

HOCHSCHULE OSNABRÜCK

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur
Studiengang Landwirtschaft

Forschungs- und Entwicklungsprojekt

„Wirtschaftlichkeit von Section Control bei der Applikation von Mineraldünger in
Kleinbetrieben am Beispiel des Hofes Langsenkamp“

Vorgelegt von:

Henning Rempe	719832
---------------	--------

Ausgabedatum:

Abgabedatum: 30.11.2020

Erstprüfer: Prof. Dr. Guido Recke

I. Inhaltsverzeichnis

I.	Inhaltsverzeichnis.....	I
I.	Abbildungsverzeichnis.....	III
II.	Tabellenverzeichnis.....	IV
III.	Abkürzungsverzeichnis.....	V
1	Einleitung.....	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung.....	2
1.3	Vorgehensweise	2
2	Innovationen	2
2.1	Innovationen in der Landwirtschaft	4
3	Technikbeschreibung	6
3.1	Globale Navigations-Satellitensysteme (GNSS)	6
3.1.1	Parallelführung	7
3.1.2	Section Control.....	8
3.2	Kontrolle der Ausbringung beim Düngerstreuer	10
3.2.1	Elektronische Massenstrom-Regelung (EMC).....	10
3.2.2	Wiegeeinrichtung.....	11
3.2.3	Radarsensoren.....	11
4	Betriebsvorstellung Hof Langsenkamp	11
5	Theoretische Grundlagen angewandten Methoden.....	12

5.1 Betriebszweigauswertung	13
5.2 Theoretische Grundlagen Monte-Carlo-Simulation (@RISK).....	14
5.3 Theoretische Grundlage zur Investitionsrechnung.....	16
6 BZA Ackerbau Langsenkamp.....	18
7 Modellrechnung und Investitionsplanung	21
7.1 Modellrechnung	21
7.2 Investitionsrechnung.....	26
8 Diskussion	27
9 Zusammenfassung.....	30
Literaturverzeichnis	32
Anhang.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.

I. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Adaptionverlauf von Innovationen (ROGERS 1995)	3
Abbildung 2: Funktionsweise GNSS (SWISSTOPO 2020)	7
Abbildung 3: Teilbreitenschaltung eines Düngerstreuers (AMAZONE 2020)	9
Abbildung 4: Menüleiste der Excelanwendung @RISK	15
Abbildung 5: Ausgewählte Verteilungsfunktionen in @RISK	16
Abbildung 6: Definition einer Pert-Verteilung in @RISK	23
Abbildung 7: Definition einer Korrelation in @RISK	24
Abbildung 8: Ergebnisgrafik der @RISK Simulation zur Vorteilhaftigkeit von Section Control	26

II. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Berechnung innerbetrieblicher Leistungen.....	18
Tabelle 2: Direktkosten im Ackerbau des Betriebs Langsenkamp.....	19
Tabelle 3: Arbeitserledigungskosten im Ackerbau des Betriebs Langsenkamp	19
Tabelle 4: Gebäude-/ Flächen-/ Allgemeine Kosten des Ackerbaus im Betrieb Langsenkamp	20
Tabelle 5: Ergebnis der BZA nach Kulturen	20
Tabelle 6: Vorteil von Section Control in einzelnen Kulturen	25
Tabelle 7: Rentabilitätskennziffern einer Investition in Section Control	26

III. Abkürzungsverzeichnis

BZA	Betriebszweigauzwertung
CTF	Controlled Traffic Farming
EMC	Elektronische Massenstrom-Regelung
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
RTK	Real-Time Kinematic

1 Einleitung

Die vorliegende wissenschaftliche Arbeit beinhaltet eine Beschreibung der Umstände, warum technische Innovationen in der Landwirtschaft dringend notwendig sind, diese aber nur sehr langsam bis gar nicht Einzug in die Praxis erhalten. Anhand von Section Control wird herausgearbeitet wie die wirtschaftlichen Auswirkungen zu bewerten sind. Vor allem bei unregelmäßig geformten Ackerflächen hat es sich bewährt, am Vorgehende die Teilbreiten automatisch GNSS (Globale Navigations-Satellitensysteme) gesteuert zu schalten (OVERBECK 2019).

1.1 Problemstellung

Beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln stoßen Landwirte auf gesellschaftliche Kritik. 2008 berichtete das Bundesinstitut für Risikobewertung von der hohen Gefahr, die Verbraucher in möglichen Pflanzenschutzmittelrückständen in Lebensmitteln sehen (BFR 2008). Im Jahr 2018 ist die Kritik an dem breitflächigen Einsatz von „Ackergiften“ groß. Aktuell gibt es einen gesellschaftlichen Diskurs über den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und deren Belastung auf Artenvielfalt, Böden und Gewässern. Als Resultat aus dieser Diskussion wurde im April 2018 der Einsatz von Glyphosat durch verstärkte Auflagen deutlich eingeschränkt (ZEIT 2018).

Ähnlich zum Einsatz von Pflanzenschutzmitteln stellt auch die Düngung ein viel diskutiertes Thema dar. Im Fokus steht die Nitratbelastung im Grundwasser. Durch Stickstoffüberschüsse aus Wirtschafts- und Mineraldüngern gelangt Nitrat ins Grundwasser (NMU 2018). Aufgrund zu hoher Nitratwerte im Grundwasser fordert die EU-Kommission von Deutschland strengere Maßnahmen bei der Düngapplikation (TAGESSPIEGEL 2019). Als Hauptverursacher für die hohen Nitratemissionen gilt die Landwirtschaft. So geht aus dem Nährstoffbericht der CDU hervor, dass in Niedersachsen im Durchschnitt 19 kg/ha zu viel Stickstoff gedüngt werden (TAZ 2019). Die Forderungen der EU-Kommission und nachfolgenden politischen Handlungen in Deutschland sehen vor, dass belastete Flächen 20 % weniger gedüngt werden. Zusätzlich werden höhere Abstände zu Gewässern und eine Verkürzung der Düngenzeiten vorgeschrieben (NDR 2019 und BZL 2019). Durch die neue Düngeverordnung in 2020 sind landwirtschaftliche Betriebe gezwungen weniger Düngemittel auf ihren Flächen zu applizieren,

deshalb müssen diese Düngemittel effizienter genutzt werden (LWK NRW 2020 und TOP AGRAR 2020).

In dieser Arbeit werden im weiteren Verlauf die technischen Möglichkeiten zur effizienteren Düngernutzung am Beispiel Section Control erläutert und die ökonomische Auswirkung des Einsatzes dieser Technik auf den Ackerbau am Beispiel des Betriebes Langsenkamp untersucht.

1.2 Zielsetzung

In dieser Arbeit wird am Beispielbetrieb Langsenkamp erarbeitet, welche Kosten und ggf. Mehrerträge der Einsatz von Section Control mit sich bringt. Auf diese Weise sollen mögliche ökonomische Argumente für den Einsatz von Section Control aufgezeigt werden und gleichzeitig untersucht werden, ob sich diese Form der Technologie eignet, um die ökologischen Anforderungen der Gesellschaft an die moderne Landwirtschaft zu erfüllen.

1.3 Vorgehensweise

Die Funktionsweise von Section Control sowie die Funktionsweise und das Zusammenwirken von weiteren unterstützenden technischen Einrichtungen werden zunächst beschrieben. Im Anschluss daran erfolgt eine Auswertung der ökonomischen Einflüsse der automatischen Teilbreitenschaltung auf die ackerbauliche Produktion im Betrieb Langsenkamp. Hierzu erfolgt zuerst eine Betriebszweigauswertung der derzeitigen Produktionsergebnisse aus dem Bereich Ackerbau im Beispielbetrieb. Auf dieser Grundlage wird die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Section Control mithilfe verschiedener Investitionskennziffern sowie einer stochastischen Szenarioanalyse bewertet und die Ergebnisse abschließend kritisch bewertet.

2 Innovationen

Der Innovationsbegriff wird in der Literatur unterschiedlich definiert. SCHUMPETER (1987) definiert Innovationen als die Durchsetzung neuer Kombinationen im gesamten Wirtschaftsleben. BAKER (1967) spricht von Innovationen als neuartige Zweck-Mittel-

Kombination. Er unterscheidet dabei zwischen der zweckinduzierten Innovation, bei der ein neuer Zweck mit unveränderten Mitteln befriedigt werden kann und der mittelinduzierten Innovation, bei der neue Mittel zur Erfüllung bestehender Zwecke eingesetzt werden. Eine weitere Definition des Innovationsbegriffs liefert HAUSSCHILDT (2016). Demnach ist eine Innovation das, was subjektiv als neu angesehen oder angeboten wird.

Die Adaption von Innovationen läuft meist in einer sinusförmigen Kurve ab. Es gibt eine kleine Gruppe, die die Innovation zu Beginn direkt annimmt, die Innovatoren. Mit den frühen Adoptern und der frühen Mehrheit etablieren sich Neuerungen dann immer weiter, bis die Innovation zum Schluss auch bei der späten Mehrheit und den Nachzüglern angenommen wird. Die folgende Abbildung 1 zeigt den Adaptionsverlauf einer Innovation nach ROGERS (1995).

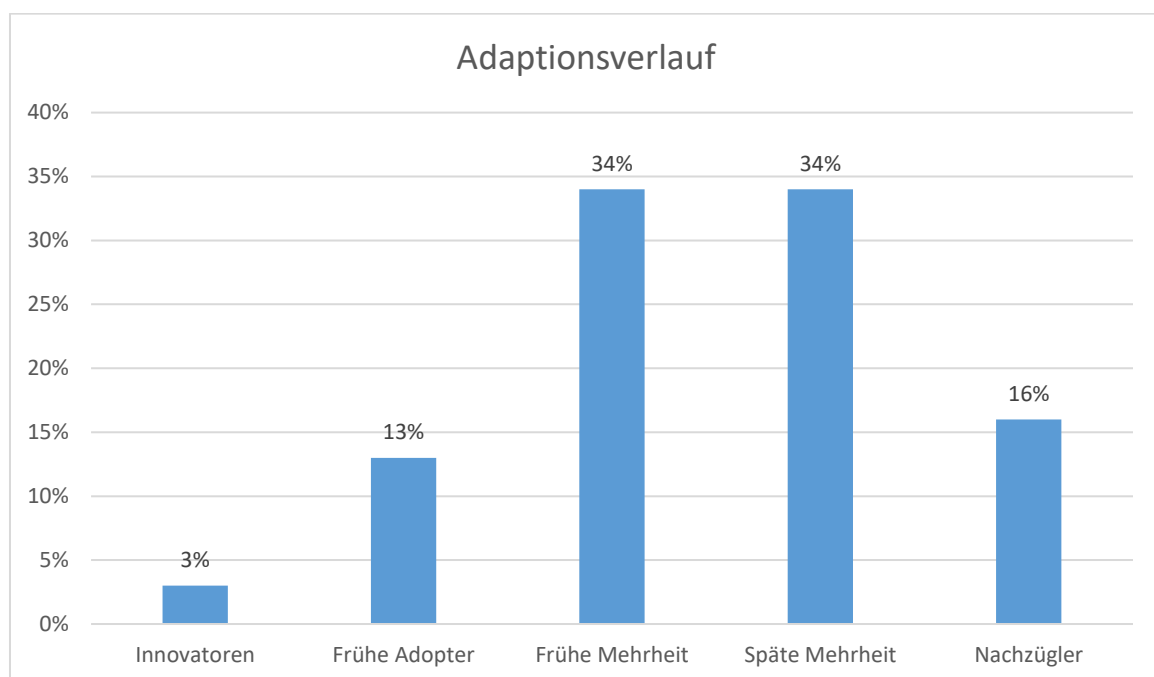


Abbildung 1: Adaptionsverlauf von Innovationen (ROGERS 1995)

Für den Adaptionsverlauf von Innovationen sind Widerstände und Promotoren von Bedeutung. Grundsätzlich muss jede Innovation mit Widerstand unterschiedlicher Form rechnen. So kann es zum einen innerbetrieblichen Widerstand geben, bei dem beispielsweise die Einführung und Umsetzung neuer Prozesse verlangsamt oder sogar verhindert wird. Zum anderen können sich Widerstände auch außerhalb des

Unternehmens bilden, wie beispielsweise marktspezifische Widerstände oder Widerstände durch Behörden oder eine institutionalisierte Umwelt. Die Argumente der Widerständler können, unabhängig davon ob innerbetrieblich oder außerbetrieblich, technischer, ökologischer und ökonomischer Natur sein. Technische Bedenken könnten sich beispielsweise im Hinblick auf den Innovationszeitpunkt oder die Funktionsfähigkeit eines Produktes ergeben. Aus ökologischer Sichtweise könnte die Technikfolgenabschätzung zu Kritik führen und auf ökonomischer Ebene spielen die finanziellen Anforderungen an die Umsetzung einer Innovation eine wichtige Rolle (HAUSSCHLIDT et al. 2016).

Bei den Promotoren, also den Befürwortern einer Innovation, werden Macht-, Fach- und Prozesspromotoren unterschieden. Machtpromotoren haben durch ihre Stellung in der Organisation die Möglichkeit, Neuerungen voranzutreiben, indem sie Ressourcen freigeben, an der Einbindung in die Unternehmung mitwirken und die Opposition überwinden. Die Fachpromotoren beschäftigen sich dagegen mit der eigentlichen Problemlösung und der Realisierung von Innovationsprojekten. Auch die Generierung von Alternativen gehört zum Aufgabenbereich der Fachpromotoren. Schließlich gibt es die Prozesspromotoren, die den Innovationsprozess durch Meilensteinbildung, Konfliktmanagement und Motivation begleiten (HAUSSCHILDT et al. 2016).

2.1 Innovationen in der Landwirtschaft

Innovationen haben auf die Landwirtschaft ebenfalls eine starke Auswirkung. Unter anderem durch einen höheren Technikeinsatz ist in den letzten 46 Jahren die Anzahl der landwirtschaftlichen Betriebe auf ein Viertel zurückgegangen und die durchschnittliche Flächenausstattung pro Betrieb ist entsprechend gestiegen. Allein im Zeitraum von 2000 bis 2016 hat sich die Größe der landwirtschaftlichen Betriebe um durchschnittlich fast 60 % erhöht. Einer der Hauptgründe für diese Entwicklung sind technische Innovationen, die das betriebliche Wachstum ermöglicht haben indem sie die Produktivität der Arbeitskräfte in der Landwirtschaft stark gesteigert haben. Der anhaltende technische Fortschritt führt nicht nur zu wachsenden Betrieben, sondern auch zu einem stark verminderten Arbeitskraftbesatz pro Hektar in der Landwirtschaft (WALTMANN et al. 2019 und BMEL 2018). Im Hinblick auf die Veränderungen in den

letzten Jahren werden also Chancen aber auch Herausforderungen im Zusammenhang mit Innovationen in der Landwirtschaft deutlich.

Innovationen sind entscheidend für die Zukunftsfähigkeit ländlicher Regionen in Bezug auf Beschäftigung, Lebensqualität und Demographie. Durch Innovationen wird ökonomische Stabilität gesichert. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist gerade in Zeiten des Klimawandels Umwelt und Klima. Die Landwirtschaft ist gefordert, Emissionen zu senken und Ressourcen effizient einzusetzen. Auch hier können neue Anpassungsstrategien hilfreich sein, den Anforderungen gerecht zu werden (SCHEELE 2019).

Expertenaussagen zufolge haben neue Techniken bereits heute ein großes Potential, Einsparungen in den Bereichen Betriebsmittel, Arbeitszeit und Kosten zu erreichen. Gleichzeitig kann eine Entlastung des Landwirts in Bezug auf die Bindung an den Produktionsprozess ermöglicht werden. Um diese Potentiale ausschöpfen zu können, müssen jedoch einige Voraussetzungen erfüllt sein. Zum einen ist es notwendig, dass schon im Rahmen der Ausbildung der Fokus verstärkt auf Informations- und Kommunikationstechnik gesetzt wird, damit technologische Neuerungen in der betrieblichen Praxis umgesetzt werden können. Außerdem ist auch eine grundsätzliche Affinität für technologische Systeme seitens der Landwirte erforderlich. Bei einem verstärkten Einsatz von Technologien findet die Leistung des Landwirts vermehrt vom Büro aus statt, sodass eine positive Einstellung gegenüber dieser Form von Arbeit für die Ausnutzung der Potentiale von Nöten ist. (WALTMANN 2019).

Um die zuvor beschriebenen Einsparpotentiale ausnutzen zu können ist ein wichtiger Faktor die Akzeptanz von Innovationen im Bereich der Landwirtschaft. Im Vergleich zu Ländern wie Dänemark, Schweden oder Großbritannien werden moderne Technologien in deutschen Landwirtschaftsbetrieben eher langsam implementiert. Die Literatur nennt hierfür allgemeine Akzeptanzhemmnisse, wie fehlendes IT-Know-How, technische Störanfälligkeit, aber auch wirtschaftliche Bedenken hinsichtlich des Investitionsaufwands und der Wirtschaftlichkeit des Innovationsprojektes (SCHLEICHER et al. 2018).

Auswertungen landwirtschaftlicher Fachzeitschriften zeigen zudem spezifische Akzeptanzhemmnisse, die von Landwirten geäußert werden: Auch hier ist der oftmals hohe Investitionsbedarf ein wichtiger Faktor. Hinzu kommt aber auch die Sorge um

Datenschutz in Bezug auf sensible Betriebsdaten. Und auch die Inkompatibilität zu anderen Systemen wird als Grund genannt, auch den Einsatz moderner Technologien zu verzichten. Die Auswertung zeigt aber auch, dass fehlendes IT-Know-How und eine komplizierte Bedienung nicht oder nur selten als Hemmnisse genannt werden. Die Auswertung kommt zu dem Ergebnis, dass Hersteller gefordert sind, eine verbesserte Kompatibilität herzustellen und die Bedienerfreundlichkeit zu erhöhen. Dies könnte durch eine herstellerübergreifende Zusammenarbeit erreicht werden (SCHLEICHER et al. 2018).

3 Technikbeschreibung

Im Folgenden werden die Funktionsweise sowie die technischen Voraussetzungen für Section Control dargelegt und die Ziele bzw. Vorteile, die mit der Anwendung erreicht werden sollen, erläutert. Weiterführend werden technische Anwendungen aufgezeigt, die die automatische Teilbreitenschaltung unterstützen oder ihre Vorteile verstärken können. Da die Benutzung von Navigationssystemen eine der wesentlichen Voraussetzungen für den Einsatz von Section Control ist, um die Maschine auf der Ackerfläche verorten zu können, werden zu Beginn kurz die Grundlagen Globaler Navigations-Satellitensysteme erläutert.

3.1 Globale Navigations-Satellitensysteme (GNSS)

GNSS-Sensoren stellen die Grundlage für viele verschiedene Assistenzsysteme im Ackerbau dar. Wie oben beschrieben wird für die Automatische Teilbreitenschaltung der genaue Standpunkt der Arbeitsmaschine benötigt. Weitere Funktionen, für die GNSS benötigt werden, wie die Parallelführung oder Aussaat, Düngung und Pflanzenschutzmaßnahmen nach Applikationskarten, sowie die automatische Teilbreitenschaltung, werden nachfolgend beschrieben.

Die GNSS sind ein Verbund aus Satelliten und Bodenstationen, mit dessen Hilfe die Position und die Bewegungsrichtung von stationären sowie mobilen Empfangseinheiten nach dem Prinzip der Laufzeitmessung bestimmt werden können. Es gibt weltweit mehrere GNSS, wie zum Beispiel GPS, GLONASS oder GALILEO. Diese Systeme bestehen aus einer Raumkomponente und einer Bodenkomponente. Die

Raumkomponente setzt sich in der Regel aus Satelliten zusammen. Die Bodenkomponente besteht aus verschiedenen Kontrollstationen. Diese überwachen die Satelliten und korrigieren ggf. ihre Flugbahn. Die aktuellen Bahndaten werden den Empfängern von den Bodenstationen über die Satelliten zur Verfügung gestellt.

Bei der Positionsbestimmung der Arbeitsmaschine über die Laufzeitmessung wird die Position über drei Entfernungsmessungen ermittelt. Von den Satelliten werden deren eindeutige Kennung und ein Zeitstempel an den Empfänger gesendet. Der Empfänger berechnet über die Zeit, die das Signal vom Satelliten zu ihm benötigt hat, die Entfernung zum Satelliten und zusammen mit der Position der Satelliten kann dann die Position der Maschine, bzw. des Navigationssystems abgeleitet werden (DLG 2016).

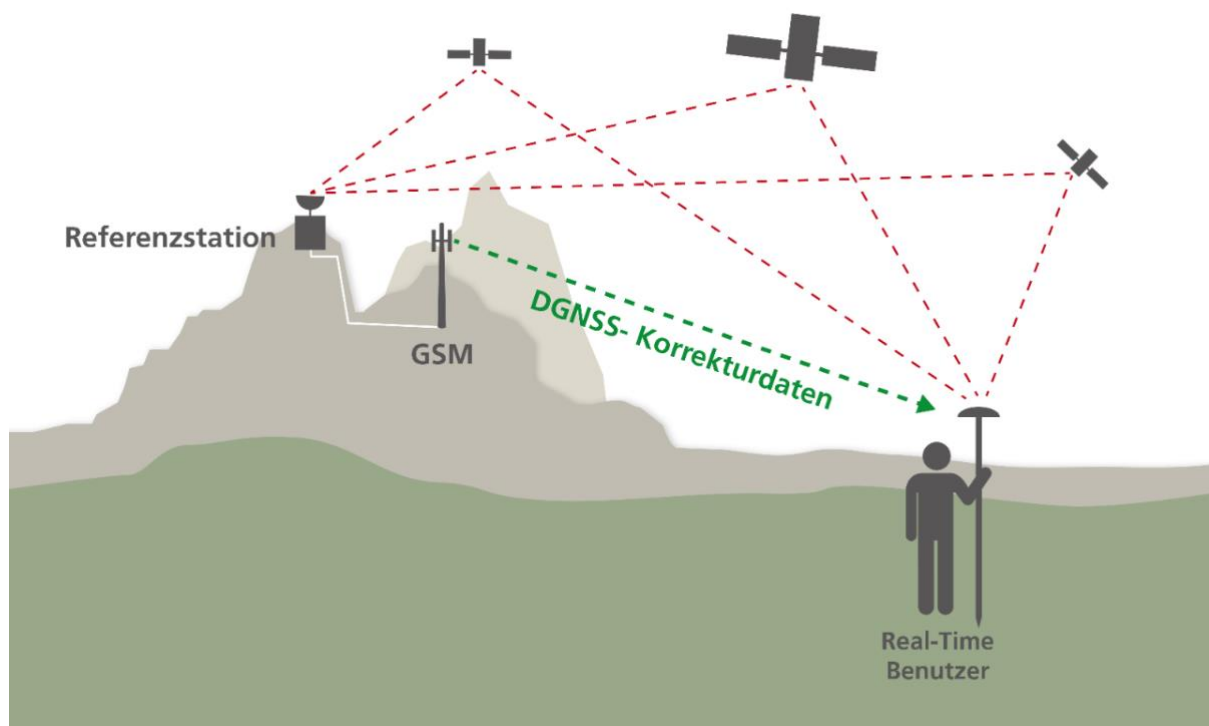


Abbildung 2: Funktionsweise GNSS (SWISSTOPO 2020)

3.1.1 Parallelführung

Am häufigsten werden die GNSS-Sensoren als Lenkassistent zur Parallelführung benutzt. Hierbei können auch kurvige Linien angelegt werden, zu denen das Lenksystem parallele Fahrspuren in Abhängigkeit der Arbeitsbreite berechnet. Bei dem Einsatz der Parallelführung gibt es zwei Varianten: Zum einen ist es möglich, eine Abweichung zu

errechneten Fahrspur anzeigen zu lassen, sodass der Fahrer manuell gegenlenken kann. Zum anderen besteht auch die Möglichkeit, dass das System eigenständig in die Lenkung der Maschine eingreift, um Spurfehler zu verringern. Bei vielen Systemen können die gewünschten Fahrspuren auch vorab angelegt werden.

Durch den Einsatz eines Parallelfahrsystems in Kombination mit Real-Time-Kinematic (RTK)-Genauigkeit sind zudem andere Formen der Bewirtschaftung möglich. Durch zusätzliche Referenzstationen in der näheren Umgebung wird die sogenannte RTK-Genauigkeit erreicht. Diese ist der Genauigkeit der Arbeit mit GNSS noch einmal deutlich überlegen. Bestimmte Bodenbearbeitungsformen wie beispielsweise Strip Till, bei dem der Boden nur streifenförmig bearbeitet wird, sind auf diese Genauigkeit angewiesen, da hier zum Beispiel Bodenbearbeitung und Aussaat an exakt der gleichen Stelle auf der landwirtschaftlichen Fläche stattfinden sollen. Eine weitergehende Bewirtschaftungsmethode stellt das Controlled Traffic Farming (CTF) dar, bei dem über mehrere Jahre dieselben Fahrspuren auf dem Acker benutzt werden. Auch hier ist ein hohes Maß an Präzision von Bedeutung (DLG 2016).

3.1.2 Section Control

Die automatische Teilbreitenschaltung (Section Control) stellt ein Assistenzsystem im landwirtschaftlichen Ackerbau dar, welches eine Unterdosierung mit Dünger, Pflanzenschutzmittel, oder Saatgut durch Bearbeitungslücken bzw. eine Überdosierung durch Überlappungen verhindern soll. Grundvoraussetzung für Section Control ist eine Maschine, dessen Arbeitsbreite in Teilschritten oder sogar stufenlos veränderbar ist, wie z.B. ein Düngerstreuer, eine Pflanzenschutzspritze oder eine Drillmaschine. Bei Schleuderstreuern für Düngemittel lassen sich einzelne Düsen oder Reihen zum Teil nicht abschalten Da alte Modelle in der Regel nur zwei Teilbreiten haben, jeweils eine für die beiden Streuscheiben. Bei den alten Geräten sind die Streuscheiben in der Regel mechanisch angetrieben, sodass die Drehzahl der Scheiben nicht unabhängig voneinander verändert werden kann. Neuere Geräte mit mehreren Teilbreiten bis hin zur stufenlosen Arbeitsbreitenverstellung haben dagegen einen anderen Aufbau. Die Streuscheiben werden hydraulisch angetrieben, damit die Drehzahl der Streuscheiben unabhängig voneinander verändert werden kann und eine verringerte Drehzahl der einen Streuscheibe die Arbeitsbreite der anderen Streuscheibe nicht eingeschränkt.

So können, wie in Abbildung 3 zu sehen, die Arbeitsbreiten an die Flächenkontur angepasst werden und die Überlappungszonen minimiert werden (DLG 2019).

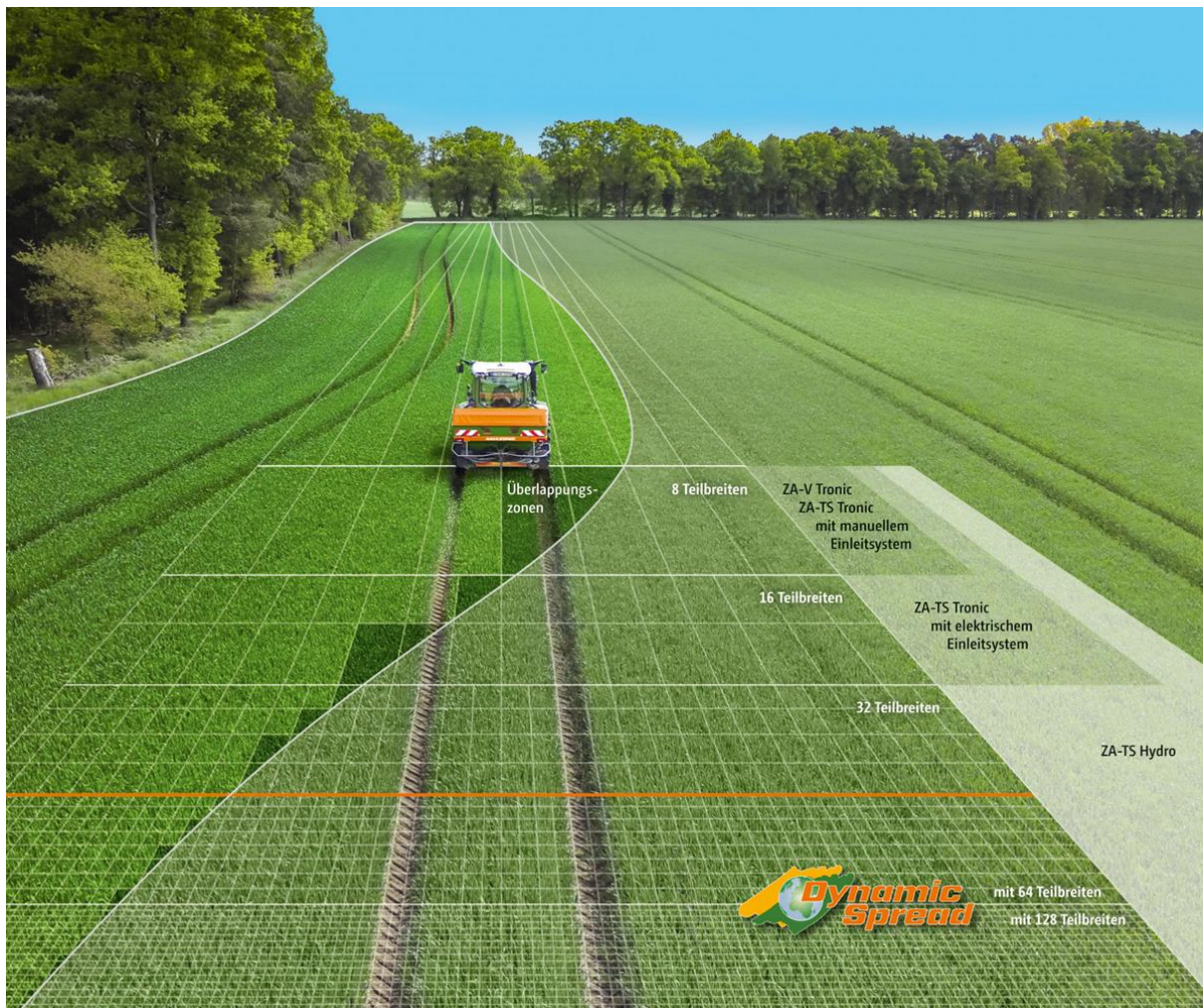


Abbildung 3: Teilbreitenschaltung eines Düngerstreuers (AMAZONE 2020)

Zusätzlich kann der Aufgabepunkt des Düngemittels auf die Streuscheibe verändert werden, sodass die Arbeitsbreite von außen nach innen erhöht wird. Wenn die beschriebenen Funktionen über ein Computerterminal angesteuert werden können, erfüllt das Anbaugerät die Voraussetzungen für die Automatische Teilbreitenschaltung (DLG 2019).

Zusätzlich besteht bei Düngerstreuern die Möglichkeit, neben der Arbeitsbreite die Ausbringungsmenge automatisch zu variieren. Die dadurch entstehende Flexibilität bei der Düngerausbringung ist besonders bei heterogenen Bodenverhältnissen bedeutend, um Ertrag und Qualität des Ernteprodukts zu optimieren. Hierzu werden

Applikationskarten erstellt, die eine teilflächenspezifische Düngung ermöglichen. Diese Applikationskarte muss dann vom Terminal des Traktors oder des Anbaugerätes gelesen werden, welches die Maschine ansteuert (DLG 2016).

3.2 Kontrolle der Ausbringung beim Düngestreuer

Eine Möglichkeit die Einstellung für die geplante Ausbringmenge vorzunehmen, ist die Abdreprobe. Hierfür wird die benötigte Durchflussmenge pro Minute errechnet und anschließend mit einem Auffangbehälter und einer Stoppuhr überprüft. Diese Vorgehensweise ist sehr zeitaufwendig gegenüber der elektronischen Massenstrom-Regelung oder einem Düngestreuer mit Wiegeeinrichtung. Bei wechselnden Düngern und oder Ausbringmengen kann durch Einsatz der alternativen Einstellungsmethoden viel Zeit gespart werden. Hinzu kommt, dass die Abdreprobe nur zu einem Zeitpunkt durchgeführt wird, während die durch die beiden genannten Regelungen die Ausbringmenge während des gesamten Vorgangs überwacht werden kann, was die Genauigkeit erhöht (DLG 2019).

3.2.1 Elektronische Massenstrom-Regelung (EMC)

Damit eine Abdreprobe vor Applikationsstart nicht mehr benötigt wird und bei der Ausbringung eine ständige Überwachung der Streumenge gewährleistet werden kann, ist die Elektronische Massenstrom-Regelung (EMC) geeignet. Durch Einsatz dieser Methode können Veränderungen in den Fließeigenschaften des Düngers vermieden werden. Dazu wird der proportionale Zusammenhang von Ausbringmenge des Düngers und der Kraft, die zum Antrieb der Streuscheiben benötigt wird, benutzt. Bei hydraulischem Antrieb wird die Öldruckdifferenz vor und hinter dem Ölmotor ermittelt, welche wiederum proportional zum Antriebsmoment der Streuscheibe verläuft. Über die hydraulische Variante können so für die linke und die rechte Streuscheibe unterschiedliche Einstellungen genutzt werden. Bei mechanisch angetriebenen Düngestreuern wird das Antriebsmoment über die Verwindung der Antriebswelle errechnet (DLG 2017).

3.2.2 Wiegeeinrichtung

Die Wiegeeinrichtung kann nicht nur zur Kontrolle der Ausbringmenge genutzt werden, sondern auch bei der Beladung die aktuelle Füllmenge anzeigen. Über Gewichtsveränderungen, gemessen von der Wiegeeinrichtung, die zurückgelegte Wegstrecke und die Arbeitsbreite kann die Ausbringmenge bestimmt werden. Ist sie fehlerhaft, werden die Einstellungen des Düngerstreuers angepasst. Da für den Kalibriervorgang immer bestimmte Wegstrecken zurückgelegt werden müssen, um Gewichtsveränderung und Wegstrecke in Verbindung zu setzen, kann es sein, dass auf dem ersten Streckenabschnitt die Ausbringmenge fehlerhaft ist. Um den Fehler auf dem ersten Streckenabschnitt zu korrigieren, müsste zusätzlich eine Abdreprobe durchgeführt werden (DLG 2017).

3.2.3 Radarsensoren

Radarsensoren können Streufächer überwachen, die die Querverteilung verbessern (DLG 2019). Diese werden hinter dem Streuer montiert und erfassen den Dünger kurz nach dem Abflug von der Streuscheibe. Die weitere Flugbahn kann also nun berechnet werden. Da auch die Witterung Einfluss auf den fliegenden Dünger nimmt, kann der Landepunkt nicht genau bestimmt werden. Der Variationskoeffizient wird um ca. ein Drittel verringert, dadurch dass das System bei veränderten Düngereigenschaften oder an Hanglagen den Aufgabepunkt solange verändert, bis der ursprüngliche Streufächer wiedereingestellt ist. Probleme haben die Systeme mit Feuchtigkeit und Verschmutzung, dies ist bei hoher Luftfeuchtigkeit und nassen Beständen zu beachten (TASTOWE 2020).

4 Betriebsvorstellung Hof Langsenkamp

Der Praxisbetrieb Langsenkamp hat seinen Sitz in Belm. Es handelt sich um einen Gemischtbetrieb aus Ackerbau und Schweinemast. Die Erträge aus dem Ackerbau gehen zu 100 % als Futtermittel in die Schweinemast. Die Böden sind sehr heterogen, teilweise sandig, teilweise lehmig und auch steinig. Die Bodenpunkte liegen zwischen 30 und 65. Aufgrund der vielen Hanglagen wird die Grundbodenbearbeitung fast ausschließlich ohne Pflug durchgeführt. Bewirtschaftet werden 60 ha Ackerland, 13 ha

Grünland und 10 ha Forst. Die durchschnittliche Flächengröße beträgt ungefähr 3 ha. Auf dem Ackerland besteht die Fruchtfolge aus Wintergerste (plus Zwischenfrucht), Mais und Weizen. Alternativ zum Weizen werden auch Roggen oder Triticale angebaut. Die langjährigen Ertragserwartungen betragen für Weizen ca. 9 t/ha, für Gerste ca. 9,5 t/ha, für Triticale und Roggen ca. 8 t/ha und für den Körnermais ca. 15 t/ha.

Der Hof Langsenkamp ist in vielen Bereichen nicht eigenmechanisiert. Pflanzenschutz und Gülleausbringung werden von einem Lohnunternehmer durchgeführt. Für die mineralische Düngung steht zudem kein Düngerstreuer auf dem Hof Langsenkamp zur Verfügung. Diese Arbeit wird im Verlauf des Versuchsgeschehens des Experimentierfeldes AgroNordwest in Kooperation mit einem Partner-Landwirt aus der Umgebung mit entsprechender Technik durchgeführt. Das eingesetzte Gespann besteht aus einem Fendt Vario 722 Profi + und einem Amazone ZA-TS 4200 Düngerstreuer. Die Steuerung des Düngerstreuers übernimmt ein Müller Elektronik Terminal, welches die automatische Teilbreitenschaltung ansteuert. Da bei der Durchführung des Versuchs bei beiden ausgebrachten Düngergaben auf allen Flächen mit Section Control gedüngt wurde, können anhand der Versuchsergebnisse keine Unterschiede zwischen der Düngung mit und ohne Section Control ermittelt werden. Die fehlende Datenbasis macht eine Modellrechnung notwendig. Der Berechnung liegen die Ergebnisse eines Versuch der Zeitschrift profi in Kooperation mit der Deula Nienburg zu Grunde, sowie die Versuche der Firma Amazone zum Thema Section Control.

5 Theoretische Grundlagen der angewandten Methoden

Für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Section Control kommen in dieser Arbeit verschiedene Methoden zum Einsatz, die in den nachfolgenden Kapiteln kurz erläutert werden. Zunächst wird die Vorgehensweise der Betriebszweigauswertung dargelegt, die dazu dient, die Rentabilität der eingesetzten Produktionsverfahren zu bewerten. Anschließend erfolgt noch eine kurze Erläuterung zu den Methoden der Investitionsrechnung sowie zur stochastischen Szenarioanalyse (Monte-Carlo Simulation) mithilfe derer die Wirtschaftlichkeitsberechnung durchgeführt wird.

5.1 Betriebszweigauswertung

Mithilfe einer Betriebszweigauswertung (BZA) zielen Unternehmen auf die Ermittlung erfolgreicher Produktionsverfahren sowie die Bestimmung von Mindestpreisen für weniger erfolgreiche Produktionsverfahren ab. Der betriebswirtschaftliche Jahresabschluss lässt als eine gesamtbetriebliche Auswertung keine oder nur sehr ungenaue Aussagen über die Wirtschaftlichkeit einzelner Produktionsverfahren zu. Daher sind für eine genauere Betrachtung zusätzlich andere Instrumente nötig (MUßHOFF und HIRSCHAUER 2016). Datengrundlage für die BZA sind die BMELV-Jahresabschlüsse, sowie weitere ergänzende Daten aus der Ackerschlagkartei, aus Rechnungen und aus den Dokumentationen über Schlepperstunden. Auf diese Weise können aus der BZA weitere wichtige Erkenntnisse gewonnen, die über die Ergebnisse einer Jahresabschlussanalyse hinausgehen. Dies kann in Verhandlungen mit Kreditinstituten von Vorteil sein, aber auch der Stückkostenplanung oder der Bestimmung von Stückgewinnen auf Basis von Vollkosten dienen (DLG 2011).

Die BZA ist eine Leistungs- und Kostenrechnung bei der durch die Gegenüberstellung von Kosten und Leistungen die Wirtschaftlichkeit eines Betriebes beurteilt werden kann. (MUßHOFF und HIRSCHAUER 2016). Da bei der BZA die in der Vergangenheit bereits angewendeten Produktionsverfahren auf ihre Wirtschaftlichkeit hin überprüft werden, handelt es sich hierbei um eine Nachkalkulation oder um eine Ist-Kostenrechnung. Diese ist klar von den in Zukunft gerichteten Planungskostenrechnungen abzugrenzen (MUSS 1984). Oftmals werden BZA als Teilkostenrechnungen angelegt und haben als Ergebnis die direktkostenfreien Leistungen. Allerdings gewinnen die Vollkostenrechnungen in diesem Bereich immer mehr an Bedeutung (DLG 2011), weil dort die zusätzlichen Faktorenkosten erfasst werden. Aus diesem Grund wird auch im Rahmen dieser Arbeit eine BZA in Form einer Vollkostenrechnung durchgeführt, in der kalkulatorische Kosten, Gemeinkosten und Direktkosten den Betriebszweigen zugewiesen werden. Die Betriebszweigauswertung beginnt also mit der Zuordnung der direkten Kosten auf die entsprechenden Betriebszweige. Aus der Differenz der Leistung und der direkten Kosten ergibt sich die direktkostenfreie Leistung (DABBERT und BRAUN 2012).

Die Aufteilung der Direktkosten erfolgt nach dem Verursacherprinzip, das heißt, dass den Betriebszweigen die tatsächlich entstandenen Kosten zugewiesen werden. Ein weiteres Prinzip, das zur Anwendung kommen kann, ist das Durchschnittsprinzip, bei dem die Kosten einer Bestimmungsgröße zugewiesen werden. Die Gemeinkosten werden zum Beispiel pro Hektar oder pro Betriebsstunde verteilt (MUßHOFF und HIRSCHAUER 2016). Nachdem die Direktkosten, die Gemeinkosten und die kalkulatorischen Kosten entsprechend der Betriebszweige aufgeteilt sind, kann durch die BZA ein kalkulatorisches Betriebszweigergebnis ermittelt werden (DABBERT und BRAUN 2012).

Da die Informationsgrundlage für die BZA des Betriebs Langsenkamp nur aus dem Jahresabschluss 2018/2019 besteht ist es hier nicht möglich aussagekräftige Unterscheidungen zwischen den einzelnen Feldfrüchten zu treffen. Aus diesem Grund wird nur eine übergeordnete BZA für den gesamten Ackerbau des Betriebs Langsenkamp erstellt. Außerdem werden nach Aussage von Frederik Langsenkamp alle Feldfrüchte ähnlich intensiv betreut, sodass näherungsweise eine Unterscheidung zwischen den Feldfrüchten vorgenommen werden kann, indem mit den in der BZA ermittelten Durchschnittskosten des Betriebs Langsenkamp und den Verkaufserlösen gerechnet wird. Die Verkaufserlöse basieren auf den von Frederik Langsenkamp angegebenen Ernteerträgen und Preisen der LBD Damme.

5.2 Monte-Carlo-Simulation (@RISK)

Um zu ermitteln, mit welcher Wahrscheinlichkeit bestimmte Sachverhalte, bzw. Chancen und Risiken eintreten, wird in der Betriebswirtschaft die stochastische Szenarioanalyse bzw. eine Monte-Carlo-Simulation eingesetzt (BOHMFALK 2016). Zum Einsatz kommt diese Methode insbesondere bei Fragestellungen, die aufgrund der Vielzahl an Einflussfaktoren sowie deren Ausprägungen nicht mehr genau analysiert werden können (ROMEIKE 2017).

Die Basis der Simulation sind Zufallsexperimente (ROMEIKE 2017). Indem für alle Parameter, die einen Einfluss auf die Zielgröße haben, Zufallszahlen ermittelt werden, werden verschiedene Szenarien durchgespielt. Dieses Verfahren wird so häufig wiederholt, dass eine repräsentative Stichprobe entsteht (BOHMFALK 2016). Aus dieser

repräsentativen Stichprobe wird nun eine Wahrscheinlichkeitsverteilung erstellt, die für weitere Analysen genutzt werden kann (ROMEIKE 2017).

Als Software für die Monte-Carlo-Simulation wird in der vorliegenden Arbeit @RISK vom international tätigen Hersteller für Analysesoftware Palisade eingesetzt. Dieses Programm agiert auf Excel Basis und funktioniert nach Programmstart ähnlich wie ein Add-On in Excel (PALISADE 2018).



Abbildung 4: Menüleiste der Excelanwendung @RISK zeigt die Menüleiste von @RISK mit den wichtigsten Funktionen.



Abbildung 4: Menüleiste der Excelanwendung @RISK

Für die Ermittlung der Wahrscheinlichkeitsverteilung wird im ersten Schritt festgelegt, welche Parameter das Ergebnis beeinflussen. Abbildung 5 zeigt eine Auswahl häufig genutzter Verteilungsfunktionen.



Binomial - Discrete, Bounded Distribution

Used to model the number of successes in a sequence of independent trials. Often used in quality control, reliability and survey sampling.



Normal - Continuous, Unbounded Distribution

The classic "bell curve" distribution that pervades statistical analysis. Its importance is a consequence of the central limit theorem.



Pert - Continuous, Bounded Distribution

Used to model variables bounded on both sides. Often used in project management and cost analysis.



Triang - Continuous, Bounded Distribution

Used for rough three-point estimation and modeling expert opinion. Often used in project management and cost analysis.



Uniform - Continuous, Bounded Distribution

A bounded, continuous variable where all outcomes have the same probability. Typically used for rough-estimation.

Abbildung 5: Ausgewählte Verteilungsfunktionen in @RISK

Bei der Dreiecks- oder der Pert-Verteilung, die auch im weiteren Verlauf dieser Arbeit relevant sind, werden dann im zweiten Schritt entsprechende Verteilungen angegeben. Es wird jeweils ein Mittelwert ein Mindestwert und ein Maximalwert eingetragen. Für den Fall, dass sich zwei Parameter gegenseitig beeinflussen, kann in @RISK eine Korrelation zwischen Diesen definiert werden. Der Wert 0 beschreibt hier keine Korrelation, der Wert 1 beschreibt eine vollkommene Korrelation, bei -1 liegt eine negative, vollkommene Korrelation vor. Bevor eine Simulation durchgeführt werden kann, muss eine Output-Zelle definiert werden, in der das aggregierte Ergebnis der einzelnen Simulationen dargestellt wird.

5.3 Investitionsrechnung

Um die Wirtschaftlichkeit einer Kapitalanlage bzw. einer Investition zu beurteilen und mit Alternativen vergleichen zu können, werden im Rahmen der Investitionsrechnung zukünftige, investitionsbedingte Zahlungsströme untersucht. Anhand verschiedener

Kennzahlen können dann Aussagen über die Vorteilhaftigkeit der Investition getroffen werden (HIRSCHAUER und MUßHOFF 2016).

Eine erste wichtige Kennzahl ist der Kapitalwert, mit dem sich berechnen lässt, welchen Wert die Summe der Einzahlungsüberschüsse aus einer Investition zum gegenwärtigen Zeitpunkt besitzt. In Form eines absoluten Wertes kann ermittelt werden, wie viel Gewinn durch das eingesetzte Kapital erwirtschaftet wird. Dazu werden die Einzahlungsüberschüsse (eu) diskontiert, das heißt, die Zinsauswirkungen zum Zinssatz q werden miteingerechnet. Nach HIRSCHAUER und MUßHOFF (2016) wird der Kapitalwert wie folgt berechnet:

Kapitalwert

$$\begin{aligned} &= eu(0) * q^{-0} + eu(1) * q^{-1} + eu(2) * q^{-2} + [...] + eu(n) * q^{-n} \\ &= \sum_{t=0}^N eu(t) * q^{-t} \end{aligned}$$

Ist der Kapitalwert größer Null, so ist das Investitionsvorhaben unter den angenommenen Voraussetzungen als rentabel anzusehen (HIRSCHAUER und MUßHOFF 2016).

Der Interne Zinsfuß gibt die Rentabilität einer Investition an. Diese Kennzahl stellt dar, unter welchem Kalkulationszinssatz der Kapitalwert gleich Null wäre, also zu welchem Zinssatz sich das gebundene Kapital verzinst. Er ist somit der kritische Kalkulationszinssfuß. Übersteigt der tatsächliche Kalkulationszinssfuß diesen Wert, ist die Investition unrentabel (HIRSCHAUER und MUßHOFF 2016).

Über das Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel lässt sich der Zinssatz sehr genau berechnen. Hierzu werden die jährlichen Einzahlungsüberschüsse in der IKV-Formel angegeben.

Eine letzte Kennzahl im Rahmen der Investitionsrechnung ist die Annuität. Unter einer Annuität wird ein gleichbleibend hoher, regelmäßig wiederkehrender Zahlungsstrom verstanden. Der Kapitalwert, welcher einer einmaligen gegenwärtigen Zahlung entspricht, kann auch in Form einer Annuität ausgedrückt werden. Unter Berücksichtigung der Zinsen kann ermittelt werden, welche jährlich gleichbleibenden Zahlungen über die

Dauer der Investition erwartet werden können. Folgende Formel ist für die Berechnung der Annuität zu verwenden (HIRSCHAUER und MUßHOFF 2016):

$$\text{Annuität} = \text{Kapitalwert} * \text{Wiedergewinnungsfaktor (Zinssatz, Laufzeit)}$$

Der Wiedergewinnungsfaktor richtet sich nach dem verwendeten Zinssatz sowie der Laufzeit. Bei einem Zinssatz von 2 % und einer Laufzeit von 10 Jahren liegt dieser Faktor bei 0,1113 (HIRSCHAUER und MUßHOFF 2016).

6 BZA Ackerbau Langsenkamp

Die Leistungen des Ackerbaus im Betrieb Langsenkamp bestehen aus zwei Positionen: Den Erlösen aus der innerbetrieblichen Verrechnung und den gekoppelten Direktzahlungen von 22.574,22 €. Die Aufteilung des Verrechnungsbetrages auf die einzelnen Feldfrüchte sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Berechnung innerbetrieblicher Leistungen

	Anbaufläche (ha)	Ertrag (t/ha)	Erlös (€/t)	Gesamterlös
Winterweizen	13,88	9,00	193,73 €	24.200,13 €
Wintergerste	15,84	9,50	182,66 €	27.485,92 €
Winterroggen	2,44	8,00	171,59 €	3.349,34 €
Wintertriticale	3,01	8,00	182,66 €	4.398,33 €
Körnermais	21,87	15,00	202,03 €	66.275,12 €
Summe	57,04			125.708,84 €

Die Direktkosten bestehen aus den Kategorien Saatgut, Düngemittel, Spezialberatung, sonstigen Direktkosten sowie dem Zinsansatz für das Feldinventar. Die einzelnen Beträge sowie deren Anteil pro Hektar sind Tabelle 2 zu ersichtlich.

Tabelle 2: Direktkosten im Ackerbau des Betriebs Langsenkamp

Leistungsart / Kostenart	Ertrag / Aufwand bereinigt	kalkulatorische Faktorkosten	Summe	Summe je Bezugsgröße
Direktkosten				
Saatgut, Pflanzgut (Zukauf, eigen)	11.586,03		11.586,03	203,12
Düngemittel (Mineral-, Wirtschaftsdünger)	8.533,09		8.533,09	149,60
Pflanzenschutzmittel			0,00	0,00
Trocknung, Lagerung, Vermarktung			0,00	0,00
Heizmaterial, Strom, Wasser (incl. Beregnung)			0,00	0,00
Spezialberatung, Hagelversicherung	49,50		49,50	0,87
Sonstige Direktkosten	1.444,99		1.444,99	25,33
Zinsansatz Feldinventar		2.262,76	2.262,76	39,67
Summe Direktkosten	21.613,61	2.262,76	23.876,37	418,59
Direktkostenfreie Leistung	XXXXXXXX	XXXXXXXX	124.406,70	2.181,04

Die Direktkosten fallen mit 418,59 €/ha relativ gering aus, da viele Arbeiten im Ackerbau von einem Lohnunternehmer durchgeführt werden, der unter anderem auch die Pflanzenschutzmittel mitbringt und dieser Kostenblock somit vollständig auf die Arbeiterledigungskosten entfällt. Dementsprechend fallen die Arbeiterledigungskosten mit 1.450,90 €/ha relativ hoch aus. Die einzelnen Positionen und Beträge können Tabelle 3 entnommen werden.

Tabelle 3: Arbeiterledigungskosten im Ackerbau des Betriebs Langsenkamp

Leistungsart / Kostenart	Ertrag / Aufwand bereinigt	kalkulatorische Faktorkosten	Summe	Summe je Bezugsgröße
	EUR	EUR	EUR	EUR/ha
Arbeiterledigungskosten				
Personalaufwand (fremd)			0,00	0,00
Lohnansatz		5.400,00	5.400,00	94,67
Berufsgenossenschaft	641,25		641,25	11,24
Lohnarbeit/ Maschinenmiete (Saldo)	51.049,49		51.049,49	894,98
Leasing			0,00	0,00
Abschreibung Maschinen	6.836,23		6.836,23	119,85
Maschinenunterhaltung, KfZ-Steuer (nicht PKW)	4.581,00		4.581,00	80,31
Treibstoffe, Schmierstoffe, Agrardieselerstattung	10.941,99		10.941,99	191,83
Maschinenversicherung			0,00	0,00
Unterhaltung, AfA, Steuer, Versicherungen Betriebs-	672,00		672,00	11,78
Zinsansatz Maschinenkapital		2.637,51	2.637,51	46,24
Summe Arbeiterledigungskosten	74.721,96	8.037,51	82.759,47	1.450,90
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung		XXXXXXXX	41.647,23	730,14

Die Verschiebung zwischen Direktkosten und Arbeiterledigungskosten gleicht sich in der Betrachtung der Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung wieder aus.

Rechtekosten gibt es in dieser BZA keine, Gebäudekosten, Flächenkosten und allgemeine Kosten werden in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Gebäude-/ Flächen-/ Allgemeine Kosten des Ackerbaus im Betrieb Langsenkamp

Leistungsart / Kostenart	Ertrag / Aufwand bereinigt	kalkulatorische Faktorkosten	Summe	Summe je Bezugsgröße
	EUR	EUR	EUR	EUR/ha
Gebäudekosten				
Abschreibung	658,00		658,00	11,54
Pacht, Miete			0,00	0,00
Unterhaltung	53,00		53,00	0,93
Versicherung	891,00		891,00	15,62
Zinsansatz Gebäudekapital		229,89	229,89	4,03
Summe Gebäudekosten	1.602,00	229,89	1.831,89	32,12
Flächenkosten				
Pacht	14.755,00		14.755,00	258,68
Grundsteuer	473,00		473,00	8,29
Flurbereinigung, Wasserlasten	287,00		287,00	5,03
Drainage, Bodenverbesserungen, Wege			0,00	0,00
Pachtansatz		22.321,00	22.321,00	391,32
Summe Flächenkosten	15.515,00	22.321,00	37.836,00	663,32
Allgemeine Kosten				
Beiträge und Gebühren	239,00		239,00	4,19
Sonstige Versicherungen	53,00		53,00	0,93
Buchführung und Beratung	808,00		808,00	14,17
Büro und Verwaltung	125,00		125,00	2,19
Sonstiges	127,00		127,00	2,23
Summe Allgemeine Kosten	1.352,00	0,00	1.352,00	23,70
Summe Kosten	114.804,57	32.851,16	147.655,73	2.588,63
kalkulatorisches Betriebsergebnis		XXXXXXXXXX	627,34	11,00

Nach Abzug sämtlicher Kosten bleibt für den Ackerbau im Betrieb Langsenkamp ein kalkulatorisches Betriebsergebnis von 627 € bzw. 11 €/ha. Der Ackerbau war somit zu Marktpreisen im Erntejahr 2019 rentabel. Die Durchschnittskosten pro Hektar belaufen sich auf 2.588,63 € (siehe Tabelle 4).

Tabelle 5: Ergebnis der BZA nach Kulturen

	Anbaufläche	Erlös/ha	BZA Ergebnis/ha
Winterweizen	13,88	1.743,53 €	- 449,35 €
Wintergerste	15,84	1.735,22 €	- 457,65 €
Winterroggen	2,44	1.372,68 €	- 820,19 €
Wintertriticale	3,01	1.461,24 €	- 731,63 €
Körnermais	21,87	3.030,41 €	837,54 €
Summe	57,04	2.203,87 €	

Bei Gegenüberstellung mit den rechnerischen Markterlösen (inklusive der Direktzahlungen) ergibt sich hier, außer bei Körnermais, jeweils ein negatives Ergebnis (siehe

Tabelle 5). Nach Körnermais bringen Weizen und Wintergerste ein besseres Ergebnis als Triticale und Roggen. Auf Grundlage der Ergebnisse aus der BZW werden im folgenden Kapitel mögliche Mehrerlöse ermittelt, die durch den Einsatz von Section Control erreicht werden können. Dazu wird im ersten Schritt eine Investitionsrechnung durchgeführt und ein BZA Ergebnis unter veränderten Grundvoraussetzungen simuliert.

7 Modellrechnung und Investitionsplanung

Um den Ackerbau auf dem Betrieb Langsenkamp zukünftig modern und an gesetzlichen und gesellschaftlichen Anforderungen ausgerichtet aufzustellen, ist der alte Düngestreuer nicht mehr groß genug und entspricht nicht dem nötigen Stand der Technik. Deshalb wird überlegt einen neuen Düngestreuer mit Section Control anzuschaffen. Da ohnehin ein neuer Düngestreuer angeschafft werden müsste, werden in der folgenden Investitionsrechnung nur die Mehrkosten für Section Control sowie die dafür benötigte GPS Ausrüstung betrachtet.

Die monetären Einflüsse die sich dem Betrieb Langsenkamp durch die Nutzung von Section Control bei der Applikation von Mineraldünger ergeben werden im Folgenden anhand einer Modellrechnung aufgezeigt. Die Modellrechnung basiert auf der BZA zum Ackerbau (Erntejahr 2019) und berechnet Anhand einer Monte-Carlo-Simulation verschiedene Möglichkeiten der Ausprägung der Vorzüglichkeit des Einsatzes von Section Control. Abschließend wird noch das kritische Einsparpotential bzw. ein mindestens notwendiger durchschnittlicher Mehrertrag für eine lohnenswerte Investition in Section Control berechnet.

7.1 Monte-Carlo-Simulation (@RISK)

In der ackerbaulichen BZA wurden die durchschnittlichen Produktionskosten für Getreide im Betrieb Langsenkamp ermittelt. Im zu Grunde liegenden Erntejahr wurde das Getreide mit dem älteren Düngestreuer des Betriebs Langsenkamp ohne Section Control gedüngt. Auf Grundlage dieser Daten soll eine mögliche Auswirkung von Section Control auf die ackerbauliche Produktion mit dem Programm @RISK simuliert werden.

Von den durchschnittlichen Produktionskosten wurde der Düngeraufwand und die Arbeitserledigungskosten für die Applikation abgezogen um diese für die weitere Berechnung als Einzelwerte vorliegen zu haben. Laut Frederik Langsenkamp wird sein Getreide in der Regel drei Mal gedüngt. Die Startgabe erfolgt mit Schweinegülle, die beiden übrigen Gaben werden mineralisch mit dem Düngerstreuer appliziert, deshalb wird im Modell mit zwei Überfahrten gerechnet. Wegen der automatischen Schaltvorgänge am Düngerstreuer wird von einer erhöhten Arbeitsproduktivität ausgegangen. Die Flächenleistung würde so von zehn auf elf Hektar pro Stunde steigen. Dadurch sinken die Arbeitserledigungskosten pro Hektar um 59 ct was zu einer Einsparung auf dem Betrieb Langsenkamp von 41,56 € pro Jahr führt.

Nach Aussage von KIELHORN (2020) kann mit einer Düngereinsparung durch Section Control von zwei bis fünf Prozent gerechnet werden. Die Düngereinsparung entsteht durch genaueres Ein- und Ausschalten und somit durch vermiedene Überlappungen beim Düngerstreuen (PROFI 2014). Für diese Düngereinsparung wurde eine Pert-Verteilung mit der genannten maximalen und minimalen Einsparung (2 bis 5 %) als Grenzen definiert, wie in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt.

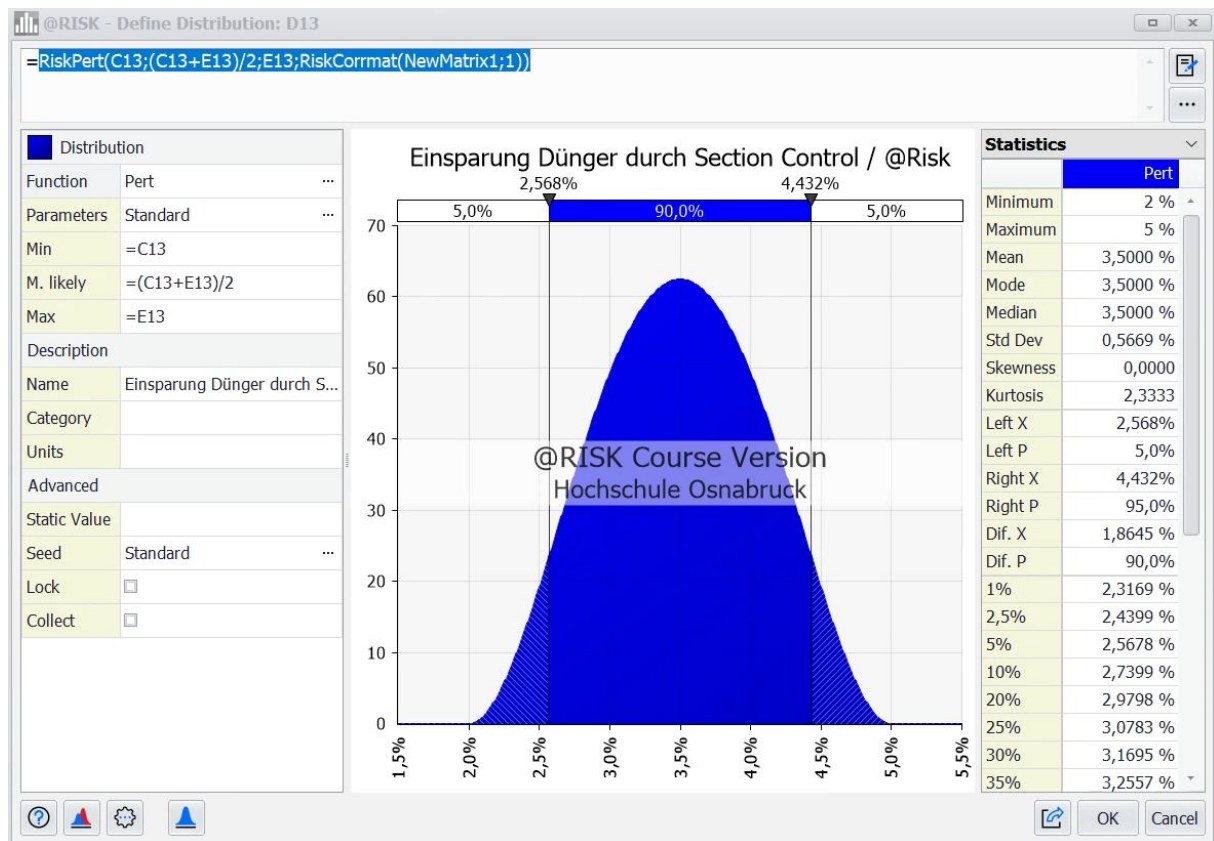


Abbildung 6: Definition einer Pert-Verteilung in @RISK

Nach LUIB und SCHOTT (1992) hängt Stängellager unter anderem mit zu schweren Ähren und sehr hoch gewachsenen Pflanzen zusammen. Die Getreidepflanzen knicken aufgrund der hohen Gewichtsbelastung durch die Ähren am Stängel ab. Partielle Überdüngung kommt häufig an Vorgewenden und noch stärker in keiligen Flächen vor (PROFI 2015). Durch aufgeteilte Düngegaben wird dieser Effekt zusätzlich verstärkt und führt im Verlauf der Vegetation häufig dazu, dass das Getreide ins Lager fällt. Hier sind dann Kornertragseinbußen von 17 bis 40 Prozent zu erwarten, sowie erhöhte Trocknungskosten von 20 bis 30 Prozent und ein geringerer Strohertrag von 21 bis 25 Prozent (LUIB und SCHOTT 1992). Die Trocknungskosten sind bei der Betrachtung des Betriebs Langsenkamp zu vernachlässigen, da hier einfach länger gewartet wird bis das Getreide einen lagerfähigen Feuchtegehalt hat. Der Strohertrag fällt auch nicht so schwer ins Gewicht, da das Stroh zum Großteil als Dünger auf dem Feld verbleibt. Der Kornertrag steht bei dieser Betrachtung im Vordergrund, deshalb wurde für den Minderertrag durch das Stängellager eine Pert-Verteilung definiert mit der minimalen und der maximalen Ausprägung nach LUIB und SCHOTT (1992). Wie gerade

beschrieben, stehen die Überlappung beim Düngen und ein Minderertrag durch Lagergetreide mit einander in Verbindung. Deshalb wurde eine Korrelation zwischen vermiedener Überlappung durch Section Control und dem durch Lagergetreide verursachten Minderertrag definiert. Die Korrelation wurde mit 0,5 definiert (siehe Abbildung 6), da das Risiko für Lagergetreide und die Ausprägung von weiteren Einflussgrößen, wie Krankheiten, der Sorte und der Witterung abhängt.

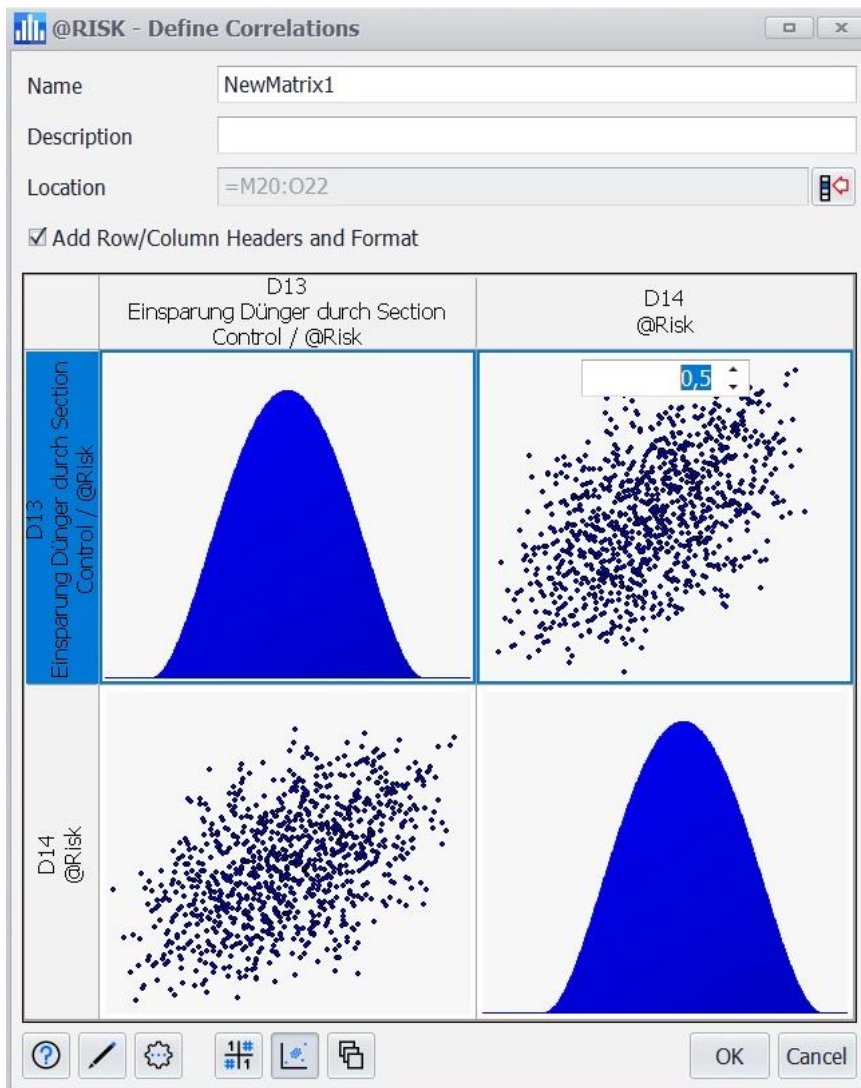


Abbildung 7: Definition einer Korrelation in @RISK

Über die definierten Verteilungen wird in @RISK unter der Annahmen von KIELHORN (2020) der Mehrertrag im Getreide berechnet sowie der zusätzlich eingesparte Dünger.

Tabelle 6: Vorteil von Section Control in einzelnen Kulturen

	Ertrag (t/ha)	BZA Ergebnis/ha	Vorteil/ha
Winterweizen	9,09	- 425,54 €	23,81 €
Wintergerste	9,59	- 433,92 €	23,73 €
Winterroggen	8,08	- 800,08 €	20,11 €
Wintertriticale	8,08	- 710,64 €	20,99 €
Körnermais	15,00	837,54 €	- €
Summe			

Tabelle 6 sind die erhöhten Erträge durch Section Control zu entnehmen, genauso wie der monetäre Vorteil pro Hektar je Kultur. Im Durchschnitt der 10.000 Simulationen wird ein Mehrertrag von 80 bis 90 kg/ha erwartet, dieser Mehrertrag würde zu Mehrerlösen von 592,85 € im Betrieb Langsenkamp führen. Für den Düngerauwand wird im Durchschnitt der Simulationen ein Rückgang von 5,24 €/ha auf 144,36 €/ha erwartet. Der Gesamtvorteil durch Section Control entsteht durch die geringeren Arbeitserledigungskosten, den Mehrerlös durch höhere Erträge und den eingesparten Dünger. Auf Grundlage der @RISK Simulation wird für den Betrieb Langsenkamp so ein durchschnittlicher Vorteil von 811,33 € pro Jahr erwartet. Das ergibt einen Vorteil je nach Kultur von 20,11 € bis 23,81 €/ha. Minimal liegt der Vorteil bei 489,19 € und maximal bei 1.241,60 €, wie **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** entnommen werden kann.

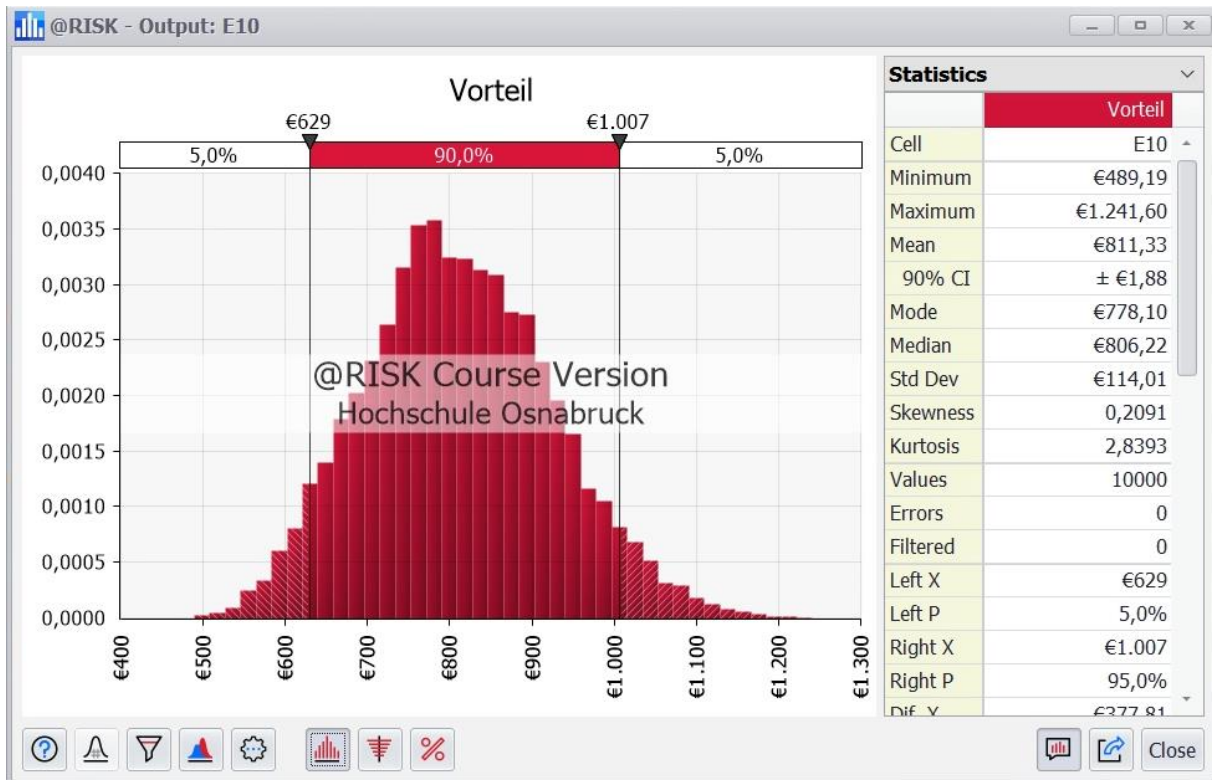


Abbildung 8: Ergebnisgrafik der @RISK Simulation zur Vorteilhaftigkeit von Section Control

7.2 Investitionsrechnung

Die Kosten für Section Control an einem neuen Amazone Düngerstreuer liegen laut KIELHORN (2020) bei etwa 2.425 €. Laut Abschreibungstabellen werden Maschinen auf zehn Jahre abgeschrieben, dementsprechend werden bei der Berechnung der Rentabilität ebenfalls zehn Jahre angesetzt. Die Kosten für Wartung und Reparaturen werden nach Schätzung mit 100 € pro Jahr angesetzt. Der zu Grunde gelegte Zinssatz beträgt drei Prozent und der Wiederanlagezins einen Prozent. Nach der Modellrechnung aus Kapitel 7.1 sind im Durchschnitt jährliche Einzahlungen von 811,33 € zu erwarten.

Tabelle 7: Rentabilitätskennziffern einer Investition in Section Control

Rentabilitätskennziffern:	
Kapitalwert	3.643 €
Interner Zinfuß	26,55%
Korrigierter interner Zinsfuß	11,87%
Annuität	427 €

In Tabelle 7 sind die Ergebnisse der Rentabilitätsberechnung zusammengefasst. Es ergibt sich ein Kapitalwert von 3.643 €. Da der Kapitalwert größer als null ist, ist die Investition in Section Control rentabel. Der interne Zinsfuß liegt bei 26,55 % und damit über null, wie auch der korrigierte interne Zinsfuß mit 11,87 %. Somit ist die Investition in Section Control bei dem heutigen sehr niedrigen Zinsniveau als rentabel anzusehen. Die Annuität mit 427 € zeigt außerdem, dass diese Investition einen jährlichen Überschuss von 427 € erwirtschaftet.

Mit Hilfe der Funktion „Solver()“ wurde abschließend der jährliche Überschuss ermittelt den die Investition erwirtschaften muss, um unter den gegebenen Annahmen keinen Verlust zu generieren. Der Solver verringert die jährlichen Einzahlungen so weit, bis der Kapitalwert gleich null ist. Bei einer jährlichen Einzahlung von 384,28 € ist der Kapitalwert gleich null. Also muss die Investition jährlich mindestens einen Vorteil von 384,28 € erwirtschaften um rentabel zu sein.

8 Diskussion

Ziel dieser Ausarbeitung ist es, die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes moderner Technologien in der Landwirtschaft am Beispiel von Section Control zur Ausbringung von Mineraldünger zu bewerten. Auf diese Weise soll gezeigt werden, inwiefern diese Technologien dazu dienen können, den gesellschaftlichen Anforderungen an die moderne Landwirtschaft gerecht zu werden.

Im Rahmen der Problemstellung wird bereits erläutert, unter welchem gesellschaftlichen und politischen Druck Landwirte heute bei der Bearbeitung ihrer Flächen stehen. So sind landwirtschaftliche Betriebe spätestens seit 2020 durch die neue Düngeverordnung gezwungen weniger Düngemittel auf ihren Flächen zu applizieren und Düngemittel effizienter einzusetzen

Die Ergebnisse des Versuchs und die darauf aufbauende Wirtschaftlichkeitsanalyse zeigen, dass mithilfe von Section Control eine Düngerausbringung mit deutlich weniger Überlappungen möglich ist. Dies führt im zweiten Schritt dazu, dass begründet durch die Einsparung von Düngemittel aber auch durch die Erzielung besserer Erträge aufgrund von weniger Lagergetreide, eine erhöhte Wirtschaftlichkeit gegeben ist.

Die Ergebnisse sind jedoch im Hinblick auf verschiedene Punkte kritisch zu betrachten. Ein erster Punkt, der zu berücksichtigen ist, ist die Tatsache, dass der Arbeit die Annahme zugrunde liegt, dass der Betrieb Langsenkamp einen neuen Düngerstreuer anschafft, der für die Arbeit mit Section Control geeignet ist. Die Investition in eine neue Maschine wird in dieser Arbeit nicht berücksichtigt, hat aber auch in gewisser Weise Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit. Ein neuer Mittelklasse-Düngerstreuer von Amazone kostet laut KIELHORN (2020) zusätzlich zur Ausstattung mit Section Control noch ca. 18.500 €. Für Düngerstreuer von Mitbewerbern im gleichen Segment würden ähnliche Preise veranschlagt werden. Die Investition in den Düngerstreuer übersteigt die in dieser Arbeit betrachtete Anschaffung der Funktion Section Control somit um das siebenfache und müsste zusätzlich vom Betrieb getragen werden. Da im Betrieb Langsenkamp in den letzten Jahren keine großen Investitionssprünge vollzogen wurden und angesichts des aktuell sehr niedrigen Zinsniveaus sollte die Investition möglich sein. Wenn auch ein Kredit hierfür aufgenommen werden müsste, sollte dies vom Betrieb getragen werden können.

Der Einsatz der neuen Technologie setzt außerdem voraus, dass auf dem Betrieb das nötige Know-How vorhanden ist. Je mehr Technik an einer Maschine zum Einsatz kommt, desto höher sind die Anforderungen an den Fahrer der Maschine. Die Effektivität von Section Control bei der Einsparung von Dünger hängt zudem stark von den getätigten Einstellungen ab (KIELHORN 2020 und PROFI 2014). Im Betrieb Langsenkamp werden alle Ackerarbeiten, die nicht vom Lohnunternehmer durchgeführt werden von Frederik Langsenkamp selbst ausgeführt. Da er nach eigener Aussage ein fortschrittlich orientierter Mensch ist, wie sich auch an seiner Teilnahme am Versuchsgeschehen des Experimentierfelds Agro-Nordwest zeigt, sollte die Handhabung für ihn keine größeren Probleme darstellen. Dennoch ist es wichtig, dass die Produktivitätssteigerung durch die neu angeschaffte Technologie nicht durch Rüst- und Einrichtungszeiten wieder zunichte gemacht werden. So muss das Section Control System einfach zu bedienen und ohne Fehlerquellen zu nutzen sein.

Im Mittelklasse Segment von Amazone ist es möglich 16 Teilbreiten zu schalten. Über mehrere und kleinere Teilbreiten wäre es eventuell möglich die Applikationsgenauigkeit zu erhöhen und weitere Düngermengen einzusparen sowie die Erlöse weiter zu steigern. Bei Amazone sind bis zu 128 Teilbreiten möglich, Mitbewerber werben mit

stufenloser Arbeitsbreitenverstellung. Hierfür ist allerdings die Anschaffung eines Düngerstreuers aus dem Premium Segment notwendig sowie eine weitere Freischaltung für 700 € (KIELHORN 2020). Diese erweiterte Anschaffung ist somit mit deutlich höheren Kosten verbunden und müsste gesondert betrachtet werden.

Da keine kultur- oder schlagspezifischen Anbaudaten vorlagen, konnte nur eine übergeordnete BZA zum Ackerbau im Betrieb Langsenkamp aufgestellt werden. Die Ergebnisse verschiedener Kulturen wurden näherungsweise mit den in der BZA ermittelten Durchschnittskosten dargestellt. Die Unterschiede zwischen den Kulturen sind so nur durch den Ertrag und den Verkaufspreis beeinflusst. Genauso fällt der Vorteil durch Section Control in dieser Betrachtung bei den ertragsstärkeren Kulturen bzw. den Kulturen mit dem höheren Verkaufspreis, Gerste und Weizen deutlich höher aus als bei Roggen oder Triticale.

Der Betrieb Langsenkamp hat mit durchschnittlich knapp 3 ha für Niedersachsen eine kleine Flächenstruktur. Wie sich aus den Applikationsdaten von Frank Bösemeyer ableiten lässt, ist es für Section Control entscheidend, wie groß die Flächen sind. Hier wurden unabhängig von der Flächengröße ähnlich Überlappungsgrade erreicht. Da die bearbeiteten Parzellen teilweise sehr unförmig sind, ist zu erwarten, dass beim Düngerstreuen per Hand deutlich höhere und ungleichmäßigere Überlappungsgrade erreicht werden würden.

Zusammenfassend wird deutlich, dass moderne Technologien wie Section Control für kleine und mittelständische Betriebe wie den Betrieb Langsenkamp durchaus ein Potential darstellen, um die Wirtschaftlichkeit und Effizienz im Bereich Ackerbau zu erhöhen. Der Betrieb Langsenkamp stellt mit seinen etwa 70 Hektar bewirtschafteter Fläche einen durchschnittlichen Betrieb in Deutschland dar, sodass, auch im Hinblick auf die deutlich positive Rentabilität der Investition in Section Control, auf anderen Betrieben ähnliche Ergebnisse zu erwarten sind. Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass ein entsprechend moderner Düngerstreuer vorhanden ist, oder angeschafft werden soll und auch das notwendige Know-How gegeben ist. Diese Arbeit zeigt auf, dass Section Control in der breiten Masse in Deutschland wirtschaftlich angewandt werden kann und widerspricht somit den wirtschaftlichen Bedenken aus der Praxis. Dadurch, dass wie berechnet Dünger eingespart werden kann, kann Section Control dazu

beitragen die Umweltbelastung aus der Landwirtschaft zu verringern und so auch dabei helfen die gesellschaftlichen Anforderungen an eine nachhaltige Landwirtschaft zu erfüllen.

9 Zusammenfassung

Der Einsatz von Dünger und Pflanzenschutzmitteln stellt in der heutigen Gesellschaft vor dem Hintergrund von Umweltschutz und Grundwasserbelastung ein vieldiskutiertes Thema dar. Die Anforderungen, die Gesellschaft und Politik an die landwirtschaftlichen Betriebe stellen, steigen in diesem Zusammenhang immer weiter an. Aufgrund dieser Anforderungen und Auflagen, sind Landwirte gezwungen, weniger Düngemittel auf ihren Flächen einzusetzen und die eingesetzten Mittel effizienter zu nutzen.

Ziel dieser Arbeit ist es, am Beispiel des Betriebes Langsenkamp zu erarbeiten, inwiefern der Einsatz moderner Technik einen Vorteil für die Wirtschaftlichkeit des Ackerbaus von Kleinbetrieben bedeuten kann. Dazu wird zunächst die derzeitige Rentabilität des Ackerbaus auf dem Hof Langsenkamp mithilfe einer BZA untersucht. Danach erfolgt eine Wirtschaftlichkeitsberechnung auf Grundlage einer Modellrechnung für den Einsatz von Section Control, die auf dem Testbetrieb angewandt wurde.

Die Investitionsrechnung zeigt, dass die Investition in Section Control für den Betrieb Langsenkamp lohnenswert wäre. Außerdem ergibt sich durch die BZA und die Szenarioanalyse, dass durch den Einsatz von Section Control zum einen Düngemittel eingespart werden können und zum anderen der Kornertrag durch die Verringerung von Lagergetreide erhöht werden kann. Aufgrund dieser positiven Effekte ergibt sich für den Beispielbetrieb ein durchschnittlichen Mehrerlösen von jährlich etwa 800 €. Die Mehrerlöse stehen Mehrkosten von knapp 400 € jährlich gegenüber, somit ist eine Investition in Section Control auch für durchschnittliche deutsche Betrieb deutlich rentabel. Section Control kann also dazu dienen, die Wirtschaftlichkeit im Ackerbau verbessern und zeitgleich helfen, gesellschaftliche Anforderungen an eine nachhaltige Landwirtschaft zu erfüllen.

10 Abstract

The use of fertilizers and pesticides is a much-discussed topic in today's society in the context of environmental protection and groundwater contamination. The demands that society and politics place on agricultural companies are increasing in this context. Due to these requirements and conditions, farmers are forced to use less fertilizer on their land and to create a more efficient way to use fertilizer.

The aim of this thesis is to work out, using the example of the Langsenkamp farm, to what extent the use of modern technology can be an advantage for the profitability of small farms. To this end, the current profitability of agricultural production on the Langsenkamp farm will first be examined with the help of a branch evaluation. Afterwards a calculation of profitability is carried out on the basis of a sample calculation for the use of Section Control, which was applied on the test farm.

The investment calculation shows that the investment in Section Control would be profitable for the Langsenkamp farm. In addition, the branch evaluation and the scenario analysis prove that the use of Section Control can save fertilizer on the one hand and increase the output on the other hand. Due to these positive effects, the example farm achieves an average additional revenue of about 800 € per year. The additional revenues are offset by additional costs of almost 400 € per year, so an investment in Section Control is clearly profitable even for average German farms. Section Control can therefore serve to improve the economic efficiency of arable farming and at the same time help to meet the demands of society for sustainable agriculture.

Literaturverzeichnis

- AMAZONE (2020): Dynamische Teilbreitenschaltung DynamicSpread für Amazone-Düngerstreuer. <https://amazone.net/de-de/service-support/fuer-medien/presse-meldungen/presse-archiv-2016/dynamische-teilbreitenschaltung-dynamicspread-fuer-amazone-duengerstreuer-71854>, (Zugriff am 27.07.2020).
- BAKER (1967): zitiert nach Hausschildt und Salomo: Innovationsmanagement.
- BFR (2008): Analyse und Bewertung von Pflanzenschutzmittel-Rückständen. https://www.bfr.bund.de/de/presseinformation/2008/B/analyse_und_bewertung_von_pflanzenschutzmittel_rueckstaenden-11269.html, (Zugriff am: 04.04.2020).
- BMEL (2018): Landwirtschaft verstehen – Fakten und Hintergründe. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Berlin.
- BOHMFALK, T (2016): Stochastische Szenarioanalyse in der Praxis. Bandbreitenplanung und Risikoaggregation, <https://www.risknet.de/themen/risknews/stochastische-szenarioanalyse-in-derpraxis/4d6d6b8323d2c545f00aa41974d9af18/> (Zugriff am 10.11.2020).
- BUNDESINFORMATIONSZENTRUM LANDWIRTSCHAFT (BZL) (2019): Interview mit Dr. Susanne Klages zu den Nachbesserungen bei der Düngeverordnung. <https://www.praxis-agrar.de/betrieb/recht/nachbesserung-der-duengeverordnung-interview/> (Zugriff am: 05.04.2020).
- DABBERT, S., BRAUN, J. (2012): Landwirtschaftliche Betriebslehre: Grundwissen Bachelor. 3. Aufl., Stuttgart: Eugen Ulmer.
- DLG (2011): Die neue Betriebszweigabrechnung. Ein Leitfaden für die Praxis. 3. vollständig überarbeitete Neuauflage. In: Frankfurt am Main: DLG-Verlag GmbH.
- DLG (2016): DLG-Merkblatt 388 Satellitenortungssysteme (GNSS) in der Landwirtschaft. Frankfurt am Main: DLG e. V. Fachzentrum Landwirtschaft.

- DLG (2017): DLG-Merkblatt 410 Technik zur Ausbringung fester Mineraldünger. Frankfurt am Main: DLG e. V. Fachzentrum Landwirtschaft.
- DLG (2019): DLG-Merkblatt 445 Einsatz von Mineraldüngerstreuern. Frankfurt am Main: DLG e. V. Fachzentrum Landwirtschaft.
- HAUSSCHILDT, J., SALOMO, S. (2016): Innovationsmanagement. München: Vahlen.
- KIELHORN, A. (2020): Email vom 11. und 13. November 2020. Amazone.
- LANGSENKAMP (2020): Über die Struktur und Daten des landwirtschaftlichen Betriebs Langsenkamp. Persönliches Gespräch vom 18.02.2020, Belm.
- LUIB, M., SCHOTT, P. (1992): Einsatz von Bioregulatoren. In: Haug, G., Schuhmann, G., Fischbeck, G. (Hrsg.) „Pflanzenproduktion im Wandel“. Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft mbH, 275 – 304.
- LWK NRW (2020): Die neue Düngeverordnung 2020 – was ändert sich? <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/duengung/duengeverordnung/du-ev-2020.htm>, (Zugriff am 16.07.2020).
- MUSS, P. (1984): Kostenrechnung und Kalkulation. In: Leiber, F. (Hrsg.) „Landwirtschaftliche Betriebswirtschaftslehre“, Berlin: Parey, 31-90
- MUßHOFF, O., HIRSCHAUER, N. (2016): Modernes Agrarmanagement. München: Franz Vahlen Verlag.
- NDR INFO (2019): Reform der Düngeverordnung: Skeptische Reaktionen. <https://www.ndr.de/nachrichten/info/Reform-der-Duengeverordnung-Skeptische-Reaktionen,duenger180.html>, (Zugriff am: 05.04.2020).
- NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE, BAUEN UND KLIMASCHUTZ (NMU) (2018): Nitrat im Grundwasser. https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/umweltbericht/wasser_ist_leben/nitrat_im_grundwasser/nitrat-88735.html (Zugriff am: 05.04.2020).

- OVERBECK (2019) : Förderung von moderner Pflanzenschutztechnik. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2018. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2019. S. 1-12.
- PALISADE (2018): Webinar – Einführung zur Risiko- und Entscheidungsanalyse mit @RISK und DecisionToolsSuite, <http://go.palisade.com/OnDemand-Introto-Risk-German.html> (Zugriff am 10.11.2020).
- PROFI (2014): Mehr Präzision im Keil. profi 07/2014, 82-85.
- PROFI (2015): Streuen ohne Denken. profi 12/2015, 146-152.
- ROGERS, E. (1995): Diffusion of Innovations. New York: Free Press.
- ROMEIKE, F. (2017): Risikomanagement. Wiesbaden. Springer Gabler.
- SCHEELE, M. (2019): Innovationen in der Landwirtschaft, Zielsetzungen und Förderansätze, Europäische Kommission.
- SCHLEICHER, S.; GANDORFER, M. (2018): Digitalisierung in der Landwirtschaft. Eine Analyse der Akzeptanzhemmnisse. In: Ruckelshausen et al. (2018): Digitale Marktplätze und Plattformen, Bonn: Gesellschaft für Informatik.
- SCHUMPETER, J. (1987): Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung, Eine Untersuchung über Unternehmerrgewinn, Kapital, Kredit, Zins und den Konjunkturzyklus. Berlin: Duncker und Humblot.
- SWISSTOPO (2020): Global Navigation Satellite System (GNSS). <https://www.swisstopo.admin.ch/de/wissen-fakten/geodaesie-vermessung/messverfahren/gps-messverfahren.html>, (Zugriff am 27.07.2020).
- TAGESSPIEGEL (2019): EU fordert von Deutschland noch strengere Düngeregeln. <https://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/zu-viel-nitrat-im-grundwasser-eu-fordert-von-deutschland-noch-stroengere-duengeregeln/24137362.html> (Zugriff am: 05.04.2020).
- TASTOWE, F. (2020): Test: Radarsensoren sollen Querverteilung bei Düngerstreuern verbessern. Münster: Landwirtschaftsverlag.

TAZ (2019): Verseuchen Bauern das Wasser? <https://taz.de/Umweltbelastung-durch-Duenger/!5635932/> (05.04.2020).

TOP AGRAR (2020): Düngeverordnung: Höchste Effizienz ist gefragt. <https://www.topagrar.com/acker/news/duengeverordnung-hoechste-effizienz-ist-gefragt-12079937.html>, (Zugriff am 16.07.2020).

UBA (2016): 5-Punkte-Programm für einen nachhaltigen Pflanzenschutz. Umweltbundesamt.

WALTMANN, M., GINDELE, N., DOLUSCHITZ, R. (2019): Ökonomische Parameter in Precision Agriculture, strukturelle Anforderungen und Wirkungen in Deutschland, erschienen in: Meyer-Aurich et al.: Digitalisierung in kleinstrukturierten Regionen, Bonn: Gesellschaft für Informatik.

ZEIT.DE (2018): Das große Entgiften. <https://www.zeit.de/2018/22/agrarpolitik-ackerbau-pflanzenschutz-zukunft/komplettansicht> (Zugriff am: 04.04.2020).