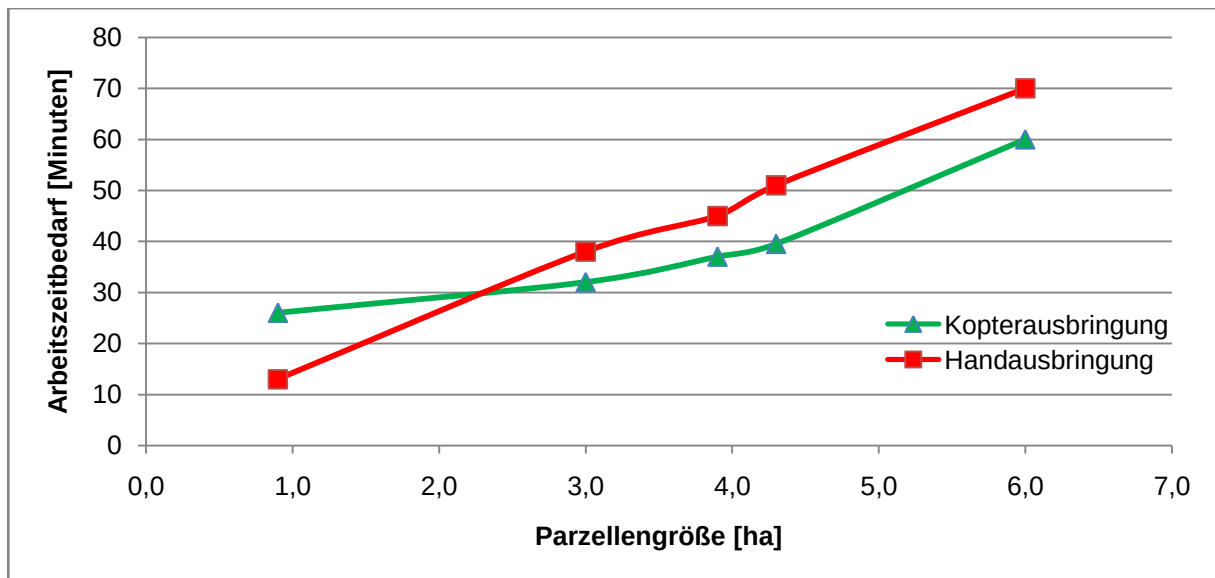


Abbildung 14: Gesamtarbeitszeit Hand- und Kopterausbringung

Vergleicht man nun die Gesamtarbeitszeiten je Hektar wie in Abbildung 15, dann dauert die Handausbringung bei diesen Schlaggrößen und -formen 12 bis 14 Minuten je ha. ALBERT et al. (2008) geben für die Handausbringung des Kapsel- bzw. Kugelverfahrens eine Zeitdauer von ca. 15 Minuten pro Hektar an. Dieser Wert kann mit der vorliegenden Arbeitszeitbedarfsermittlung bestätigt werden.

Der Grund warum für die Kopterausbringung bei der Gesamtarbeitszeit die Zeitdifferenz zur Handausbringung nicht sehr groß ist, liegt vor allem an den Flugvorbereitungszeiten. Die reine Einsatzdauer bzw. Flugzeit liegt, wie in Abbildung 13 über die einzelnen Fallbeispiele gesehen, bei ca. 5 Minuten je Hektar.

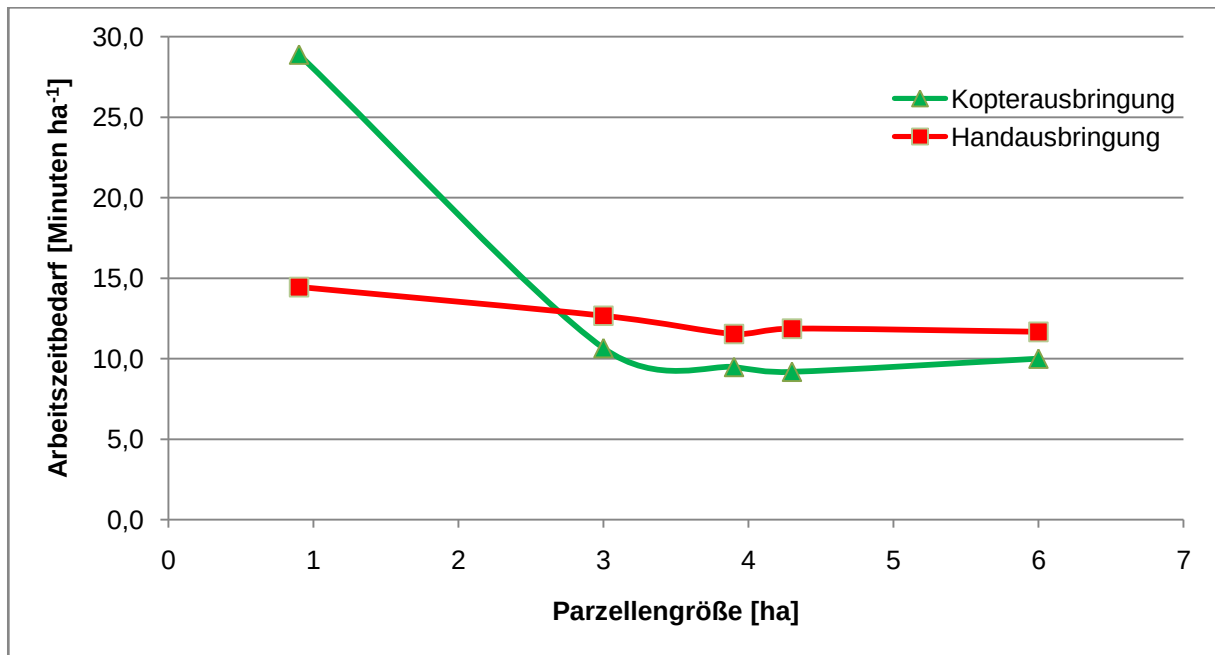


Abbildung 15: Gesamtarbeitszeit Hand- und Kopterausbringung je Hektar

In Tabelle 16 sind nun die ermittelten Arbeitskraftstunden je Hektar von der Gesamtarbeitszeit bzw. Hauptarbeitszeit übersichtlich dargestellt. Bei der Kopterausbringung springen die AKh/ha wiederum leicht nach oben. Ab einer Fläche von größer 5 ha wird ein Zwischenstopp notwendig. Da bei einer Ausbringungsmenge von 100 Kugeln/ha und einem Fassungsvermögen von 500 Kugeln der Kopter wieder mit Kugeln befüllt werden und die Akkus ausgetauscht werden müssen.

Es wirken sehr viele Faktoren auf die benötigte Arbeitszeit. Deshalb dürfen die relativ niedrigen Werte der Handausbringung nicht unerwähnt bleiben. Dies ist hauptsächlich auf das körperliche Verfassungsvermögen des Ausbringers zurückzuführen. AUERNHAMMER (1976) beschrieb schon, dass die Arbeitsabläufe in der Landwirtschaft eigenen Bedingungen unterliegen und stark durch die Eigenschaften der Urproduktion beeinflusst werden. Bei der landwirtschaftlichen Arbeit sind dies die vielen und kleinen unterschiedlichen Produktionseinheiten (Betriebe), die starke Witterungsabhängigkeit, die Einbeziehung der biologischen Faktoren, der Einsatz verschiedenartiger Arbeitsmittel und Geräten, der Einsatz unterschiedlicher Materialien, die fehlende Methodentreue aufgrund geringer Übung und der fehlende Leistungszwang (Gesetze der Gewohnheit) (AUERNHAMMER, 1976). Berücksichtigt werden muss auch, ob der Ausbringer der Produktionseigner bzw. der Landwirt selbst ist oder eine Saisonarbeitskraft die im Akkord entlohnt wird.

Möglicherweise macht der Produktionseigner die Ausbringung der Nützlinge langsamer und genau nach dem Ausbringungsschema und ein Akkordant schneller und ungenauer. Vice versa könnten Akkordanten den Arbeitsprozess der Handausbringung effektiver durchführen, da sie diesen Arbeitsablauf öfters und regelmäßig machen.

Tabelle 16: Übersicht der AKh/ha von Hand- und Kopterausbringung

Parzellengröße [ha]	AKh/ha			
	Handausbringung		Kopterausbringung	
	GAZ	HAZ	GAZ	HAZ
0,9	0,24	0,15	0,48	0,11
3	0,21	0,18	0,18	0,07
3,9	0,19	0,17	0,16	0,07
4,3	0,20	0,18	0,15	0,08
6	0,19	0,18	0,17	0,10

Die Kopterausbringung ist durch die GPS-Steuerung stark automatisiert. Neben dem Vorteil der Zeitgewinnung durch schnelleres und exakteres Arbeiten, gibt es auch Schwierigkeiten und Herausforderungen. Denn auch die Automatisierung hat ihre Grenzen. Deshalb soll die Tabelle 17 zeigen, dass diese Grenzen der Automatisierung in (SCHLICK et al., 2010) auch durch eigenen Erfahrungen bestätigt werden können.

Tabelle 17: Grenzen der Automatisierung

Grenzen der Automatisierung	KRAISS UND SCHMIDTKE (2002) zitiert in (SCHLICK et al., 2010)	Eigene Erfahrung mit dem GPS-gesteuerten Multikopter
Beschränkung der Situationserfassung	Witterungsbedingte Einflüsse auf Sensorsysteme im Kraftfahrzeug verhindern den autonomen Systembetrieb	GPS-Beeinflussung durch ein auftretendes Gewitter kann zum Ausfall des Systems führen
Fehlende Autonomie	Wegen der Unflexibilität der automatisierten Systeme kann auf variierende Situationen nicht eingegangen werden	Aufgrund von Höhenunterschiede im Gelände oder Hindernissen (z.B. Bäume) muss manuell mit der Fernsteuerung korrigiert werden.
Beschränkte Zuverlässigkeit	Bei komplexer Software können auch durch mehrfache Redundanz Fehler auftreten	Fehler in der Software oder Unachtsamkeit bei der Bedienung

Die Arbeitsbelastung der Handausbringung oder die Anforderungen, die bei der Bedienung des Multikopters an den Bediener gestellt werden, werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

4.2. Mindesteinsatzfläche

Zu Beginn der Berechnung der Mindesteinsatzfläche werden die Durchschnittskosten berechnet. Der Verlauf, wie sich die Durchschnittskosten bei unterschiedlicher jährlicher Einsatzfläche ändern, ist in Tabelle 18 angeführt. Eine Besonderheit bei der Kalkulation der Durchschnittskosten liegt im Nutzungsende der Maschine. Deshalb wurde die Abschreibungsschwelle berechnet. Bei der Berechnung in Abbildung 10

liegt die Schwelle der variablen Abschreibung bei 1.600 ha. Liegt die jährliche Auslastung unter der Abschreibungsschwelle so ist die zeitbezogene Nutzungsdauer (technische Veralterung) der limitierende Faktor (MUBHOFF UND HIRSCHAUER, 2013). In dem Beispiel auf Tabelle 18 trifft das bei der Einsatzfläche von 25, 100, 800 und 1.600 ha zu. Bei einer Einsatzfläche über 1.600 ha wirkt die leistungsbedingte Wertminderung als restriktiver Faktor. Die Abschreibung pro Jahr bleibt bis zur variablen Abschreibungsschwelle mit 1.600 € konstant, da bis zu dieser Einsatzfläche die technische Veralterung maßgebend ist.

Wie man in Abbildung 16 sehr gut erkennen kann, machen die Betriebskosten (variable Kosten) nur einen kleinen Anteil an den gesamten Durchschnittskosten aus. Dieser Wert spiegelt vor allem die Strom- und Reparaturkosten wieder, die bei 0,20 € pro Hektar Einsatzfläche liegen. Da die Reparaturkosten im Fall der Nützlingsausbringung mit dem Kopter unbekannt sind und es dafür keine validen Daten gibt, werden die Betriebskosten gleichmäßig über die Jahre verteilt (vgl. MUBHOFF UND HIRSCHAUER, 2013).

Tabelle 18: Durchschnittskosten bei unterschiedlicher Auslastung des Multikopters

Jährliche Auslastung jA [ha]	25	100	800	1.600
Zeitliche Nutzung N [Jahre]	5	5	5	5
Leistungsmäßige Nutzung n [ha]	125	500	4.000	8.000
Durchschnittliche AfA nach Zeit in €/Jahr	1.600	1.600	1.600	1.600
in €/ha und Jahr	64	16	2	1
Durchschnittlicher Zinsansatz in €/Jahr	120	120	120	120
in €/ha und Jahr	4,80	1,20	0,15	0,08
Durchschnittliche Betriebskosten in €/Jahr	5	20	160	320
in €/ha und Jahr	0,20	0,20	0,20	0,20
Durchschnittliche Arbeitskosten in €/Jahr	42	167	1.336	2.672
in €/ha und Jahr	1,67	1,67	1,67	1,67
Gesamtkosten in €/Jahr	1.767	1.907	3.216	4.712
in €/ha und Jahr	70,67	19,07	4,02	2,95

AW = 8.000 €; RW = 0; N = 5 Jahre; n = 8.000 ha; i = 3 % p.a.

Der durchschnittliche jährliche Zinsansatz bleibt bei 120 € bis zu einer Einsatzfläche von 1.600 ha gleich, weil er unabhängig von der jährlichen Auslastung ist. Wie in

Abbildung 16 ersichtlich, macht die Kostenart Arbeitskosten bei einer Einsatzfläche von 1.600 ha den größten Anteil aus.

Die Gesamtkosten pro Jahr werden bei einer größeren Einsatzfläche höher. Jedoch sinken die durchschnittlichen jährlichen Gesamtkosten bei zunehmender Einsatzfläche - siehe Abbildung 16. MÜBHOFF UND HIRSCHAUER (2013) nennt diesen Effekt auch Beschäftigungsdegression.

Aus Praxiserfahrungen geht hervor, dass pro Ausbringungszeitraum der Nützlinge ca. 800 ha befliegen werden können. Unter Berücksichtigung der Arbeitszeit von 10 Minuten je Hektar, ergeben sich 4,02 € pro Hektar an Kosten bei einem Anschaffungswert von 8.000 € und einem Lohnansatz von 10 €/h.

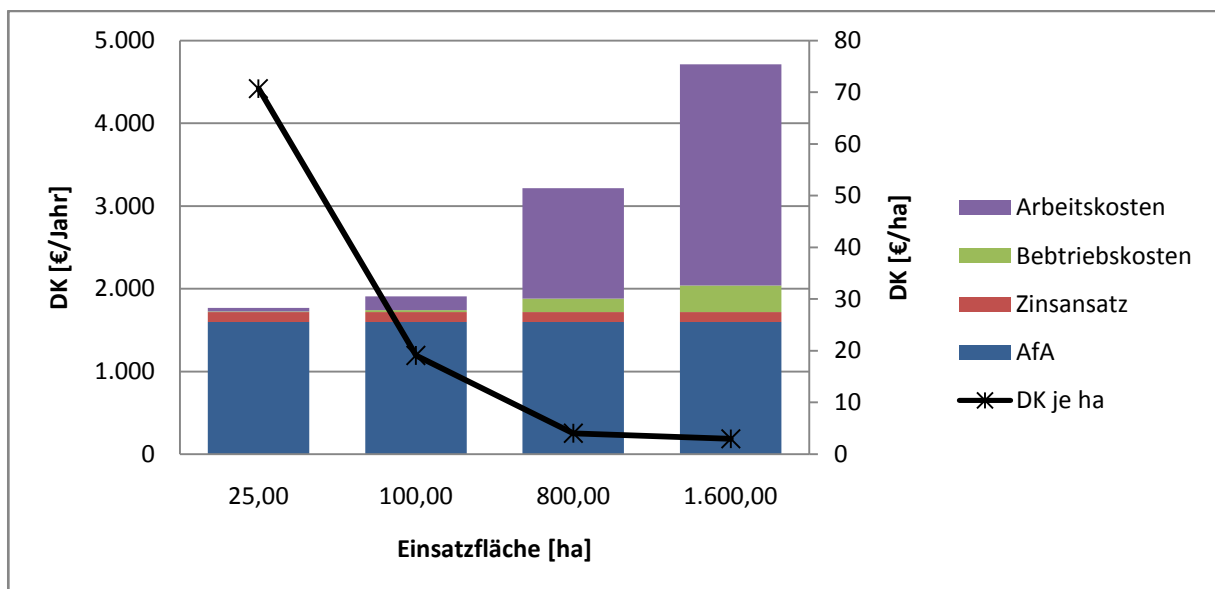


Abbildung 16: Anteil der Kostenarten auf die Durchschnittskosten des Multikopters

Für die Berechnung der Mindesteinsatzfläche des Multikopters bei der Nützlingsausbringung wird in Anlehnung an MÜBHOFF UND HIRSCHAUER (2013) die Break-Even-Analyse mit den Durchschnittskosten bei Eigenmechanisierung pro ha dem überbetrieblichen Verrechnungspreis gleichgesetzt. Mit dieser Formel der approximativen Durchschnittskostenkalkulation wird nur eine Abschreibung unter der Schwelle der variablen Abschreibung berücksichtigt. Bei einem Anschaffungspreis von 8.000 €, einer Nutzungsdauer von 5 Jahren, einem kalkulatorischen Zinssatz von 3 % und einem überbetrieblichen Verrechnungspreis von 20 €/ha ergibt sich eine Mindesteinsatzfläche von 95 ha. Liegt also bei diesem Berechnungsbeispiel die Einsatzfläche eines Betriebes unter 95 ha, so ist es aus ökonomischer Sicht sinnvoller dieses Verfahren durch einen Lohnunternehmer erledigen zu lassen. Bei einer

Einsatzfläche eines Betriebes von über 95 ha ist es aus Kostensicht rentabler in einen eigenen Multikopter für die Nützlingsausbringung zu investieren.

Oft erfolgt eine zweimalige Ausbringung der Trichogramma-Kugeln, um einen ausreichenden Wirkungsgrad zu erzielen. Deshalb reduziert sich bei einer zweimaligen Trichogramma-Ausbringung diese Mindesteinsatzfläche auf 47,5 ha Fläche. Ob eine zweimalige Ausbringung der Nützlinge aus Sicht des Deckungsbeitrages Sinn macht, wird in Kapitel 5.3. diskutiert.

Wie im Kapitel 3.2 bereits erwähnt, müssen bei einem überbetrieblichen Maschineneinsatz auch die Kosten bei nicht termingerechter Arbeitserledigung berücksichtigt werden. Bei einem Einsatz von Trichogramma gegen den Maiszünsler muss der Einsatzzeitpunkt sehr genau eingehalten werden, um einen guten Wirkungsgrad zu garantieren. Deshalb haben die Wartekosten auch einen Einfluss auf die Mindesteinsatzfläche. Tabelle 19 zeigt bei unterschiedlichen Anschaffungswerten unter sonst ceteris paribus Annahmen die Mindesteinsatzfläche ohne Berücksichtigung von Wartekosten.

Tabelle 19: Mindesteinsatzfläche bei unterschiedlichem Anschaffungswert

Anschaffungswert [€]	Mindesteinsatzfläche [ha]
8.000	95
10.000	119
14.000	166

4.3. Risikoanalyse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Risikoanalyse mit der stochastischen Simulation (Monte-Carlo-Simulation) der einzelnen Maiszünslerbekämpfungsverfahren präsentiert. Unter Verwendung der Risiko- und Analysesoftware @RISK werden die Dicht- und Verteilungsfunktionen als Abbildungen dargestellt. Die Abbildungen werden ergänzt durch den minimalen Wert, den maximalen Wert, den Mittelwert (Erwartungswert), der Standardabweichung und der Anzahl an Iterationen. Zusätzlich ist das 5 % Quantil und 95 % Quantil in den einzelnen Abbildungen ersichtlich.

Mit der Interpretation der Dichtefunktion kann man die kumulierte Wahrscheinlichkeit für einen bestimmten Wert, durch die Fläche unter der Funktion bis zum Abszissenwert, feststellen (MUBHOFF UND HIRSCHAUER, 2013). Einfacher geht es mit der Verteilungsfunktion, da man den Wert direkt als Funktionswert auf der Ordinate ablesen kann. Die Dichtefunktion ist die erste Ableitung der Verteilungsfunktion bzw. ist die Verteilungsfunktion das Integral der Dichtefunktion. Die Fläche unterhalb der Dichtefunktion ist gleich 1 oder 100 % (MUBHOFF UND HIRSCHAUER, 2013).

Mit den verschiedenen Simulationsvarianten werden Deckungsbeiträge der verschiedenen Maiszünslerbekämpfungsverfahren untersucht. Folgend ein Überblick in Abbildung 17 welche Varianten simuliert werden:

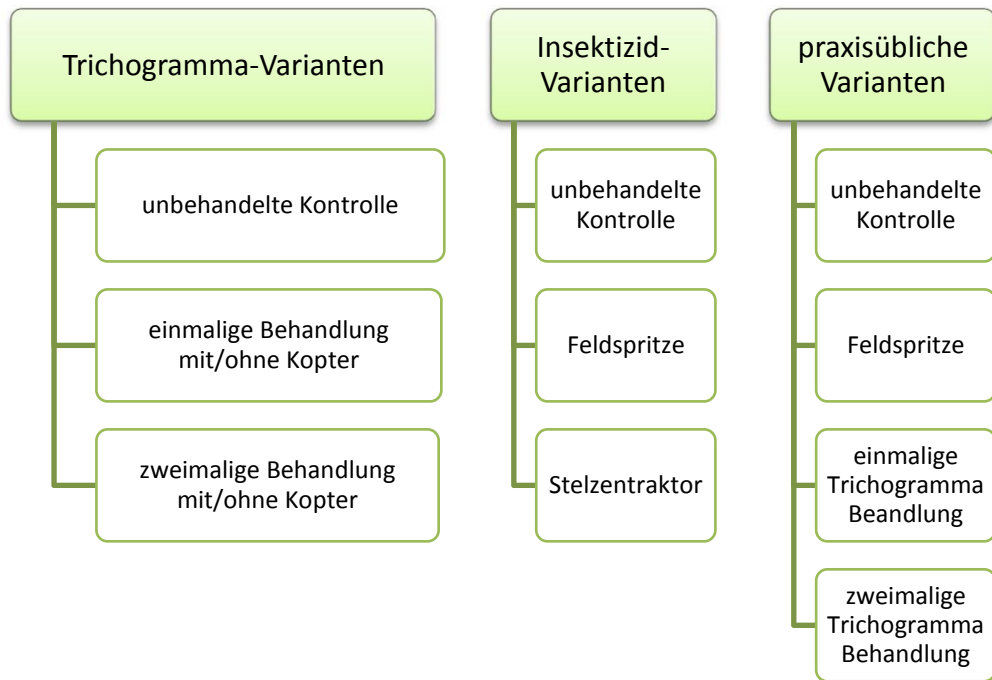


Abbildung 17: Übersicht der simulierten Maiszünslerbekämpfungsverfahren

Abbildung 18 zeigt die Dichte- und Verteilungsfunktion der in Tabelle 13 vorgestellten Deckungsbeitragsrechnung der unbehandelten Kontrollparzelle. In dieser Parzelle wurde keine direkte Pflanzenschutzmaßnahme gegen den Maiszünsler vorgenommen. Der Mittelwert des Deckungsbeitrages der unbehandelten Kontrolle liegt bei 404,23 €/ha. Die Standardabweichung beträgt 591,62 €/ha. Der minimale Wert liegt bei -2.323,70 €/ha und der maximale Wert bei 3.210,41 €/ha. Der Deckungsbeitrag ohne einer direkten Maiszünslerbekämpfung liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 % zwischen -519 €/ha und 1.417 €/ha.

Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die DB-Werte der unbehandelten Kontrolle bei den weiteren Ergebnissen geringfügig abweichen. Lässt man eine Simulation wiederum durchlaufen, so entstehen durch die Berechnung der 10.000 Iterationen geringfügig neue Werte.

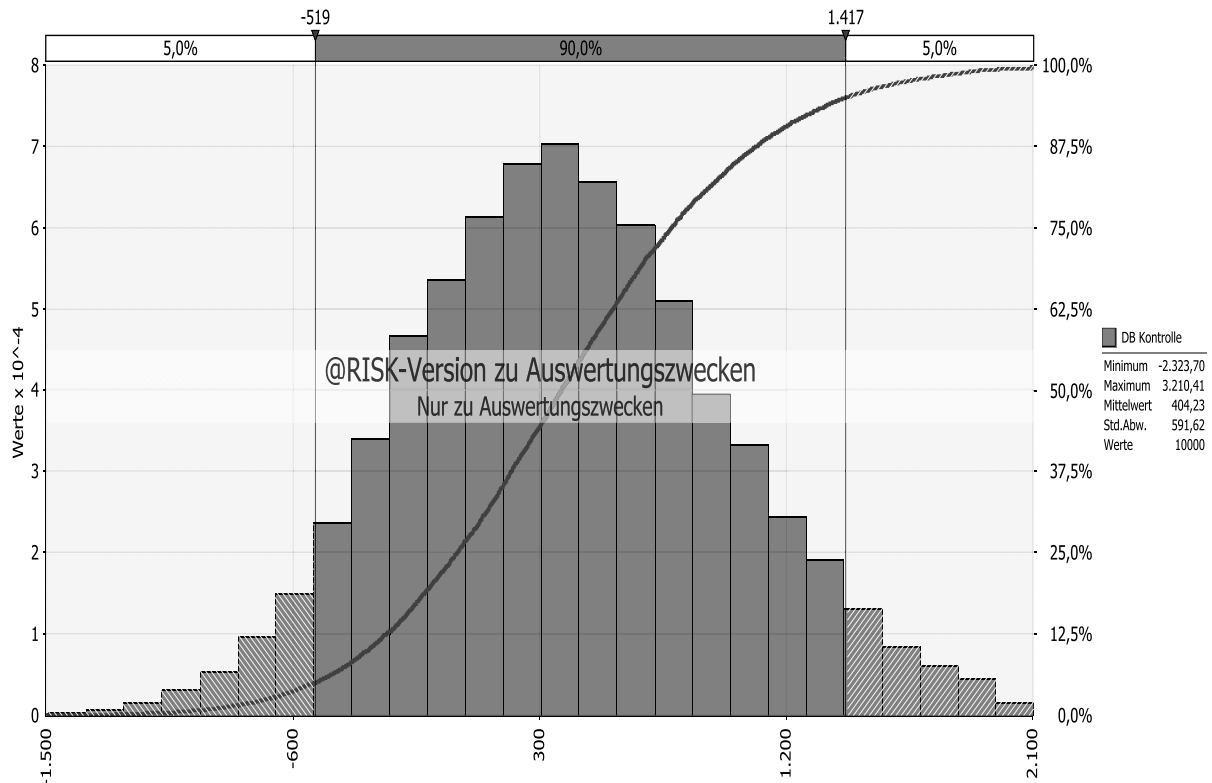


Abbildung 18: Dichte- und Verteilungsfunktion Deckungsbeitrag unbehandelte Kontrolle

4.3.1. Trichogramma-Varianten

In Abbildung 19 ist die Variante einer einmaligen Trichogramma-Ausbringung mit bzw. ohne Multikopter berechnet. Der mittlere Deckungsbeitrag mittels Kopterausbringung beträgt 493,69 €/ha und mittels Handausbringung 511,19 €/ha. Die Standardabweichung liegt bei einer einmaligen Trichogramma-Anwendung bei 655,62 €/ha. Die Differenz der beiden Mittelwerte stellen die Ausbringungskosten dar. Als Ertragsdaten wurden die Werte der einmaligen Trichogramma-Behandlung aus Tabelle 8 in dieser Gegenüberstellung integriert.

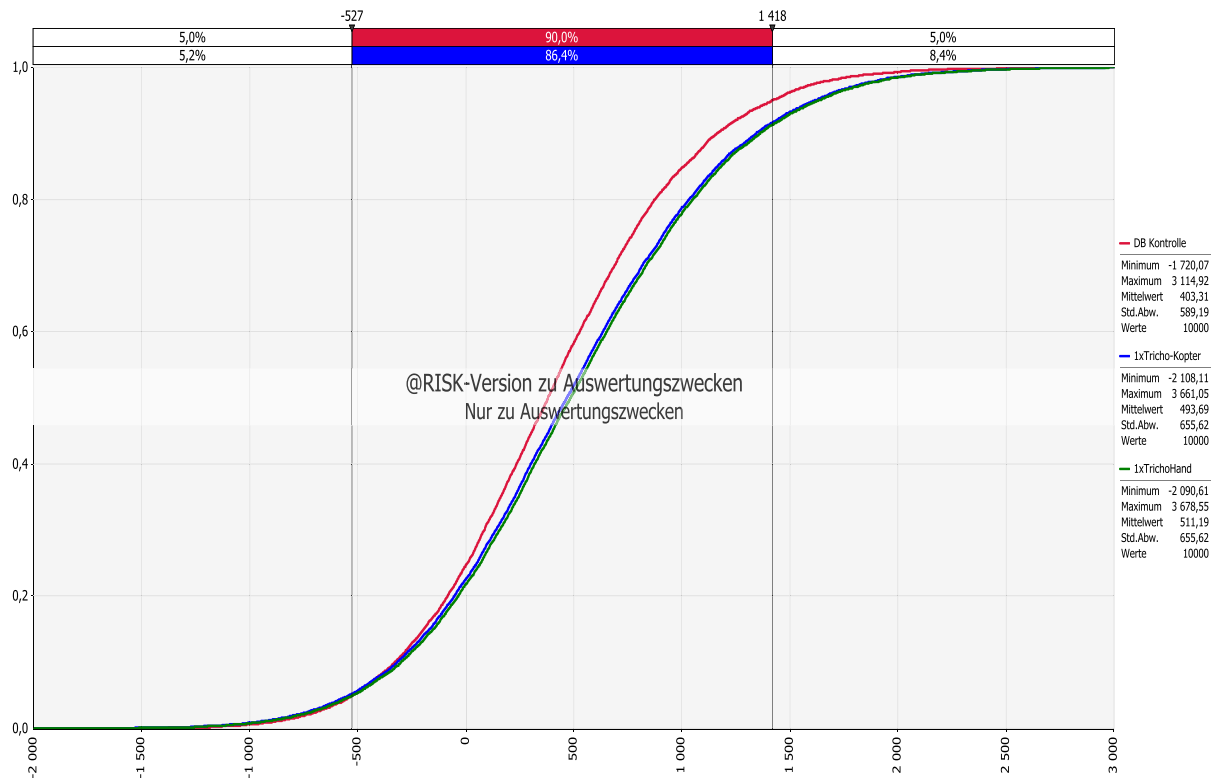


Abbildung 19: Verteilungsfunktion Deckungsbeitrag einmalige Trichogramma-Anwendung mit/ohne Kopterausbringung

Bei der Simulation der zweimaligen Ausbringung in Abbildung 20 liegt der Mittelwert des Deckungsbeitrages der Kopterausbringung bei 413,30 €/ha und der Handausbringung bei 450,52 €/ha. Vergleicht man die zweimalige Trichogramma-Anwendung mit bzw. ohne Kopterausbringung, so ergibt sich wieder eine Differenz, die aus den unterschiedlichen Ausbringungskosten resultiert. Bei einem Vergleich der Mittelwerte zwischen der einmaligen und der zweimaligen Trichogramma-Anwendung, bringt die einmalige Ausbringung höhere mittlere Deckungsbeiträge. Die Standardabweichung eines zweimaligen Trichogramma-Einsatzes beträgt 621 €/ha. Bei einer zweimaligen Anwendung mit Trichogramma ergibt sich mit diesen Daten eine niedrigere Standardabweichung gegenüber einer einmaligen Trichogramma-Behandlung.

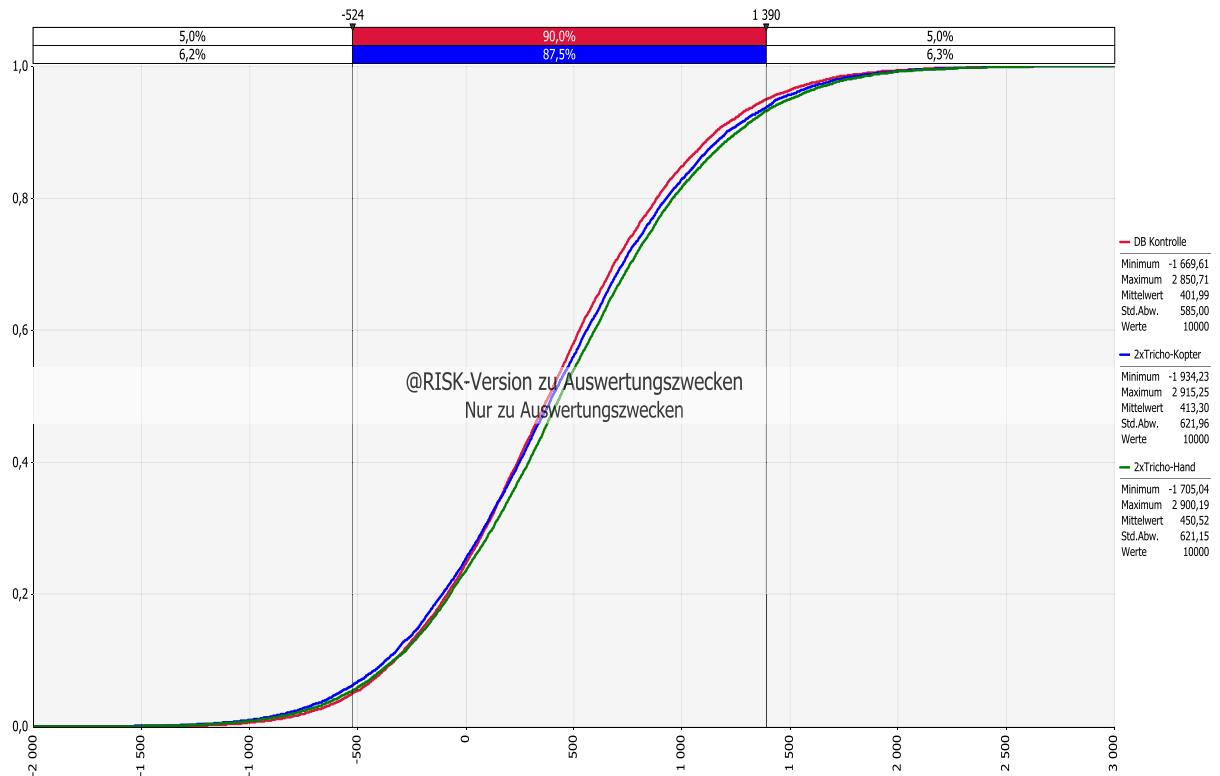


Abbildung 20: Verteilungsfunktion Deckungsbeitrag zweimalige Trichogramma-Anwendung mit/ohne Kopterausbringung

Der Einsatz von Trichogramma bringt gegenüber der unbehandelten Variante höhere Erwartungswerte der Deckungsbeiträge. Innerhalb der Trichogramma-Varianten bringt die einmalige Anwendung mit der Handausbringung den höheren mittleren Deckungsbeitrag.

4.3.2. Insektizid-Varianten

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Varianten mit einem Insektizideinsatz zur Kontrolle des Maiszünslers vorgestellt. Auf die unbehandelte Kontrollparzelle wird auf die Abbildung 18 verwiesen. Abbildung 21 zeigt die Variante des Insektizideinsatzes mittels Feldspritze. Der Mittelwert liegt bei 475,41 €/ha. Das 5%-Quantil beträgt -562 €/ha und das 95%-Quantil 1.572 €/ha. Die Standardabweichung der Variante Feldspritze liegt bei 656,41 €/ha. Vergleicht man die unbehandelte Parzelle mit der Variante Feldspritze, so liegt der mittlere Deckungsbeitrag der Variante Feldspritze höher.

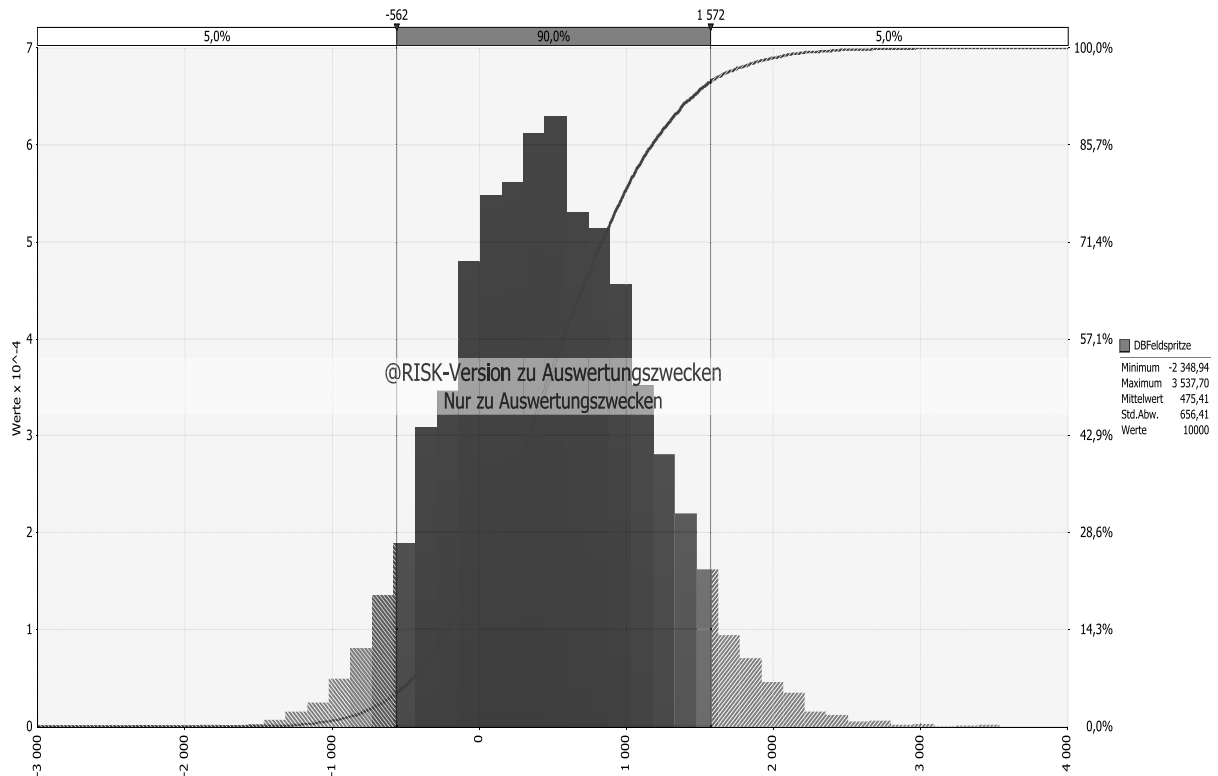


Abbildung 21: Dichte- und Verteilungsfunktion Deckungsbeitrag Insektizid-Feldspritze

Bei den Insektizid-Varianten ist neben der Ausbringung mit der Feldspritze die Behandlung mittels Stelzentraктор auch zu einem späteren Zeitpunkt noch möglich. Abbildung 22 zeigt die Dichte- und Verteilungsfunktion des Deckungsbeitrages der Insektizidbehandlung mittels Stelzentraктор. In dieser Variante beträgt der Mittelwert 524,86 €/ha und die Standardabweichung 665,52 €/ha. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 % liegt der mittlere Deckungsbeitrag zwischen -547 €/ha und 1.620 €/ha. Der Minimumwert liegt bei -1.943,03 €/ha und der Maximalwert bei 3.138,58 €/ha.

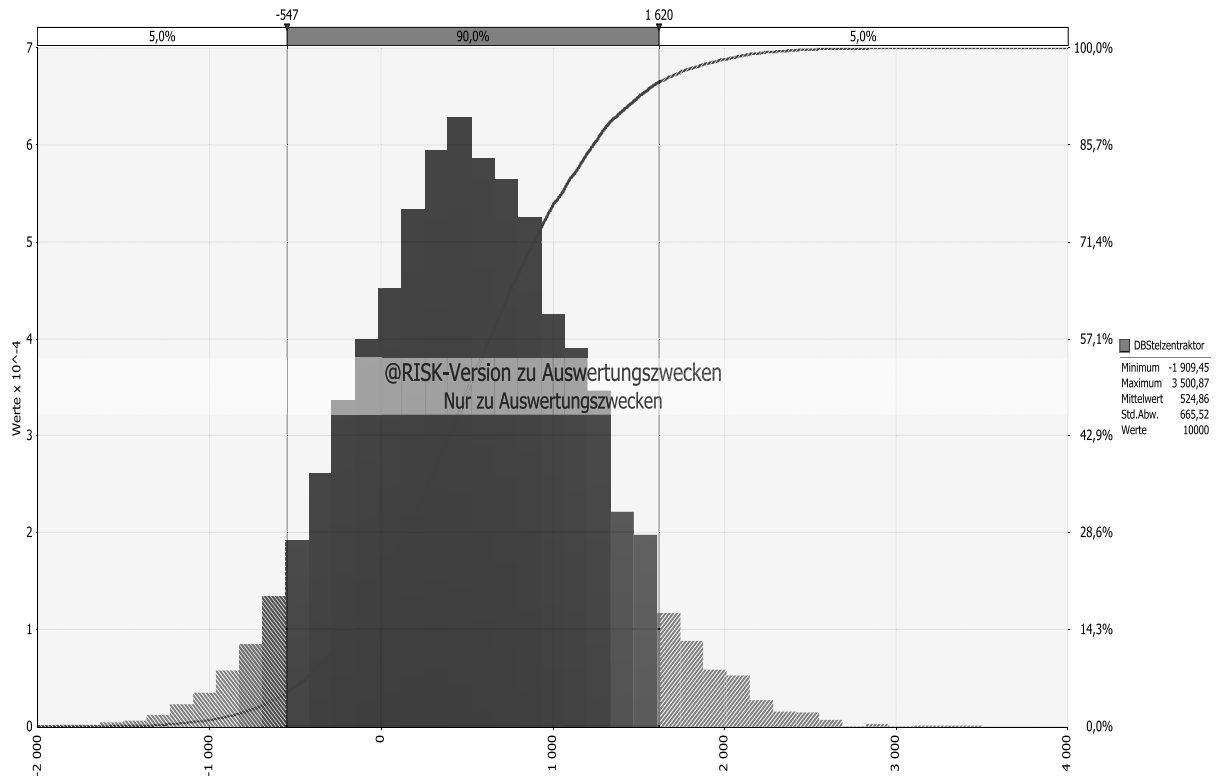


Abbildung 22: Dichte- und Verteilungsfunktion Deckungsbeitrag Insektizid-Stelzentraktork

Vergleicht man nun die Ergebnisse der Insektizid-Varianten mittels Feldspritze bzw. Stelzentraktork in Abbildung 23, so ist die Standardabweichung fast ident. Der Erwartungswert liegt jedoch bei der Variante mit dem Stelzentraktork am Höchsten. Zu beachten sind hier die Anzahl an verwendeten Daten in Tabelle 9.

Eine Insektizidbehandlung bringt gegenüber der unbehandelten Variante höhere mittlere Deckungsbeiträge. Bei einem Vergleich der Insektizid-Varianten mit der unbehandelten Variante liegt nach Mußhoff und Hirschauer (2013) eine praxisrelevante Entscheidungssituation vor. Um eine Entscheidung treffen zu können, müsste man die Risikoeinstellung des Entscheiders kennen.

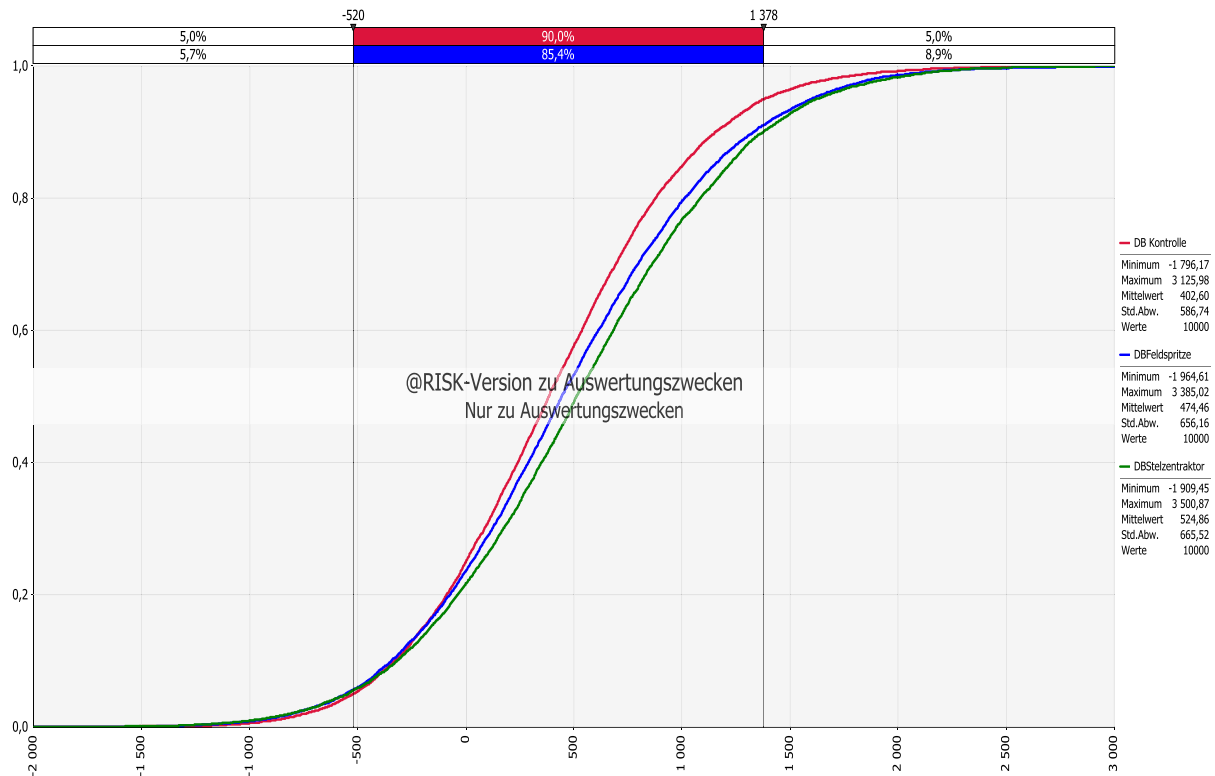


Abbildung 23: Verteilungsfunktion Deckungsbeitrag der Insektizid-Varianten

4.3.3. Gegenüberstellung praxisüblicher Varianten

In der landwirtschaftlichen Praxis steht oft kein Stelzentaktor am eigenen Betrieb oder über einen Maschinenring zur Verfügung. Um der Frage nach zu gehen, ob mit einer Trichogramma-Anwendung ein höherer mittlerer Deckungsbeitrag als mit einer Insektizidbehandlung zu erzielen ist, wird ein Vergleich in Abbildung 24 mit den praxisüblichen Möglichkeiten einer Maiszünslerbekämpfung gemacht. Die Standardabweichung der Varianten Insektizidbehandlung und einmalige Trichogramma-Anwendung mit Kopterausbringung ist fast gleich. Der Mittelwert ist bei der einmaligen Trichogramma-Anwendung höher. Der risikoaverse Entscheider würde sich bei einem Vergleich dieser beiden Handlungsalternativen für die einmalige Trichogramma-Ausbringung mittels Kopterausbringung entscheiden.

Bei einem Vergleich mit der unbehandelten Kontrollparzelle, stellt sich die Frage, ob überhaupt eine Maiszünslerbekämpfung durchgeführt werden soll. Abbildung 24 zeigt, dass alle behandelten Varianten gegenüber der unbehandelten Variante höhere mittlere Deckungsbeiträge bringen.

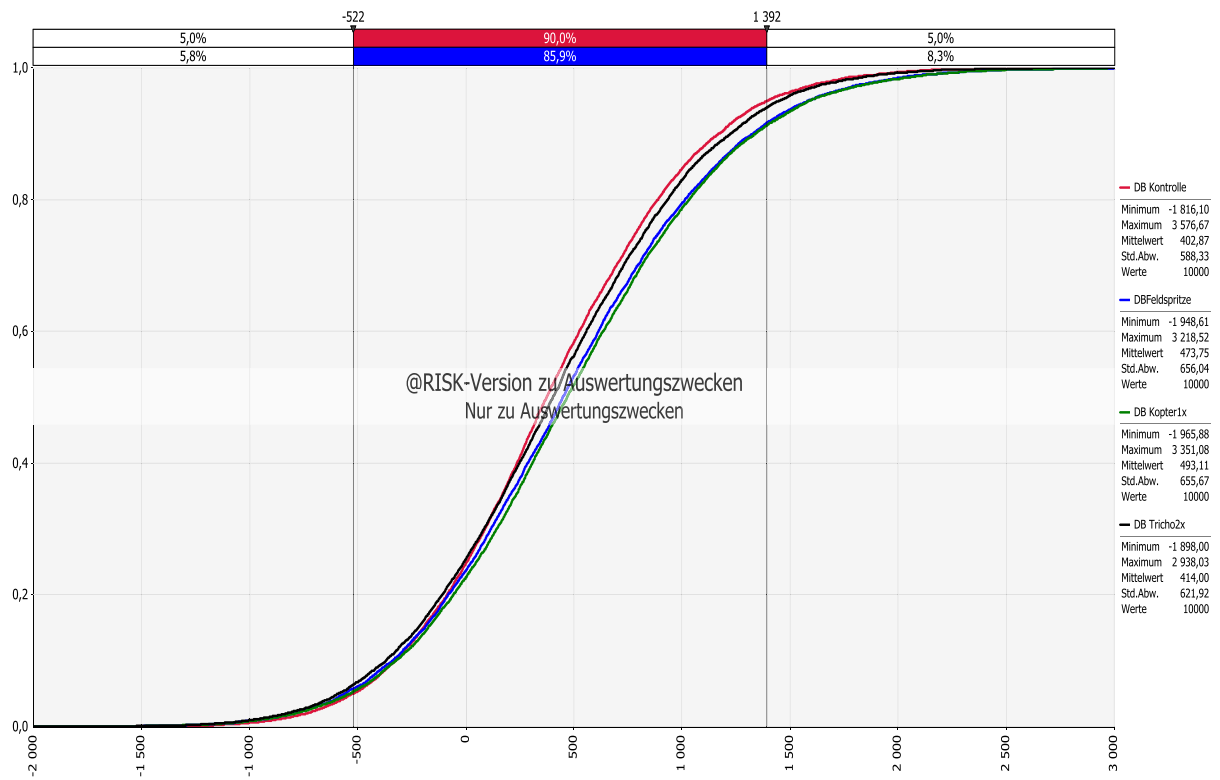


Abbildung 24: Verteilungsfunktion Deckungsbeitrag praxisüblicher Varianten

5. Diskussion

5.1. Arbeitszeitbedarf

Die Grundlage für die Erhebung des Arbeitszeitbedarfs bildet eine selbst durchgeführte Zeiterfassung, die nach der Methode der Arbeitsbeobachtung im Feldversuch nach AUERNHAMMER (1976) durchgeführt wurde. Gemessen wurde der Zeitbedarf der Kopterausbringung und der konventionellen Ausbringung mit der Hand. Der Zeitbedarf wurde einmal je Schlaggröße gemessen. Deshalb konnte auch keine statistische Auswertung gemacht werden. Die ermittelten Zeiten sind deshalb nur bedingt aussagekräftig. Die fünf verschiedenen Schlaggrößen weisen auch eine unterschiedliche Schlagform auf (siehe Anhang), die den Zeitbedarf beeinflusst. Die erhobenen Schlaggrößen können deshalb auch nur einzeln als Fallbeispiele betrachtet werden.

Es gibt zwei Gründe warum in dieser Masterarbeit eine Arbeitszeitanalyse durchgeführt wurde. Erstens gibt es aufgrund der neuen Technologie zur Nützlingausbringung mittels Multikopter noch wenig valide Zeitangaben in der Literatur. Zweitens werden Zeitdaten für die Berechnung der Mindesteinsatzfläche und im DB-Modell der Monte-Carlo-Simulation benötigt.

Betrachtet man die Auswertung des Zeitbedarfs, so ist bei der reinen Hauptarbeitszeit (Flugzeit) ein zeitlicher Vorteil gegenüber der Handausbringung gegeben. Dies trifft bei jeder Schlaggröße, die erhoben wurde, zu. Bei einem Vergleich der Gesamtarbeitszeiten zeigt sich, dass bei dem Fallbeispiel mit 0,9 ha keine schnellere Arbeitserledigung mit dem Multikopter möglich war. Bei den restlichen Schlaggrößen konnte ein Zeitvorteil gemessen werden. Vergleicht man die AKh je ha des verwendeten Kopters mit Literaturangaben, so schreibt LENZ (2015), dass für die Multikopterausbringung ca. 7 Minuten pro ha an Arbeitszeitbedarf benötigt werden. Mit der durchgeführten Arbeitszeitbedarfserhebung werden für die reine Flugzeit ohne Rüstzeiten ca. 5 Minuten je ha benötigt. Die Gesamtarbeitszeit beträgt mit Rüst- und Vorbereitungszeiten ca. 10 Minuten pro ha. Auch die Handausbringung des Kugelverfahrens kann mit ca. 15 Minuten je ha von ALBERT et al. (2008) bestätigt werden. Die Arbeitszeit der Kopterausbringung ist hauptsächlich von der Akkuleistung und dem Fassungsvermögen des Kugelbehälters am Kopter abhängig. Der Zeitbedarf der Handausbringung kann durch die jeweilige körperliche Verfassung des Ausbringers beeinflusst sein.

5.2. Mindesteinsatzfläche

Für die Ausbringung der Trichogramma-Nützlinge steht in der Regel nur ein geringes Zeitfenster von ein paar Wochen zur Verfügung. Damit ein ausreichender Wirkungsgrad erzielt werden kann, muss in dieser Zeit die Ausbringung stattfinden. Die zweite Ausbringung findet ca. 10 Tage nach der ersten Ausbringung statt. Aus praktischer Erfahrung konnten in diesem Jahr ca. 800 ha bei einer Ausbringung mit dem Multikopter befliegen werden. Das ergibt bei zwei Ausbringungen pro Jahr 1.600 ha an Einsatzfläche. Aufgrund dessen wurde, bei einer Nutzungsdauer von 5 Jahren, ein Leistungsvorrat von 8.000 ha gewählt.

Die Berechnung der Durchschnittskosten mit anschließender Ermittlung der Mindesteinsatzfläche gibt einen Anhaltspunkt, ab welcher Einsatzfläche eine Investition in einen eigenen Multikopter zur Nützlingsausbringung rentabel ist. Vor der Entscheidung muss klar sein, ob eine einmalige oder zweimalige Ausbringung durchgeführt wird, da sich dadurch die Einsatzfläche verdoppelt. Für einen durchschnittlichen österreichischen Betrieb ist eine Investition in einen eigenen Multikopter oft nicht vorteilhaft. Ein überbetrieblicher Maschineneinsatz ist im Vorhinein zu überlegen. Wird ein überbetrieblicher Maschineneinsatz überlegt, so sind auch die damit verbundenen Wartekosten zu berücksichtigen. Da mit einem Kopter auch weitere Nutzungsmöglichkeiten zur Verfügung stehen, muss dies auch in der Berechnung berücksichtigt werden.

5.3. Monte-Carlo-Simulation der Maiszünslerbekämpfungsverfahren

Bevor man in die Diskussion der Ergebnisse einsteigt, sollen die verwendeten Daten und die Methode diskutiert werden. Nach MUBHOFF UND HIRSCHAUER (2013) könnte man im Rahmen einer Expertenbefragung eine Ertragsschätzung durchführen und diese Ergebnisse anschließend in die Monte-Carlo-Simulation integrieren und verarbeiten. Präzisere Ertragsdaten liefern jedoch Versuchsergebnisse. Deshalb wurden in das DB-Modell Ertragsdaten aus Versuchsergebnissen integriert. Zunächst sei an dieser Stelle gesagt, dass die Ertragsdaten auf einen Standort im Westen von Deutschland zurückzuführen sind. Diese langjährigen Versuchsergebnisse wurden als Großparzellenversuche und nicht als Exaktversuche mit Wiederholungen angelegt. Deshalb können hier Fehler die Ergebnisse beeinflussen. Da die Versuchsparzellen nebeneinander angereiht waren, sind auch hier Beeinflussungen möglich, wie WINKLER (2015) in den Versuchsergebnissen beschreibt. Die Ertragsdaten können auch

von Bodenunterschiede, Unkrautbesatz oder unterschiedlichem Zünslerbefall bedingt sein. Deshalb sind die Aussagen ausschließlich unter den Bedingungen dieses langjährigen Versuchsergebnisses zu verstehen. Grundsätzlich wird bei Versuchen mit Schädlingsbekämpfungsmittel oft nur der Wirkungsgrad des Pflanzenschutzmittels selbst getestet. Für eine Integration in ein Deckungsbeitragsmodell ist letztendlich der erzielte Ertrag entscheidend. Deshalb ist dieser einzigartige Datensatz mit den langjährigen Ertragsergebnissen für die Risikoanalyse sehr wertvoll. Einzigartig deshalb, da es in Österreich bzw. Deutschland keine weiteren vergleichbaren, langjährigen Versuchsergebnisse gibt.

Bei gegebenen Produktionskapazitäten ist ein Teil der Kosten in einem bestimmten Zeitraum fix und nicht entscheidungsrelevant (SCHNEEBERGER UND PEYERL, 2011). Deshalb ist das Deckungsbeitragsmodell, das nur die variablen Kosten berücksichtigt, für die kurzfristige Produktionsplanung gut geeignet. Im Modell nicht enthalten sind die Zinsen für das eingesetzte Umlaufkapital.

Die Erzeugerpreise von Körnermais und die variablen Kosten im Deckungsbeitragsmodell basieren auf österreichischen Werten. Da der Maispreis von internationalen Märkten abhängig ist, werden hier keine Ertrags-Preis-Korrelationen berücksichtigt. Da für die Positionen Ertrag und Preis jeweils eine Normalverteilung zugrunde liegt, könnte man, neben der stochastischen Simulation, auch mit der Varianz-Kovarianz-Methode rechnen. Da die Kosten des Handelsdüngers nur einen eher geringen Einfluss auf die Zielgröße Deckungsbeitrag ausüben (siehe Grafik im Anhang), werden sie nicht als risikobehaftete Portfoliokomponente definiert. Die variablen Maschinekosten beruhen auf ÖKL-Richtwerte.

Nun zur Ergebnisdiskussion der Monte-Carlo-Simulation. Vergleicht man die einmalige und zweimalige Trichogramma-Variante, so bringt die zweimalige Ausbringung einen stabileren Deckungsbeitrag aufgrund der geringeren Standardabweichung. Der Erwartungswert ist bei der einmaligen Ausbringung höher. Im Vergleich der Mittelwerte der Trichogramma-Varianten gegenüber der unbehandelten Variante, bringt eine Anwendung mit Trichogramma einen höheren mittleren Deckungsbeitrag. Will man eine klare Entscheidungsempfehlung geben, so müsste man die Risikoeinstellung des Entscheiders kennen. Unterscheidet man die Ausbringungsarten Kopter- bzw. Handausbringung, so muss man die Höhe des Lohnansatzes der eigenen Arbeitskraft des jeweiligen Betriebs berücksichtigen. Im vorliegenden DB-Modell wurde jedoch ein durchschnittlicher Lohnsatzes einer

Saisonarbeitskraft für die Handausbringung verwendet. Für die Kopterausbringung wurde ein überbetrieblicher Verrechnungspreis angesetzt.

Betrachtet man die Ergebnisse der Insektizid-Varianten Feldspritze und Stelzentraktor so ergeben sich fast idente Werte bei der Standardabweichung. Der Erwartungswert liegt jedoch beim Einsatz eines Stelzentraktors höher. Um eine Entscheidungsempfehlung geben zu können, müsste wiederum das Risikoverhalten des Entscheiders bekannt sein. Zu beachten sind die geringere Anzahl an Versuchsergebnissen bei der Variante Stelzentraktor im Vergleich zur Variante Feldspritze. Die behandelten Insektizid-Varianten ergeben höhere mittlere Deckungsbeiträge gegenüber der unbehandelten Variante.

Die praxisüblichen Varianten einmalige Trichogramma-Anwendung mittels Kopter und Variante Insektizid mittels Feldspritze zeigen im Vergleich, dass mit der einmaligen Trichogramma-Ausbringung mittels Kopter, bei gleicher Standardabweichung, ein höherer Mittelwert des Deckungsbeitrages erzielt werden kann.

Bei der vorliegenden Monte-Carlo-Simulation, unter Verwendung eines Deckungsbeitragsmodells, wurden Preis, Ertrag und variable Kosten berücksichtigen. Mit dieser Art Vergleichsrechnung wurden jene Leistungs- und Kostenpositionen berücksichtigt, die den Deckungsbeitrag maßgeblich beeinflussen. Will sich ein Entscheider, unabhängig vom Deckungsbeitrag und dessen Risiko, lediglich nach den Kosten der Maiszünslerbekämpfung orientieren, gibt Tabelle 12 einen Kostenvergleich. Hier ist eindeutig die einmalige Trichogramma-Anwendung die kostengünstigste Variante.

Die Fruchtfolge als weitere Möglichkeiten der Maiszünslerbekämpfung, ist in dieser Masterarbeit nicht betrachtet worden. Auch die mechanische Bekämpfung wurde in der Monte-Carlo-Simulation nicht berücksichtigt, da keine langjährigen Ertragsdaten zur Verfügung standen. Nach LANGENBRUCH et al. (2007) und LENZ (2007) bringt das Mulchen der Stoppelreste mit anschließendem Pflügen hohe Wirkungsgrade, deshalb wäre es wichtig diese Maßnahme genauso mit den anderen Möglichkeiten der Maiszünslerbekämpfung zu vergleichen. Die Bekämpfung mit einem Bt-Präparat stellt weiters eine Option zur Kontrolle des Maiszünslers dar. Die Wirkungsgrade sind jedoch nicht zufriedenstellend (LIEBE, 2005). Die Variante mit gentechnisch veränderten Maissorten, die das Bt-Toxin bilden, ist in Österreich und Deutschland derzeit

verboten. Sie würden hohe Wirkungsgrade erzielen, jedoch besteht eine Resistenzgefahr (LANGENBRUCH et al., 2007). Durch Schäden der Maiszünslerlarven können Qualitätsminderungen des Erntegutes in Folge von Mykotoxinen auftreten. Dies wurde nicht in den Berechnungen berücksichtigt.

6. Zusammenfassung

Dem Maiszünsler wird in der Praxis oft nur wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Versuche zeigen immer wieder, dass eine Maiszünslerbekämpfung signifikante Ergebnisse bringt und zudem wirtschaftlich ist. Im Rahmen des integrierten Pflanzenschutzes sind pflanzenbauliche, biologische, biotechnische und mechanische Maßnahmen vorrangig zu berücksichtigen, um die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel auf ein notwendiges Maß zu beschränken. Deshalb ist die biologische Maßnahme der Trichogramma ein wichtiger Bestandteil der Maiszünslerkontrolle. Bei Saatmaisvermehrern und Zuckermaisproduzenten wird die Behandlung mit dem Eiparasiten *Trichogramma brassicae* vielfach angewendet. Auch für Betriebe mit biologischer Körnermaisproduktion ist die Trichogramma-Anwendung, neben der vorbeugenden, mechanischen Bekämpfung, ein wichtiges Instrument, um den Zünsler in Schach zu halten.

Mit Hilfe der Multikopterausbringung gibt es eine technische Möglichkeit, die Nützlinge in Form von Kugeln oder Kapseln auszubringen. Diese Methode kann dem Precision Farming zugeordnet werden, da mit Unterstützung von GPS-Daten eine präzise Ausbringung erfolgt. Die rechtliche Situation bei einem Multikoptereinsatz zur Nützlingsausbringung ist in Österreich sehr diffizil und wird in dieser Masterarbeit kurz beschrieben.

Da es in der Literatur kaum verifizierte Daten zum Arbeitszeitbedarf der Trichogramma-Ausbringung mittels Multikopter gibt, wurde eine Arbeitszeiterfassung durchgeführt. Mit Hilfe der kausalen Zeitermittlungsmethode, unter Verwendung der Arbeitsbeobachtung im Feldversuch, konnte der Arbeitszeitbedarf für das verwendete Gerät ermittelt werden. Bei dem untersuchten 0,9 ha Schlag konnte kein Zeitvorteil gegenüber der Handausbringung, bei Betrachtung der Gesamtarbeitszeit, beobachtet werden. Bei den Schlaggrößen 3 ha, 3,9 ha, 4,3 ha und 6 ha, wurde ein geringerer Arbeitszeitbedarf bei der Multikopterausbringung gegenüber der Handausbringung gemessen.

In einem zweiten Schritt wurde, mit Hilfe der Berechnung der Mindesteinsatzfläche bei Eigenmechanisierung, jene Schwelle berechnet, ab welcher Einsatzfläche es sich für einen landwirtschaftlichen Betrieb lohnt, in einen eigenen Multikopter zur Trichogramma-Ausbringung zu investieren. Mit den verwendeten Daten ergibt sich eine Mindesteinsatzfläche von 95 ha bei einer einmaligen Trichogramma-

Anwendung. Wird eine zweimalige Trichogramma-Ausbringung durchgeführt, so verringert sich die Mindesteinsatzfläche auf 47,5 ha.

In einem dritten Schritt wurden die Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit der weiteren Handlungsalternativen der Maiszünslerbekämpfung analysiert. Mit Hilfe der Methode der stochastischen Dominanz wurden, in ein Deckungsbeitragsmodell, die unsicheren, risikobehafteten Variablen Ertrag und Preis integriert. Als Zielgröße wurde der jeweilige Deckungsbeitrag gewählt. Bei den Inputvariablen wurde unterschieden zwischen fixen, variablen und abhängig variablen Inputgrößen. In das Simulationsmodell sind die zwei Maiszünslerbekämpfungsverfahren Trichogramma-Einsatz und Insektizid-Einsatz integriert worden, da bei diesen Varianten langjährige Versuchsergebnisse vorliegen. Bei den Trichogramma-Varianten wurde zusätzlich zwischen Hand- und Kopterausbringung der Nützlinge unterschieden. Bei den Insektizid-Varianten wurde zwischen Feldspritzenapplikation und Applikation mittels Stelzentraktor unterschieden. Neben diesen Varianten wurde eine unbehandelte Kontrolle ohne Maiszünslerbekämpfungsmaßnahme gegenübergestellt.

Als Ergebnis der Monte-Carlo-Simulation kann folgendes festgehalten werden: Unter Berücksichtigung der verwendeten Daten, wird mit einem Trichogramma-Einsatz bzw. mit einem Insektizid-Einsatz jeweils ein höherer mittlerer Deckungsbeitrag gegenüber der unbehandelten Variante erzielt. Innerhalb der Trichogramma-Varianten bringt die einmalige Ausbringung einen höheren Erwartungswert des Deckungsbeitrages. Jedoch erzielt man mit einem zweimaligen Trichogramma-Einsatz eine niedrigere Standardabweichung. Bei den Insektizid-Varianten könnte mit der Variante Stelzentraktor ein höherer mittlerer Deckungsbeitrag festgestellt werden. Hier ist zu beachten, dass dem Stelzentraktor nur Daten aus fünf Jahren zu Grunde liegen und der Variante Feldspritze Daten aus neun Versuchsjahren.

7. Quellenverzeichnis

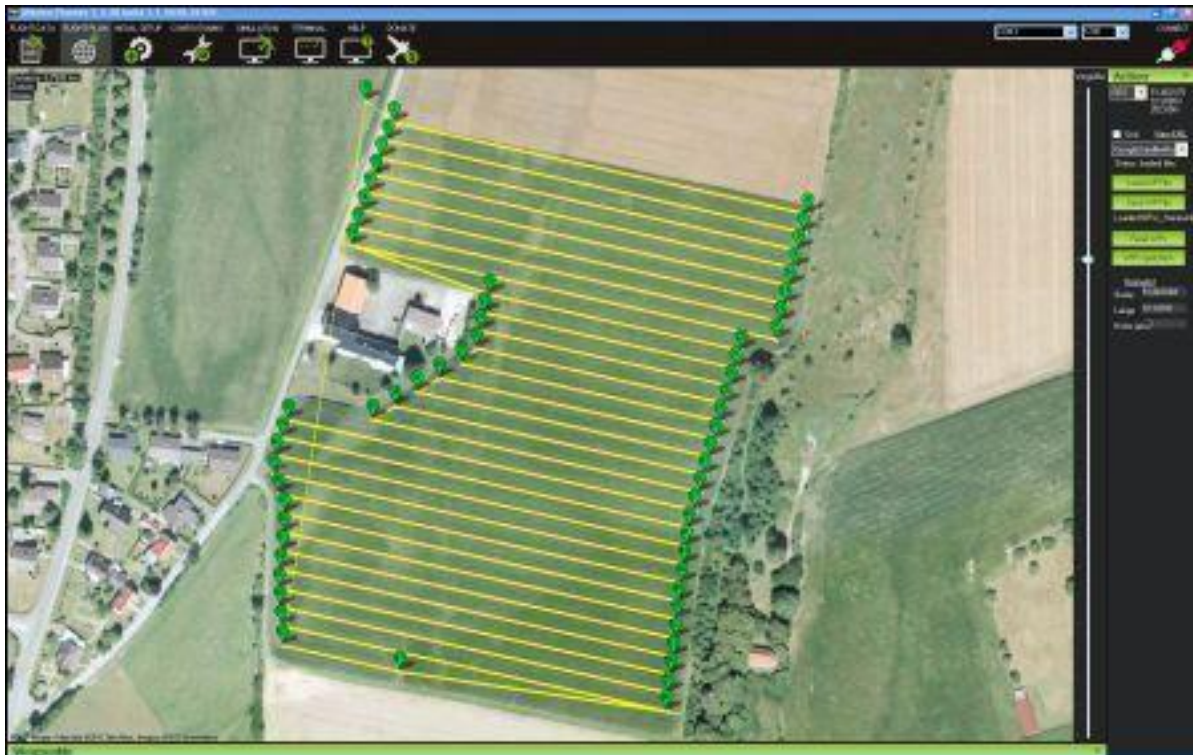
- AGES – Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit. 2015. Verzeichnis der in Österreich zugelassenen/genehmigten Pflanzenschutzmittel.
<http://pmg.ages.at/> (14.09.2015).
- AGES – Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit, LFI-Ländliches Fortbildungsinstitut, Landwirtschaftskammer Burgenland, Landwirtschaftskammer Niederösterreich und Landwirtschaftskammer Oberösterreich, 2015. Maiszünsler Fangdaten von 2000 bis 2014 die LK für OÖ, NÖ und Bgld. Für 2015 LFI Österreich. s.l.: Daten zur Verfügung gestellt von AGES.
- ALBERT, R., MAIER, G. UND DANNEMANN, K., 2008. Maiszünslerbekämpfung – Bekämpfung und neue Entwicklungen beim Trichogramma brassicae-Einsatz. Gesunde Pflanzen 60, 41–54.
- AMT DER NÖ LANDESREGIERUNG, 2015. Versuchsberichte-Pflanzenbau-Pflanzenschutz-Insektizide.at:
http://www.lako.at/de/versuche/?lang=de&a=179&a_urlname=versuche&versuche_a=1&versuche_b=8&versuche_c=17 (12.04.2015).
- ANDERSON, C., 2014. Agricultural drones. Technology review 58–60.
- AUERNHAMMER, H., 2001. Precision farming — the environmental challenge. Computers and Electronics in Agriculture 30, 31–43.
- AUERNHAMMER, H., 1976. Eine integrierte Methode zur Arbeitszeitanalyse, Planzeiterstellung und Modellkalkulation landwirtschaftlicher Arbeiten, dargestellt an verschiedenen Arbeitsverfahren der Bullenmast. Weihenstephan: Diss. Technische Universität München.
- AWI - Bundesanstalt für Agrarwirtschaft, 2015. IDB Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten, at: <http://www.awi.bmlfuw.gv.at/idb/default.html> (14.09.2015).
- BIOCARE, 2015. Trichosafe®-Kugeln. Biocare, at: <http://www.biocare.de/trichosafe-kugeln/> (11.07.2015).
- BMLFUW, 2015. Grüner Bericht - Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft im Jahr 2014. 56. Auflage, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien: Selbstverlag.
- BMLFUW, 2008. Deckungsbeiträge und Daten für die Betriebsplanung 2008. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien. Wien: Selbstverlag.
- BÖRNER, H., SCHLÜTER, K. UND AUMANN, J., 2009. Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Springer-Lehrbuch. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- COTTIN, C. UND DÖHLER, S., 2013. Risikoanalyse - Modellierung, Beurteilung und Management von Risiken mit Praxisbeispielen, 2. Auflage., Studienbücher Wirtschaftsmathematik. Wiesbaden: Springer Verlag.
- DABBERT, S. UND BRAUN, J., 2006. Landwirtschaftliche Betriebslehre-Grundwissen Bachelor. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag.
- DEUTSCHER WETTERDIENST, 2015. Niederschlag: langjährige Mittelwerte 1981-2010, at: <http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU>

- /KU2/KU21/klimadaten/german/nieder__8110__fest__html,templated=raw,property=publicationFile.html/nieder_8110_fest_html.html (11.07.2015).
- FREEMAN, P.K. UND FREELAND, R.S., 2014. Politics & technology: U.S. polices restricting unmanned aerial systems in agriculture. *Food Policy* 49, 302–311.
- FREIER, B., WENDT, C. UND NEUKAMPF, R., 2015. Infestation status of European corn borer (*Ostrinia nubilalis*) and western corn root worm (*Diabrotica virgifera virgifera*) in their control in Germany. *Journal für Kulturpflanzen* 67, 113–123.
- GANDORFER, M., MEYER-AURICH, A. UND KAPFER, M., 2011. Economic aspects of precision farming technologies - Current state and future perspectives. *Journal of the Austrian Society of Agricultural Economics* 20, 35–43.
- GANDORFER, M., 2005. Bewertung von Precision Farming dargestellt am Beispiel der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung. München: Diss. Technische Universität München.
- GRAF, K. UND KIRCHMAYR, H., 2015. Mündliche Auskunft vom 19.03.2015.
- GRIEPENTROG, H.W., 2015. Vom Precision zum Smart Farming- Die Potenziale und Herausforderungen für eine zukunftsorientierte Landwirtschaft. BLT-Fachtagung "Innovative Agrartechnik" at: http://www.josephinum.at/fileadmin/content/BLT/6_News/2015-02-26_InnovativeAgrartechnik/08_GriepentrogHansW.pdf (05.08.2015).
- HEITEFUSS, R., KÖNIG, K., OBST, A. UND RESCHKE, M., 2000. Pflanzenkrankheiten und Schädlinge im Ackerbau, 4., überarbeitete und erweiterte Auflage. Frankfurt: DLG-Verlag.
- HURLE, K., LECHNER, M. UND KÖNIG, K., 1996. Mais-Unkräuter, Schädlinge, Krankheiten. Stuttgart und München: Verlag Th. Mann.
- JEHLE, J.A., HERZ, A., KELLER, B., KLEESPIES, R.G., KOCH, E., LAREM, A., SCHMITT, A. UND STEPHAN, D., 2014. Statusbericht Biologischer Pflanzenschutz 2013, 173. Ausgabe. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut (JKI).
- KAPFER, M., 2014. Spezielle Methoden in der landwirtschaftlichen Betriebswirtschaftslehre. Universität für Bodenkultur Wien: unveröffentl. Skript.
- KLODT, H. UND SCHÄFER, A., 2015. Technischer Fortschritt at: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/54612/technischer-fortschritt-v8.html> (17.04.2015).
- KORNMEIER, C., 2012. Der Einsatz von Drohnen zur Bildaufnahme: eine luftverkehrsrechtliche und datenschutzrechtliche Betrachtung. Münster: LIT Verlag.
- KTBL, 2010. Ökologischer Landbau-Daten für die Betriebsplanung, 1. Auflage. Darmstadt.
- LALIBERTE, A.S. UND RANGO, A., 2011. Image Processing and Classification Procedures for Analysis of Sub-decimeter Imagery Acquired with an Unmanned Aircraft over Arid Rangelands. *GIScience & Remote Sensing* 48, 4–23.
- LANGENBRUCH, G.-A., KÜBLER, K. UND KLEEFELDT, U., 2007. Maiszünslerbekämpfung in Darmstadt -es begann mit dem *Bacillus thuringiensis*. *Journal für Kulturpflanzen* 59(11), 242–250.

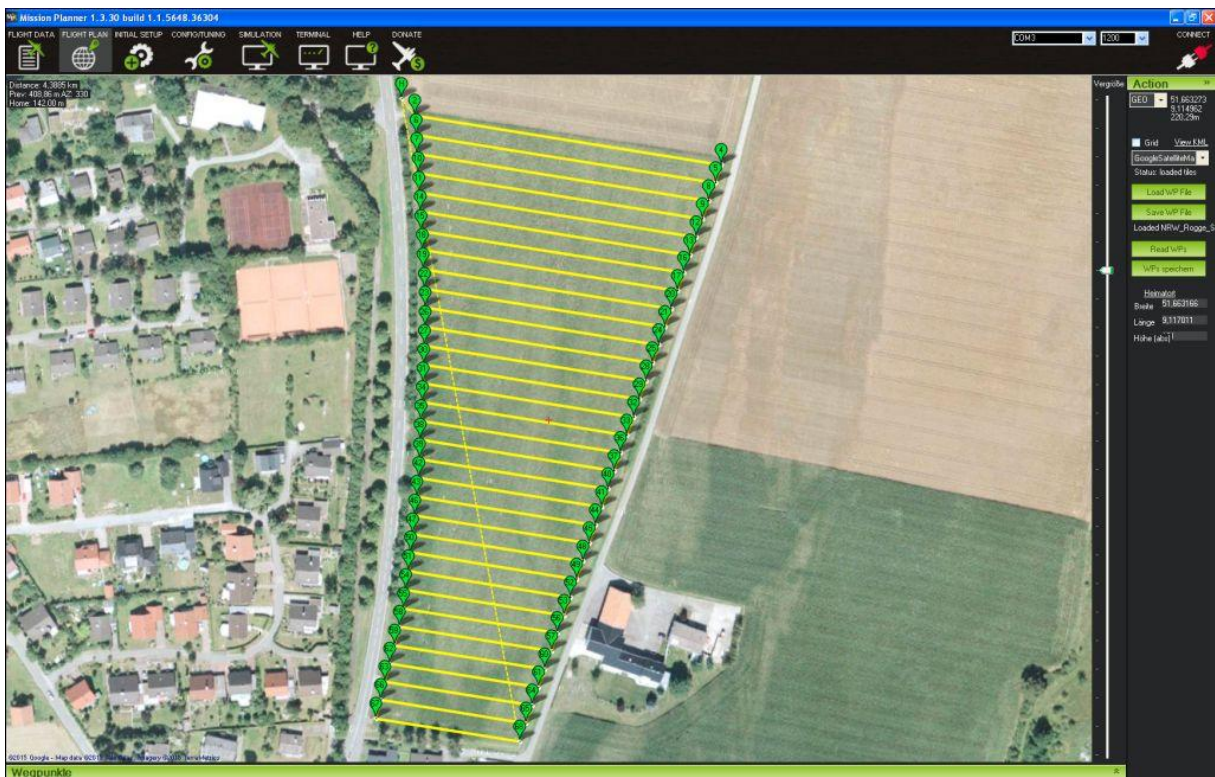
- LENZ, M., 2007. Auftreten des Maiszünslers in Hessen. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 59, 261–263.
- LENZ, M., 2015. Mit Multikopter gegen den Maiszünsler. In: Der Pflanzenarzt, Ausgabe 08/2015, 68. Jahrgang. Wien: Österreichischer Agrarverlag.
- LIEBE, D., 2005. Molekulargenetische Untersuchungen zur Abgrenzung von Populationen des Maiszünslers *Ostrinia nubilalis* Hübner als eine Voraussetzung für das Insektenresistenzmanagement (IRM) von *Bacillus-thuringiensis*-Mais (Bt-Mais). Gießen: Diss. Justus-Liebig-Universität Gießen.
- LFG - LUFTFAHRTGESETZ, 1957. BGBl. 253/1957 idgF.
- MEISE, T., 2003. Monitoring der Resistenzentwicklung des Maiszünslers (*Ostrinia nubilalis*, Hübner) gegenüber Bt-Mais. Göttingen: Diss. Georg-August-Universität zu Göttingen.
- MLR - Ministerium Ländlicher Raum-Baden-Württemberg, 2015. Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl (FAKT), at: <https://mlr.baden-wuerttemberg.de/de/unser-service/foerderprogramme/> (10.06.2015).
- MUBHOFF, O. UND HIRSCHAUER, N., 2013. Modernes Agrarmanagement - Betriebswirtschaftliche Analyse- und Planungsverfahren, 3. Auflage. Göttingen und Halle: Verlag Franz Vahlen.
- NICAS, J., 2014. Drones Find Fans Among Farmers, Filmmakers. Wall Street Journal. at: <http://www.wsj.com/articles/SB10001424052702304732804579425342990070808> (21.03.2015).
- ÖKL, 2015. ÖKL Richtwerte online für die Maschinenselbstkosten, ÖKL - Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung, at: <http://oekl.at/richtwerte-online/> (05.09.2015).
- PALISADE, 2015a. Risikoanalyse, at: <http://www.palisade.com/risk/de/risikoanalyse.asp> (09.05.2015).
- PALISADE, 2015b. Monte Carlo-Simulation, at: http://www.palisade.com/risk/de/monte_carlo_simulation.asp (09.05.2015).
- PÖTZ, P., 2012. Ermittlung des Arbeitszeitbedarfs der Welser Abferkelbucht. Wien: Masterarbeit Universität für Bodenkultur Wien.
- PROPLANTEXPERT.COM, 2015. Mais. at: www.proplantexpert.com/expert/ (05.07.2015).
- RÖHNER, J., 1956. Zur Methodik der Zeitstudie in der Landwirtschaft. Methoden und Verfahren der Landarbeitswissenschaft, Landarbeit und Landtechnik, Heft 21. Bad Kreuznach.
- ROSNER, K., 2014. Ertrags- und Qualitätssicherung in Mais (*Zea mays* L.) durch Fungizid- und Insektizidmaßnahmen unter Aspekten der Minimalbodenbearbeitung. Wien: Masterarbeit Universität für Bodenkultur Wien.
- RWA - Raiffeisen Ware Austria, 2015. Liste der unverbindlich empfohlenen Verkaufspreise inklusive Umsatzsteuer. Wien.
- SCHLICK, C.M., BRUDER, R. UND LUCZAK, H., 2010. Arbeitswissenschaft. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- SCHNEEBERGER, W. UND PEYERL, H., 2011. Betriebswirtschaftslehre für Agrarökonomen. Wien: Facultas Verlag.

- SCHORLING, M., 2005. Ökologische und phytomedizinische Untersuchungen zum Anbau von Bt-Mais im Maiszünsler-Befallsgebiet Oderbruch. Potsdam: Diss. Universität Potsdam.
- SELBECK, J., DWORAK, V., HOFFMANN, M. UND DAMMER, K.-H., 2014. Vegetationserkennung für landwirtschaftliche Anwendungen mithilfe einer Ein-Chip-Kamera. *Landtechnik* 69, 114–119.
- SMITH, H.E., 1920. Broom corn, the probable host in which *Pyrausta Nubilalis* Hubn. Reached America. *Journal of Economic Entomology* 13, 425–430.
- STATISTIK AUSTRIA, 2015a. Gemüseproduktion ab 1995, at: http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/bodennutzung/index.html (15.03.2015).
- STATISTIK AUSTRIA, 2015b. Land- und Forstwirtschaftliche Erzeugerpreise, at: http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/preise_bilanzen/preise_preisindex/index.html (25.08.2015).
- TAMTÖGL, M., 2010. Ermittlung des Arbeitszeitbedarfs unter Berücksichtigung der Mensch-Tier-Beziehung in der biologischen Ferkelproduktion. Wien: Masterarbeit Universität für Bodenkultur Wien.
- THE ECONOMIST, 2013. Field work, at: <http://www.economist.com/news/asia/21576154-fewer-bigger-plots-and-fewer-part-time-farmers-agriculture-could-compete-field-work> (21.03.2015).
- VROEGINDEWEIJ, B., VAN WIJK, S.W. UND VAN HENTEN, E., 2014. Autonomous unmanned aerial vehicles for agricultural applications. *Proceedings of the International Conference of Agricultural Engineering : AgEng 2014*.
- WECKSCHMIED, A., 2015. Datenblatt Tricho-Kopter "HP-TC". Dresden.
- WESTPHAL, C. UND MÖNCHHOFF, D., 2015. Bauformen von Drohnen und Multicopter, at: <http://www.drohnen.de/bauformen-von-drohnen-und-multicoptern/> (31.05.2015).
- WINKLER, J., 2015. Praxisvergleich Maiszünslerbekämpfung Gütlinhof Wintersweiler der Versuchsjahre 2000-2013. Lörrach: at: <https://www.landwirtschaft-bw.info/pb/Lde/675330> (29.09.2015).
- ZELLNER, M., 2013. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Pflanzenschutz, At: <http://www.lfl.bayern.de/ips/blattfruechte/030323/index.php> (31.05.2015).
- ZHANG, C. UND KOVACS, J.M., 2012. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision Agric* 13, 693–712.
- ZIMMERMANN, O., GLAS, M., KANSY, F.-J., DANNEMANN, K., WAGNER, W. UND ZGRAJA, G., 2014. Die Bekämpfung von bivoltinen Maiszünsler Populationen – ein Fazit aus Forschung & Praxis. *Populationsdynamik / Epidemiologie / Prognose*, 59. Deutsche Pflanzenschutztagung 23.-26. September 2014, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg 485.
- ZWÖLFER, W., 1928. Ergebnisse der Maiszünsleruntersuchungen in Süddeutschland. *Mitteilung deutscher Landwirtschafts-Gesellschaft*. xliii: 267–271.

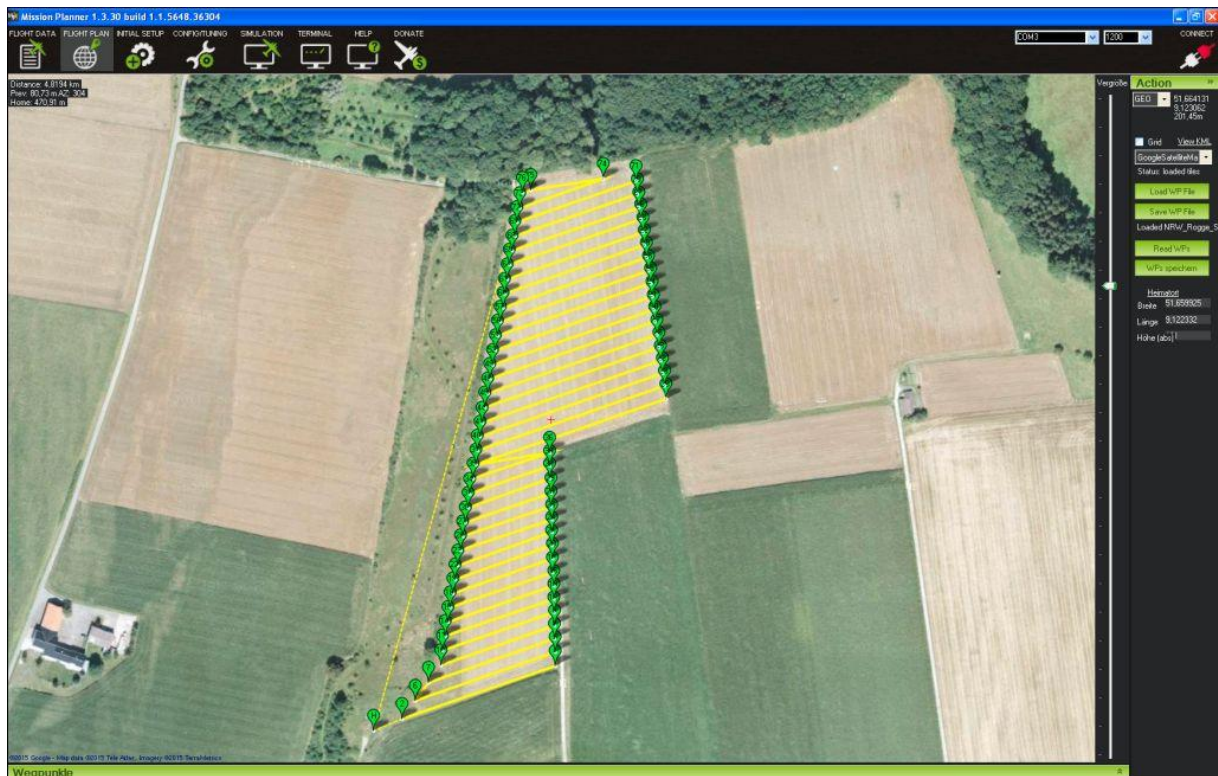
Anhang



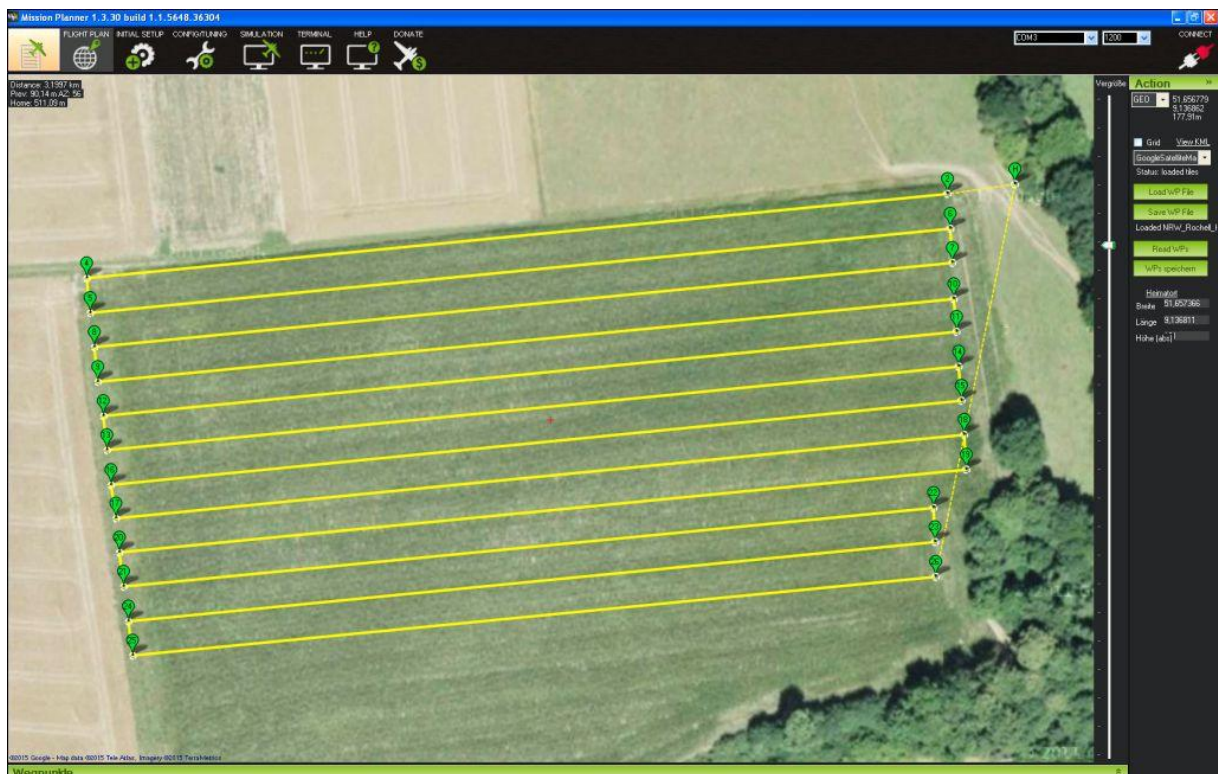
Flugplanung des 6 ha Schlages



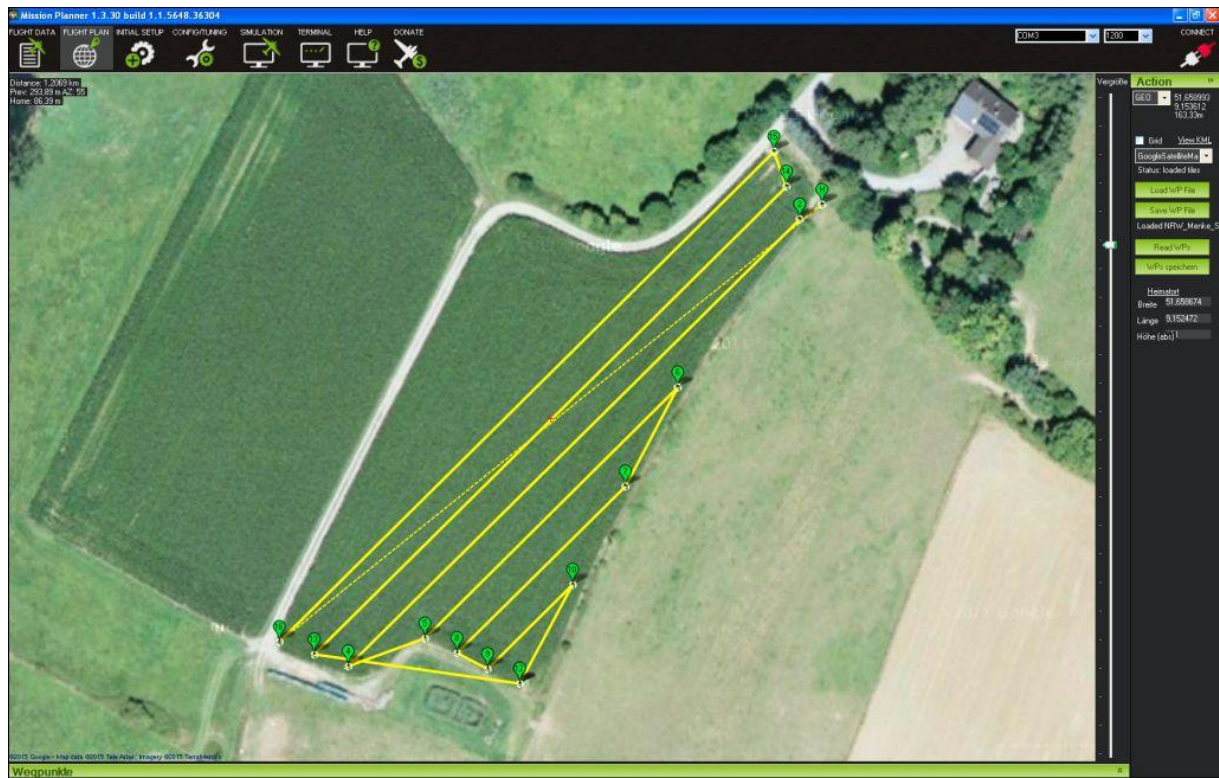
Flugplanung des 3,9 ha Schlages



Flugplanung des 4,3 ha Schlages



Flugplanung des 3 ha Schlages



Flugplanung des 0,9 ha Schlages

Formular zur Erhebung des Arbeitszeitbedarfes

Versuch zur Feststellung der Arbeitskraftstunden (AKh) bei Trichogramma Ausbringung			Schlaggröße	ha
			Datum: 07.07.2015	
Trichogramma Ausbringung Drohne mit Weg-Punkt-System				
	Teilzeiten	Gesamtarbeitszeit		
Gesamtarbeitszeitverfahren	Rüstzeit Hof			
	Rüstzeit Feld			
	Wegzeit			
	Hauptzeit			
	Nebenzeit			
	Verlustzeit			
	Summe			
			Akh/Schlag	
			Akh/ha	
Anmerkungen:				
Trichogramma Ausbringung händisch				
	Teilzeiten	Gesamtarbeitszeit		
Gesamtarbeitszeitverfahren	Rüstzeit Hof			
	Rüstzeit Feld			
	Wegzeit			
	Hauptzeit			
	Nebenzeit			
	Verlustzeit			
			Akh/Schlag	
			Akh/ha	

@risk Ausgabebericht:**unbehandelte Variante**

Simulationsübersichtsinformationen			
Arbeitsmappenname		Risiko_Maiszünsler_korr_9.10.15.xlsx	
Anzahl der Simulationen		1	
Anzahl der Iterationen		10000	
Anzahl der Eingaben		20	
Anzahl der Ausgaben		14	
Probenerhebungstyp		Latin Hypercube	
Simulationsbeginn		10.9.15 19:20:38	
Simulationsdauer		00:00:10	
Zufallswert-Generator		Mersenne Twister	
Ausgangs-Zufallswert		49923369	
Übersichtsstatistik für Deckungsbeitrag Kontrolle			
Statistiken		Perzentil	
Minimum	-1678,64	5%	-524,12
Maximum	2850,11	10%	-333,00
Mittelwert	403,59	15%	-193,45
Std.Abw.	588,09	20%	-93,26
Varianz	345849,9814	25%	0,33
Schiefte	0,208183211	30%	90,20
Wölbung	3,169221289	35%	160,60
Medianwert	382,22	40%	230,20
Modus	316,11	45%	309,78
Linker X-Wert	-524,12	50%	382,22
Linker P-Wert	5%	55%	452,21
Rechter X-Wert	1394,15	60%	529,16
Rechter P-Wert	95%	65%	612,80
Diff. X	1918,27	70%	697,75
Diff. P	90%	75%	790,49
Fehleranzahl	0	80%	887,64
Filter-Min.	Aus	85%	1010,26
Filter-Max.	Aus	90%	1163,14
Gefilterte Anzahl	0	95%	1394,15

einmalige Trichogramma-Behandlung

Simulationsübersichtsinformationen	
Arbeitsmappenname	Risiko_Maiszünsler_korr_9.10.15.xlsx
Anzahl der Simulationen	1
Anzahl der Iterationen	10000
Anzahl der Eingaben	20
Anzahl der Ausgaben	14
Probenerhebungstyp	Latin Hypercube
Simulationsbeginn	10.9.15 19:20:38
Simulationsdauer	00:00:10
Zufallswert-Generator	Mersenne Twister
Ausgangs-Zufallswert	49923369

Übersichtsstatistik für Deckungsbeitrag 1xTrichoHandausbringung			
Statistiken		Perzentil	
Minimum	-1933	5%	-520
Maximum	3517	10%	-306
Mittelwert	511	15%	-154
Std.Abw.	655	20%	-40
Varianz	428520,1911	25%	61
Schiefe	0,195465824	30%	156
Wölbung	3,211416638	35%	246
Medianwert	490	40%	335
Modus	363	45%	416
Linker X-Wert	-520	50%	490
Linker P-Wert	5%	55%	569
Rechter X-Wert	1606	60%	654
Rechter P-Wert	95%	65%	736
Diff. X	2127	70%	837
Diff. P	90%	75%	936
Fehleranzahl	0	80%	1053
Filter-Min.	Aus	85%	1184
Filter-Max.	Aus	90%	1354
Gefilterte Anzahl	0	95%	1606

Simulationsübersichtsinformationen	
Arbeitsmappenname	Risiko_Maiszünsler_korr_9.10.15.xlsx
Anzahl der Simulationen	1
Anzahl der Iterationen	10000
Anzahl der Eingaben	20
Anzahl der Ausgaben	14
Probenerhebungstyp	Latin Hypercube
Simulationsbeginn	10.9.15 19:20:38
Simulationsdauer	00:00:10
Zufallswert-Generator	Mersenne Twister
Ausgangs-Zufallswert	49923369

Übersichtsstatistik für Deckungsbeitrag 1xTricho-Kopterausbringung			
Statistiken		Perzentil	
Minimum	-1951	5%	-538
Maximum	3500	10%	-324
Mittelwert	494	15%	-172
Std.Abw.	655	20%	-57
Varianz	428520,1911	25%	43
Schiefe	0,195465824	30%	139
Wölbung	3,211416638	35%	229
Medianwert	472	40%	317
Modus	346	45%	399
Linker X-Wert	-538	50%	472
Linker P-Wert	5%	55%	552
Rechter X-Wert	1589	60%	636
Rechter P-Wert	95%	65%	719
Diff. X	2127	70%	820
Diff. P	90%	75%	919
Fehleranzahl	0	80%	1036
Filter-Min.	Aus	85%	1167
Filter-Max.	Aus	90%	1336
Gefilterte Anzahl	0	95%	1589

zweimalige Trichogramma-Behandlung

Simulationsübersichtsinformationen	
Arbeitsmappenname	Risiko_Maiszünsler_korr_9.10.15.xlsx
Anzahl der Simulationen	1
Anzahl der Iterationen	10000
Anzahl der Eingaben	20
Anzahl der Ausgaben	14
Probenerhebungstyp	Latin Hypercube
Simulationsbeginn	10.12.15 15:08:00
Simulationsdauer	00:00:12
Zufallswert-Generator	Mersenne Twister
Ausgangs-Zufallswert	743160297

Simulationsübersichtsinformationen	
Arbeitsmappenname	Risiko_Maiszünsler_korr_9.10.15.xlsx
Anzahl der Simulationen	1
Anzahl der Iterationen	10000
Anzahl der Eingaben	20
Anzahl der Ausgaben	14
Probenerhebungstyp	Latin Hypercube
Simulationsbeginn	10.12.15 15:08:00
Simulationsdauer	00:00:12
Zufallswert-Generator	Mersenne Twister
Ausgangs-Zufallswert	743160297

Übersichtsstatistik für Deckungsbeitrag 2xTricho-Handausbringung			
Statistiken		Perzentil	
Minimum	-1705	5%	-548
Maximum	2900	10%	-336
Mittelwert	451	15%	-184
Std.Abw.	621	20%	-74
Varianz	385831,6944	25%	27
Schiefte	0,115716823	30%	125
Wölbung	3,096051937	35%	208
Medianwert	436	40%	290
Modus	357	45%	363
Linker X-Wert	-548	50%	436
Linker P-Wert	5%	55%	515
Rechter X-Wert	1498	60%	596
Rechter P-Wert	95%	65%	672
Diff. X	2046	70%	759
Diff. P	90%	75%	858
Fehleranzahl	0	80%	957
Filter-Min.	Aus	85%	1091
Filter-Max.	Aus	90%	1257
Gefilterte Anzahl	0	95%	1498

Übersichtsstatistik für Deckungsbeitrag 2xTricho-Kopterausbringung			
Statistiken		Perzentil	
Minimum	-1934	5%	-591
Maximum	2915	10%	-371
Mittelwert	413	15%	-220
Std.Abw.	622	20%	-110
Varianz	386834,8932	25%	-7
Schiefte	0,10950831	30%	82
Wölbung	3,108089394	35%	168
Medianwert	400	40%	247
Modus	393	45%	321
Linker X-Wert	-591	50%	400
Linker P-Wert	5%	55%	480
Rechter X-Wert	1442	60%	559
Rechter P-Wert	95%	65%	641
Diff. X	2033	70%	725
Diff. P	90%	75%	822
Fehleranzahl	0	80%	928
Filter-Min.	Aus	85%	1059
Filter-Max.	Aus	90%	1207
Gefilterte Anzahl	0	95%	1442

Insektizid-Varianten (Feldspritze und Stelzentraktor)

Simulationsübersichtsinformationen		Simulationsübersichtsinformationen	
Arbeitsmappenname	Risiko_Maiszünsler_korr_9.10.15.xlsx	Arbeitsmappenname	Risiko_Maiszünsler_korr_9.10.15.xls
Anzahl der Simulationen	1	Anzahl der Simulationen	1
Anzahl der Iterationen	10000	Anzahl der Iterationen	10000
Anzahl der Eingaben	20	Anzahl der Eingaben	20
Anzahl der Ausgaben	14	Anzahl der Ausgaben	14
Probenerhebungstyp	Latin Hypercube	Probenerhebungstyp	Latin Hypercube
Simulationsbeginn	10.9.15 20:18:58	Simulationsbeginn	10.12.15 15:08:00
Simulationsdauer	00:00:14	Simulationsdauer	00:00:12
Zufallswert-Generator	Mersenne Twister	Zufallswert-Generator	Mersenne Twister
Ausgangs-Zufallswert	585005774	Ausgangs-Zufallswert	743160297

Übersichtsstatistik für Deckungsbeitrag Feldspritze				Übersichtsstatistik für Deckungsbeitrag Stelzentraktor			
Statistiken		Perzentil		Statistiken		Perzentil	
Minimum	-2349	5%	-562	Minimum	-2101	5%	-555
Maximum	3538	10%	-350	Maximum	3051	10%	-318
Mittelwert	475	15%	-198	Mittelwert	524	15%	-163
Std.Abw.	656	20%	-76	Std.Abw.	665	20%	-35
Varianz	430876,3226	25%	20	Varianz	441916,300	25%	78
Schiefe	0,202305687	30%	115	Schiefe	0,07800994	30%	175
Wölbung	3,192264753	35%	202	Wölbung	3,05870625	35%	258
Medianwert	456	40%	291	Medianwert	516	40%	345
Modus	560	45%	373	Modus	216	45%	429
Linker X-Wert	-562	50%	456	Linker X-Wert	-555	50%	516
Linker P-Wert	5%	55%	537	Linker P-Wert	5%	55%	599
Rechter X-Wert	1572	60%	616	Rechter X-Wert	1625	60%	684
Rechter P-Wert	95%	65%	710	Rechter P-Wert	95%	65%	773
Diff. X	2134	70%	804	Diff. X	2180	70%	864
Diff. P	90%	75%	908	Diff. P	90%	75%	963
Fehleranzahl	0	80%	1018	Fehleranzahl	0	80%	1076
Filter-Min.	Aus	85%	1151	Filter-Min.	Aus	85%	1217
Filter-Max.	Aus	90%	1325	Filter-Max.	Aus	90%	1387
Gefilterte Anzahl	0	95%	1572	Gefilterte Anzahl	0	95%	1625