

Hochschule Anhalt

Fachbereich Landwirtschaft, Ökotrophologie und Landschaftsentwicklung



Bachelorarbeit

(Bachelor of Science)

„Direktsaat als mögliche Alternative zur Mulchsaat?“

Ein wirtschaftlicher Systemvergleich in Zeiten zunehmender Vorsommertrockenheit“

Name, Vorname	Tippelt, Moritz
Matrikel	4062535
Geboren am	10.08.1995
Studiengang	Landwirtschaft
1. Gutachter	Professor Dr. Anette Deubel
2. Gutachter	M.Sc. Siv Biada

Bernburg (Saale), den 16.05.2022

Bibliographische Beschreibung

Name, Vorname: Tippelt, Moritz

Thema: „Direktsaat als mögliche Alternative zur Mulchsaat?
Ein wirtschaftlicher Systemvergleich in Zeiten zunehmender
Vorsommertrockenheit“

2022/ 85 Seiten/ 13 Tabellen/ 33 Abbildungen

Bernburg: Hochschule Anhalt
Fachbereich Landwirtschaft, Ökotropologie und
Landschaftsentwicklung

Inhaltsverzeichnis

I . Tabellenverzeichnis	IV
II . Abbildungsverzeichnis	V
III . Abkürzungsverzeichnis.....	VII
1. Einleitung	1
2. Literatur	2
2.1 Prozesse auf und im Ackerboden.....	2
2.1.1 Humus im Boden	2
2.1.2 Bodenwassergehalt	3
2.1.3 Wassererosion	4
2.1.4 Winderosion	5
2.1.5 Auswirkungen der Erosion und deren Unterbindung	6
2.2 Grundsätze der Mulchsaat	7
2.2.1 Bodenbearbeitung	8
2.2.2 Strohmanagement	9
2.3 Grundsätze der Direktsaat.....	10
2.3.1 Die Aussaat	10
2.3.2 Vorteile der Direktsaat	12
2.3.3 Nachteile der Direktsaat	12
2.3.4 Pflanzenschutzmittel-Anwendung	14
2.3.5 Ertragsentwicklung der Direktsaat	15
2.4 Klimatische Bedingungen am Standort Strenzfeld-Bernburg (Saale).....	15
3. Zielstellung	19
4. Material und Methoden.....	20
4.1 Standortbeschreibung	20
4.2 Versuchsdurchführung	20
5. Ergebnis.....	26
5.1 Erträge	26
5.2 Marktleistungen	27
5.3 Wirtschaftlichkeit	27

5.3.1 Wirtschaftlichkeit Winterraps	27
5.3.2 Wirtschaftlichkeit Raps-Weizen	30
5.3.3 Wirtschaftlichkeit Silomais	32
5.3.4 Wirtschaftlichkeit Mais-Weizen	35
5.3.5 Die Prozesskostenfreien Leistungen der Marktfrüchte	38
6. Diskussion	41
6.1 Arbeiterledigungskosten	42
6.2 Direktkosten	42
6.3 Direktkostenfreie Leistungen (Dkfl).....	43
6.4 Prozesskostenfreien Leistungen (Pkfl)	44
6.5 Vergleichbare Studien	46
6.6 Aussichten für die Praxis	52
6.7 Bodenbearbeitungssysteme in Zeiten des Klimawandels	53
7. Schlussfolgerung und Aussicht.....	54
8. Fazit.....	55
9. Zusammenfassung.....	56
10. Quellenverzeichnis.....	57
IV. Anhang	IX

I . Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Varianten (Bodenbearbeitung und Düngung), Beschriftung und Abbildungen übernommen INTERNATIONALES DLG-PFLANZENBAUZENTRUM, 2020	22
Tabelle 2:	Zusammensetzung der Leistungen und der Direktkosten, Visualisierung nach SCHROERS und KRÖN, 2019.....	24
Tabelle 3:	Zusammensetzung der Arbeitserledigungskosten, Visualisierung nach SCHROERS und KRÖN, 2019	25
Tabelle 4:	Erträge der Kulturen in dt/ha, je Anbauvarianten, über den gesamten Versuchszeitraum, Darstellung Daten des INTERNATIONALES DLG-PFLANZENBAUZENTRUM, 2020	26
Tabelle 5:	INTERNATIONALES DLG-PFLANZENBAUZENTRUM, 2020, ermittelte Marktleistungen mit Berechnungen.....	27
Tabelle 6:	Prozesskostenfreie Leistungen der vier Marktfrüchte in €/ha, Berechnungen auf Datengrundlage INTERNATIONALES DLG-PFLANZENBAUZENTRUM, 2020	38

II . Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Diagramm der Temperaturen und Niederschläge von 1961 bis 2020 in Strenzfeld, Visualisierung der Daten des DWD, 2021-c	16
Abbildung 2: Verteilung der Niederschläge und Temperaturen im Jahresverlauf, Visualisierung der Daten vom DWD, 2021-c.....	17
Abbildung 3: Niederschlag Kalenderjahre 1961 bis 1990 DWD, 2021-a	17
Abbildung 4: Niederschlag Kalenderjahr 2017 DWD, 2021-a	17
Abbildung 5: Niederschlag Kalenderjahr 2018 DWD, 2021-a	17
Abbildung 6: Niederschlag Kalenderjahr 2019 DWD, 2021-a	18
Abbildung 7: Niederschlag Kalenderjahr 2020 DWD, 2021-a	18
Abbildung 8: Temperaturanomalie von 1881 – 2020 DWD, 2021-b.....	19
Abbildung 9: Darstellung der Versuchspartellen Internationales DLG-Pflanzenbauzentrum, 2020	23
Abbildung 10: Arbeitserledigungskosten für Winterraps.....	28
Abbildung 11: Direktkosten für Winterraps.....	28
Abbildung 12: Direktkostenfreie Leistungen (Dkfl) von Winterraps	29
Abbildung 13: Prozesskostenfreie Leistungen (Pkfl) von Winterraps	30
Abbildung 14: Arbeitserledigungskosten für Raps-Weizen	30
Abbildung 15: Direktkosten für Raps-Weizen	31
Abbildung 16: Direktkostenfreie Leistungen (Dkfl) von Raps-Weizen	31
Abbildung 17: Prozesskostenfreie Leistungen (Pkfl) von Raps-Weize	32
Abbildung 18: Arbeitserledigungskosten für Silomais	33
Abbildung 19: Direktkosten für Silomais	33
Abbildung 20: Direktkostenfreie Leistungen (Dkfl) von Silomais	34
Abbildung 21: Prozesskostenfreie Leistungen (Pkfl) von Silomais.....	35
Abbildung 22: Arbeitserledigungskosten für Mais-Weizen	35
Abbildung 23: Direktkosten für Mais-Weizen	36
Abbildung 24: Direktkostenfreie Leistungen (Dkfl) von Mais-Weizen	37
Abbildung 25: Prozesskostenfreie Leistungen (Pkfl) von Mais-Weizen.....	37

Abbildung 26: Leistungen der Feldfrüchte auf einen Blick	39
Abbildung 27: Summierte Erlöse der beiden Anbauvarianten im Vergleich.....	40

III. Abkürzungsverzeichnis

AHL	Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung
AKh	Arbeitskraftstunde
BB	Bodenbearbeitung
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
bzw.	beziehungsweise
C	Kohlenstoff
°C	Grad Celsius
ca.	circa
cm	Zentimeter
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
C _{org}	Organischer Kohlenstoff
D	Direktsaat
DAL	Direkt- und Arbeitserledigungskostenfreie Leistung
Dkfl	Direktkostenfreie Leistung
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
dt	Dezitonne
DWD	Deutscher Wetterdienst
€	Euro
FiBL	Forschungsinstitut für biologischen Landbau
GD	Grenz-Differenz
GPS	Global Positioning System
ha	Hektar

IPZ	Internationales DLG-Pflanzenbauzentrum
K	Kalium
kg	Kilogramm
KAS	Kalkammonsalpeter
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
l	Liter
LOP	Landwirtschaft ohne Pflug
LWK	Landwirtschaftskammer
LTZ	Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg
M	Mulchsaat
m	Meter
m ²	Quadratmeter
mm	Millimeter
N	Stickstoff
N ₂ O	Distickstoffmonoxid
nFK	nutzbare Feldkapazität
N _{min}	im Boden verfügbarer mineralischer Stickstoff
NN	Normal-Null
NRW	Nordrhein-Westfalen
P	Phosphor
PK- Düngung	Phosphor Kalium Düngung
Pkfl	Prozesskostenfreie Leistungen

(Die Prozesskostenfreien Leistungen werden nach der DLG-Nomenklatur als Direkt- und Arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) bezeichnet (RICHTER, 2017))

PS	Pferdestärken
PSM	Pflanzenschutzmittel
RP	Rheinland-Pfalz
RTK	Real Time Kinematik
SOM	stabilize soil organic matter
SMEKUL	Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft
TKG	Tausend-Korn-Gewicht
TLL	Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
u.a.	unter anderem
uL	Schluffiger Lehm
WW	Winterweizen

1. Einleitung

Im Zuge des Klimawandels wird davon ausgegangen, dass Wetterextreme zunehmend auftreten. Das Problem der längeren trockenen Perioden, besonders in den für das Pflanzenwachstum wichtigen Zeiträumen des Vorsommers und die Häufung von lokalen Starkregenereignissen stellen die Landwirtschaft in Deutschland vor große Herausforderungen, wobei auch der großflächige Anbau von Feldfrüchten betroffen sein wird (KAHRAMAN et al., 2021; BLE, 2020). Die Wetterextreme führen häufig zu Mindererträgen bis hin zum Totalausfall der angebauten Kulturen. Um die Versorgungssicherheit mit qualitativ guten Lebensmitteln zu gewährleisten, sollten die bestehenden Ackerbaukonzepte kritisch hinterfragt und auf Ihre Ertragsstabilität bei widrigen Witterungen hin überprüft werden. Die unterschiedlichen Arbeitsschritte im Ackerbau, wie die Bodenbearbeitung zur Aussaat und nach der Ernte, sind von dieser Problematik verstärkt betroffen. Da es in anderen Regionen der Erde (mit kontinentalem Klima) diese Problematik der anhaltenden Trockenheit bereits länger gibt, könnte möglicherweise die dort verbreitete Direktsaat auch in Deutschland zukünftig vermehrt Anwendung finden (DERPSCH et al., 2010). In Deutschland hat die Direktsaat als Ackerbausystem noch immer eine unbedeutende Rolle; nur 1 % der deutschen Ackerfläche wurde 2016 so bewirtschaftet. Im Vergleich dazu wurde im selben Zeitraum 57 % mit dem Pflug und 42 % als Mulchsaat bewirtschaftet (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2017).

In dieser Bachelorarbeit soll die Frage geklärt werden, ob besonders in Zeiten zunehmender Vorsommertrockenheit die Direktsaat als mögliche Alternative zur Mulchsaat zu sehen ist. Dies soll anhand eines wirtschaftlichen Systemvergleichs ermittelt werden. Die Auswertung soll Anhaltspunkte liefern, ob diese Art des Ackerbaus auch unter den anspruchsvollen Bedingungen des Mitteldeutschen Trockengebietes verlässliche Erlöse erbringt. Um Klarheit zu finden, wird hier der Bodenbearbeitungsversuch des Internationalen DLG-Pflanzenbauzentrums in Strenzfeld-Bernburg (Saale) aus den Jahren 2017 bis 2020 auf seine Wirtschaftlichkeit ausgewertet. Die Ermittlung erfolgt durch Feststellung der Prozesskostenfreien Leistungen (PkfL), dieses werden in der DLG-Nomenklatur auch als Direkt- und Arbeitserledigungskostenfreie Leistungen (DAL) bezeichnet (RICHTER, 2017).

2. Literatur

Zunächst werden Auswirkungen der Bodenbearbeitung auf den Boden und die Umwelt aufgezeigt, besonders den Auf- und Abbau von Humus sowie der des Bodenwassergehaltes. Auch auf die Erosion des Bodens wird genauer eingegangen. Anschließend werden die beiden Bodenbearbeitungssysteme dargelegt. Sie werden erläutert, einige Vor- sowie Nachteile aufgeführt und verstärkt die Direktsaat betrachtet, da sie hier in der Praxis noch nicht so bekannt ist.

2.1 Prozesse auf und im Ackerboden

Das Bodenleben wandelt die organische Masse mit Hilfe von Makro- und Mikroorganismen neben dem Abbau (Mineralisieren) auch zu Humus um (Humifizieren). Auf diese Prozesse wird unter anderem auch durch die Bodenbearbeitung Einfluss genommen. Außerdem ist der pH-Wert sowie der Kalkgehalt des Bodens für die Umwandlungsprozesse der organischen Masse mit entscheidend (AMBERGER, 1983). Einfluss auf die Abbaugeschwindigkeit haben die grundlegende mikrobielle Aktivität des Bodens, die Bodenart, ein gut durchlüfteter Boden, eine ausreichende Wasserversorgung und warme Bodentemperaturen (DETER, 2014) genauso wie der Stickstoff (N)-Gehalt und die Beschaffenheit der organischen Masse. So können Lignine, Wachse, Gerbstoffe und Harze nur sehr schwer abgebaut werden. Dies sorgt dafür, dass sich diese Stoffe im Boden mit der Zeit anreichern und so das Ausgangsmaterial für die Entstehung von neuem Dauerhumus bilden (AMBERGER, 1983).

2.1.1 Humus im Boden

Es gibt drei Arten der Stabilisierung von organischer Bodenaufgabe (stabilize soil organic matter (SOM)). Diese sind entweder durch physikalische Stabilisierung oder durch Mikroaggregationen vor Zersetzung geschützt (SIX et al., 2002). Diese Stabilisierung des Kohlenstoffes (C) wird durch einen dicht gelagerten Boden (gestiegene Trockendichte) vollzogen, da sich in die kleineren Hohlräume nur geringe Mengen Kohlenstoff einlagern. Bei einem Kontakt mit Sauerstoff werden infolge dessen nur diese kleinen Kohlenstoffeinlagerungen von Mikroorganismen abgebaut (KLIK et al., 2010). Eine weitere Möglichkeit der C-Stabilisierung im Boden gelingt durch das Binden an Ton-/ Schluffpartikeln zu den sogenannten „Ton-Humus-Komplexen“. Möglich ist auch, dass durch biomechanische Verbindungen die Kohlenstoffanteile nicht von Mikroorganismen abgebaut werden können. Die Autoren vermuten, dass die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Bodens die C-Festlegung beeinflussen. So wird bei gesteigerten organischem Eintrag ein Maximum bei der C-Festlegung (Sequestrierung) erreicht (SIX et al., 2002). Dabei spielt das Kohlenstoff-Stickstoff- (C/N-) Verhältnis eine bedeutende Rolle, da es über die Umsetzungsgeschwindigkeit der organischen Masse entscheidet.

Je weiter das C/N-Verhältnis ist, desto mehr Stickstoff muss das Bodenleben vorübergehend festlegen, um die organischen Pflanzenrückstände abzubauen. Das hat zur Folge, dass weiter auseinanderliegende C/N-Verhältnisse längere Zeit benötigen bis sie vom Bodenleben abgebaut werden (AMBERGER, 1983). Für den Umbau von Stroh in Humus müssen die Bodenorganismen mit der organischen Masse in Kontakt treten können. Da das Stroh Nährstoffe enthält, muss es auf der gesamten Fläche gleichmäßig verteilt sein, um für ein homogenes Wachstum des Pflanzenbestandes zu sorgen (DETER, 2014). In einem Versuch von LIEBHARD et al. (2004) konnte eine Steigerung des Humusgehaltes um 0,6 % der Direkt- und Mulchsaatvarianten, gegenüber der Pflugsaatvariante innerhalb von 7 Jahren festgestellt werden. Die intensive Bodenbearbeitung lockert den Ackerboden auf und die bodenbürtigen Mikroorganismen werden verstärkt mit Sauerstoff versorgt. Dadurch steigt die aerobe Zersetzung der organischen Bodenbestandteile an, wodurch in organischer Masse gebundenes CO₂ freigesetzt wird. Dies wiederum hat einen starken CO₂-Ausstoß vom Boden in die Luft zur Folge. Im feuchten Milieu können die Mikroorganismen die organische Substanz leichter erreichen und verstoffwechseln. Mit dem Abtrocknen sinkt dann wieder die mikrobielle Aktivität in der oberen Bodenschicht und mit ihr der Abbau der organischen Masse (REICOSKY und LINDSTROM, 1993). Ein weiterer wichtiger Faktor für CO₂-Emissionen aus Ackerflächen stellen die Kulturpflanzen dar. Je nach Tiefe und Mächtigkeit des Wurzelsystems bestimmt die Wurzelatmung einen Anteil des gemessenen CO₂. Messungen haben ergeben, dass die Direktsaat signifikant weniger CO₂-Ausstoß als die Pflug- sowie die Mulchsaat verursachte. Allerdings wurde bei der Direktsaat eine erhöhte Freisetzung der Distickstoffmonoxid-(N₂O)-Konzentration, auch Lachgas genannt, beobachtet (KLIK et al., 2010). 25 zusammengefasste Feldstudien zu diesem Thema kommen zu dem Ergebnis, dass auf schlecht durchlüfteten Böden nach der Einführung der Direktsaat die N₂O-Emissionen anstiegen. Auf mittleren und gut durchlüfteten Böden ist dagegen kein Unterschied zu anderen Bodenbearbeitungsformen festgestellt worden (ROCHETTE, 2008).

2.1.2 Bodenwassergehalt

Eine Mulchaufgeschicht hindert das Sonnenlicht und den Wind daran direkt auf den Boden darunter einzuwirken. Dies minimiert die Verdunstung (Evaporation) aus der Bodenoberfläche und hält so das Wasser im Boden. Ein unbearbeiteter Boden, welcher zu 55 bis 65 % durch eine Auflageschicht geschützt wurde, hielt um 8 bis 11 % besser die Feuchtigkeit, im Vergleich zu einem tief gelockerten Boden ohne Auflageschicht. Diese Messungen wurden in einem Zeitraum von 85 Tagen in den ersten 65 cm des Oberbodens durchgeführt. Dabei wurde die Bodenfeuchtigkeit der unterschiedlichen Bodenbearbeitungsvarianten sowohl mit als auch ohne Mulchaufgabe gemessen.

Beobachtungen dieses Versuches ergaben, dass die Standard-Stoppelsturzvariante ebenfalls mehr Wasser verliert als die Variante mit dem unbearbeiteten Boden. Dieses Ergebnis steht entgegen der in der Praxis übliche Meinung, dass der Stoppelsturz durch das Abtrennen der oberen Bodenkapillare die Evaporation unterbinde und so mehr Wasser im Boden gehalten werde als bei der unbearbeiteten Variante. Diese Untersuchung unterstreicht die Wichtigkeit einer organischen Auflageschicht die den Boden vor dem Verlust von Wasser bewahrt (KALMÁR et al., 2013). Wichtig unter dem Gesichtspunkt des Bodenwasserhaushaltes ist auch die Mächtigkeit der Humuskonzentration. Je weniger der Ackerboden bearbeitet wurde, desto höher war der volumetrische Bodenwassergehalt (LIEBHARD et al., 2004).

2.1.3 Wassererosion

Um im Ackerbau erfolgreich einen neuen Kulturpflanzenbestand an einem Standort zu etablieren, ist es nötig, die Konkurrenz des bis dahin bestehenden Bewuchses zu unterdrücken. Nur so lässt sich ein vitaler und homogener Pflanzenbestand sicherstellen. Die Konkurrenz des Bestandsbewuchses ist auszuschalten. Um den Start der Kulturpflanzen leichter zu gestalten wird der Boden mechanisch unter Einsatz eines Bodenbearbeitungsgerätes aufgelockert und durchmischt. Diese Auflockerung des Bodens wird auch unternommen um Schadverdichtungen aus dem Bodengefüge zu entfernen, die Ackeroberfläche nach der Ernte wieder einzuebnen und Pflanzenteile sowie die organische Bodenaufgeschicht einzuarbeiten. So wird der Boden mit steigender Intensität und Häufigkeit der Bewegung immer ungeschützt (BAEUMER, 1971). Problematisch kann dies beispielsweise bei der Wassererosion durch Regentropfen sein. Dabei fallen diese ungebremst auf die unbedeckte Ackerkrume. Bei dem Auftreffen der Regentropfen auf den Boden übertragen diese ihre kinetische Energie auf das Bodenaggregat, welches dadurch zerkleinert wird. Die kleinen abgelösten Bodenteilchen setzen sich an der Bodenoberfläche ab und versiegeln so die Kapillare. Dies hat zur Folge, dass der Regen nicht mehr schnell in den Boden einsickern kann. Stattdessen sammelt er sich an der Oberfläche und fließt durch Gefälle, dem sogenannten Run-off, ab (SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ENERGIE, 2021). Schon bei leichter Erosion kommt es zur sogenannten Flächen- und Rillenerosion. Dabei wird flächendeckend Ackerboden aus der Fläche abgelöst und durch das Wasser ausgelesen. Hervorgerufen dadurch entstehen an den Stellen, an denen sich der Regen sammelt, kleine Erosionsrillen und es entwickelt sich durch das Zusammenfließen des Wassers ein Wasserstrom. Dieser kann durch seine Fließgeschwindigkeit kleinere Mengen Erdreich mit sich führen. Die Fließgeschwindigkeit variiert je nach Hangneigung und Untergrundbeschaffenheit der Fläche. Je mehr Niederschlag sich beispielsweise in den Fahrspuren am Vorgewende sammelt, desto höher wird die Kraft des Wasserstroms.

Durch das Mitreißen der Ackerkrume entstehen aus den kleinen Erosionsrillen an den Bündelungsorten Erosionsrinnen. Neben dem verlorenen Ackerboden, erschweren diese Ausspülungen das Bewirtschaften des Feldes. Bei fortlaufender Erosion und besonders günstigen Erosionsbedingungen ergibt sich ein ablaufender Wasserstrom bis zu Grabenerosion mit mehr als 40 cm Tiefe. Die Auswaschung und Seitenerosion am Rande des Grabens bewirken, dass sich dieser sehr stark verbreitert. Die Möglichkeit, dass ganze Areale instabil, Ackerbodenbestandteile vom Wasser mitgerissen werden und unkontrolliertes Verlagern, innerhalb oder aus der Fläche hinaus, entsteht (HILLER, 2007). Diese Verlagerung, auch Verschlämmung genannt, findet besonders bei leichten Bodenanteilen statt. Diese werden bereits bei schwächeren Niederschlägen vom Wasser abgeschwemmt. Zu den leichteren Bodenanteilen gehören vor allem die Schluffanteile mit einer Größe von \varnothing 0,063 - 0,002 mm und die noch leichteren Tonanteile mit \varnothing < 0,002 mm. Neben den anorganischen Bodenteilchen werden auch organischen Bestandteile wie Humus abgetragen. (BECKER et al., 1985; AUERWALD und HAIDER, 1992).

2.1.4 Winderosion

Auf ungeschütztem Boden führt die Winderosion zum Austrocknen der oberen Bodenschicht und die trockenen Erdpartikel lösen sich durch den Wind aus den Bodenaggregaten ab. Besonders an windexponierten Stellen beginnt diese Art der Erosion. Dies geschieht, wenn der Wind mehr Kraft aufbringt, als die Kohäsionskraft zwischen den Bodenteilchen halten kann. In diesem Zusammenhang wird von kritischem Wind gesprochen. Je nach Größe und Gewicht der abgelösten Teilchen bewegen sie sich unterschiedlich. Anfangs ist hauptsächlich der rollende oder kriechende Transport zu beobachten. Dabei trägt der Wind Korngrößen von 0,6 bis 2 mm mit sich. Vom Wind bewegte Erdmassen lösen durch das Aufprallen weitere Partikel ab. Es wird von „saltierenden“ Bodenpartikeln gesprochen, welche selbst durch den Aufprall in die Luft schleudern und so über den Boden springen. Dabei erreichen die hochgewirbelten Bodenbestandteile eine Höhe von bis zu 30 cm. Diese Partikel sind mit ihrer durchschnittlichen Größe von 0,6 bis 0,06 mm etwas kleiner. Während die kriechenden Partikel meist nur wenige Meter vom Wind transportiert werden, gelangen die zur saltierenden Verschleppung neigenden Teilchengrößen bereits bis an den Feldrand. Auch kleinere Unebenheiten im Bodenrelief, die zu einer Verwirbelung des Luftstroms führen, bremsen diese bereits so weit, dass sie liegen bleiben. Wenn die Turbulenzbewegung des Windstroms es schafft, die Teilchen in der Luft zu halten, weil das Eigengewicht des Bodenteilchens nicht ausreicht, um zurück auf die Erde zu fallen, dann ist von einer Suspension die Rede. Die Bodenteilchen sind mit der Luftmasse zusammen gemischt und bleiben so lange in dieser, bis sich der Luftstrom abgebremst. Dieses Verlangsamen kann z.B. durch Hecken, Bäume und Knicks geschehen. Es kommt vor, dass die sehr feinen Bodenteilchen (< 0,06 mm) aufwirbeln und aus der Fläche austragen werden.

Der Wind kann diese dann tausende von Kilometern weit mittragen. Die meisten Bodenteilchen, die zur Suspension neigen, ermöglichen erst das mechanische Abschmirgeln und Abschlagen der groben Bodenanteile. Neben dem Absetzen der Bodenteilchen durch die Verlangsamung des Luftstroms, kommt es auch zu einem Absinken durch Niederschlag (SPEKTRUM.DE, 2020; BECKER et al., 1985).

2.1.5 Auswirkungen der Erosion und deren Unterbindung

Beide Arten der Erosion tragen Feinerdeanteile aus der Fläche ab, welches zur Degradierung des Bodens führt und so längerfristig auch dessen Leistungsfähigkeit absenkt. An den abgetragenen Bodenteilchen befinden sich zudem Nährstoffe. Diese wandern ebenfalls in die Umwelt ab und tragen so nicht mehr zur Versorgung der Pflanzen bei. Hier sind besonders die Ton-Humus-Komplexe hervorzuheben, da sich an ihnen Nährstoffe und Agrarchemikalien durch die Ionenaustauschkapazität besonders gut anlagern. Durch den Austrag der Nährstoffe werden die Kulturpflanzen nicht mehr optimal versorgt, infolgedessen sinkt das Ertragspotenzial auf dem Feld langfristig ab. Neben den wertvollen Nährstoffen, die in Oberflächengewässer eingetragen werden, gelangen auch Agrarchemikalien in die Umwelt. Schon kleine Mengen an erodiertem Boden ergeben so einen negativen Einfluss auf die Umwelt. Untersuchungen haben gezeigt, dass verhältnismäßig viele Nährstoffe und Agrarchemikalien, in Bezug auf die Menge des abgetragenen Materials, in den obersten Bodenschichten zu finden sind. Dies liegt an dem Umstand, dass sich die Nährstoffe und Chemikalien besonders an die leichten Bodenteile binden. Bei stärkerer Erosion werden auch schwerere Bodenbestandteile, wie Sand, mit ausgetragen. Da sich am Sand aber so gut wie keine Nährstoffe befinden, sinkt hier der Anteil an zusätzlich ausgetragenen Nährstoffen. Starke Erosionsereignisse legen häufig neue Bodenschichten frei. Dies hat zur Folge, dass sich bei weiteren Erosionsereignissen erneut Feinerdeanteile abtragen (BAUER et al., 2014; AUERWALD und HAIDER, 1992). Der negativ geladene Phosphor (P-) ist besonders von Wassererosion betroffen. Da sich der Phosphor sehr gut an den Ionenaustauschern des Tones anlagern kann und entsprechend fest an diesen sitzt, wird er nicht durch Sickerwasser in tiefere Bodenschichten verlagert. Im Gegensatz zum Stickstoff, welcher beispielsweise als Ammonium ausgebracht und vom Bodenleben in Nitrat umgewandelt wird. Da sich Nitrat nicht mehr an den Ionenaustauschern des Tones hält, wird es, bevor es zu Erosionsereignissen kommt, entweder von den Pflanzen aufgenommen oder es verlagert sich in tiefere Bodenschichten. Dies führt soweit, dass Nitrat bis in die grundwasserführenden Schichten getragen und so zu einer Belastung wird (BECKER et al., 1985). Bei Vernachlässigung der Möglichkeiten des Erosionsschutzes kommt es bei ungeschütztem Boden zu einem Verlust von bis zu 20 Tonnen Ackerboden pro Hektar im Jahr. Da dies gerade einmal 2 mm der Bodenschicht sind, geht der Verlust des Ackerbodens sehr lange unbemerkt von statten.

Besonders in bergigen Regionen mit intensivem Ackerbau kann diese Problematik verstärkt auftreten. Im Vergleich dazu baut der Boden bei einer guten Versorgung mit organischem Material 0,1 mm Boden je Hektar und Jahr neu auf (BGR, 2014).

Ein weiteres Problem stellt die Veränderung der Wasserspeicherkapazität des Bodens dar, denn durch seine Verringerung fehlen den Kulturpflanzen in Trockenphasen die wichtigen Wasserreserven. Zudem wird die Erosionsproblematik weiter zugespitzt, weil der Boden in kurzer Zeit nur wenig Wasser aufnimmt. Dies führt bei länger anhaltenden Starkregenereignissen zum Abfluss großer Mengen Wasser und Ackerland. Der kostbare Boden schwemmt dann unkontrolliert als Schlammlawine auf Straßen, durch Ortschaften oder direkt in die Oberflächengewässer. So steigt die Überschwemmungsgefahr mittelbar in der angrenzenden Umgebung und wird zum Hochwasserrisiko in den an abführenden Gewässern liegenden Regionen (BGR, 2014). Um den Bodenverlust so gering wie möglich zu halten, ist es besonders auf erosionsgefährdeten Standorten ratsam, neben der Bodenbedeckung auch auf die Hauptbearbeitungsrichtung des Ackerschlages zu achten. Es ist sinnvoll möglichst wenige Fahrspuren anzulegen die in Richtung Tal führen, weil diese eine kanalisierende Wirkung haben. Im Zuge dessen hat sich in Nordamerika eine spezielle Art der Feldanlage etabliert. Die sogenannte „Höhenlinienparallele Bewirtschaftung“, bei der die Feldober- und -untergrenzen an die Höhenlinien des Berges angeglichen werden. Dies erfordert allerdings einiges an Vorbereitung und ist nur in Verbindung mit GPS (Global Positioning System) gestützten Lenksystemen wirklich praktikabel durchzuführen. Anwendbar ist dieses System allerdings nur bei Bergen mit bis zu 10 % Gefälle. Zudem sollte eine ausreichend große Fläche mit diesem System bewirtschaftet werden. Dies gestaltet sich unter den Gesichtspunkten der gewachsenen Strukturen in Deutschland allerdings als problematisch. Neben der Ausrichtung des Schlages bietet auch das Anlegen von Hecken und Wällen ein probates Mittel gegen die Erosion. Da die Hecken gleichzeitig als Windbremse fungieren, minimieren sie zusätzlich das Risiko der Winderosion. Besonders Effizient funktionieren beide Arten des Erosionsschutzes im Verbund. Die organische Bodenauftragsschicht schützt den Boden folglich am besten vor Erosion durch Wasser und Wind. Ratsam ist es bei einer Neuanpflanzung darauf zu achten, dass sich die Position derer bestmöglich in das bestehende Bearbeitungsbreitenkonzept mit eingliedert (SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ENERGIE, BAUER et al., 2014).

2.2 Grundsätze der Mulchsaat

Bei dem Bearbeitungsverfahren findet die Aussaat der Kulturpflanze in ein mit mindestens 30 % Pflanzenresten bedecktes Saatbett statt, im Idealfall auch mehr.

Dies ist je nach Fruchtart nur eingeschränkt möglich, da nicht alle Feldfrüchte ausreichend Pflanzenmasse auf dem Feld hinterlassen. Das können neben Rückständen der letzten Ernte auch Reste der angebauten Zwischenfrucht oder Pflanzenteile einer Untersaat sein. Ziel der Mulchsaat ist es, die Bodenstruktur zu erhalten und den Boden vor Erosionen zu schützen. Gleichzeitig kann der Boden zur Auflockerung, Bekämpfung von Unkräutern und Gräsern sowie zur Schaffung eines idealen Saatbettes mit vielen Varianten von Bodenbearbeitungsgeräten beackert werden. Das Einmischen von Ernterückständen in den Boden bringt diese mit dem Bodenleben in Kontakt. So wird für einen besseren Abbau des organischen Materials gesorgt, worunter sich unter anderem auch Krankheitserreger befinden können. Dadurch wird der Krankheitsdruck an der oberen Bodenschicht minimiert und die Infektionskette gebrochen (AGRARHEUTE, 2016). Infolge dessen werden auch engere Fruchtfolgen auf den Ackerflächen realisierbar. Ebenso ist es möglich, entstandene Unebenheiten, die durch das Befahren der Flächen zu suboptimalen Zeitpunkten entstanden sind, wieder einzuebnen. Außerdem kann organischer Dünger sowie Kalk in den Boden eingearbeitet werden. Dies geschieht unter anderem mit der Scheibenegge, dem Grubber, der Kreiselegge und anderen zapfwellenbetriebenen Gerätschaften. Die Bearbeitungstiefe variiert von 5 bis 25 cm. Je nach Bodenart, Region und Witterungsbedingungen wird so ein optimales Saatbett geschaffen (BAEUMER, 1971). Nach der Ernte erfolgen zwei- bis drei Bodenbearbeitungen. Die erste Überfahrt wird meistens so flach wie möglich gehalten, um ausgefallene Samen zum Keimen anzuregen. Die folgende Bodenbearbeitung, auch Grundbodenbearbeitung genannt, geschieht dann mit einer Tiefe von bis zu 25 cm um den Boden tief zu lockern und die aufgelaufenen Pflanzen zu verschütten. Abschließend erfolgt wieder eine flache Bearbeitung zur Herstellung eines ebenen und sauberen Saatbettes. Auf die Anwendung des Pfluges wird komplett verzichtet, da dieser eine Wendung des Bodens vornimmt und so den gewachsenen Bodenaufbau verwirft. Zudem verschüttet er die Mulchauflage restlos, wodurch der Erosionsschutz verloren geht (AGRARHEUTE, 2016). Versuche kamen zu dem Ergebnis, das sich durch den Pflugverzicht die Erosionsgefährdung des Bodens erheblich vermindert. In Verbindung mit der Schaffung einer dauerhaften Bodenauftragschicht konnten gute Beiträge zum Bodenschutz festgestellt werden. Der Anbau von Zwischenfrüchten stellt den Erhalt dieser sicher. Expertengespräche und Berechnungen ermittelten ebenfalls gute ökonomische Ergebnisse der nicht wendenden Bodenbearbeitung. Anzumerken bleibt, dass die Beiwuchsbekämpfung auch mittels Glyphosat erfolgte. (MAI et al., 2015).

2.2.1 Bodenbearbeitung

Zum Zeitpunkt der Bodenbearbeitung sollte es soweit abgetrocknet sein, dass die mechanische Bewegung nicht zum Verschmieren oder Verdichten der Erdschicht führt und die Poren im Unterboden verschließen.

Durch hohen Druck bei der Bodenbearbeitung oder stumpfe Schneidflächen entstehen Verdichtungen. Je tiefer die geplante Bearbeitung erfolgen soll, desto geringer darf die obere Feuchtigkeit sein, da sonst Schäden in den tieferen Bodenhorizonten erfolgen. Durch die tiefere Bearbeitung wird mehr Erde bewegt, was einen höheren Kraftaufwand erfordert. Um diese Kraft vom Reifen auf das Bodengefüge zu übertragen, ist es wichtig, dass sich Luft in den großen Bodenporen befindet, da diese die Poren, auch bei Belastung, stabil erhält. Eine Wasserfüllung in den Poren wird bei mechanischer Belastung einfach aus den Zwischenräumen heraus gedrückt und lässt Verdichtungen entstehen. Zudem haften die Trecker-Räder auf nassem Boden nur sehr schlecht. Problematisch ist die Bodenbearbeitung auch in Verbindung mit langen Kulturbewuchspausen der Fläche. Bodenverdichtungen treten besonders bei einem schlechten Bodengefüge, durch Kalk- und Humusmangel begünstigt, auf (BAEUMER, 1971). Besonders bei zu trocken, schweren Böden mit hohem Tonanteil passiert es, dass die Scheiben der Scheibenegge nicht in den Boden einziehen und nur auf der Oberfläche hinweg laufen. Auch der Einsatz des Grubbers ist unter solchen Bedingungen nur schlecht möglich. Da trockene Böden äußerst bündig sind, benötigt der Traktor viel Kraft, um den Grubber durch das Erdreich zu ziehen. Dabei brechen die Erdschichten nicht gut auf, welches die Bildung von großen Erdklumpen zur Folge hat. Diese müssen zur Schaffung eines ebenen Saatbettes maschinell mit einer Fräse oder Kreiselegge zerkleinert werden, was ebenfalls viel Energie erfordert und die Bodenaufgeschicht stark verschüttet. Diese Möglichkeit ist in der konsequenten Mulchsaat nur begrenzt einsetzbar (BAEUMER, 1971).

2.2.2 Strohmanagement

Besonders in Regionen mit hohen Getreideerträgen kommt es, je nach Sorte, zu großen Strohaufwüchsen. Entscheidend ist, wenn diese nicht geborgen werden, auf eine gute Häckselqualität und deren Verteilung zu achten (TLL, 2014). Das gehäckselte Stroh darf nicht zu lang sein, da es sonst Probleme bei der Aussaat gibt. Zu kurz gehäckseltes Stroh wird allerdings vom Bodenleben schnell umgesetzt und wirkt dann nicht mehr als Aufgeschicht (DERPSCH, 2020; DETER, 2014). Wenn sich durch schwierige Erntebedingungen eine ungleichmäßige Strohverteilung ergibt, kann diese durch den Einsatz von Strohstriegel oder Mulcher korrigiert werden. Strohhaufen sorgen auch für ein verzögertes Auflaufen der Saat und bieten Mäusen sowie Schnecken Unterschlupf. Insbesondere diese Schädlinge werden dadurch gefördert (TLL, 2014). Neben den tierischen Schädlingen gilt es auch die pilzlichen Schaderreger zu berücksichtigen. Diese befinden sich an Stängel-, Blatt- und Wurzelresten der geernteten Kulturpflanzen. Da die Bodenaufgeschicht in beiden hier betrachteten Versuchsvarianten erhalten bleibt, sollte die Nachfolgekultur nicht anfällig für die Krankheitserreger der Vorfrucht sein.

Es führt sonst zu einer Anreicherung der Pathogene im und auf dem Boden und bedeutet, neben einem erhöhten Pflanzenschutzmittelaufwand, auch Ertragsdepression bis hin zum Totalausfall der Kultur. Daher ist auf eine artenreiche Fruchtfolge, mit dem Wechsel zwischen Halm- und Blattfrüchten, sowie Sommer- und Wintervarianten der Kulturen zu achten (BAEUMER, 1971).

2.3 Grundsätze der Direktsaat

Hier handelt es sich nicht nur um eine Art der Aussaat, sondern um ein eigenes Ackerbausystem. Das Prinzip beruht darauf den Boden so wenig wie möglich zu bewegen um die Bodenstruktur und insbesondere die Bodenaufgeschicht nicht zu durchmischen und somit zu zerstören. So wird ein der Natur am nächsten kommendes Konzept des Ackerbaus praktiziert (DERPSCH, 2020). Das Verzicht auf die Bodenbearbeitung soll die natürlichen Funktionen des Bodens wieder aufbauen und verstärken. Dies hat die Erhaltung, Steigerung sowie Förderung des Bodenlebens zur Folge. Bodenorganismen und Pilze stärken die Lebendverbauung des Bodens, woraufhin es zu einer sehr stabilen Krümelstruktur des Bodengefüges kommt (LANDERS et al., 2013).

2.3.1 Die Aussaat

Die Direktsaat ist ein Verfahren, bei dem die Aussaat direkt mit speziell dafür konstruierten Sämaschinen in den unbearbeiteten Boden eingebracht wird. Auf unebenen Ackerflächen ist eine gleichbleibende Saatgutablagertiefe für die optimale Pflanzenentwicklung Voraussetzung. Um auch bei schwierigen Bedingungen einen guten Säschlitz in den Boden zu ziehen, arbeiten die Direktsaatdrillmaschinen mit einem Schardruck von über 100 kg. Besonders an das Aussaataggregat werden dabei hohe Ansprüche gestellt, da dieses auch bei heterogener Bodenbeschaffenheit und hoher organischer Aufgeschicht eine optimale Aussaat gewährleisten soll. Einige der Aussaataggregate mit Messeinheiten stellen dies sicher. Ein zweijähriger Aussaatversuch auf lehmigem Boden ergab, dass mit abgebautem Messrad die Ablagertiefe, bei weichem Boden unter Laborbedingungen, doppelt so tief war. Dies hatte einen verlangsamten Auflauf und geringere Pflanzenbestände zur Folge. Bei dem Verzicht auf die Andruckrolle wurden in trockenen und normalen Aussaatbedingungen ein verzögertes Auflaufen und dünnere Bestände beobachtet. Der Verzicht auf die Andruckrolle bei feuchtem Boden wird positiv von den Pflanzen durch schnellere Auflaufgeschwindigkeit und dichtere Bestände aufgefasst. (CHEN et al., 2004). Die Aussaat wird u.a. mit einem Zinkenschar bewerkstelligt, der am unteren Ende mit einer gehärteten Scharspitze versehen ist, die das Einziehen des Säschars in den Boden erleichtern soll. Der Zinkenschar ist in seiner Form möglichst schmal gehalten, um nur wenig Boden bei der Aussaat zu bewegen.

Der Vorteil davon ist, dass das Schar Feinerde produziert und damit ein feinkrümeliges Saatbett herstellt. Auch feuchte Bodenverhältnisse führen bei dieser technischen Variante noch zu guten Ergebnissen bei der Aussaat. Eine zu große Pflanzenrestaflageschicht kann Verstopfungen des Säaggregates zur Folge haben. Dabei beginnt das Stroh sich vor dem Zinkenschar zu sammeln und als Haufen liegen zu bleiben. Im schlimmsten Falle führt dies zum totalen Verstopfen der Säaggregate. Zur Vermeidung besitzen die Drillmaschinen einen weiten Abstand zwischen den Scharen in einer Reihe und ebenfalls einen hohen Freiraum zwischen Boden und Anbaugerät (AMAZONE, 2020). Lang gedroschenes Getreidestroh ruft bei der Aussaat das Einziehen des Strohs in den Säschlitz hervor. Dies verschlechtert das Auflaufen des Saatgutes erheblich, da es auf dem Stroh abgelegt, nicht ausreichend mit Wasser und Nährstoffen versorgt wird (BAEUMER, 1971).

Scheibensäschare sind häufig mit zwei oder drei Scheiben besetzt und „schneiden“ durch den Boden. Im Vergleich zum Zinkenschar bietet diese Bewegung den Vorteil noch weniger Erdkrume zu bewegen. Das Scheibenschar ist weniger anfällig für dichte Bodenaufageschichten. Dieser Aspekt wird von vielen Praktikern geschätzt. In den meisten Fällen kann einfaches Durchschneiden einen sauberen Säschlitz herstellen. Problematisch ist langes, noch nicht durch Witterungseinflüsse spröde gewordenes Stroh. Dieses stabile Stroh führt bei schlechter Verteilung durch den Mähdrescher ebenfalls zum Verstopfen des Säaggregats. Das Ausdrillen bei zu feuchten Bodenverhältnissen bedingt, durch den hohen Schardruck und die schneidende Fortbewegung, dass die Saalfurche verschmiert. Dieses schädigt die Bodenstruktur, das Saatgut wird daraufhin nur schlecht mit Luft, Wasser und Nährstoffen versorgt. Auch muss der Keimling mehr Energie aufwenden, um durch die verdichtete Bodenschicht hindurch zu wachsen (LOP, 2008; SÜDZUCKER AG, 2021).

Eine weitere Bauart des Säschares ist der sogenannte Cross-Slot[®] Öffner. Er besteht aus einem großen Scheibensech, welches sich durch den Boden „schneidet“. An der unteren Hälfte der Scheibe befinden sich der „geflügelte Zinken“, einen mittig geteilter Zinken. Dieser umfasst beidseitig das Scheibensech und durchtrennt den Boden seitlich des Scheibensechs. So entsteht als Bearbeitungsbild im Bodenrelief ein umgedrehtes „T“. In diesen Schlitz wird auf der einen Seite des Zinkens das Saatgut und auf der gegenüberliegenden Seite der Dünger abgelegt. Die Düngegabe erfolgt mit festem oder flüssigem Dünger. Durch die spezielle Form wird das Saatgut in die vorgezogenen Schlitze hineingelegt und hat bei der Aussaat keinen direkten Kontakt mit dem Düngemittel. Die seitliche Kornablage ermöglicht, dass Schar auch bei einer starken organischen Auflageschicht anzuwenden. Das Saatgut selbst wird, wenn es zum „hairpinning Effekt“ kommt, durch die seitliche Ablage nicht vom in die Saalfurche gezogenen Stroh beeinträchtigt.

Auch hier hat das Saatgut keinen direkten Kontakt mit dem Stroh, so dass keine Pathogene auf den Keimling gelangen (CROSS SLOT ® NO- TILLAGE SYSTEMS, 2021).

2.3.2 Vorteile der Direktsaat

Ein gewachsener Boden nimmt durch eine hohe Anzahl an Regenwurmröhren das Wasser besser auf und neigt daher weniger zum Verschlämmen. Durch den Verzicht auf die Bodenbearbeitung gelangt weniger Sauerstoff in tiefere Bodenschichten. Das hat zur Folge, dass sich die organische Masse im Boden nur noch langsam abbaut. Der Humusgehalt steigt in der obersten Bodenschicht mit der Zeit an und damit wiederum das Wasserspeichervermögen des Bodens (LIEBHARD et al., 2004). Der Humus kann sich mit den Tonteilchen des Bodens verbinden um Ton-Humus-Komplexe zu bilden. An diesen sammeln sich Nährstoffe, so dass sie nicht in tiefere Bodenschichten abwandern und noch für die Pflanzen nutzbar bleiben. Durch das Ansteigen des Humusanteils im Boden wird das von den Pflanzen ursprünglich aufgenommene Kohlenstoff-Dioxid (CO₂) im Boden gespeichert. Mit anhaltender Anwendung des Direktsaatsystems wird sich die Phosphorkonzentration in der obersten Bodenschicht anreichern, weil der Dünger nicht mehr eingearbeitet wird. Dies wurde sowohl bei Anbauversuchen, als auch in der Praxis beobachtet (BREUER et al., 2017; WOOL.COM, 2021; DERPSCH, 2020).

Durch die bestehende Auflageschicht gelangt weniger Sonnenlicht auf die Bodenoberfläche, so dass lichtkeimende Kräuter und Gräser nicht mehr zum Keimen angeregt werden. Dadurch kann das Vorkommen von Problemkräutern und -gräsern im Bestand wechseln, welches genauer Beobachtung bedarf (DERPSCH, 2020). Zudem können hier die genannten Vorteile des besten Erosionsschutzes angeführt werden. Auch das gesteigerte Wasserhaltevermögen in der oberen Bodenschicht ist beachtenswert (LIEBHARD et al., 2004). Der gewachsene Boden bietet gute Befahrbarkeit für nötige Arbeitsgänge (AMBERGER, 1983). Der Verzicht auf die Bodenbearbeitung spart Arbeitszeit und Kraftstoff ein, Bodenleben regeneriert und ein der Natur am nächsten kommendes Gleichgewicht wird aufgebaut (BREUER et al., 2017; LIEBHARD et al., 2004).

2.3.3 Nachteile der Direktsaat

Durch den Verzicht auf die mechanische Bodenbearbeitung und Unkrautregulierung sind allerdings nicht nur Vorteile für die Bewirtschaftung zu erwarten. Die Pflanzenschutzspritze wird daher zum wichtigsten Gerät. In der Direktsaat ist das Wissen, welche Herbizide gegen die auftretenden Kräuter und Gräser wirken und welchen Wirkstoff sie enthalten noch wichtiger. Da bodenwirksame Mittel von der Auflageschicht aufgenommen und so nicht bei den zu bekämpfenden Pflanzen ankommen, sollten nur Kontaktherbizide Anwendung finden.

Das führt zu einem verringerten Samenpotenzial in den obersten Bodenschichten und langfristig zu einem verminderten Auftreten von Begleitpflanzen. Dies reduziert bei fortlaufender Anwendung den Herbizideinsatz in der Direktsaat. Grundsätzlich sind die Aufwendungsmengen in der Direktsaat ähnlich wie in der Mulchsaat (DERPSCH, 2020).

Ein bei Praktikern bekanntes Problem ist der Mausebefall. Die zwei am häufigsten auftretenden Mäusearten sind die Schermaus, auch Große Wühlmaus genannt (*Arvicola terrestris*) und die Feldmaus (*Microtus arvalis*). In den Gängen fressen die Schermäuse die Wurzeln der Kulturpflanzen ab, dies schädigt sie und führt bis zum Absterben. Die Fraßstellen sind zusätzlich ein Problem: Es können sich Fäulnispilze ansiedeln, welche das Verderben des unterirdischen Erntegutes hervorrufen. Dieser Verlust der Feldkultur, bis hin zum Totalausfall der Ernte, bedeutet finanzielle Einbußen. Da sich die Mäuse zwischen März und Oktober drei bis viermal fortpflanzen, kann schnell eine große Population von mehr als 700 Tieren je Hektar heranwachsen (ÖKOLANDBAU.DE DAS INFORMATIONSPORTAL, 2018-a).

Die Feldmaus (*Microtus arvalis*) legt gut sichtbare oberirdische Laufwege zwischen den Löchern an. Das Vermehrungspotenzial der Feldmäuse ist beachtlich, da sie sich von April bis Oktober fortpflanzen und die weiblichen Tiere bereits nach elf Tagen geschlechtsreif werden. So sind Populationen von über 2000 Mäusen je Hektar möglich. Diese hohe Anzahl bleibt nicht stabil, zeigt aber das Schadpotenzial der Mäuse. Die Feldmäuse fressen neben den ober- und unterirdischen Pflanzenteilen auch die Samen der Kulturpflanzen. So schädigen große Feldmauspopulationen im Herbst die frisch gesäten Feldkulturen, dies kann zum Totalausfall derer führen (ÖKOLANDBAU.DE DAS INFORMATIONSPORTAL, 2018-b). Daher ist es wichtig, die Mäusepopulation z.B. durch die „Lochtretmethode“ im Blick zu behalten. Bei der Auswertung muss die Jahreszeit mit einbezogen werden, da diese ausschlaggebend für die noch absehbare Entwicklung der Mäuse ist (TLL, 2014). In der konventionellen Landwirtschaft wird beim verstärkten Auftreten von Mäusen vor der Aussaat und nach der Ernte tief gepflügt oder gegrubbert um die in 20 bis 30 cm tief gelegenen Bauten und Gänge der Mäuse zu verschütten und so die Population zu minimieren. Zudem werden die Randstreifen gepflügt um das Einwandern von Feldmäusen in den Schlag zu erschweren. Diese Möglichkeit fällt bei der konsequenten Direktsaat weg, daher muss eine teure und zeitaufwändige Bekämpfung mittels Gift erfolgen (TLL, 2014). Der auf Dauer günstigste und nachhaltigste Weg der Mäuseregulierung ist die biologische Bekämpfung. Hier wird auf die regulierende Wirkung der Natur gesetzt, indem die natürlichen Feinde der Mäuse gefördert werden. Dies kann unter anderem durch Greifvögel geschehen, denen die Jagd auf Mäuse durch aufgestellte Sitzstangen erleichtert wird. Die Stangen sollten in Hauptwindrichtung ausgerichtet sein und das ganze Jahr über stehen bleiben.

Flächen an Feldrändern, Stilllegungen oder Gräben sind mit Sitzstangen zu bestücken. Neben den tagaktiven Greifvögeln ernähren sich auch Eulen von Mäusen. Es ist daher empfehlenswert, diese durch das Aufhängen von Nistkästen anzulocken (NATURLAND, 2014). Abmulchen fördert das Bejagen der Ackerrandstreifen im Herbst (TLL, 2014). Weitere günstige Optionen Nützlinge zu fördern sind abgesammelten Steine zu Haufen aufgeschichtet, sie dienen Hermelinen und Mauswiesel als Unterschlupf. Auch Wurzelstöcke und Holzstapel werden von ihnen gerne angenommen (ÖKOLANDBAU.DE DAS INFORMATIONSPORTAL, 2018-a). Die organische Bodenaufschicht bringt auch einige ackerbaulichen Nachteile, z. B. bietet das feuchte Milieu Schnecken einen guten Unterschlupf. Dieses schützt die Tiere vor dem Austrocknen und bietet ihnen einen guten Lebensraum. Besonders drei Nacktschneckenarten können für erhebliche Schäden in jungen Beständen mit langsamer Jugendentwicklung sorgen. Genetzte Ackerschnecke (*Deroceras reticulatum*), Gartenwegschnecken (*Arion hortensis*) und Spanische Wegeschnecke (*Arion lusitanicus*) schädigen stark Winterraps, Mais, Zuckerrüben und Sonnenblumen (BIERI et al., 2010). Bei sehr gefährdeten Kulturen empfiehlt sich die Ausbringung von Schneckenkorn bereits mit der Aussaat. Um die Massenvermehrung der Schnecken zu verhindern, sollte mit einer Walze gut rückgefestigt werden (LOP, 2008). Auf Flächen mit anhaltend durchgeführter konservierender Bodenbearbeitung, sowie Direktsaatflächen erhöht sich das Vorkommen von Nützlingen, u.a. Laufkäferarten *Carabus cancellatus* und *Carabus auratus* (Goldlaufkäfer). Die Laufkäfer ernähren sich auch von Nacktschnecken (KREUTER u. SCHMIDT, 2007). Hier unterstützt eine gleichmäßige Strohverteilung und eine breite Fruchtfolge bei der Schadensbegrenzung (BIERI et al., 2010).

2.3.4 Pflanzenschutzmittel-Anwendung

Ein in Spanien durchgeführter sechszehnjähriger Bodenbearbeitungsversuch ermittelte, dass, im Verhältnis zu den Gesamtkosten, die Herbizidkosten der Pflug-Bodenbearbeitung auf die Direktsaat von 4,9 % auf 8,8 % anstiegen (SÁNCHEZ-GIRÓN et al., 2004). Bei dem Anbau von Sonnenblumen und Winterraps wurde in der Mulchsaat sowie Direktsaat auch ein höherer Pflanzenschutzmittelaufwand von KLIK et al. (2010) erfasst. In dem Bodenbearbeitungsversuch der Landwirtschaftskammer Reinland-Pfalz wird von steigenden PSM-Aufwendungen gesprochen und darauf hingewiesen, dass diese nicht die wirtschaftliche Rentabilität der konservierenden Bodenbearbeitung gefährden dürfen (BERG et al., 2011). Um der Resistenzbildung vorzubeugen hilft es die Wirkstoffgruppen im Wechsel anzuwenden, dabei unterstützen Pflanzenschutzpläne. Die Steigerung der Pflanzenschutzmittelwirksamkeit erfolgt durch die optimale Spritzwasserdosierung sowie die Vermeidung von Wechselwirkungen der Präparate (DERPSCH, 2020).

2.3.5 Ertragsentwicklung der Direktsaat

Da die Direktsaat neben der Qualität der Ernteprodukte auch einen relevanten Erlösfaktor darstellt, wurde dies bereits in vielen Versuchen erfasst. Eine groß angelegte Untersuchung mit insgesamt 678 Studien, die sich mit dem Ertragsunterschied zwischen konventioneller Bearbeitung und Direktsaat in 63 Ländern, mit 50 Kulturen beschäftigte, ergab, dass bei den Getreidearten der negative Effekt der Direktsaat mit nur -2,6 % Ertragseinbußen bei Winterweizen am geringsten war. Die schlechtesten Ergebnisse waren bei Reis mit -7,5 % und Mais -7,6 % zu verzeichnen. Über die gesamte Anzahl der Kulturen lag der Ernterückgang bei durchschnittlich 5,1 %. Beobachtet wurde, dass es in den ersten drei Jahren nach der Umstellung auf die Direktsaat in allen Kulturen zu verringerten Erträgen kam (PITTELKOW et al., 2015). Der Bodenbearbeitungsversuch des LTZ erfasste, dass die Mulchsaat 6 %, die Direktsaat sogar 11 % Ertragseinbußen gegenüber der Pflugvariante verzeichnete. Innerhalb der Gruppierungen der Standorte in feuchte und vorwiegend trockene Lagen wurde dieser Ertragsrückgang ebenfalls ausgemacht. Es gab signifikante Wechselwirkungen zwischen der Bodenbearbeitungsvariante und der angebauten Fruchtart (BREUER et al., 2017). Auf 2 von mehreren Standorten in Österreich erbrachte die Mulchsaat bei Winterweizen im Durchschnitt 2,95 dt/ha Mehrertrag. Die Direktsaat verzeichnete bei dem Winterweizen mit gerade einmal 0,7 dt/ha keinen beachtlichen Mehrertrag. Der nur auf einem Standort durchgeführte Sommergerstenanbau war hier mit 11,4 dt/ha eindeutig ertragsreicher. Bei Sonnenblumen konnte die Mulchsaat ebenfalls die besseren Bedingungen schaffen und so einen Vorsprung von 12,4 dt/ha ermöglichen. Hervorzuheben ist das Silomaisergebnis, welches in der Direktsaat einen Mehrertrag von 200 dt/ha im Versuchsjahr 2008 erreichte (KLIK et al., 2010).

2.4 Klimatische Bedingungen am Standort Strenzfeld-Bernburg (Saale)

Um einen besseren Einblick in die Witterungsverhältnisse am Versuchsstandort zu erhalten, werden im Zuge dieser Bachelorarbeit die Wetter-Aufzeichnungen der letzten 60 Jahre von Strenzfeld ausgewertet (Abb. 1). Alle Jahrestemperaturen sind mit den einzelnen Monaten zu einer Jahresdurchschnittstemperatur zusammengefügt. Ebenso verhält es sich mit den ermittelten Niederschlägen, welche als Summe in den jährlich gefallenem Millimetern wiedergegeben werden. Diese Abbildung dient dem Überblick über die Jahre 1961 bis 2020 (INTERNATIONALES DLG-PFLANZENBAUZENTRUM, 2020).

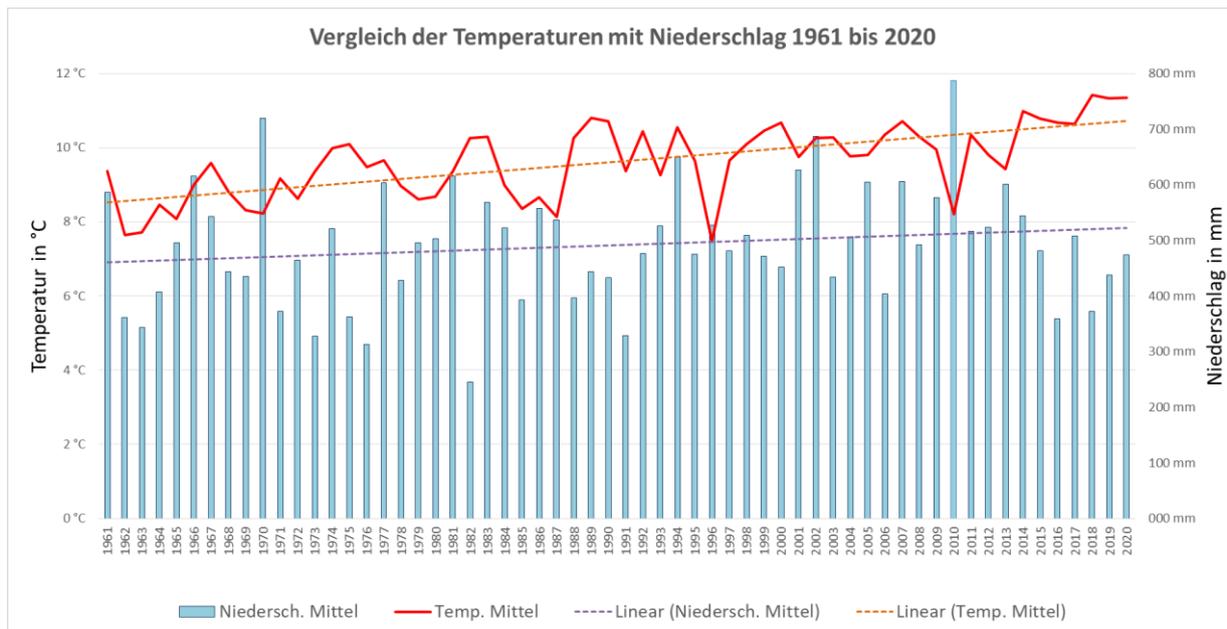


Abbildung 1: Diagramm der Temperaturen und Niederschläge von 1961 bis 2020 in Strenzfeld, Visualisierung der Daten des DWD, 2021-c

Auf dem Diagramm steigt die orange-lineare (Temp. Mittel) Trendlinie gut sichtbar an. Beachtlich ist ebenfalls, die Zunahme der linearen Trendlinie der Niederschläge. Das ist erstaunlich, da sich Strenzfeld im Mitteldeutschen Trockengebiet befindet. Anhand der zwei linearen Trendlinien ist gut ersichtlich, dass die Jahresdurchschnittstemperatur nicht parallel mit dem durchschnittlichen Jahresniederschlag ansteigt. Die Jahre des Beobachtungszeitraumes der Arbeit waren sehr trocken. Dies hatte zur Folge, dass es für die Pflanzen zu verstärktem Trockenstress kam. Insbesondere das Jahr 2018 lag mit einem Gesamtniederschlag von 372 mm unter dem durchschnittlichen Niederschlagswert und die durchschnittliche Temperatur stieg um ein weiteres Grad Celsius auf 11,4 °C an. So warm war in der abgebildeten Zeitspanne noch kein anderes Jahr zuvor. Die Niederschläge stiegen zwar 2019 und 2020 wieder an, allerdings blieb die durchschnittliche Temperatur mit 11,3 °C immer noch sehr hoch. Die angespannten Verhältnisse in den vier Jahren scheinen konstant. Um ein genaueres Bild der Niederschläge und Durchschnittstemperaturen in den einzelnen Monaten zu erhalten wurde der 30-jährige Mittelwert von Sachsen-Anhalt für den Zeitraum von 1991 bis 2020 erfasst (Abb. 2) (DWD, 2021-b). Die Daten des Deutschen Wetterdienstes sind auch im Anhang einsehbar „Anhang 1: Niederschlag der 4 Versuchsjahre erfasst durch DWD, 2021-c“.

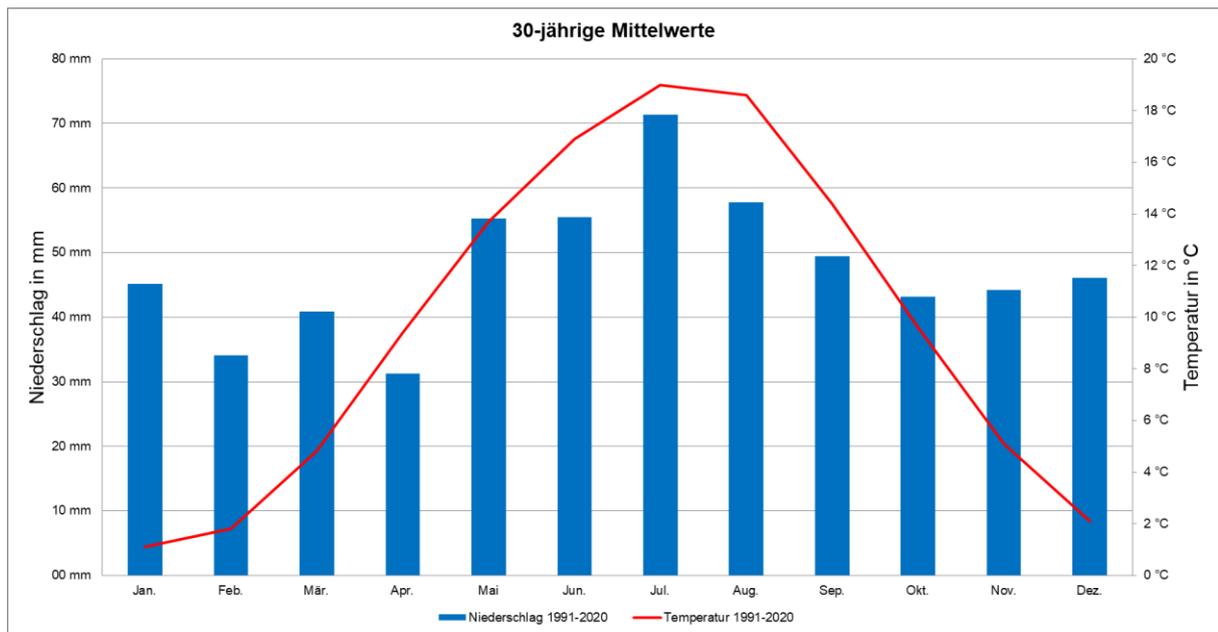


Abbildung 2: Verteilung der Niederschläge und Temperaturen im Jahresverlauf, Visualisierung der Daten vom DWD, 2021-c

Eine anschauliche Darstellung dieser Bedingungen liefern die Betrachtungen der vom Deutschen-Wetter-Dienst (DWD) bereitgestellten Abbildungen 3 bis 7.

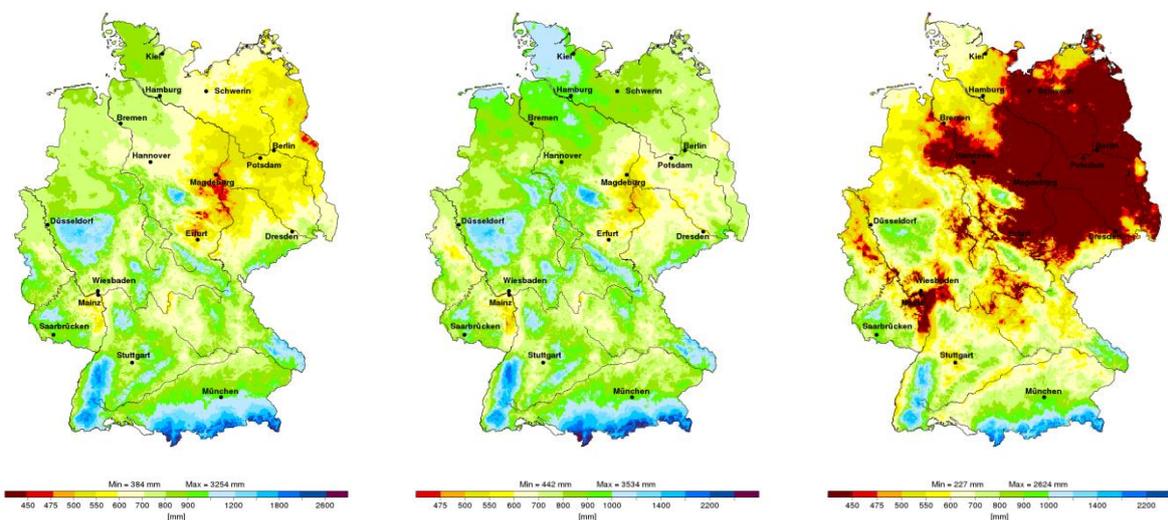


Abbildung 3: Niederschlag Kalenderjahre 1961 bis 1990 DWD, 2021-a

Abbildung 4: Niederschlag Kalenderjahr 2017 DWD, 2021-a

Abbildung 5: Niederschlag Kalenderjahr 2018 DWD, 2021-a

Abbildung 3 stellt den Normalwert (Mittelwert über 30 Jahre) des Niederschlages von 1961 bis 1990 dar, alle darauf folgenden Abbildungen beziehen sich auf diesen Zeitraum als Referenzwert.

Auffällig ist hier die Rotfärbung im Bereich östlich des Harzes. In Abbildung 4 ist der Niederschlag des Kalenderjahres 2017 aufgeführt. In Strenzfeld gab es mit 507,5 mm einen leicht unterdurchschnittlichen Jahresniederschlag, die mittlere Temperatur betrug 10,6 °C. Allerdings lag die Regenmenge 2016 lediglich bei 359 mm, so dass die Niederschläge 2017 die Bodenwasservorräte nicht auffüllten und 2017 auch als Trockenjahr zu zählen war. Abbildung 5 unterscheidet sich sehr gut von den vorigen Abbildungen, von der Trockenheit 2018 ist besonders der Osten von Deutschland betroffen. Die Jahresdurchschnittstemperatur betrug für Strenzfeld 11,4 °C und der Jahresniederschlag lag bei 371,7 mm.

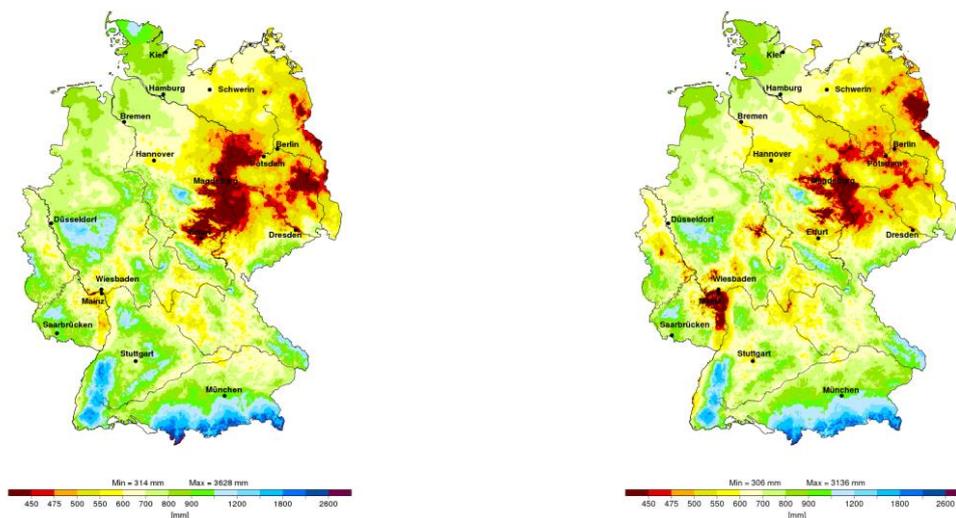


Abbildung 6: Niederschlag Kalenderjahr 2019 DWD, 2021-a **Abbildung 7: Niederschlag Kalenderjahr 2020 DWD, 2021-a**

Abbildung 6 bildet den Jahresniederschlag von 2019 ab. Prägnant ist weiterhin die tiefrote Färbung des Gebietes hinter dem Harz. Die Regenmenge in Strenzfeld betrug 371,7 mm und die Durchschnittstemperatur 11,3 °C. Auch auf Abbildung 7 fällt der rote Bereich 2020 östlich des Harzes deutlich auf. Die Jahresdurchschnittstemperatur in Strenzfeld betrug weiterhin 11,3 °C, der jährliche Niederschlag 437,8 mm (DWD, 2021-a). Auch die jährliche Durchschnittstemperatur für ganz Deutschland von 1881 bis 2020 (Abb. 8) gibt den linearen Trend wieder, welcher auch für den Standort Strenzfeld-Bernburg (Saale) abzuleiten ist. Es wurde sich hierbei bewusst für die Anzeigeoption der Anomalie entschieden, da diese gut veranschaulicht, ob das abgebildete Jahr wärmer oder kälter als die Durchschnittstemperatur im Referenzzeitraum war. In den letzten 30 Jahren (1990 bis 2020) ist der Temperaturanstieg besonders auffällig, nur 1996 und 2010 lagen unter dem Durchschnitt. So lässt sich durchaus ein Trend für die nächsten Jahre erkennen (DWD, 2021-b).

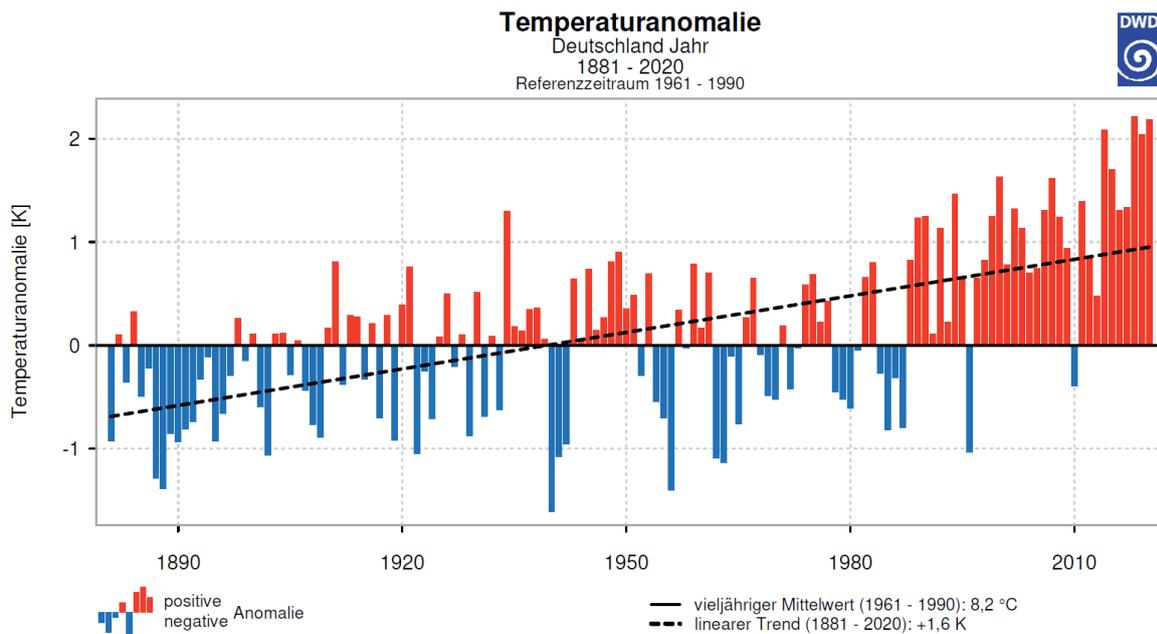


Abbildung 8: Temperaturanomalie von 1881 – 2020 DWD, 2021-b

3. Zielstellung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem vom Internationalen DLG-Pflanzenbauzentrum in Strenzfeld-Bernburg (Saale) von 2017 bis 2020 durchgeführten Versuch „Systemvergleich Bodenbearbeitung“. Es wurden die beiden Versuchsvarianten Mulchsaat und Direktsaat miteinander verglichen und ausgewertet. Dabei soll die Frage geklärt werden, welche der beiden Anbauvarianten wirtschaftlicher in dem Versuchszeitraum 2017 bis 2020 war. Es werden die drei angebauten Marktfrüchte Winterraps, Winterweizen und Silomais ausgewertet. Winterweizen kommt aufgrund der Fruchtfolge zweimal vor und wird daher jeweils einzeln bewertet (INTERNATIONALES DLG-PFLANZENBAUZENTRUM, 2020).

- Welches der beiden Bearbeitungssysteme ist unter trockenen Bedingungen, durch Ermittlung der Prozesskostenfreien Leistungen (PkfL) der Kulturen, rentabler?
- Konnten vergleichbare Studien das Ergebnis der Untersuchung bestätigen?
- Welches der beiden Bodenbearbeitungssysteme ist aufgrund des Klimawandels besser geeignet?

4. Material und Methoden

4.1 Standortbeschreibung

Nachfolgend wird die Versuchsdurchführung des Internationalen DLG-Pflanzenbauzentrums (IPZ) beschrieben. Dieses wurde 2010 gegründet um die wissenschaftlichen Erkenntnisse des Pflanzenbaus in die landwirtschaftliche Praxis zu übertragen. Landwirte in der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG) arbeiten mit Vertretern aus Wissenschaft, Beratung und ansässigen Partnern zusammen um diesen Wissenstransfer zu ermöglichen. Das IPZ befindet sich in Strenzfeld, einem Stadtteil von Bernburg (Saale), im Bundesland Sachsen-Anhalt. Bernburg liegt an der A14 zwischen Magdeburg und Halle. Topografisch gesehen grenzt es im Norden an die Ausläufer der Magdeburger Börde, im Süden an die Leipziger Tieflandbucht und im Westen an das Harzvorland. Der Harz hat einen besonderen Einfluss auf das Klima dieses Standortes und seiner Umgebung, da dieser im Harzer Regenschatten liegt. Außerdem befindet sich Bernburg an der Ostgrenze des Mitteldeutschen Trockengebietes, dem trockensten Gebiet Deutschlands. Der mittlere Jahresniederschlag (1981 bis 2010) betrug 511 mm und die Jahresmitteltemperatur lag bei 9,7 °C (INTERNATIONALES DLG-PFLANZENBAUZENTRUM, 2020). Strenzfeld liegt ca. 5 km außerhalb von Bernburg und auf 80 m NN (STADT BERNBURG, 2020). Das IPZ verfügt über mehrere Versuchsflächen rund um Strenzfeld. Der auf dem Feld „Holstein 1“ seit 2012 stattfindende Versuch „Systemvergleich Bodenbearbeitung“ lief bis zur Ernte im Jahr 2020. Bei dem Boden handelte es sich um Löß-Schwarzerde mit 87 Bodenpunkten. Dieser setzte sich aus 22 % Ton, 70 % Schluff, sowie 8 % Sand zusammen und wird als Schluffiger Lehm (uL) klassifiziert. Der Boden pH - Wert beträgt 7,4 und die nutzbare Feld-Kapazität (nFK) lag bei 250 mm. Die ebene Lage des Feldes begünstigte die Homogenität der Versuchsfläche (INTERNATIONALES DLG-PFLANZENBAUZENTRUM, 2020).

4.2 Versuchsdurchführung

Diese Arbeit analysiert den Bodenbearbeitungsversuch des IPZ: „Systemvergleich von Streifenbearbeitung, Mulchsaat und Direktsaat sowie Untersuchung langfristiger Effekte konsequenter Streifenbearbeitung und Düngerapplikation“ (INTERNATIONALES DLG-PFLANZENBAUZENTRUM, 2020).

Die Fruchtfolge gestaltete sich wie folgt:

Winterraps - Raps-Weizen - Silomais - Mais-Weizen

Das IPZ verwendete für alle Anbauvarianten Trecker und Anbaugeräte konventionelle Technik.

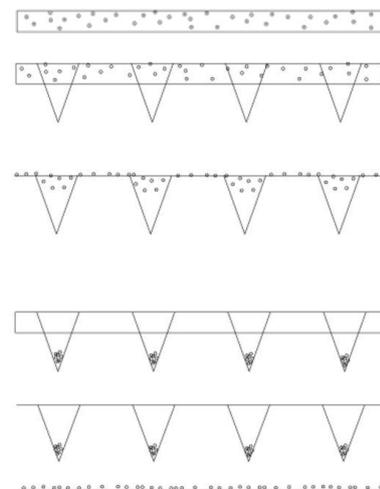
So wurde die Bodenbearbeitung (Tab. 1) von einem Horsch-Terrano-Grubber und einer Amazone-Catros-Scheibenegge durchgeführt. Beide Anbaugeräte hatten eine Bearbeitungsbreite von 3 Metern. In den Mulchsaatvarianten wurden je nach Kultur unterschiedliche Bodenbearbeitungstiefen gewählt. Vor Winterraps waren es 25 cm, bei Raps-Weizen 10 cm, zu Silomais noch einmal 20 cm und zu Mais-Weizen 15 cm Tiefe. Die Aussaat erfolgte bei der Mulchsaatvariante mit einer Amazone-AD-P-Super mit Schleppscharen. Die Winterweizenaussaat im Direktsaatverfahren führte eine Direktsaatdrillmaschine, des Modells Tandem-Flex des Herstellers Auf der Landwehr, durch. Die Einzelkornablage erledigte in beiden Varianten eine Kuhn-Maxima-Einzelkorndrillmaschine. Alle Drillmaschinen verfügten über eine Arbeitsbreite von 3 Metern. Die direktsaattauglichen Drillmaschinen verwendeten beide Scheibenschare für die Aussaat. Die Düngerausbringung der Varianten 1, 2, 3 und 6 gelang mit einem 18 m breiten pneumatischen Kverland-ACCORD-Düngerstreuer. Die Grunddüngung erfolgte auf die noch unbearbeiteten Parzellen. Diese konnte jeweils vor Silomais und Raps gestreut werden. Gedüngt wurde Phosphor (P_2O_5) als Trippel-Superphosphat und Kalium (K_2O) als 40er Korn-Kali. Die Stickstoff-Düngung zur jeweiligen Kultur erfolgte anhand der Ermittlung nach N_{min} und der Düngebedarfsermittlung. Bei der Variante 1 arbeitete der Grubber den Dünger in den Boden ein. Bei der Variante 2 und 3 erfolgte die Einarbeitung ausschließlich in die gelockerten Bearbeitungstreifen. Bei der Direktsaatvariante wurde der Dünger nicht in den Boden eingearbeitet, bei den Varianten 4 und 5 direkt bei dem Einziehen der Saatstreifen mit abgelegt. In die gelockerten Streifen erfolgte dann die Aussaat mit Hilfe eines Real Time Kinematik- (RTK) GPS ausgestatteten Agrar-Schleppers. Die Aussaat fand kulturspezifisch im Versuchszeitraum bearbeitungsvariantenübergreifend am selben Tag statt. So konnte die gleiche Wachstumszeit der Varianten sichergestellt werden. Eine regelmäßige Kontrolle der Pflanzenbestände stellte eine schnelle Reaktion bei auftretenden Schädlingen und Krankheiten sicher. Es wurde nach dem Schadschwellenprinzip gehandelt, daher differierten die Summen für die PSM-Aufwendungen zwischen den Bearbeitungsvarianten. Zusätzlich wurde die Pflanzenanzahl pro Quadratmeter (m^2) und im Laufe der Vegetation die Anzahl der Ähren pro m^2 bonitierte. Anfallende Pflanzenschutzmaßnahmen führte eine Amazone-UF mit 18 m Arbeitsbreite durch. Alle Anbaugeräte zog ein Fendt 716. Bei der Direktsaatvariante kam zur Keimanregung des Ausfallrapses standardmäßig ein Claydon-Striegel mit 3 Metern zum Einsatz. Dieser diente ebenfalls zur Korrektur der Strohverteilung des Mähdreschers nach der Winterweizenernte. Nach der Ernte von Silomais und Winterraps erfolgte ein Abmulchen der Stängel mit einem Berti-Mulcher. Ein Großparzellenmähdrescher des Modells MDW Farma CS 220 hat die Versuchspartellen abgeerntet. Die Ertragsermittlung erfolgte durch eine im Mähdrescher verbaute Wiegezeile. Um die einzelnen Bearbeitungsvarianten einer Kultur zu vergleichen, geschah der Mähdrusch für alle Parzellen am selben Tag.

Die Erträge wurden im Rahmen anderer Versuche bereits statistisch ausgewertet, in dieser Arbeit finden diese keine Berücksichtigung. Um eine Vergleichbarkeit der Erträge sicher zu stellen, wurden diese bei Winterweizen auf 14 %, Winterraps 9 % und Silomais 68 % Restfeuchte ermittelt (BIADA, 2021).

Die sechs Bearbeitungsvarianten teilten sich wie folgt auf in:

Tabelle 1: Varianten (Bodenbearbeitung und Düngung), Beschriftung und Abbildungen übernommen INTERNATIONALES DLG-PFLANZENBAUZENTRUM, 2020

- 1- Mulchsaat bei allen Kulturen, (Standard)
- 2- Streifenbearbeitung bei Raps und Mais, Mulchsaat bei Getreide
- 3- Streifenbearbeitung bei allen Kulturen, Getreide wurde mit Doppelschar in gelockerte Reihen gedrillt
- 4- wie 2, PK- Düngung zur BB [Boden-Bearbeitung] in der Reihe
- 5- wie 3, PK- Düngung zur BB in der Reihe
- 6- Direktsaat



Der auf dem 12 ha großen Feld durchgeführte Versuch ist als zweifaktorielle Spaltanlage aufgebaut, so dass 96 Parzellen in zwei Faktoren untersucht wurden (Abb. 9). Der erste Faktor bezog sich auf die Fruchtart, welche Bodenbearbeitungsvarianten übergreifen auf der Großparzelle stand. Der zweite Faktor war die Unterteilung der Großparzellen in Kleinparzellen. Auf den Kleinparzellen wurden jeweils alle 6 Bodenbearbeitungsvarianten (siehe Tabelle 1) durchgeführt. Sowohl Groß- als auch Kleinparzellen wurden randomisiert. Die Großparzellen wurden blockartig angeordnet. In jeder Zeile erfolgte der Anbau aller vier Fruchtarten. In den 4 Spalten war jede Fruchtart einmal mit ihren Bodenbearbeitungsvarianten vertreten. In jedem der Versuchsjahre rotierte die Fruchtfolge um eine Fruchtart auf den Großparzellen weiter, während die Bodenbearbeitungsvarianten in den Kleinparzellen über die Jahre gleich blieben (INTERNATIONALES DLG-PFLANZENBAUZENTRUM, 2020).

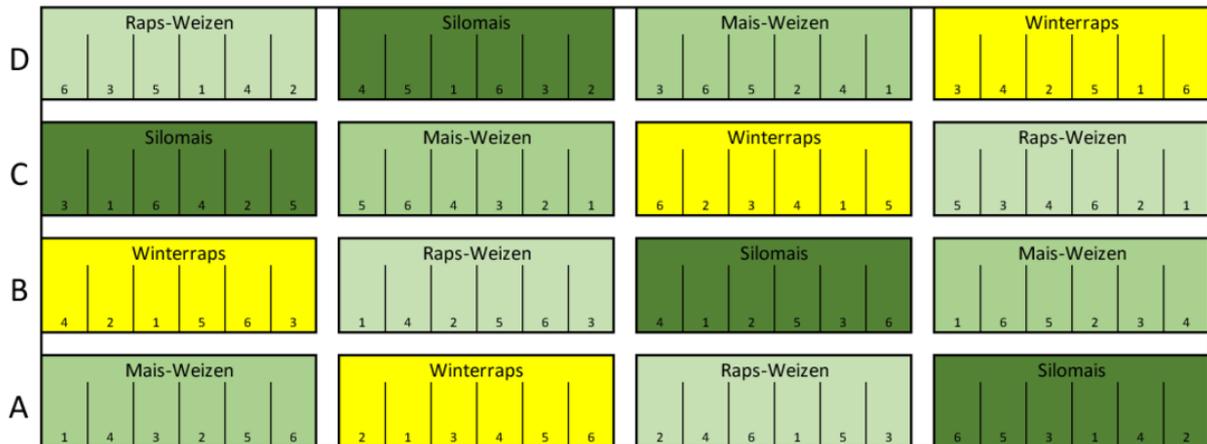


Abbildung 9: Darstellung der Versuchspartellen Internationales DLG-Pflanzenbauzentrum, 2020

Ab dem Erntejahr 2016 kam eine zweite Winterweizensorte in den Versuch hinzu, um abweichende Bestandesarchitekturen zu berücksichtigen. Außerdem erfolgte vor Silomais der Anbau einer Zwischenfruchtmischung, bestehend aus 72 % Leguminosen, ohne Buchweizen. Diese wurde in allen Bearbeitungsvarianten mittels Direktsaat in den Boden eingebracht. Da deren Abfrieren aufgrund der teilweise sehr milden Winter nicht sichergestellt werden konnte, wurde je nach Witterung eine Glyphosatanwendung erforderlich. Auf die Zwischenfruchtmischung wird in dieser Arbeit nicht weiter eingegangen (BIADA, 2021). Die ausgewerteten Daten befinden sich im „Anhang 2: Eigene Zusammenfassung der Daten des Internationalen DLG-Pflanzenbauzentrums“. Die im Ergebnisteil aufgeführten Abbildungen der angebauten Kulturen beruhen auf eigenen Berechnungen, welche ebenfalls als Tabellen (siehe Anhang 3 bis 6, Seite XII und XIII) enthalten sind. Neben dem Ertrag sind bei dem Versuch auch die Fallzahl (in Sekunden), der Proteingehalt und das Tausend-Korn-Gewicht (TKG) des Erntegutes ermittelt worden. Alle vom IPZ erhobenen Daten wurden unter zur Hilfenahme der Werte des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) umgerechnet. Die Bedingungen eines arrondierten 200 ha Ackerbaubetriebes dienten als Berechnungsgrundlage. Dieser rechnerische Betrieb verfügt über eine durchschnittliche Flächengröße von 20 ha (BIADA, 2021; Internationales DLG-Pflanzenbauzentrum, 2020) Die Versuchsauswertung der Ergebnisse erfolgte durch die Ermittlung der Prozesskostenfreien Leistungen (P_{kfL}) der Anbauvarianten. Diese gaben Auskünfte über die Rentabilität der angebauten Fruchtarten. Da die errechneten Zahlen frei von Fixkosten waren, bestand die Möglichkeit, diese auch für überbetriebliche Vergleiche zu nutzen. So wurden die Ergebnisse der Anbaukalkulation genutzt, um die Versuchsvarianten miteinander zu vergleichen (KTBL, 2013).

Die Prozesskostenfreien Leistungen setzen sich aus mehreren Teilstücken zusammen, die am Ende der Berechnung zusammenfließen. Um alle Teilbereiche dieser Rechnung übersichtlich darzustellen, wurden alle entstehenden Kosten in Kostenblöcken zusammengefügt. Neben diesen gab es einen Block, der die monetäre Leistung des Produktes angab. Diese lassen sich wie folgt berechnen:

$$\text{Leistung der Feldfrucht (€/ha)} = \text{Ertrag (dt/ha)} \times \text{Marktleistung (€/dt)}$$

Die errechneten Leistungen wurden dann von den summierten Direktkosten subtrahiert, um die Direktkostenfreien Leistungen zu erhalten.

„Direktkostenfreie Leistung = Leistung abzüglich Direktkosten“ (KTBL, 2013, S. 2)

Tabelle 2 dient der Ermittlung der Arbeiterledigungskosten, die die variablen und fixen Kosten von Arbeit und Maschinen zusammenfasst.

Tabelle 2: Zusammensetzung der Leistungen und der Direktkosten, Visualisierung nach SCHROERS und KRÖN, 2019

Leistungen	Ertrag x Marktleistung
Direktkosten	Saatgut + Düngemittel + Pflanzenschutzmittel (PSM) + Wasser (Beregnung) + Trocknungskosten + Lagerung + Vermarktung + Zinssatz Feldinventar/Lagervorräte

In Tabelle 3 werden die Arbeitserledigungskosten in folgende Aufwendungen aufgliedert:

Tabelle 3: Zusammensetzung der Arbeitserledigungskosten, Visualisierung nach SCHROERS und KRÖN, 2019

Arbeitserledigungskosten	Arbeitskräfte + Lohnansatz + Betriebs- und Schmierstoffe + Pflege und Wartung + Lohnarbeit/Maschinenmiete + Versicherungen
--------------------------	---

„Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung = Leistung abzüglich Direktkosten und Arbeitserledigungskosten“ = Prozesskostenfreie Leitungen (PkfL) (KTBL, 2013, S. 2)

Die Prozesskostenfreien Leistungen werden nach der DLG-Nomenklatur als Direkt- und Arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) bezeichnet (RICHTER, 2017).

5. Ergebnis

Alle im Ergebnisteil ausgewertete Zahlen und Leistungen der einzelnen Versuchsvarianten wurden aus den Versuchsunterlagen des IPZ übernommen. Sie sind im Anhang 2: „Eigene Zusammenfassung der Daten des Internationalen DLG-Pflanzenbauzentrums“ einsehbar. Dort finden sich auch die Berechnungen, der hier als Tabellen und Diagramme aufgezeigten Ergebnisse wieder (siehe Anhang 3 bis 6, Seite XII und XIII) (INTERNATIONALES DLG-PFLANZENBAUZENTRUM, 2020; BIADA, 2021).

Zur besseren Übersichtlichkeit erfolgt die Darstellung der Ergebnisse überwiegend in Diagrammen, so wird schnell ersichtlich, welche der beiden Varianten im entsprechenden Jahr leistungsstärker war. Dabei erfolgte die Abkürzung die Mulchsaatvariante mit M, die Direktsaatvariante mit D.

5.1 Erträge

Die wirtschaftliche Auswertung von 2017 bis 2020 liefert die Erträge der Feldkulturen in den beiden Anbauvarianten Mulch- und Direktsaat (Tab. 4). Die Auswertungen der einzelnen Kulturen sind im Anhang jeweils als Liniendiagramm visualisiert (Anhang 7 bis 10, Seite XIV). Auffällig waren die größeren Ertragsdifferenzen in den Jahren vor 2017. Große Unterschiede entstanden 2015 bei Silomais sowie 2016 bei Winterraps und Mais-Weizen. Der in der Tabelle 4 errechnete Mittelwert 1 bezieht sich auf den längeren Versuchszeitraum von 2014 bis 2020. Es war ersichtlich, dass die Mulchsaatvariante ertragstechnisch immer leicht vor der Direktsaat lag. Bei der Betrachtung des Mittelwertes 2 von 2017 bis 2020 änderte sich das Bild, hier lag der Ertrag für die Direktsaat immer leicht vor der Mulchsaat. (INTERNATIONALES DLG-PFLANZENBAUZENTRUM, 2020).

Tabelle 4: Erträge der Kulturen in dt/ha, je Anbauvarianten, über den gesamten Versuchszeitraum, Darstellung Daten des INTERNATIONALES DLG-PFLANZENBAUZENTRUM, 2020

Erträge der Kulturen in dt/ha von 2014 bis 2020										
Kultur	Variante	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Mittelwert 1 (2014 bis 2020)	Mittelwert 2 (2017 bis 2020)
Winterraps	M	51,91	46,41	48,22	31,51	38,34	33,08	26,55	39,43	32,37
	D	55,14	42,92	35,98	33,85	38,14	36,09	26,91	38,43	33,75
Raps-Weizen	M	81,11	75,61	98,54	67,91	51,80	55,78	63,59	70,62	59,77
	D	70,29	74,27	88,99	69,42	55,91	62,15	64,28	69,33	62,94
Silomais	M	593,58	505,12	537,84	397,33	297,42	184,21	371,47	412,42	312,61
	D	579,96	229,31	485,58	406,00	370,61	185,58	408,65	380,81	342,71
Mais-Weizen	M	79,75	69,62	85,50	66,00	56,60	51,56	64,81	67,69	59,74
	D	59,14	70,74	65,97	74,88	52,29	55,67	69,89	64,08	63,18

5.2 Marktleistungen

In Tabelle 5 ist ersichtlich, dass die Direktsaatvariante in 3 von 4 Anbaukulturen mehr Marktleistung erzielte. Durch Summierung der Differenzen ergab sich eine Mehrleistung von 771,54 €/ha, welche rechnerisch jährlich 192,89 €/ha bedeutet. Dieses Ergebnis bietet, durch außer Acht lassen sämtlicher Kosten, nur einen ersten Orientierungswert (INTERNATIONALES DLG-PFLANZENBAUZENTRUM, 2020).

Tabelle 5: INTERNATIONALES DLG-PFLANZENBAUZENTRUM, 2020, ermittelte Marktleistungen mit Berechnungen

Marktleistungen in €/ha und Jahr								
Kultur	Variante	2017	2018	2019	2020	Mittelwert	Σ	Differenz
Winterraps	M	1081,71	1448,08	1267,2	1081,92	1219,73	4878,91	
	D	1190,57	1441,31	1400,76	1166,26	1299,73	5198,90	319,99
Raps-Weizen	M	1159,24	947,94	948,6	1081,2	1034,25	4136,98	
	D	1013,24	1022,97	995,2	1060,29	1022,93	4091,70	-45,28
Silomais	M	976,8	862,75	524,68	1077,35	860,40	3441,58	
	D	1123,5	1075,03	528,68	1185,23	978,11	3912,44	470,86
Mais-Weizen	M	1152,17	1035,78	877,2	1185,97	1062,78	4251,12	
	D	1177,69	957,09	919,05	1223,26	1069,27	4277,09	25,97

5.3 Wirtschaftlichkeit

Die Diagramme wurden für jedes der vier Fruchtfolgeglieder ausgearbeitet und geben die betrachtete Zeitspanne (2017 bis 2020) wieder. Die Reinform gliedert sich immer in Arbeitserledigungskosten, Direktkosten, Direktkostenfreie Leistung (Dkfl) und Prozesskostenfreie Leistungen (Pkfl) der Kulturen. Die Abfolge der Fruchtarten orientiert sich an der Fruchtfolgegliederung.

5.3.1 Wirtschaftlichkeit Winterraps

Die Arbeitserledigungskosten von Winterraps (Abb. 10) fielen mit Ausnahme von 2019 in der Mulchsaatvariante höher aus, besonders deutlich sind 2017 und 2018 mit je 100 €/ha Differenz zur Direktsaatvariante. Die Mulchsaatvariante benötigte 2019 4 €/ha weniger im Vergleich zur Direktsaat. 2020 war die Mulchsaat erneut mit einer Differenz von über 70 €/ha teurer. Alle Zahlen für die Berechnungen des Winterraps sind im Anhang 3: Datengrundlage mit ergänzenden Berechnungen für Winterraps, Seite XII, zu finden.

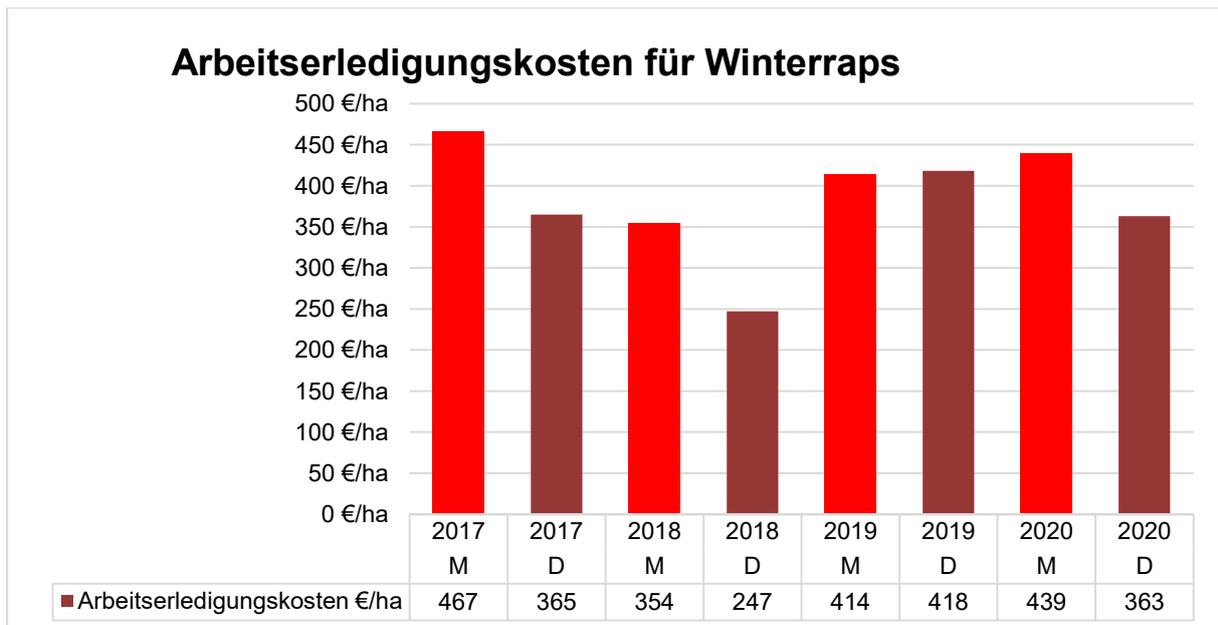


Abbildung 10: Arbeits erledigungskosten für Wintertraps

Die Direktkosten des Direktsaatwintertraps (Abb. 11) fielen im Jahr 2017 mit 67,94 €/ha höher aus als die des Mulchsaatwintertraps. Über die nächsten Jahre gleichen sich diese Kosten allerdings immer weiter an.

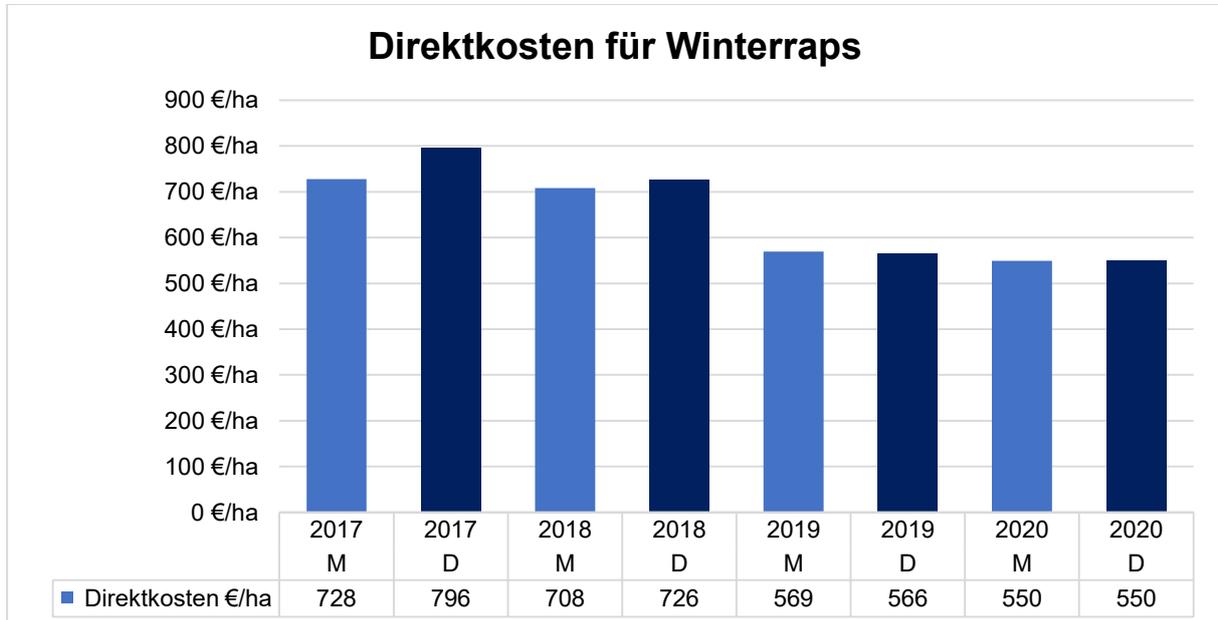


Abbildung 11: Direktkosten für Wintertraps

Die Auswertung der Direktkostenfreien Leistungen ergab, dass diese bei der Direktsaatvariante in den Jahren 2017, 2019 und 2020 höher waren als die der Mulchsaat (Abb. 12). Lediglich 2018 stand die Mulchsaatvariante vor Abzug der Arbeits erledigungskosten 24,71 €/ha über der Direktsaat.

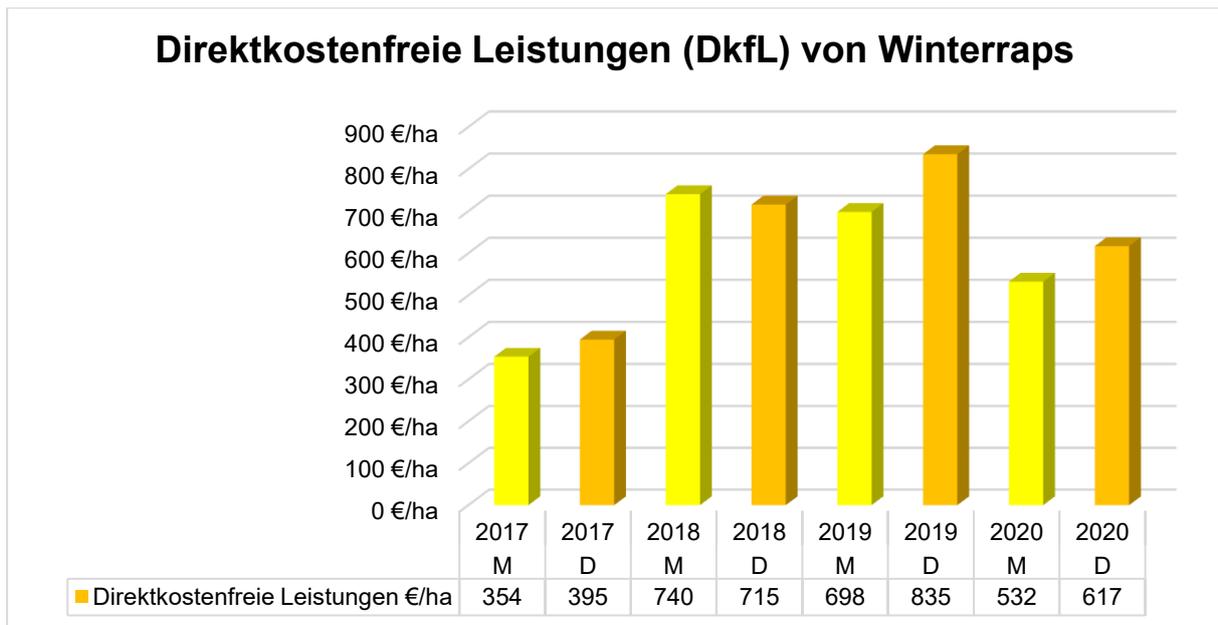


Abbildung 12: Direktkostenfreie Leistungen (Dkfl) von Winterraps

Im Jahr 2017 hatten die Prozesskostenfreien Leistungen (Pkfl) von Winterraps bei der Mulchsaatvariante einen Verlust von über 100 €/ha (Abb. 13). In der Direktsaatvariante 2017 fielen die Prozesskostenfreien Leistungen ebenfalls nicht hoch aus. Bemerkenswert bleibt allerdings, dass der Anbau auch in diesem schwierigen Jahr immer noch die variablen Kosten deckte. Auffällig auch, dass bei den Prozesskostenfreien Leistungen die Direktsaatvariante immer über denen der Mulchsaatvariante lag. Auch die Summierung der Direktkostenfreien Leistungen zeigte dies deutlich auf. So erbrachte die Mulchsaatvariante eine Summe von 650,09 €/ha, während die Direktsaatvariante 1168,45 €/ha in dem betrachteten Zeitraum leistete. Dies waren in den betrachteten vier Jahren insgesamt 518,36 €/ha Mehrleistung. Rechnerisch erbrachte der Direktsaat-Winterraps in diesem Fall 129,59 €/ha jährlich.

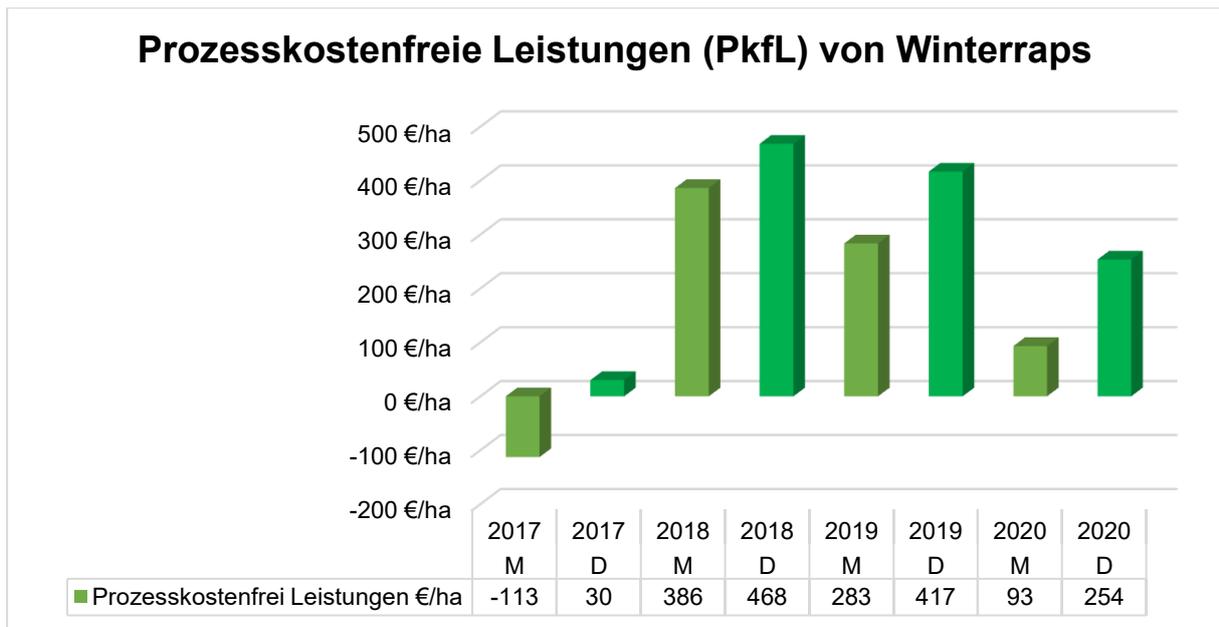


Abbildung 13: Prozesskostenfreie Leistungen (PkfL) von Winterripps

5.3.2 Wirtschaftlichkeit Raps-Weizen

Mit Ausnahme von 2018 hat die Direktsaat, im Vergleich zur Mulchsaat, geringere Arbeitserledigungskosten im Raps-Weizenanbau (Abb. 14). In Summe verursachte die Direktsaat 210,04 €/ha weniger Arbeitserledigungskosten. Sämtliche Werte, welche für die Berechnungen des Raps-Weizens genutzt wurden, sind im Anhang 4: Datengrundlage mit ergänzenden Berechnungen für Raps-Weizen, Seite XII, zu finden.

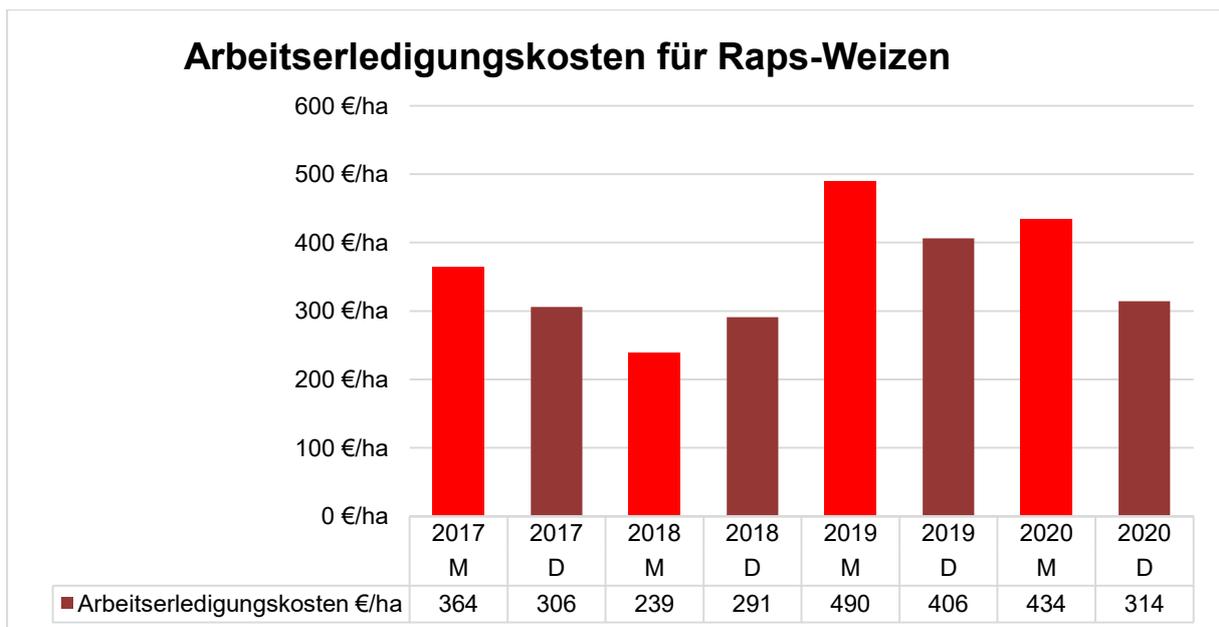


Abbildung 14: Arbeitserledigungskosten für Raps-Weizen

Die Direktkosten waren bei dem Raps-Weizen der Direktsaat im Jahr durchschnittlich um 17 €/ha höher als die der Mulchsaat (Abb. 15).

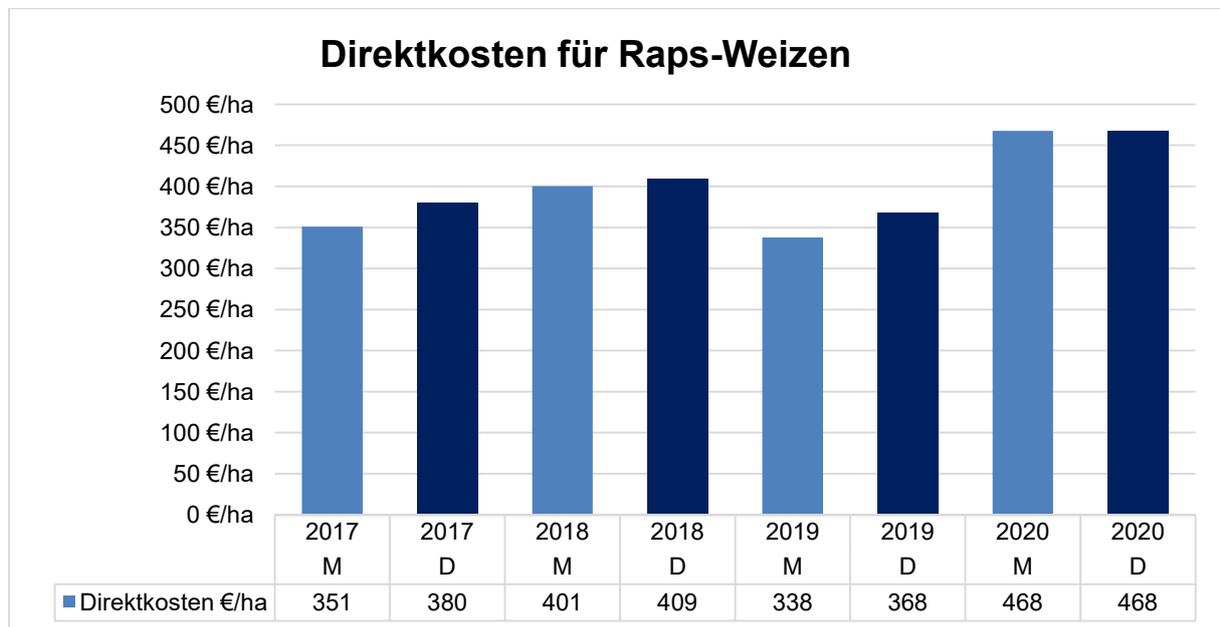


Abbildung 15: Direktkosten für Raps-Weizen

Im Vergleich der Direktkostenfreien Leistungen des Raps-Weizens (Abb. 16) erzielte die Mulchsaatvariante 2017, gegenüber der Direktsaatvariante einen deutlichen Vorsprung von mehr als 170 €/ha. 2018 fielen die Direktkostenfreien Leistungen der Mulchsaatvariante unter die der Direktsaatvariante ab. In den folgenden Jahren blieben beide Werte auf einem annähernd gleichen Niveau.

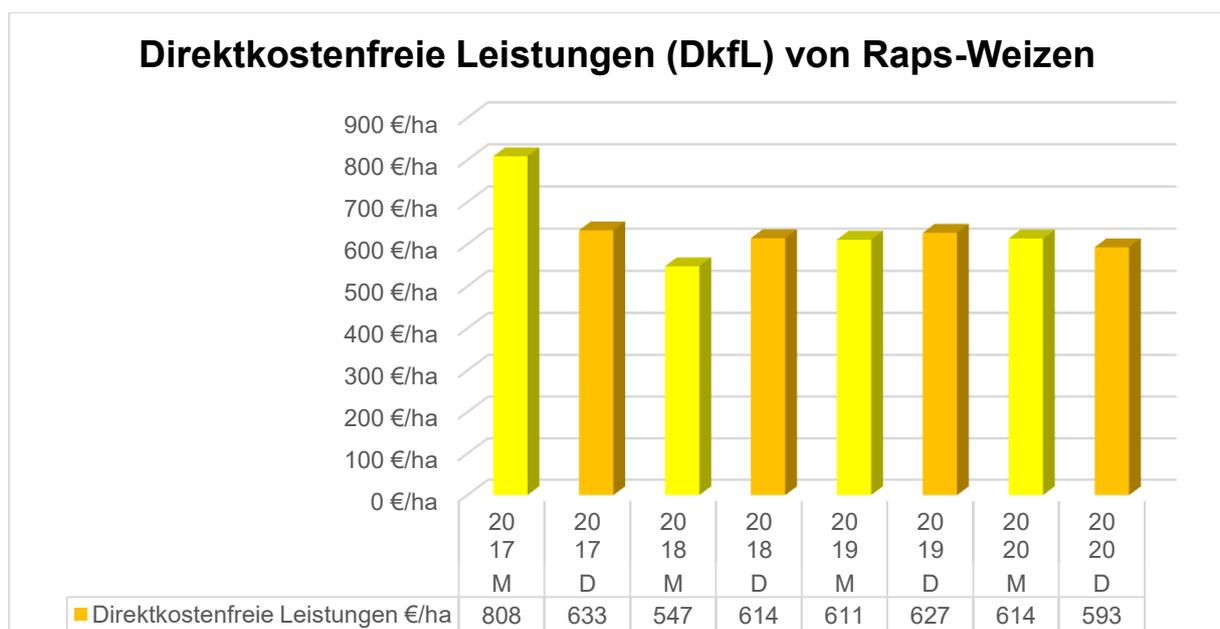


Abbildung 16: Direktkostenfreie Leistungen (Dkfl) von Raps-Weizen

Die Mulchsaatvariante erzielte 2017 bei den Prozesskostenfreien Leistungen des Raps-Weizens einen Mehrerlös von über 110 €/ha (Abb. 17). Dieser Vorsprung hielt sich allerdings nicht und glich sich 2018 der Direktsaatvariante an.

Diese konnte 2019 und 2020 einen Vorsprung zur Mulchsaat von über 90 €/ha aufbauen. In den vier betrachteten Jahren erzielte die Direktsaatvariante des Raps-Weizens einen summierten Mehrerlös von 96,72 €/ha.

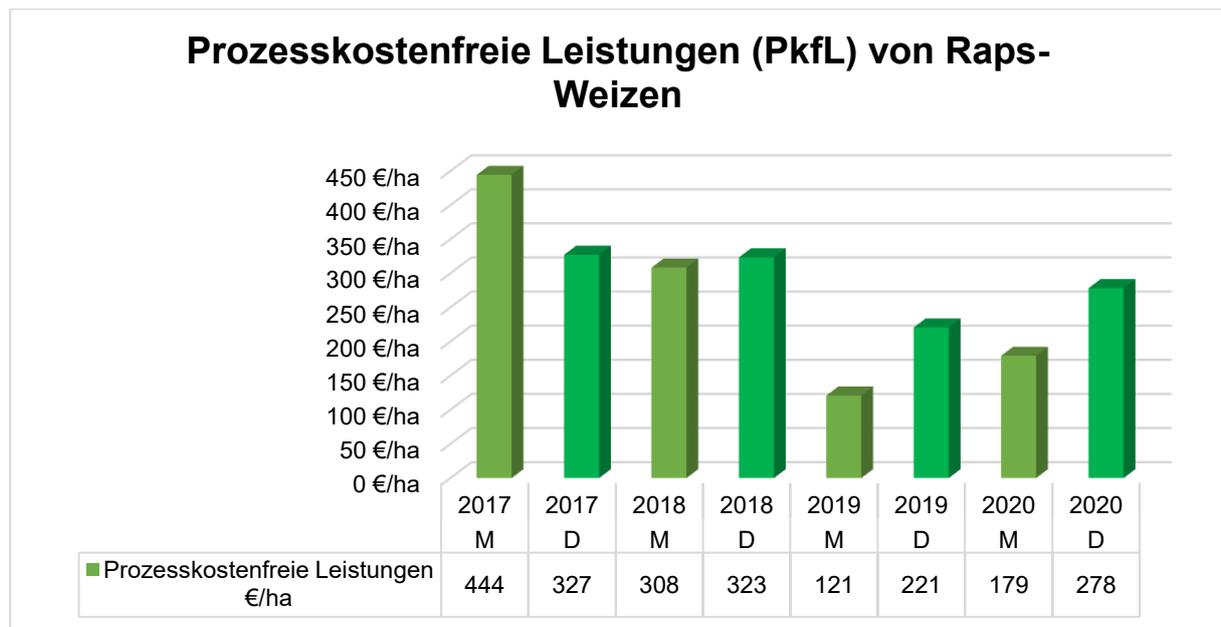


Abbildung 17: Prozesskostenfreie Leistungen (PkfL) von Raps-Weize

5.3.3 Wirtschaftlichkeit Silomais

Da die Werte der Arbeiterledigungskosten des Silomais jährlich sehr schwankten, war zunächst kein eindeutiger Trend zu auf der Abbildung 18 erkennen. Die Option „Lineare Trendlinie“ (siehe Anhang 11: Lineare der Arbeiterledigungskosten Mulchsaat Silomais, Seite XIV) stellte dann fest, dass die Arbeiterledigungskosten der Mulchsaatvariante um minus 40,72 €/ha abnahmen. Bei der Direktsaat zeigte sich ein umgekehrter Trend, dort stieg die lineare Trendlinie um 9,37 €/ha an (Anhang 12: Lineare der Arbeiterledigungskosten Direktsaat Silomais). Bei der Summierung der Arbeiterledigungskosten betrug die Differenz der Mulchsaat- zur Direktsaatvariante 322 €/ha. In den 4 Beobachtungsjahren wies die Mulchsaatvariante insgesamt höhere Arbeiterledigungskosten auf. Die für die Berechnungen des Mais genutzten Zahlen sind im Anhang 5: Datengrundlage mit ergänzenden Berechnungen für Silomais, Seite XII, aufgeführt.

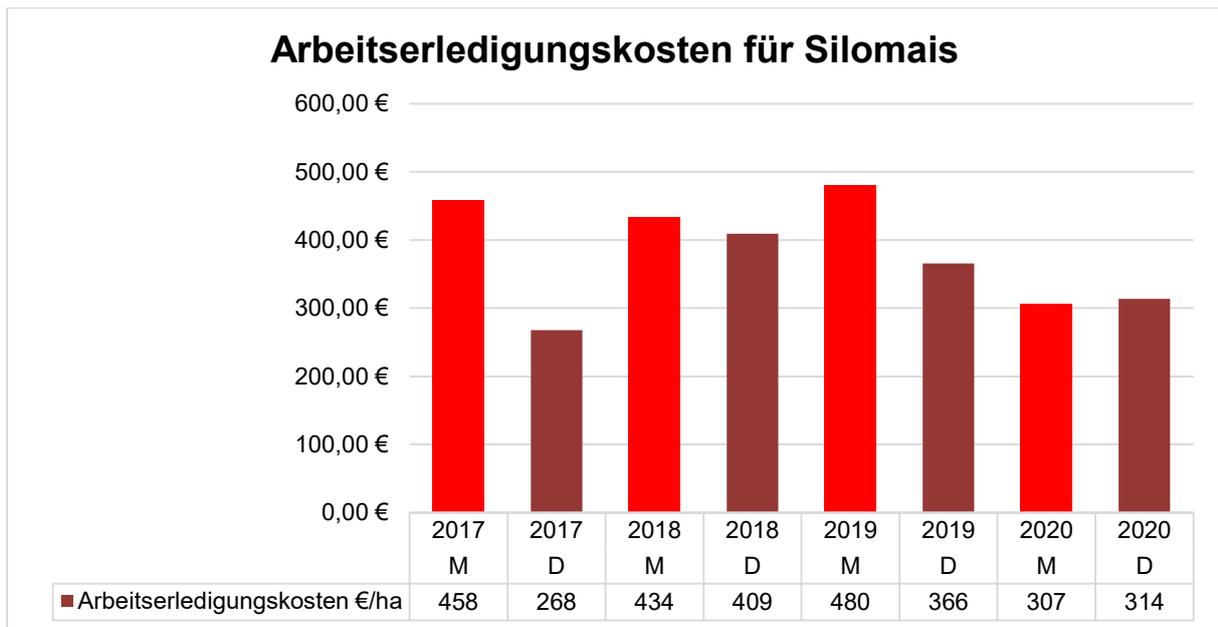


Abbildung 18: Arbeits erledigungskosten für Silomais

Die Direktkosten für Silomais wichen nur geringfügig voneinander ab (Abb. 19). Sie waren bis 2018 bei beiden Varianten sehr hoch, welches vor allem auf die Düngerkosten zurückzuführen war. Mit der Abnahme der Düngerkosten fielen die Direktkosten merklich ab.

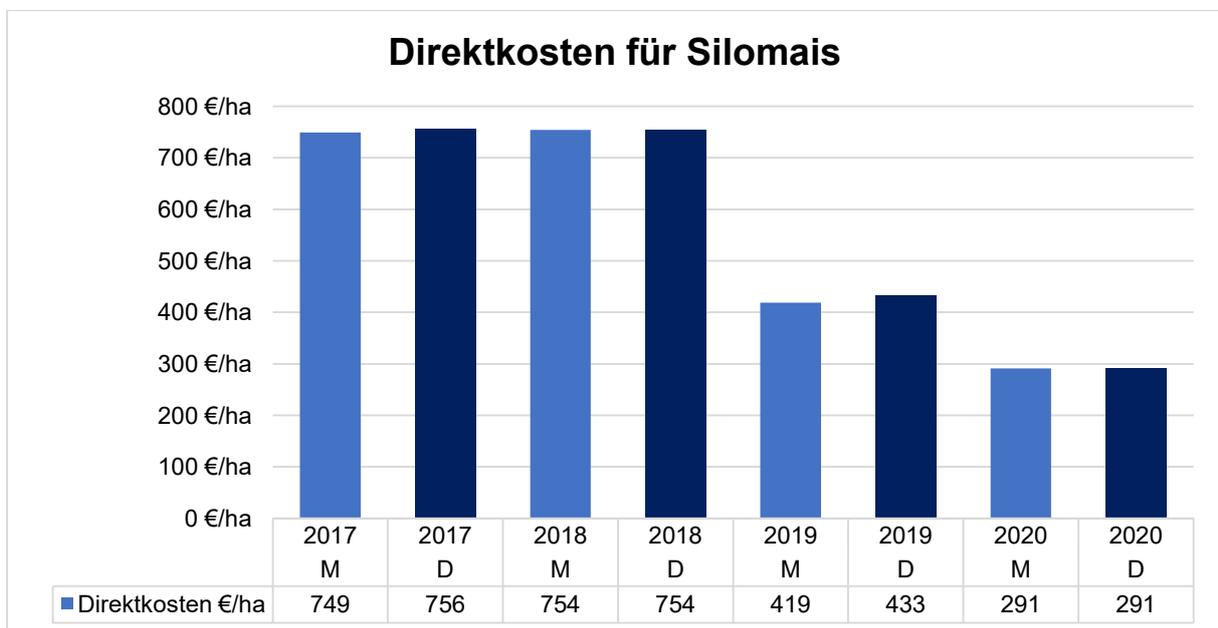


Abbildung 19: Direktkosten für Silomais

Bei den Direktkostenfreien Leistungen von Silomais unterschieden sich in Abbildung 20 beide Varianten 2017 nur minimal voneinander, während 2018 die Differenz mit über 200 €/ha deutlich für die Direktsaatvariante sprach.

Im Jahr 2019 hatte die Mulchsaat dann mit 9,75 €/ha einen kleinen Vorsprung, während 2020 sich die Direktsaat mit über 100 €/ha erneut deutlich steigerte.

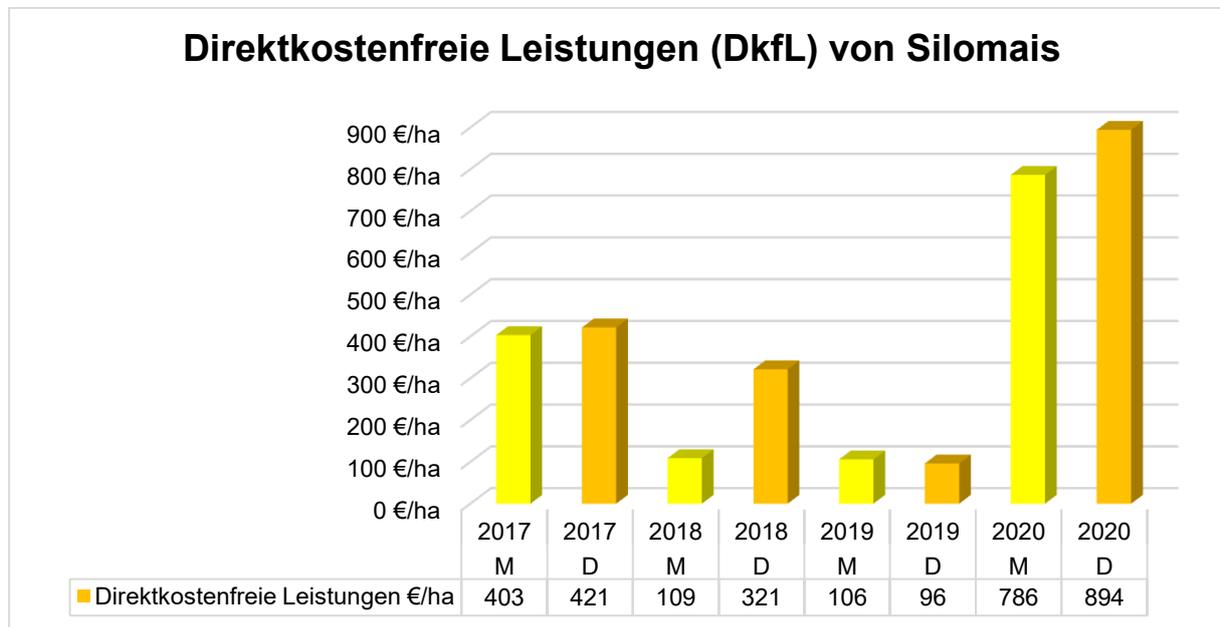


Abbildung 20: Direktkostenfreie Leistungen (Dkfl) von Silomais

Bei der Auswertung der Prozesskostenfreien Leistungen in Abbildung 21 fiel zunächst die sehr schwache Leistung der beiden Silomaisvarianten auf. Diese lag, wie bereits oben erwähnt, an den hohen Düngerkosten. Allerdings verzeichnete die Direktsaatvariante in allen Jahren eine gleichbleibende Mehrleistung. Dieses kam voraussichtlich durch zwei Faktoren zustande: einerseits durch den konstanten Mehrertrag der Direktsaatvariante und andererseits durch die überwiegend niedrigeren Arbeits- und Maschinenkosten. Eine Ausnahme bildete 2020, in dem die Mulchsaatvariante minimal weniger Gesamtkosten verursachte. Die positive Leistung der Kultur lag in der Direktsaatvariante. Im betrachteten Versuchszeitraum erwirtschafteten sie eine summierte Prozesskostenfreie Leistung von 375,89 €/ha. Im Vergleich dazu erwies sich die Mulchsaatvariante mit minus 274,77 €/ha als nicht kostendeckend. Dies offenbarte eine Spanne von 650,66 €/ha zwischen den beiden Anbauvarianten und eine theoretische Mehrleistung der Direktsaatvariante von jährlich 162,67 €/ha. Da keine Feldfrucht anbaut wird, die zu einem negativen Deckungsbeitrag führt, muss als Referenzwert 0 €/ha angenommen werden. Daher beträgt die eigentliche jährliche Mehrleistung der Direktsaat nur 93,97 €/ha.

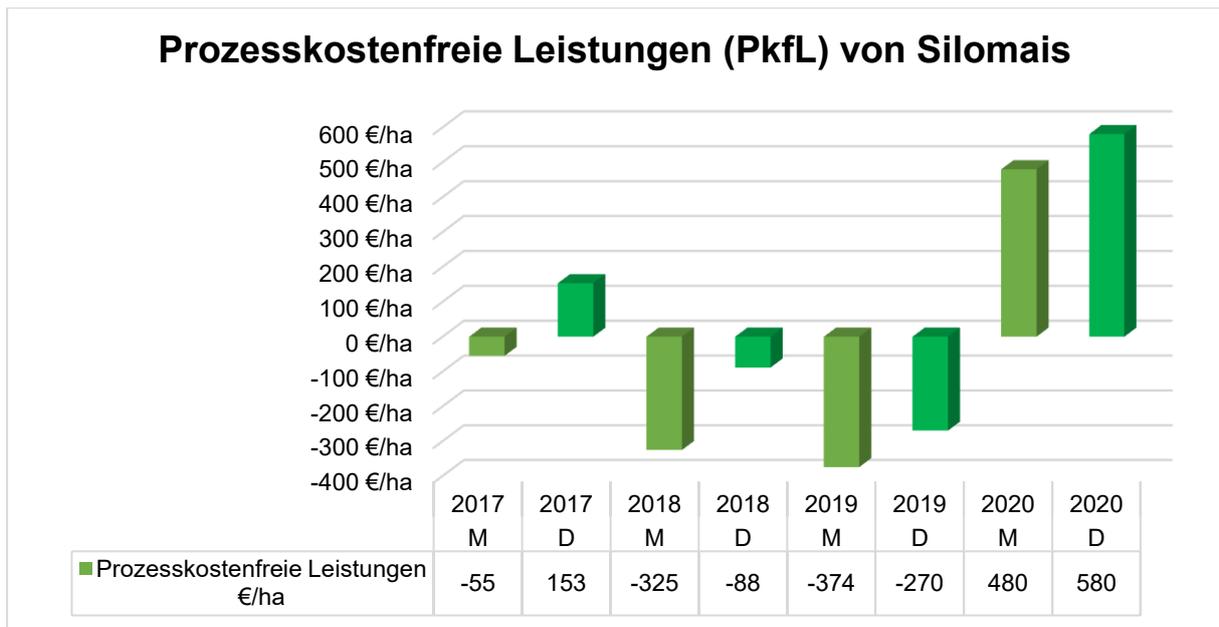


Abbildung 21: Prozesskostenfreie Leistungen (PkfL) von Silomais

5.3.4 Wirtschaftlichkeit Mais-Weizen

Die Direktsaatvariante Mais-Weizen verursachte in allen vier Jahren, im Vergleich zur Mulchsaat, durchschnittlich jährlich 32 €/ha weniger Arbeitserledigungskosten (Abb. 22). Die zur Berechnung genutzten Zahlen des Mais-Weizen finden sich im Anhang 6: Datengrundlage mit ergänzenden Berechnungen für Mais-Weizen, auf Seite XIII.

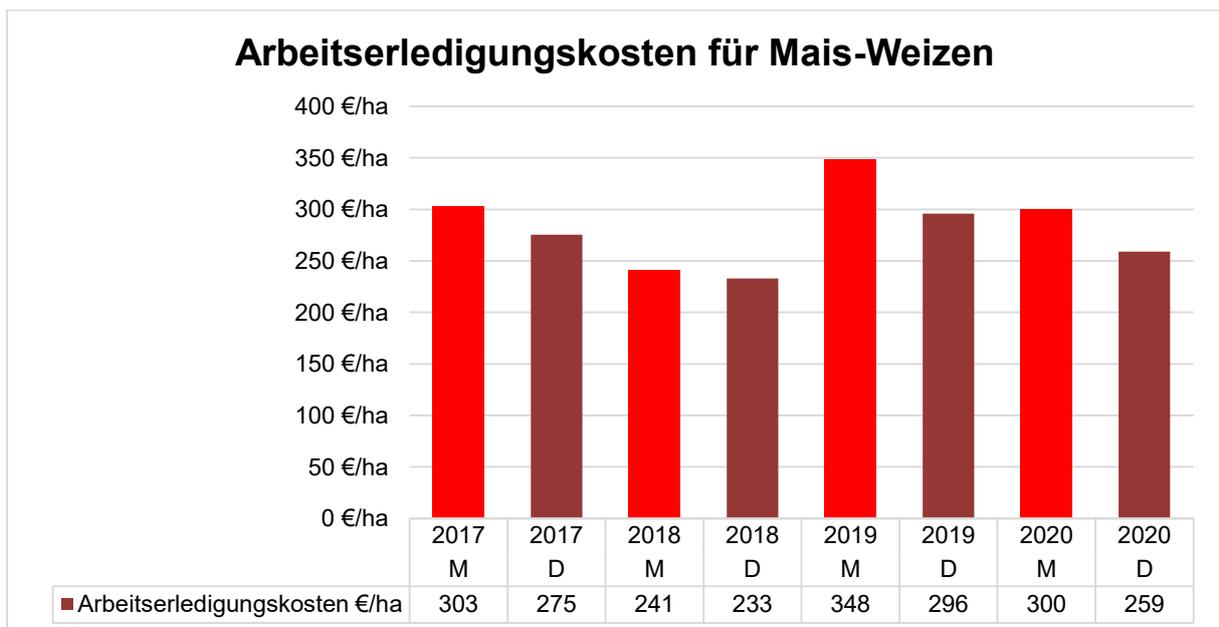


Abbildung 22: Arbeitserledigungskosten für Mais-Weizen

Die Direktkosten fielen in beiden Mais-Weizen-Aussaatvarianten mit Ausnahme von 2018 identisch aus (Abb. 23). Hervorzuheben war, dass die Direktsaatvariante 2019 weniger Dünger-, Fungizid- und Insektizideinsatz benötigte und sich daraufhin eine Absenkung der Direktkosten in Höhe von 61,72 €/ha verzeichnen ließ.

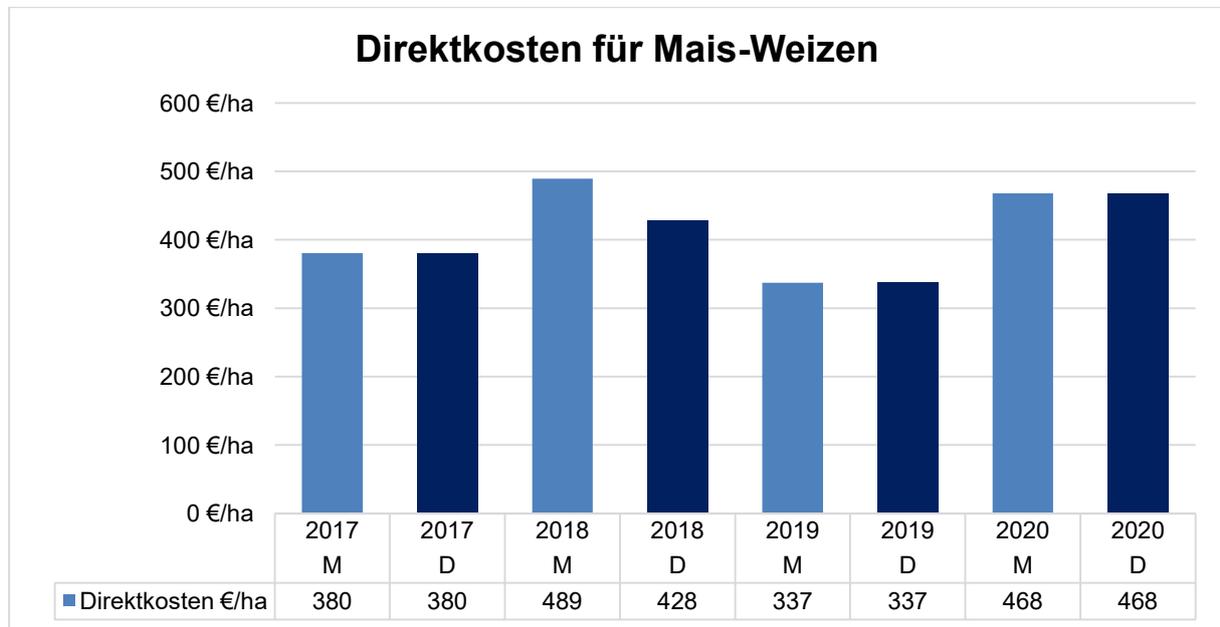


Abbildung 23: Direktkosten für Mais-Weizen

Beim Mais-Weizenanbau fielen die Direktkostenfreien Leistungen in Abbildung 24 überwiegend gut für die Direktsaatvariante aus. Im Jahr 2017 lag die Differenz zwischen der Direktsaat und der Mulchsaat bei 146,70 €/ha. 2018 stand die Mulchsaatvariante mit 16,97 €/ha sogar leicht besser gegenüber der Direktsaat da. 2019 und 2020 konnte dann die Direktsaat einen leichten Vorsprung erzielen. Insgesamt summierte sich die Differenz der beiden Anbauvarianten über den Versuchszeitraum auf 208,87 €/ha.

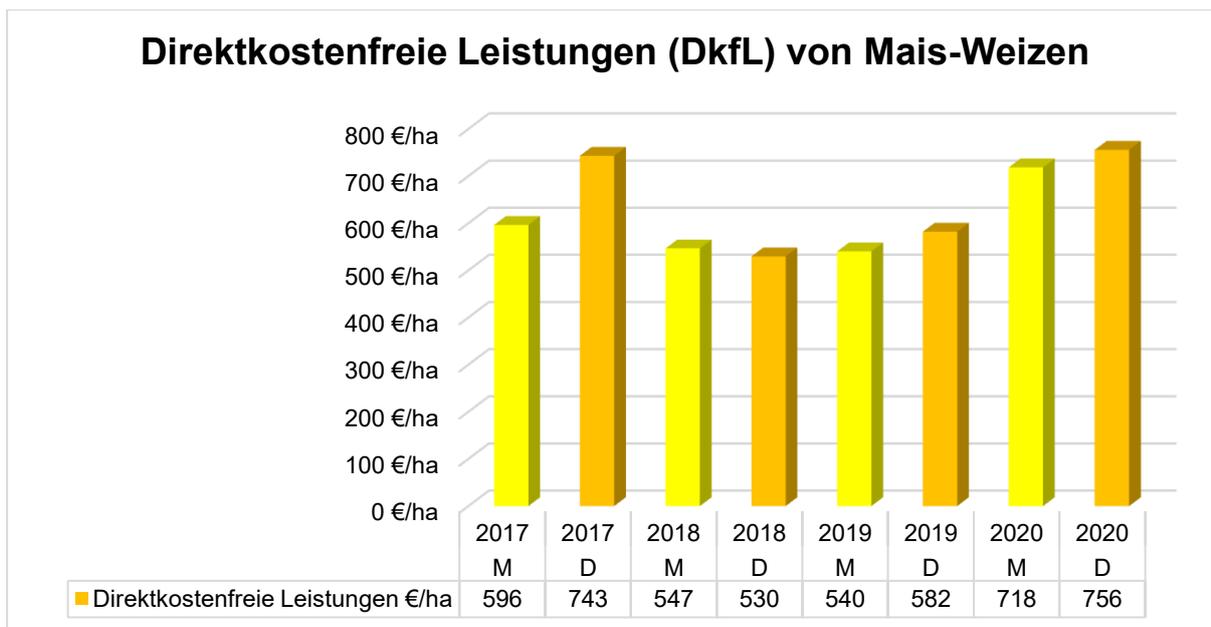


Abbildung 24: Direktkostenfreie Leistungen (Dkfl) von Mais-Weizen

Bei der Betrachtung der Prozesskostenfreien Leistungen in Abbildung 25 war hervorzuheben, dass sie sich nicht stark von denen der Direktkostenfreien Leistungen unterscheiden, lediglich die Direktsaatvariante erwirtschaftete stärkere Leistungen. Die Summierung aller Prozesskostenfreien Leistungen und Errechnung der Differenzen ermittelte, dass die Direktsaatvariante über die vier Jahre 337,18 €/ha mehr an monetärer Leistung erreichte. Auf vier Jahre verteilt waren dies eine Mehrleistung von 84,30 €/ha.

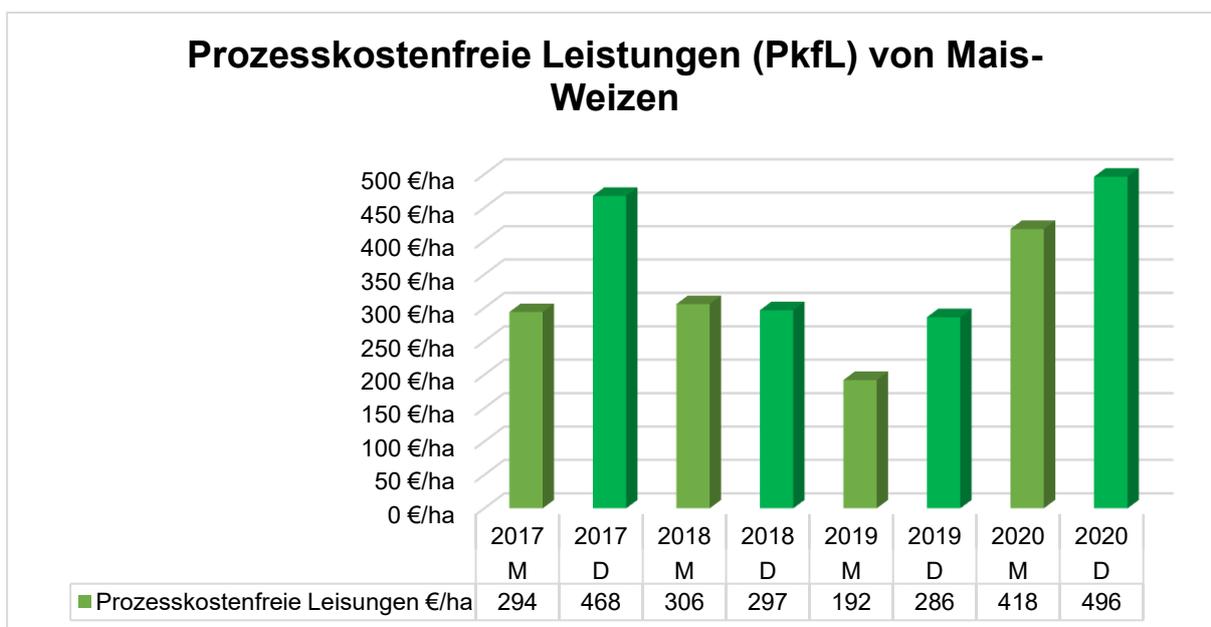


Abbildung 25: Prozesskostenfreie Leistungen (Pkfl) von Mais-Weizen

5.3.5 Die Prozesskostenfreien Leistungen der Marktfrüchte

In der Tabelle 6 wurden von allen vorausgegangenen Kulturen die Ergebnisse der Prozesskostenfreien Leistungen (PkfL) zusammengefasst. Visualisierungen der einzelnen Kulturen sind für Winterraps (Abb. 13, Seite 31), Raps-Weizen (Abb. 17, Seite 33), Silomais (Abb. 21, Seite 36) und Mais-Weizen (Abb. 25, Seite 38) einsehbar. Diese ermittelten Werte gaben an, welche der Ackerfrüchte in der entsprechenden Variante einen positiven Erlös erwirtschaften. Alle negativen Werte schafften es nicht, ihre in der Produktion entstandenen Kosten wieder durch den erzielten Erlös auszugleichen. Um diese hervorzuheben, wurden die Werte in rot dargestellt. Der Anbau dieser Feldfrucht war in dem entsprechenden Jahr und mit der eingesetzten Bearbeitungsvariante nicht profitabel. Silomais war 2018 und 2019 in beiden Varianten defizitär. Die angefügten Spalten der Gesamtergebnisse zeigen, welche der beiden Bearbeitungsvarianten mehr Erlös in den einzelnen Jahren erzielt. Die Direktsaatvariante erwirtschaftete jedes Jahr mehr Erlös. Der Abstand der beiden Varianten unterscheidet sich zwar jährlich, aber die Bestimmung der Mittelwertdifferenzen (1602,92 €/ha) über die gesamte Laufzeit stellte fest, dass dieser bei 400,73 €/ha lag. Jährlich war die Direktsaatvariante um ca. 400 €/ha rentabler.

Tabelle 6: Prozesskostenfreie Leistungen der vier Marktfrüchte in €/ha, Berechnungen auf Datengrundlage INTERNATIONALES DLG-PFLANZENBAUZENTRUM, 2020

	Winterraps	Raps-Weizen	Silomais	Mais-Weizen	Gesamtergebnis M	Gesamtergebnis D	Differenz
2017							
M	-112,7	444,39	-54,68	293,83	570,84		
D	29,94	327,18	153,31	467,76		978,19	
2018							407,35
M	386,15	308,28	-325,31	305,63	674,75		
D	468,22	323,39	-88,16	296,54		999,99	
2019							325,24
M	283,49	120,84	-374,42	192,03	221,94		
D	416,73	220,55	-269,72	286,14		653,7	
2020							431,76
M	93,15	179,13	479,64	418,2	1170,12		
D	253,56	278,24	580,46	496,43		1608,69	
							438,57
Σ					2.637,65 €	4.240,57 €	1.602,92 €

Die folgende Abbildung 26 dient als Zusammenfassung der Prozesskostenfreien Leistungen aller Fruchtarten und der zwei zu vergleichenden Varianten über die vier Jahre verteilt. Durch die Zuordnung der Kulturen zu je einer Farbe war schnell abzulesen, welche der Kulturen die meisten Prozesskostenfreien Leistungen (PkfL) in den ausgewerteten Jahren erbrachte.

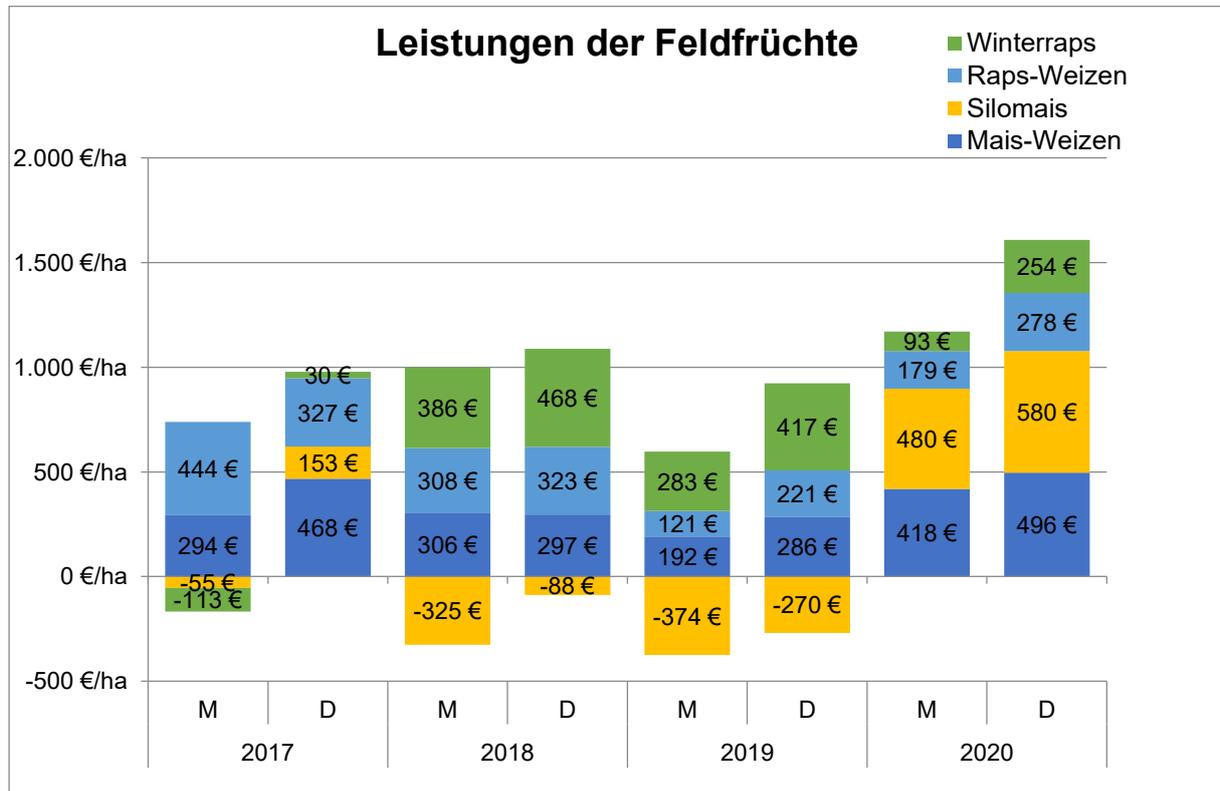


Abbildung 26: Leistungen der Feldfrüchte auf einen Blick

Die Erlöse der beiden Anbauvarianten wurden addiert und die Differenz dieser als „Mehrerlös Direktsaat“ dargestellt.

Die Abbildung 27 veranschaulicht, dass die Mulchsaat der Direktsaatvariante in dem betrachteten Zeitraum monetär gesehen unterlegen war. Die Direktsaat erwirtschaftet in diesem Zeitraum mit der gleichen Fruchtfolge 1602,92 € Mehrerlös pro Hektar. Durch diesen Vergleich ist die Rentabilität der Direktsaat gut nachzuvollziehen.

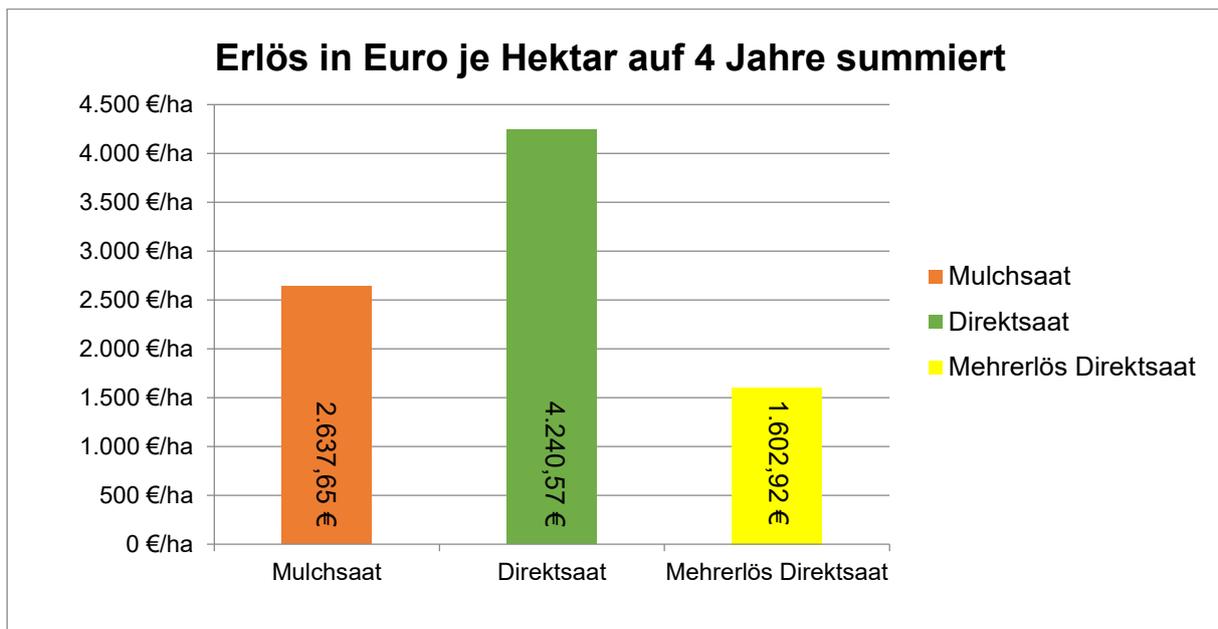


Abbildung 27: Summierte Erlöse der beiden Anbauvarianten im Vergleich

6. Diskussion

Die Ermittlung der Marktfruchterträge ergab, dass die Direktsaatvariante im Betrachtungszeitraum von 2014 bis 2020 besonders bei dem Silomaisanbau 2015 deutlichen Schwankungen unterlag (siehe Tab. 4, Seite 26). Der Niederschlag von 2015 war mit 481 mm leicht unter dem Durchschnitt, allerdings sind die Erträge, bei noch geringerem Niederschlag, weniger gesunken (siehe Abb. 1, Seite 16). Eine Erklärungsmöglichkeit wäre, dass die geringen Regenmengen von April bis Juni dieses Ergebnis mit zu verantworten haben. Es stellte sich jedoch heraus, dass der Silomaisbestand in der Direktsaatvariante sehr stark von Drahtwürmern befallen war. Gleichzeitig wurde aber in der Mulchsaatvariante keine Schädigung der Maispflanzen festgestellt (INTERNATIONALES DLG-PFLANZENBAUZENTRUM, 2020). Dies lag an der mechanischen Bodenbearbeitung, die die Population der Schnellkäferlarven im Boden offenbar verminderte. Da der Versuch bereits 2012 begann war es nur bedingt möglich, zu prüfen ob, wie von (PITTELKOW et al., 2015) behauptet, die ersten drei Anbaujahre der Direktsaatvariante einen schlechteren Ertrag lieferten. Die erste Ernte erfolgte 2013, die Ergebnisse sind aus diesem Jahr verworfen worden, da alle Bearbeitungsvarianten die gleiche Bodenbearbeitung vorweg hatten. Daher wurde die Ernte 2014 als erstes Versuchsjahr gewertet (BIADA, 2021). Bei der Betrachtung der drei Versuchsjahre ist deutlich die Mehrertragsleistung der Mulchsaat erkennbar gewesen. Die Direktsaat setzte sich lediglich 2014 im Winterraps mit 3,23 dt/ha und 2015 bei dem Mais-Weizen mit 1,12 dt/ha gegen die Mulchsaat durch (siehe Tab. 4, Seite 26). Daher ist in diesem Fall davon auszugehen, dass sich durch den Verzicht auf die Bodenbearbeitung und die darauf folgenden Umstellungsprozesse im Boden ein Minderertrag der Direktsaat verzeichnen ließ. In den vier darauf folgenden Jahren behauptete sich die Direktsaat dafür gegen die Mulchsaat.

Um einen Eindruck davon zu bekommen, wie sich die Direktsaatvariante unter einem noch längeren Versuchszeitraum verhält, wurden die Ertragsergebnisse des Versuches „Oberacker“ aus der Schweiz untersucht. Dieser verglich die Direktsaat mit der Pflugsaat über einen Zeitraum von 12 Jahren (2008 bis 2020). Bei der Betrachtung des Mittelwertes konnten von 6 angebauten Kulturen 4 (Ackerbohnen/Soja, Wintergerste, Eiweisserbsen und Winterweizen) in der Direktsaatvariante überzeugen. Dabei lagen, mit Ausnahme der Ergebnisse von Zuckerrüben, alle Früchte der beiden Varianten recht nah beieinander. Anhand der Tabelle Versuch „Oberacker“ (Anhang 13: Eigene Zusammenfassung Versuchsergebnisse Oberacker 2008 bis 2020 CHERVET, 2021, Seite XIV) wird deutlich, dass sich die Direktsaatvariante in den vier trockenen Jahren (2017 bis 2020) ertragsmäßig gegenüber der Pflugsaat nicht durchsetzt. Die Betrachtung des Mittelwertes im Versuchszeitraum von 2017 bis 2020 bestätigt dieses Ergebnis, da sich nur Silomais und Eiweisserbsen in der Direktsaat behaupteten (CHERVET, 2021).

Allerdings war die Vergleichbarkeit der beiden Anbauversuche nur bedingt möglich, weil Witterungseinflüsse sowie Bodenbeschaffenheiten stark voneinander abwichen. Es war beachtlich, dass sich bei dem Schweizer Versuch die Direktsaat gegenüber der Pflugsaat durch gute Ertragsmengen auszeichnete. Dies sprach für die Leistungsfähigkeit und Sicherheit des Systems langfristig stabile Erträge zu erbringen, welche folglich eine jährliche Liquidität des Anwenders sicherstellen.

6.1 Arbeitserledigungskosten

Bei der Betrachtung der Arbeitserledigungskosten im Winterrapsanbau lag die Differenz der Direktsaat zur Mulchsaat im Prüfungszeitraum bei 280,57 €/ha. Damit waren die Kosten der Mulchsaat folglich um 280,57 €/ha höher. Bei Auswertung der Arbeits- und Maschinenkosten ist, mit Ausnahme der Arbeitskosten von 2019, die Direktsaat immer günstiger.

Im Raps-Weizenanbau zeigte sich, dass die Arbeitserledigungskosten der Direktsaatvariante in den vier Jahren in Summe um 210,04 €/ha geringer waren. Mit Ausnahme von 2018 stiegen die Kosten im Vergleich zur Direktsaat für Arbeit und Maschinen in der Mulchsaat an.

Die Bewertung der Arbeitserledigungskosten im Silomais gestaltete sich schwierig. Die Ermittlung der linearen Trendlinie ergab, dass die Kosten der Mulchsaat über die Jahre gesunken waren, während die der Direktsaat einen leichten Anstieg verzeichneten. Die Differenz der Arbeitserledigungskosten ist bei 322,06 €/ha, so dass die Direktsaat durchaus geringer Kosten verursachte. Mit Ausnahme von 2020 lagen die Kosten der Direktsaat jährlich unter denen der Mulchsaatvariante. Im Durchschnitt betrugen die gerundeten Differenzen der Maschinenkosten 65 €/ha und die der Arbeit 19 €. Diese vier Versuchsjahre ergeben keine große Grundgesamtheit und so ist dieser Zeitraum als Näherungswert mit einer großen Streuung zwischen den Jahren zu bewerten.

Die Arbeitserledigungskosten des Mais-Weizens lagen bei der Mulchvariante addiert vor der Vergleichsvariante bei 128,31 €/ha und zeigten die Mulchsaat als die arbeitsintensivere Variante. Dies bestätigte sich durch die Ergebnisse der anderen Kulturen und nach Addition der aufgeführten Differenzen ergab sich die Summe von 940,98 €/ha für vier Jahre. Die Direktsaat sparte also Arbeitserledigungskosten gegenüber der Mulchsaat ein.

6.2 Direktkosten

Bei den Direktkosten war die Mulchsaat etwas günstiger. Die Differenz der beiden Winterrapsanbauvarianten lag bei 82,20 €/ha. Bei der Betrachtung der beiden Werte in der Tabelle: (Anhang 2: Eigene Zusammenfassung der Daten des INTERNATIONALEN DLG-PFLANZENBAUZENTRUMS) war ersichtlich, dass sich die Direktkosten bei gleichbleibenden Arbeitserledigungskosten mit der Zeit verringern.

Dieser Rückgang der Direktkosten errechnete sich besonders durch die gesunkenen Düngerkosten. Waren es 2017 in beiden Varianten noch 442,36 €/ha, so fielen die Kosten 2019 auf nur noch 177,81 €/ha in den Mulchsaat, bzw. 164,33 €/ha in der Direktsaat. 2020 stiegen in beiden die Kosten der Düngung wieder auf 267,36 €/ha an. Gesteigerte Fungizid-, Insektizid-/Akarizid-Aufwendungen glichen die Einsparung der Düngerkosten 2019 wieder aus.

Über den gesamten Zeitraum fielen addiert die Direktkosten des Raps-Weizens in der Direktsaat um 68,04 €/ha höher aus. Dies lag fast ausschließlich an den jährlich höheren Herbizidaufwendungen.

Die Direktkostenbetrachtung war bei dem Silomais dieses Versuches weniger entscheidend, da die Differenz der beiden Anbauvarianten nur 21,08 €/ha betrug. Allerdings entstand die aufgetretene Differenz ebenfalls durch gesteigerten Herbizideinsatz. Die Düngerkosten lagen in beiden Varianten 2017 bei 377 €/ha und 2020 nur noch bei 60 €/ha.

Die Auswertung der Direktkosten des Mais-Weizens stellte eine Differenz von 61,72 €/ha für die Direktkosten fest. Diese kann nur auf das Versuchsjahr 2018 bezogen werden, weil sie in der Mulchsaat höhere Einsatzmengen in der Düngung, Fungizid-, Insektizid-/Akarizid-Aufwendung hatte. Zusammenfassend wurde festgestellt, dass die Mulchsaatvariante die geringeren Direktkosten aufwies. Die Addition der Differenzen der Anbauvarianten und Subtraktion der beiden Ergebnisse ergab, dass die Direktkosten der Mulchsaatvariante um 109,60 €/ha in den vier Jahren geringer waren.

6.3 Direktkostenfreie Leistungen (Dkfl)

Die Direktkostenfreien Leistungen des Winterrapses waren summiert in der Direktsaatvariante um 237,79 €/ha höher. Diese deutliche Differenz erzielte sich durch die höheren Erlöse der Direktsaatvariante, welche wiederum auf dem Mehrertrag beruhte.

Die bei dem Raps-Weizen erzielten Direktkostenfreien Leistungen hatten bei der Mulchsaatvariante 2017 mit 175,40 €/ha eine nennenswerte Mehrleistung, 2018 fielen sie dann auf 66,67 €/ha unter die der Direktsaat. Die Differenz der beiden Varianten betrug 113,32 €/ha Mehrleistung. In den Versuchsjahren 2017 und 2020 konnte die Direktsaatvariante trotz höherer Erträge nicht den höheren Erlös generieren. Dies lag an geringeren Verkaufspreisen, welche sich durch qualitative Unterschiede begründeten.

Bei der Analyse der Direktkostenfreie Leistungen der Kultur Silomais fiel besonders der starke Anstieg 2020 auf. Dieser entstand durch die verringerte Düngung sowie Pflanzenschutz aufwendungen und die damit verbundene geringere Arbeitszeit.

Die Differenz der beiden Varianten ergab für den Zeitraum von 2017 bis 2020 328,60 €/ha mehr an Direktkostenfreien Leistungen für die Direktsaat. Diese war besonders auf das Anbaujahr 2018 zurückzuführen, in welchem die Direktsaat eine Differenz von 212,28 €/ha zur Mulchsaat erwirtschaften konnte.

Die Errechnung der Differenz der Direktkostenfreien Leistungen des Mais-Weizens entschied die Direktsaatvariante mit 208,87 €/ha für sich. Dies lag nicht zuletzt auch an den höheren Erträgen, die bis auf 2018 die Direktsaat immer vor dem Erlös der Mulchsaat gehalten hatten. Aus den Erlösen ist abzuleiten, dass mit Ausnahme von 2019 die Qualität der Direktsaatweizenernte gleichgut oder sogar besser war.

6.4 Prozesskostenfreien Leistungen (PkfL)

Die Prozesskostenfreien Leistungen stellten in dieser Auswertung eine bedeutende Kenngröße, da sie die gesamten zuvor aufgeführten Entscheidungswerte beinhalten. Bei Winterraps stellte sich heraus, dass diese sehr volatil waren. Insgesamt setzte sich allerdings die Direktsaatvariante deutlich gegenüber der Vergleichsvariante durch. Zum einen hatte sie addiert über die 4 Jahre einen um 518,36 €/ha höheren Erlös, aber auch in dem für Winterraps besonders erlösschwachen Jahr 2017 konnte sie die Produktionskosten mit 29,94 €/ha decken. Dagegen hatte die Mulchsaat in diesem Jahr einen Verlust von 112,7 €/ha eingefahren. Dies lag an dem geringeren Ertrag und den hohen Arbeits- sowie Maschinenkosten der Mulchsaat. Auch ohne Berücksichtigung des Jahres 2017 war die Differenz mit über 370 €/ha immer noch eindeutig. Daher wird für den Winterrapsanbau unter Direktsaatbedingungen ein positives Fazit gezogen.

Bei den Prozesskostenfreien Leistungen des Raps-Weizens konnten über die Versuchsdauer ein Mehrerlös der Direktsaat von 96,72 €/ha ermittelt werden, dies entsprach nur 24,18 €/ha jährlich. Dieses Ergebnis unterstreicht die Vorteile der Direktsaat, da bei den Direktkostenfreien Leistungen die Mulchsaat noch mit 113,32 €/ha vor der Direktsaat lag. Nach Abzug der Arbeiterledigungskosten in Höhe von 210,04 €/ha wurde die Direktsaat insgesamt doch wirtschaftlicher. In diesem Fall erbrachten die geringeren Arbeiterledigungskosten den Erfolg der Direktsaat.

Die Betrachtung der Prozesskostenfreien Leistungen des Silomaisanbaus waren für die Versuchsauswertung von besonderer Bedeutung, da sie den größten Erlösunterschied der Anbauverfahren aufwies. Der Verlust der Mulchsaat lag bei minus 274,77 €/ha und die der Direktsaat bei plus 375,89 €/ha, die ermittelte Differenz der Varianten betrug somit 650,66 €/ha. Dies ergab einen jährlichen Mehrerlös von 162,67 €/ha.

Dieses niedrige Ergebnis wurde durch eine Kombination mehrerer Faktoren herbeigeführt, denn die Mulchsaat erreichte nicht einmal das Ertragsniveau der Direktsaat, welches die geringeren Erlöse erklärt. Zusätzlich sind mit Ausnahme von 2020 die Maschinenkosten, sowie die Arbeitserledigungskosten höher gewesen, als die der Direktsaatvariante. Festzuhalten bleibt, dass der Silomais als einzig Kultur zwei Jahre in Folge negative Ergebnisse in beiden Anbauverfahren erbrachte. Die Ermittlung der Prozesskostenfreien Leistungen war auch für den Mais-Weizen die entscheidende Kennzahl. Hier konnte sich die Direktsaat mit einer Differenz von 337,18 €/ha in den vier Jahren von der Mulchsaat absetzen. Dies ergibt jährlich einen Mehrertrag von gerundet 84,30 €/ha. In diesem Fall war die Direktsaatvariante in allen zuvor ermittelten Kenngrößen ertragreicher und gleichzeitig kostengünstiger. Daher wurde im Mais-Weizen-Anbau ein klarer Vorteil der Direktsaat erkannt. Durch die Differenzermittlung der Prozesskostenfreien Leistungen bildete sich heraus, welche der angebauten Kulturen die größte Abweichung zwischen den beiden Bearbeitungsvarianten ausmachte. Silomais hatte mit 650,66 €/ha die größte Differenz zwischen den beiden Bodenbearbeitungsvarianten, gefolgt vom Winterraps mit 518,36 €/ha. Der Mais-Weizen brachte 337,18 €/ha und der Raps-Weizen sogar nur 96,72 €/ha. Dieses zeigt, dass der Raps-Weizenanbau am homogensten bei den Prozesskostenfreien Leistungen der vier Anbaukulturen war.

In diesem Versuch stellte die Direktsaat durch ihre verringerten Arbeitserledigungskosten, mit höheren oder gleichen Erträgen, die wirtschaftlichere Variante dar. Auch höhere Direktkosten der Direktsaat, wie etwa bei Winterraps, Raps-Weizen und Silomais, wurden durch die genannten Vorteile wieder kompensiert. Daher kann auf die Ausgangsfrage, welches der beiden Bearbeitungssysteme unter trockenen Bedingungen durch Ermittlung der Pkfl rentabler ist, klar die Direktsaat genannt werden. Die kulturspezifische Kostenerfassung stellte fest, welche der Kulturen den größten Anteil an der Wirtschaftlichkeit des Bodenbearbeitungssystems hatte. Dieses Ergebnis war durch den Zeitraum von vier Jahren nur eingeschränkt aussagekräftig. Allerdings ist davon auszugehen, dass auch bei einem längeren Zeitraum des Anbauversuches die Direktsaatvariante der Mulchsaatvariante ebenbürtig, wenn nicht sogar überlegen sein würde. Hier sei darauf hingewiesen, dass der Silomais nicht hauptverantwortlich für den Erfolg der Direktsaat, sondern viel mehr für den Misserfolg der Mulchsaat war. Die Leistung des Silomais dürfte nur mit 0 €/ha einfließen, was eine rechnerische Mehrleistung der Direktsaat von nur 375,89 €/ha ergeben würde. Den größten Anteil am Gewinn der Direktsaat hält der Winterraps mit 518,36 €/ha Mehrleistung.

6.5 Vergleichbare Studien

Andere Versuche kamen bei der Betrachtung der beiden Anbauvarianten zu vergleichbaren Ergebnissen. So stellte sich heraus, dass die Direktsaat durch ihren Verzicht auf die Bodenbearbeitung die geringsten Maschinenkosten und die niedrigsten Arbeiterledigungskosten verursachte. Dadurch war die einzelne AKh/ha bei der Direktsaat am ertragreichsten. Diese Einsparung gegenüber der Mulchsaat sollte nicht durch höhere Pflanzenschutzmittelaufwendungen minimiert werden (KLIK et al., 2010; SCHNEIDER, 2009). Bei dem Versuch des IPZ wurden diese Tendenzen des leicht erhöhten Herbizideinsatzes zwar wahrgenommen, in den überwiegenden Fällen fielen die Kosten dafür in beiden Versuchsvarianten jedoch gleich hoch aus. Diese Beobachtungen machten auch vergleichbare Anbauversuche von BREUER et al. (2017). Untersuchungen der Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz stimmten mit den genannten Vor- und Nachteilen der aufgeführten Varianten überein. Dort wurde ebenfalls beobachtet, dass die Direktsaat durch ihre geringeren Maschinen- und Arbeitszeitkosten durchaus mit der Mulchsaat mithielt. Allerdings war in dem Versuch die Ertragsleistung der Direktsaat je nach Standort sehr heterogen. So konnte die Direktsaat auf guten Böden durchaus mit der Mulchsaat konkurrieren und diese sogar teilweise ertragstechnisch überbieten. Auf den Problemstandorten sanken die Erträge allerdings sehr deutlich unter das Niveau der Mulchsaat (BERG et al., 2011).

In einem Österreichischen Versuch von KLIK et al. (2010) wurde ermittelt, dass Winterweizen und Körnermais bei der Direktsaat die besten Deckungsbeiträge 1 (Prozesskostenfreien Leistungen) erwirtschafteten. Gleichzeitig wurde bei Silomais, Sonnenblumen, Winterraps und Sommergerste einen Ertragsrückgang und so auch einen Rückgang des Deckungsbeitrages 1 der Direktsaatvariante beobachtet. Dieser ging mit einer teilweise qualitativen Verschlechterung des Erntegutes einher. Auch der Anstieg der Pflanzenschutzmittelaufwendungen bei Winterraps und Sonnenblumen wirken sich negativ auf den Deckungsbeitrag 1 der Direktsaat aus. So schaffte sie es in diesen Fällen nicht, die geringeren Erlöse durch die Einsparung von Treibstoff, Arbeitszeit und Betriebskosten auszugleichen. In dem Versuch erzielte die Mulchsaatvariante den höchsten Deckungsbeitrag 2 (Prozesskostenfreien Leistungen + Fixkosten der Maschinen und Lohnansatz). Das lag daran, dass die Direktkosten der Mulchsaat geringer und gleichzeitig die Erträge sehr hoch waren. Die Direktsaat erwirtschaftete durch die schwachen Erträge bei Silomais und Sonnenblumen sowie den erhöhten variablen Kosten bei Winterraps und Sommergerste, Ertragseinbußen. Auch die verringerten AKh und Maschinenkosten glichen nicht die Defizite gegenüber der Pflug- und Mulchsaat aus. Hier war die Verminderung des Kraftstoffverbrauches festzustellen, allerdings stiegen teilweise die PSM-Aufwendungen an.

In dem Bodenbearbeitungsversuch der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau (LLG) Bernburg, welcher sich in vergleichbarer Umgebung des IPZ Versuches befand, konnte sich die tiefe Mulchsaat bei der Betrachtung der Direkt- und Arbeitserledigungskostenfreien Leistungen (DAL) gegen die Direktsaat durchsetzen. Die DAL wurden als Mittelwert der Ergebnisse des Versuches von 1997 bis 2019 angegeben. Dabei wurde der bestimmte Mittelwert der einzelnen Fruchtarten zu einem, für die gesamte Fruchtfolge, zusammengefasst. Für die tiefe Mulchsaat ergaben sich 536 €/ha und für die Direktsaat 480 €/ha und Jahr. Die beiden Anbauvarianten lagen im Mittelwert der DAL 56 €/ha und Jahr auseinander. Interessant war zu sehen, dass die DAL der Pflugvariante über die Jahre bei nur 460 €/ha und Jahr lag. Dies sprach für die wassersparenden Eigenschaften der Mulch- und Direktsaat (BISCHOFF et al., 2020). Weiterhin ist vorteilhaft, dass diese um bis zu 13 % geringere Arbeitserledigungskosten bei wintergetreidebetonten Fruchtfolgen gegenüber der Pflugvariante aufweist. Auch erlangte SCHNEIDER (2009) die Erkenntnis, dass durch den Pflugverzicht auf zu Vorsommertrockenheit neigenden Standorten, die Erträge des Winterweizens um 10 % anstiegen. Die Direktsaat konnte sich hier möglicherweise aus mehreren Gründen nicht gegen die Mulchsaat behaupten, denn die Fruchtfolge enthielt nach einer Sommerzwischenfrucht, Zuckerrüben, Sommergerste, Winterweizen und Wintergerste. Diese Fruchtfolge mit drei aufeinander folgenden Halmfrüchten ist aus phytosanitärer Sicht nicht optimal. Es wurde bestätigt, dass Fruchtfolgen mit 75 % Getreideanteil für pfluglose Bodenbearbeitung ungeeignet sind, ebenso wie ein wiederholter Wintergetreideanbau. Besonders die Wintergerste erbrachte unter den konservierenden Bodenbearbeitungsvarianten schwache Erträge. Die Verfasser äußern die Vermutung, dass dies an der zeitigen Abreife der Wintergerste lag. Durch die schnelle Bodenerwärmung bot hier die Pflugsaat die besseren Wachstumsbedingungen (BISCHOFF et al., 2020).

Die Beobachtungen, dass an schwierigen Standorten die Direktsaat Probleme bereitet, konnten durch die Erkenntnisse von Derpsch bestätigt werden. Der Direktsaatstandort darf nicht von Staunässe, schlechten pH-Wert-Verhältnissen oder Bodenverdichtungen betroffen sein. Auch Böden mit einem hohen Grundwasserspiegel und der dadurch fehlenden Möglichkeit abzutrocknen, waren aufgrund des verringerten Sauerstoffanteils für die Direktsaat ungeeignet. Der Boden erwärmte sich nur äußerst langsam und so verzögerte sich das Pflanzenwachstum erheblich (DERPSCH, researchgate.net, 2008).

Weiterhin wurden in einzelnen Kulturarten der aufgeführten Versuche schwache Ertragsleistungen der Direktsaat beobachtet. Es konnten die Erträge von Sommergerste, Korn-, Silomais und Zuckerrüben genannt werden. Allerdings kamen dort die Untersuchungen zu unterschiedlichen Ergebnissen.

Die kulturabhängige Ertragsschwäche ließ sich nachvollziehen, da es sich fast ausschließlich um Sommerungen handelte. Diese erfuhren im Frühling durch die Auflageschicht sowie dem festeren Boden der Direktsaatvariante eine geringere Bodenerwärmung. Die Verzögerung führte dazu, dass die Pflanzen der Direktsaat es im laufenden Vegetationszeitraum nicht schafften diesen Rückstand aufzuholen (KLIK et al., 2010; BREUER et al., 2017). Auch bei dem Versuch des IPZ wurde die verzögerte Jugendentwicklung wahrgenommen. Diese Beobachtung traf bei dem in der Fruchtfolge enthalten Silomais zu, ebenso war es auch bei Sommergerste und Zuckerrüben festzustellen. Bemerkenswert auch, dass der Silomaisanbau im IPZ-Versuch in der Direktsaatvariante sowohl ertraglich, als auch monetär immer besser war als in der Mulchsaat. Dies war offenbar durch einen guten Bodenvorrat und die bessere Wasserhaltefähigkeit des Direktsaatbodens bedingt. Die Pflanzen der Vergleichsvariante gerieten durch die schnellere Bodenerwärmung und die erhöhte Evaporation offenbar schneller in Trockenstress. Daraus ließ sich ableiten, dass die Direktsaat besonders in den vom Trockenstress betroffenen Gebieten bessere Leistungen erzielen oder zumindest einen Totalausfall der Kultur verhindern (INTERNATIONALES DLG-PFLANZENBAUZENTRUM, 2020).

In den Ostdeutschen Trockengebieten kamen weitere Anbauauswertungen ebenfalls bei der Ertragsbildung zu einem positiven Ergebnis des Winterweizenanbaus. So wurde im direkten Vergleich ein Ertragsunterschied der Mulchsaat gegenüber der Pflugsaat von 10 % festgestellt. In diesem Fall floss jedoch keine Direktsaatvariante in den Vergleich ein (SCHNEIDER, 2009). BREUER et al. (2017) bezweifelten in ihrer Untersuchung, dass die Böden der Direktsaat ein nennenswertes ertragsrelevantes Wasserspeichervermögen hatten. Allerdings wurde auch angemerkt, dass in Trockenjahren die Erträge der Mulch- und Direktsaat gegenüber der Pflugsaat auf mehreren Standort besser gewesen sei. Auch wurde ein höherer Wassergehalt in der obersten Bodenschicht der Direktsaat gemessen. Das positive Ergebnis der Direktsaat in dem Mitteldeutschen Trockengebiet deckt sich mit den Ergebnissen von PITTELKOW et al. (2015), da diese ergaben, dass die Direktsaat besonders in trockenen Klimazonen die besten Ergebnisse erzielten.

Bemerkenswert waren die Ergebnisse in Steiermark und Niederösterreich vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW). Diese ergaben, dass sich die Direktsaat von Winterweizen und Körnermais, bei dem Deckungsbeitrag 1, entspricht den Prozesskostenfreien Leistungen, gegenüber der Mulchsaat, durchsetzte (KLIK et al., 2010). Für Winterweizen war dieses Ergebnis durchaus abzusehen, da dieser, auch in anderen Versuchen, ertragsstabil war. Für den Körnermais wurde dies allerdings nicht erwartet, da er sich meistens schwächer in der Direktsaatvariante entwickelte und dadurch monetäre sowie Ertragsdefizite zur Mulchsaat auftraten.

Im Vergleichsversuch des Forschungsinstituts für biologischen Landbau (FiBL) wurde Silomais in zwei Varianten unter den Voraussetzungen des biologischen Anbaus überprüft. Es wurden unterschiedliche Winterzwischenfrüchte getestet, wobei Mais in eine bestehende Winterbegrünung direkt eingelegt werden sollte. Die Vergleichsvariante beinhaltete ein Unterpflügen der Zwischenfrucht mit zweimaligem Hacken des Maisbestandes. Das beste Ergebnis in der Direktsaat erzielte der Silomais mit Wintererbsenzwischenfrucht. Hier betrug die fünfjährige Differenz der Direktsaat in Trockensubstanz dt/ha im Mittelwert nur 7 % weniger, als zur Pflugvariante. Vor Maisablage in den Erbsenbestand wurde dieser zunächst mit einer stumpfen Messerwalze niedergewalzt. Dies führte zu einem zuverlässigen Absterben der Zwischenfrucht und ermöglichte, ganz ohne den Einsatz von Glyphosat, ein Etablieren der Maispflanzen. Bei dem Niederwalzen wurde allerdings darauf geachtet, dass sich die Zwischenfrucht in der Blüte befand um ein erneutes Austreiben zu unterbinden (BÖHLER und DIERAUER, 2017). Außerdem war es wichtig, mit der Drillmaschine in die Richtung zu fahren, in die auch der Zwischenfruchtbestand niedergedrückt wurde. Bevorzugt könnte eine in der Arbeitsbreite angepasste Walze vor dem Drill-Trecker angebaut werden, um so zwei Arbeitsgänge parallel zu erledigen (DERPSCH, researchgate.net, 2008). Die Wintererbsenaufgabe unterdrückte zuverlässig den Durchwuchs von Beikräutern und Gräsern. Bei der Maisaussaat hatte sich der Einsatz zweier, vor dem Scheibenschar laufende Räumsterne, zum Freiräumen des Saatschlitzes bewährt (BÖHLER und DIERAUER, 2017). Da in diesem Versuch der Anbau des Mais unter Biobedingungen in der Direktsaatvariante gute Erträge erwirtschaftete, sollte der Anbau durchaus auch in der konventionellen Direktsaat möglich sein. Insbesondere Körnermais hinterlässt nach der Ernte eine gute Pflanzenaufgeschicht, während Silomais dies nicht bieten kann. Der Anbau von Zwischenfrüchten war umso wichtiger, da einige Marktfrüchte nicht genug Pflanzenmasse bilden um den Boden zuverlässig durch die organische Aufgeschicht zu schützen (DERPSCH, 2020). Zur Eignung im Zuckerrübenanbau entstanden im Direktsaatverfahren sehr ähnliche Ergebnisse. Die Erträge bei den Untersuchungen der Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz (LWK RP) und die des Landwirtschaftlichen Technologiezentrums Augustenberg (LTZ) rieten von einem Zuckerrübenanbau unter Direktsaatbedingungen ab. Selbst der Versuch der Südzucker AG zog zur Direktsaateignung ein verhaltenes Fazit (BERG et al., 2011; BREUER et al., 2017), da auch dort die Zuckerrüben ertragstechnisch hinter der Mulchsaatvariante zurück blieben (SÜDZUCKER AG, 2021). Diese Minderleistungen der Zuckerrüben wurden mit der Verdichtung und einer langsameren Erwärmung des Bodens begründet. Zudem erfolgte bei der Zuckerrübenernte viel Bodenbewegung. Dies war unter dem Gesichtspunkt der Erhaltung der Mulchaufgabe und der gewachsenen Bodenstruktur problematisch.

Zudem hinterließen die Zuckerrüben nur sehr wenig Pflanzenreste, so dass der Anbau unter reinen Direktsaatbedingungen schwierig war (BERG et al., 2011; BREUER et al., 2017). Die Leistungsschwäche der Sommerkulturen begründete sich damit, dass durch die Bodenbewegung bei Mulchsaat das Bodenleben zusätzlich mit Sauerstoff versorgt wird. Dies bedingt eine verstärkte Bodenlebenaktivität und N-Mineralisation. Diesen zusätzlichen Stickstoff der Mulchsaat nutzten die Pflanzen neben der normalen Düngergabe. In der Versuchsauswertung des Landwirtschaftlichen Technologiezentrums Augustenberg (LTZ) wurde die Vermutung geäußert, dass die Direktsaat möglicherweise durch diese fehlende N-Mineralisierung ertragsschwächer war. Zum Teil konnte dies durch die geringeren Aufwüchse und Erträge der Sommerkulturen belegt werden (BREUER et al., 2017).

Zu den angeführten Versuchen des LTZ und der LWK RP wurden keine genaueren Angaben zur Durchführung der Düngergaben gefunden. Vermutlich wurden sie mit der in der Praxis üblichen oberflächlichen Ausbringung durchgeführt. Da der feste Dünger auf der Mulchauflageschicht verblieb, bestand je nach Mächtigkeit der Auflage das Risiko, dass die Nährstoffe nach dem Lösen des Düngers nur verzögert zu den Pflanzenwurzeln gelangten. Um dies bei der Direktsaat zu umgehen, empfiehlt es sich, die Düngergabe entweder über die Blattflächen zu applizieren oder diese direkt in den Boden abzulegen (CROSS SLOT® NO-TILLAGE SYSTEMS, 2021). Einige Direktsaatdrillmaschinen haben zu diesem Zweck bereits eigene Düngertanks und Ablageschare im Programm. Zusätzlich bieten Hersteller Drillmaschinen mit mehreren Saatgut-/Düngertanks an, um in einem Arbeitsgang mehrere Düngemittel und Untersaaten auszubringen (STROTMANN, 2019). Diese Düngerablage in den Boden bot den Vorteil, dass die Bodenfeuchtigkeit die Nährstoffe sehr schnell lösen und dieser somit pflanzenverfügbar war. So gelangten die Pflanzen, trotz ausbleibender Niederschläge, an die Nährstoffe. Ein Verfahren, welches sich in dieser Hinsicht in der Praxis bewährte, war die Flüssigdüngerapplikation direkt in den Boden. Bei dem sogenannten CULTAN-Verfahren wurde eine hoch konzentrierte Ammonium-Lösung über ein Sternenrad in den Boden eingebracht. CULTAN stand für „*Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition*“, dies bedeutet so viel wie „kontrollierte langfristige Ammonium-Ernährung“ (AHL). Aufgrund der hoch konzentrierten Ammoniumlösung konnten die Bodenbakterien es nicht zu Nitrat abbauen. In Vergleichen bestätigte sich bei anhaltender Frühjahrestrockenheit, dass die Injektionsdüngung Vorteile gegenüber der oberirdischen Feststoffdüngung bot. Diese ermöglichte im Versuchsjahr 2009 die Nährstoffbereitstellung, während die Vergleichsvariante durch den fehlenden Niederschlag Ertragseinbußen verzeichnete. Es bot auch im feuchten Frühjahr den Vorteil, dass die angelegten Düngedepots die Pflanzen versorgen, so dass die Flächen erst zu einem späteren Zeitpunkt befahren werden mussten. Die bodenschonendere Düngergabe kam aufgrund des vorhandenen Bewuchses mit einem N-Sensor zum Einsatz (FARACK und ALBERT, 2011).

Hier wird durch Kameraeinsatz die Lichtreflektion der Kulturpflanzen und somit der Stickstoffversorgungsstand der Pflanzen ermittelt (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN, 2022). In durchschnittlichen Jahren waren beide Düngungsverfahren leistungsidentisch: In extremen Jahren bot die Injektionsdüngung mehr Ertragssicherheit (FARACK und ALBERT, 2011).

Zu einem abweichenden Ergebnis kam die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Dort erbrachte die Standarddüngung mit dreimal KAS (Kalkammonsalpeter) mehr Ertrag als die Flüssigdüngung durch das CULTAN-Verfahren. Bei anhaltender Frühjahrstrockenheit bringt vermutlich der Kombination des CULTAN-Verfahrens mit später KAS-Gabe Qualitätsvorteile (EUBA et al., 2011).

Zur CO₂-Einlagerung in den Boden wurden unterschiedliche Beobachtungen gemacht. Von einem Anstieg des organischen Kohlenstoffgehaltes bei konservierender Bodenbearbeitung in den ersten 10 cm berichtete die Universität für Bodenkultur Wien auf drei Versuchsstandorten. Für den Standort Pixendorf wurden 0,5 t C_{org} ha⁻¹ (organischer Kohlenstoff) bei Mulchsaat und sogar 1,3 t C_{org} ha⁻¹ Zuwachs bei Direktsaat ermittelt. In Tulln unterscheiden sich die Mulchsaat mit 1,7 t C_{org} ha⁻¹ und 1,8 t C_{org} ha⁻¹ bei der Direktsaat nicht wesentlich voneinander. Die Differenz ist dafür in Kirchberg mit 0,8 t C_{org} ha⁻¹ bei Mulchsaat und 1,3 t C_{org} ha⁻¹ bei Direktsaat merklich größer. Es wurde die Vermutung geäußert, dass dieser Anstieg des organischen Kohlenstoffgehaltes eine temporärere Erscheinung war und bei längerer Anwendung des jeweiligen Bodenbearbeitungssystems sich irgendwann ein Optimalwert einstellen wird. Das Studienergebnis: *„Dies bedeutet, dass es sich bei RT [Mulchsaat] und NT [Direktsaat] um nachhaltige Bodenbewirtschaftungssysteme handelt“* (KLIK et al., 2010, S. 94). Durch die Vermeidung des Abbaus von organisch gebundenem Kohlenstoff im Boden war dies nachvollziehbar. Ob die Direktsaat längerfristig vermehrt CO₂ speichert war schwierig zu klären, da viele Faktoren wie Bodentyp und die angebauten Kulturpflanzen dies beeinflussen. Entscheidend waren neben den Temperaturen Einträge der organischen Masse, die jährlichen Witterungsverhältnisse sowie das Bodenleben. Auch die Fruchtfolgegestaltung war ausschlaggebend für die aus der Luft gebundene CO₂-Menge (KLIK et al., 2010; KALMÁR et al., 2013)

Eine neue Untersuchung von pflanzenwachstumsstimulierenden Bodenmikroorganismen kam zu dem Ergebnis, dass bei extensiver Bodenbearbeitung das Auftreten von pilzlichen und bakteriellen Mikroorganismengemeinschaften in der Rhizosphäre wesentlich höher war als bei der Pflugvariante. Die Bodenbearbeitung hatte also einen signifikanten Einfluss auf die Abundanz der Mikroorganismen (MORADTALAB et al., 2021). Es wurden Süßgräser mit Mikroorganismen in Kontakt gebracht um die Auswirkung dieser auf das Pflanzenwachstum zu bestimmen. Dabei siedelten sich die Mikroorganismen erfolgreich an der Rhizosphäre der Pflanze an.

Diese Symbiose der Mikroorganismen mit den lebenden Pflanzen wies auf ein verbessertes Wachstum und einen höheren Nährstoffgehalt hin. Zusätzlich wurde bei den behandelten Pflanzen beobachtet, dass sie metabolische Stoffe bilden, die im Zusammenhang mit Resistenzbildungen (gegen Pflanzenpathogene) standen. Außerdem nahm die Konzentration von stressinduzierten Stoffen in der Pflanze ab (BEHR et al., 2021). Pilzgefächte und Mikroorganismen, welche besonders gut mit den Kulturpflanzen interagieren, reicherten sich durch die fehlende Bodenbewegung an.

6.6 Aussichten für die Praxis

Durch die Verabschiedung des Insektenschutzgesetzes 2021 stand der Breitband-Herbizidwirkstoff Glyphosat vor dem Anwendungsende in Deutschland. 2022 lief die EU-Zulassung des Wirkstoffes aus und eine erneute Zulassung im Rahmen des Insektenschutzgesetzes war ausgeschlossen. Dies bedeutete, dass nach der einjährigen Aufbrauchfrist ab dem 1.1.2024 keine glyphosathaltigen Pflanzenschutzmittel mehr zugelassen oder angewendet werden dürfen (DIE BUNDESREGIERUNG, 2021). Die Frage, wie eine Unkrautregulierung vor der Aussaat der neuen Haupt- oder Zwischenfrucht erfolgen konnte, war nicht zu beantworten, wenn weiterhin die Direktsaat Anwendung finden sollte. Der Versuch der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt ergab, dass ein längerfristiger Verzicht auf Glyphosatanwendung in der Direktsaat zu einem erhöhten Unkrautdruck führte. Diese Entwicklung stoppte auch eine weitere Fruchtfolge mit dem Einsatz von mehrjähriger Luzerne nicht. Selbst zusätzliche mechanische Maßnahmen wie Mulchen und Striegeln reduzierten das Auftreten von Beikräutern und Gräsern nicht auf ein wirtschaftlich vertretbares Maß (BISCHOFF et al., 2020).

Ein anderer Ansatz erfolgte von dem australischen Landwirt Colin Seis. Er bewirtschaftete einen 840 ha großen Betrieb mit 3500 Merinoscharfen. Seine Flächen befanden sich in einem Gebiet mit einer jährlichen Niederschlagsmenge von 650 mm. Er entwickelte in 20 Jahren ein Anwendungssystem im dem sich sowohl Ackerbau als auch Tierzucht gegenseitig ergänzen. Dieses System nennt sich *'pasture cropping'*, auf Deutsch „Weideanbau“. Dabei wurde nach der ersten Beweidung durch die Schafe mittels Direktsaat die Feldkultur in den einheimischen Weidegrasbestand gesät und gleichzeitig ein organischer Flüssigdünger mit geringer Aufwendungsmenge ausgebracht. Laut Seis funktionierte dies mit Weizen, Hafer sowie anderen Sommer- und Winterfrüchten. Bei der Aussaat wurden normalerweise keine Herbizide eingesetzt. Die verringerte Düngermenge wurde durch die Ausscheidungen der Schafe kompensiert und die Beweidung unterdrückte erfolgreich Unkräuter und Gräser. Nach der Feldfruchternte weideten die Schafe das von unten nachgewachsene Gras ab. Durch den Anbau der Feldfrüchte wurde das Weidegras zum Keimen angeregt, so dass die Weide keine Grasnachsaat oder Neuansaat benötigte. Das steigerte die Produktivität der Flächennutzung und die Wollqualität verbessert sich.

Auch hier zeigten sich die Vorteile der extensiven Befahrung und des gewachsenen Bodens. Die Bodenstruktur war nun lockerer als die von konventionell bearbeiteten Böden. Auch das Vorkommen der Bodennährstoffe, inklusive Phosphor, hatte sich im Durchschnitt um 172 % gesteigert. Seis meinte: *"It's hard not to make money using this system!"* ("Es ist schwer, mit diesem System kein Geld zu verdienen!") (WOOL.COM, 2021). Einen ähnlichen Ansatz verfolgt die „Regenerative Landwirtschaft“.

6.7 Bodenbearbeitungssysteme in Zeiten des Klimawandels

Eine objektive Beantwortung, welches der beiden Systeme in Zeiten des Klimawandels besser ist, konnte durch die große Anzahl an Faktoren, welche vom Klimawandel beeinflusst werden, nicht abschließend beantwortet werden. Amberger (1983) stellte fest, dass die Bodenbearbeitung ebenso einen Einfluss auf den Humusaufbau/-gehalt hatte wie der pH-Wert des Bodens. Neben der Bodenart war dessen Nährstoffversorgung für die Bodenstruktur wichtig. Besonders Schadverdichtungen und ein hoher Grundwasserspiegel hemmten die mikrobielle Aktivität und dadurch den Humusaufbau. Eine weitere Einflussgröße für den Humusaufbau wurde bei der Zusammensetzung der organischen Masse beobachtet. Je langsamer Mikroorganismen die Pflanzenreste abbauen, desto dauerhafter bestanden sie im Boden. SIX et al. (2002) wies die Bedeutung der Bodenart und der drei Humusarten für die Ton-Humuskomplexe nach.

In diesem Zusammenhang war die Relevanz der gleichmäßigen Strohverteilung und Zerkleinerung von Ernterückständen nachzuvollziehen (TLL, 2014).

Die Untersuchungsergebnisse von REICOSKY und LINDSTROM (1993) zeigten die Wirkungsweise der konservierenden Bodenbearbeitung, insbesondere die der Direktsaat auf und machten die dahinterstehenden Abläufe im Boden nachvollziehbar. Die verminderte Bodenbewegung und Bearbeitung bewirkte die Festsetzung von CO₂ im Bodengefüge. Zu diesem Ergebnis kommen auch die Untersuchungen von KLIK et al. (2010), welcher ein signifikant geringeren CO₂-Ausstoß der Direktsaat aus der Ackerfläche gegenüber der Mulch- sowie der Pflugsaat feststellte. LIEBHARD et al. (2004) ermittelte innerhalb von 7 Jahren eine Steigerung des Humusgehaltes der Direkt- und Mulchsaatvarianten um 0,6 %, gegenüber der Pflugsaat.

Die Versuche zeigen auf, dass die Direktsaat durch ihren Verzicht auf die Bodenbearbeitung weniger Kraftstoff benötigte und auch dadurch weniger CO₂ freigesetzt wurde. Die Mulchsaat reduzierte im Vergleich zur Pflugsaat 60 %, die Direktsaat sogar 91 % an CO₂-Emissionen durch die verminderte Bodenbearbeitung. Auch bei der Betrachtung aller für die Produktion nötigen Betriebsmittel war die Direktsaat die CO₂-ärmste mechanisierte Ackerbauvariante.

So wurden bei der dreijährigen Bodenbearbeitung in dem von KLIK et al. (2010) durchgeführten Versuch folgende Werte ermittelt: Pflugsaat 403 kg CO₂/ha, Mulchsaat 160 kg CO₂/ha und Direktsaat 38 kg CO₂/ha. Allerdings ist es wichtig, dass kein übermäßig hoher PSM- und Düngeraufwand die CO₂-Bilanz der Direktsaat wieder erhöht.

Der N₂O-Ausstoß der Direktsaat stellt nur auf Böden, die zu starken Verdichtungen und/oder Staunässe neigen, ein Problem dar (ROCHETTE, 2008). Daher war diese Quelle des Treibhausgases für die Betrachtung zu vernachlässigen.

7. Schlussfolgerung und Aussicht

Die Direktsaat ist in der Finanzierung, der Maschinenanschaffungs- und Unterhaltskosten günstiger. Dieses Ergebnis bestätigt sich vielfach in der Praxis und in den zitierten Versuchen. Durch den Wegfall der zeitaufwändigen Bodenbearbeitung werden Maschinen- und Arbeitskraftstunden (AKh) eingespart. Ebenso wird dadurch der Kraftstoffeinsatz vermindert, welches mit Blick auf steigende Energiekosten und die CO₂-Besteuerung in Deutschland positiv ist. In den nächsten Jahren könnten die genannten Faktoren ausschlaggebend sein. Es ist auch der außerordentlich gute Erosionsschutz hervorzuheben. Dieser wird in den nächsten Jahren aufgrund der zunehmenden Extremwetterbedingungen mehr in das Blickfeld der Gesellschaft, Politik und Praxis gelangen. In diesem Punkt sei auf die Ackerbaustrategie 2035 hingewiesen, welche die vielen Ziele der Politik aufzeigt (BMEL, 2021). Das entscheidendste Argument für den Wechsel zum Direktsaatsystem ist die „Krisenminderung“ in Trockengebieten. Die Direktsaat schafft unter anhaltender Frühsommertrockenheit ebenso wie bei Starkregenereignissen immer noch Erträge zu liefern, welche die variablen sowie Fixkosten decken. Besonders unter anhaltender Trockenheit schneidet die Direktsaat wirtschaftlicher ab. Dies wird durch die Auswertungen des IPZ Versuches bestätigt. Die wirtschaftlichen Argumente in Verbindung mit den, auch von der Politik erwünschten weiter aufgelockerten Fruchtfolgen, sind sehr gute Gründe für einen Wechsel zur Direktsaat.

Das stärkste Gegenargument für eine Umstellung auf das Direktsaatverfahren wird das Auslaufen der Zulassung des Herbizidwirkstoffes Glyphosat sein, da dieser im übertragenden Sinne „die Achillesferse“ des Systems darstellt. Ohne die Möglichkeit, Flächen mit einem Totalherbizid von Beikräutern und Gräsern zu befreien, ist eine langfristige Anwendung der Direktsaat nicht möglich. Davon gehen zumindest BISCHOFF et al. (2020) und Thomas Sander, Direktsaat-Landwirt, aus (MESSERSCHMID, 2017). Diese prekäre Lage wird durch den Wegfall und das Ausbleiben von Verlängerungen weiterer Pflanzenschutzmittelwirkstoffe verschärft.

Die möglichen Resistenzbildungen der zu bekämpfenden Zielpflanzen führen in der Praxis zukünftig wieder zu einer Intensivierung der mechanischen Beiwuchsbekämpfung. In welcher Form sie erfolgt bleibt abzuwarten. Um die vielen Vorteile eines gewachsenen Bodens zu nutzen, sollte diese allerdings so minimal wie möglich sein. Festzuhalten bleibt, dass die Mulchsaat nicht so hohe Ansprüche an die Standortbedingungen vorgibt, da sie diese aktiver beeinflussen kann. Das macht sie, verglichen mit der Pflugsaat, bei gleichzeitig ähnlichen Erträgen, mit wesentlich besserem Erosionsschutz, flexibler in der Anwendung.

8. Fazit

Abschließend kann festgehalten werden, dass die Direktsaat die Bodenstruktur schonendste Ackerbauvariante darstellt. Sie bietet den besten Erosionsschutz verbunden mit der Möglichkeit Agrarchemikalien, Nährstoffe und CO₂ auf den Ackerflächen zu halten. Dies wiederum ist positiv für die pflanzenbauliche Praxis und die Umwelt. Aufgrund des gewachsenen Bodens werden Makro-, Meso- und Mikrofauna am geringsten behelligt und können mit zur Erhaltung eines Gleichgewichtes zwischen Nützlingen und Schädlingen beitragen. Außerdem hilft das Bodenleben bei der Schaffung einer guten Bodenstruktur und wirkt so einer Verdichtung entgegen. Der Versuch der IBZ und die weiter aufgeführten Arbeiten konnten das Potenzial der Direktsaat gut aufzeigen. Besonders die wirtschaftliche Auswertung bewies, dass die Direktsaat durchaus eine Alternative zur Mulchsaat darstellt. Sie hat den geringsten Arbeitszeitbedarf je Hektar und stellt bei guten Standortbedingungen auch die umweltschonendste Ackerbauvariante dar. Auch ist davon auszugehen, dass die Investitionskosten in noch leistungstärkere Zugmaschinen nicht mehr so nötig sein werden. Dadurch wird mehr Kapital freigesetzt, das für die Investition in modernere Technik und das Betriebswachstum eingesetzt werden kann.

Trotz vieler weiterer Vorteile wird ein entscheidendes Detail die konsequente Direktsaat nicht mehr lange im praktischen Ackerbau in Deutschland halten. Der Wegfall des Wirkstoffes Glyphosat muss in Zukunft voraussichtlich wieder vermehrt durch die mechanische Bodenbearbeitung ersetzt werden. Die Ausgangsfrage, ob die Direktsaat als mögliche Alternative zur Mulchsaat dienen kann, ist durchaus positiv zu beantworten. Besonders die wirtschaftlichen Aspekte sprechen für ein hohes Potential in den von Vorsommertrockenheit betroffenen Gebieten. Allerdings wird der Ackerbau, wie eingangs erwähnt, auch von äußeren Faktoren wie Standort und Kulturpflanzen beeinflusst. Für Deutschland kann die Frage aufgrund der voraussichtlich anhaltenden rechtlichen Einschränkungen mit einem klaren Nein beantwortet werden. Dies könnte sich mit Sicht auf den globalisierten Handel und die Konkurrenzfähigkeit der deutschen Landwirte durchaus als Nachteil erweisen.

9. Zusammenfassung

In Zeiten von anhaltenden Vorsommertrockenzeiten und gleichzeitiger Häufung von Starkregenereignissen setzt sich diese Arbeit mit der Frage auseinander, ob die Direktsaat auch in Deutschland eine Alternative zur Mulchsaat darstellt. Zur Klärung werden zunächst grundlegende Mechanismen des Bodenlebens sowie die Erhaltung und Förderung der Ertragsstabilität durch Bodeneigenschaften aufgeführt. Neben dem Aufzeigen der Vor- und Nachteile beider Bodenbearbeitungsvarianten erfolgt die Darlegung von Aspekten des Wirtschaftens mit der Natur, die Nutzung und gezielte Förderung der Nützlinge zur Erhaltung eines natürlichen Gleichgewichtes. Da diese An- und Vorsätze in der Praxis marktwirtschaftlichen Interessen unterliegen, erfolgte die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit des Bodenbearbeitungsversuchs vom IPZ am Standort Strenzfeld-Bernburg (Saale). Durch die Ermittlung der Prozesskostenfreien Leistungen der Mulch- und Direktsaat gelang eine wirtschaftliche Analyse, die die Direktsaat für sich entscheiden konnte. Der Winterraps als die erlösreichste Kultur in der Direktsaat konnte sich vor den beiden Winterweizenvarianten setzen, der Mais-Weizen erzielte hier die besseren Erlöse. Der Silomais war die Kultur mit der größten Differenz in beiden Varianten der Fruchtfolge. Nach Auswertung der Ergebnisse und zusätzlichen Verbesserungen, u.a. in Form des CULTAN-Verfahrens, wurden Aussichten für die weitere ackerbauliche Praxis aufgeführt. Festzuhalten gilt, die Landwirtschaft wird, insbesondere der Ackerbau, durch regionale sowie saisonale und geografische Faktoren beeinflusst. Daher ist eine pauschale Aussage über zu erwartenden Erlöse und die erzielten Erträge nicht allgemein gültig. Der Standort ist der entscheidende Faktor der Bewertung. Aufgrund der restriktiven Pflanzenschutzmittel-Gesetzgebung in Deutschland wird die Direktsaat keine konsequente Anwendung mehr finden können. Daher sollte die Praxis versuchen möglichst viele Vorteile der Direktsaat zu übernehmen.

Von der Wissenschaft kann in Kooperation mit der Praxis weiterführend geklärt werden, wie der Boden und das Bodenleben versorgt und gefördert werden könnte, um mehr mit und nicht gegen die Natur zu wirtschaften.

10. Quellenverzeichnis

(AMAZONE, 2020)

Amazone, 2020, Anhängesämaschine Condor, <https://amazone.de/de-de/produkte-digitale-loesungen/landtechnik/saetechnik/pneumatische-saemaschinen/anhaengesaemaschine-condor-80912>, abgerufen am 18.06.2020

(AGRARHEUTE, 2016)

agrarheute Redaktion, agrarheute, 2016, Aussaat 9 Fakten zur Mulchsaat, <https://www.agrarheute.com/management/finanzen/9-fakten-mulchsaat-444011>, abgerufen am 16.04.2020

(AMBERGER, 1983)

A. Amberger, Uni- Taschenbücher, 1983, Pflanzenernährung, 2. Verbesserte Auflage, Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart, S. 59- 61,

(AUERWALD und HAIDER, 1992)

K. Auerwald und J. Haider, Verlag Paul Parey, 1992, Eintrag von Agrochemikalien in Oberflächengewässer durch Bodenerosion, Berlin und Hamburg, https://www.researchgate.net/profile/Karl_Auerswald/publication/286933833_Eintrag_von_Agrochemikalien_in_Oberflachengewasser_durch_Bodenerosion_Input_of_Agrochemicals_into_Surface_Waters_by_Soil_Erosion/links/5671351b08ae2b1f87aedad6.pdf, abgerufen am 06.11.2020

(BAEUMER, 1971)

Baeumer K., 1971, Allgemeiner Pflanzenbau, 2. durchgesehene Auflage, Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart, S. 71-76, 79-84, 140, 149-153

(BAUER et al., 2014)

F. Bauer, J. Dyson, G. L. Henaff, V. Laabs, D. Lembrich, J. Maillet- Mezeray, B. Real, M. Roettele, P. Costrop, E. Güsken, I. Mestdagh, E. Pauwelyn, A. Sapiets, P. Balsari, G. Doruchowski, L. King, H. Ophoff, P. H. Petersen, B. Röpke, M. Röttele, S. Rutherford, M. Bielasik- Rosinska, A. Ferrero, K. Gehring, E. G. Sanchez, R. T. Poulsen, M. Damsgaard, Industrieverband Agrar, 2014, Gute fachliche Praxis zur Verringerung der Gewässerbelastung mit Pflanzenschutzmitteln durch Run-off und Erosion, <https://www.agrar.basf.de/Dokumente/Nachhaltigkeit/oberflaechenabfluss-erosion-reduzieren.pdf>, abgerufen am 17.11.2020

(BECKER et al., 1985)

K. W. Becker, H. G. Frede, P. Hugenroth, F. W. Klages, B. Meyer, H. Wildhagen, 1985, Bodenkunde –Aspekte und Grundlagen-, Auflage 14, Eigenverlag, Institut für Bodenwissenschaften Göttingen (Seite 26 Tab. 3)

(BEHR et al., 2021)

J. H. Behr, N. Moradtalab, S. P. Chowdhury, L. Sommermann, D. Babin, M. Rothballer, G. Neumann, J. Geistlinger, K. Smalla, R. Grosch, OpenAgrar, 2021, Vom Labor auf den Acker: Rhizosphärenkompetenz von nützlichen Mikroorganismen und ihre Auswirkungen auf das Wachstum und die Gesundheit von Nutzpflanzen https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00074514, abgerufen am 04.11.2021

(BERG et al., 2011)

V. Berg, O. Laufer, M. Schnorbach, Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz, 2011, https://www.lwk-rlp.de/fileadmin/import/damimport/files/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Bodenbearbeitungsversuche_2011.pdf, abgerufen am 08.07.2021

(BIADA, 2021)

S. Biada, Internationales DLG-Pflanzenbauzentrum, Systemvergleich Bodenbearbeitung 2012-2020, Interview am 21.01.2021

(BIERI et al., 2010)

M. Bieri, F. Burkhalter, A. Chervet, W. Jossi, AGRIDEA, 07.2010, Schadschnecken im Ackerbau,

<https://agridea.abacuscity.ch/de/A~1504~1/3~410100~Shop/Publikationen/Pflanzenbau-Umwelt-Natur-Landschaft/Ackerbau/Schadschnecken-im-Ackerbau/Deutsch/Print-Papier>,
abgerufen am 07.10.2021

(BISCHOFF et al., 2020)

J. Bischoff, L. Kathe, R. Richter, N. Tauchnitz, Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt, 2020, Eignung von Anbausystemen bei Glyphosatverzicht,
[https://llg.sachsen-](https://llg.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LLFG/Dokumente/03_service/broschueren/20_glyphosatbroschuere.pdf)

[anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LLFG/Dokumente/03_service/broschueren/20_glyphosatbroschuere.pdf](https://llg.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LLFG/Dokumente/03_service/broschueren/20_glyphosatbroschuere.pdf), abgerufen am 01.02.2022

(BÖHLER und DIERAUER, 2017)

D. Böhler und H. Dierauer, Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, 2017
<https://www.bioaktuell.ch/fileadmin/documents/ba/Pflanzenbau/Ackerbau/Bodenbearbeitung/Direktsaat-Mais-LOP-Mai-2017.pdf>, abgerufen am 26.10.2021

(BREUER et al., 2017)

J. Breuer, C. Seiter, H. Flaig, K. Hartung, J. Ott, K. Möller, Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), 2017, Pflanzenbauliche und bodenökologische Auswirkungen von Pflug-, Mulch- und Direktsaat „Systemvergleich Bodenbearbeitung“ Abschlussbericht 2017, <https://ltz.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Service/Informationen+fuer+die+Pflanzenproduktion>, abgerufen am 08.07.2021

(BGR, 2014)

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), 2014, Neue BGR-Karte zur Erosionsgefährdung von Ackerböden: Starkregen sorgen für enorme Bodenverluste
https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Oeffentlichkeitsarbeit/Pressemitteilungen/BGR/bgr-140604_Bodenerosion.html, abgerufen am 17.11.2020

(BLE, 2020)

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), 2020, Extremes Wetter: Wie das Klima die Landwirtschaft verändert, <https://www.praxis-agrar.de/umwelt/klima/wie-das-klima-die-landwirtschaft-veraendert>, abgerufen am 15.04.2020

(BMEL, 2021)

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), 2021, Ackerbaustrategie 2035 Perspektiven für einen produktiven und vielfältigen Pflanzenbau, https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/ackerbaustrategie2035.pdf?__blob=publicationFile&v=7, abgerufen am 01.11.2021

(CHERVET, 2021)

A. Chervet, Direktion für Wirtschaft, Energie und Umwelt Amt für Landwirtschaft und Natur Abteilung Strukturverbesserungen und Produktion, 02.02.2021, Erträge_Erntejahr_09_20.xlsx, E-Mail

(CHEN et al., 2004)

Y. Chen, S. Tessier, B. Irvine, Drill and crop performances as affected by different drill configurations for no-till seeding, https://www.researchgate.net/publication/240391539_Drill_and_crop_performances_as_affected_by_different_drill_configurations_for_no-till_seeding, abgerufen am 16.02.2021

(CROSS SLOT® NO- TILLAGE SYSTEMS, 2021)

Cross Slot® No- Tillage Systems, Cross Slot® Openers, <https://www.crossslot.com/page.php?132>, abgerufen am 08.02.2021

(DERPSCH, 2020)

R. Derpsch, SCHRITTE ZUR ERFOLGREICHEN UMSETZUNG VON DIREKTSAAAT, <http://www.rolf-derpsch.com/fileadmin/templates/main/downloads/schritte.pdf>, abgerufen am 22.04.2020

(DERPSCH, researchgate.net, 2008)

R. Derpsch, 2008. Critical Steps in No-till Adoption. In: No-till Farming Systems. Goddard, T., Zoebisch, M.A., Gan, Y., Ellis, W., Watson, A. and Sombatpanit, S., Eds., 2008, WASWC. p 479 – 495, https://www.researchgate.net/publication/228472591_Critical_Steps_in_No-till_Adoption, abgerufen am 23.01.2022

(DERPSCH et al., 2010)

R. Derpsch, T. Friedrich, A. Kassam, L. Hongwen, International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2010, Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits, <https://www.ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/223/113>, abgerufen am 07.02.2022

(DETER, 2014)

A. Deter, top agrar online, 2014, Acker & Agrarwetter Strohmanagement – Technische Ansätze und Lösungen, <https://www.topagrar.com/acker/news/strohmanagement-technische-ansaeetze-und-loesungen-9868554.html>, abgerufen am 04.11.2021

(DWD, 2021-a)

Deutscher Wetterdienst, 2021-a, Deutscher Klimaatlas, https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html, abgerufen am 01.02.2021

(DWD, 2021-b)

Deutscher Wetterdienst, 2021-b, Zeitreihen und Trends, <https://www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen/zeitreihen.html?nn=16102>, abgerufen am 01.11.2021

(DWD, 2021-c)

Deutscher Wetterdienst, 2021-c, Open Data Bereich des Climate Data Center, <https://www.dwd.de/DE/leistungen/cdc/climate-data-center.html?jsessionid=49D1237FCBF4E541DBD919C9537298AF.live31081?nn=17626>, abgerufen am 21.11.2021

(DIE BUNDESREGIERUNG, 2021)

Die Bundesregierung, 2021, Insektenschutz Weniger Pflanzenschutzmittel einsetzen, <https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/insekten-schuetzen-1852558>, abgerufen am 05.11.2021

(EUBA et al., 2011)

Euba M., Offenberger K., Wendland M., Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Einfluss der Stickstoffdüngung auf den Winterweizenertrag in Trockengebieten, <https://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/032390/index.php>, abgerufen am 29.10.2021

(FARACK und ALBERT, 2011)

K. Farack, E. Albert, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, 2011, Verbesserung der Nährstoffeffizienz durch Injektionsdüngung unter Berücksichtigung des Klimawandels, <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/14931>, abgerufen am 28.07.2021

(HILLER, 2007)

D. A. Hiller, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2007, Bodenerosion durch Wasser; Ursachen, Bedeutung und Umgang in der landwirtschaftlichen Praxis von NRW, <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/pdf/broschuere-bodenerosion.pdf>, abgerufen am 23.11.2020

(INTERNATIONALES DLG-PFLANZENBAUZENTRUM, 2020)

Internationales DLG-Pflanzenbauzentrum, Systemvergleich Bodenbearbeitung 2012-2020, <https://www.dlg-ipz.de/de/forschung/systemvergleich-bodenbearbeitung>, abgerufen am 07.07.2020

(KAHRAMAN et al., 2021)

A. Kahraman, E. J. Kendon, S. C. Chan, H. J. Fowler, Advancing Earth and Space Science, 2021, Quasi-Stationary Intense Rainstorms Spread Across Europe Under Climate Change, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2020GL092361>, abgerufen am 29.07.2021

(KALMÁR et al., 2013)

T. Kalmár, L. Bottlik, I. Kisić, C. Gyuricza, M. Birkás, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, Szent István University, Gödöllő, Hungary, Faculty of Agriculture, University of Zagreb, Zagreb, Croatia, 2013, Soil protecting effect of the surface cover in extremesummer periods, https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/176_2013-PSE.pdf, abgerufen am 02.07. 2021

(KTBL, 2013)

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), 2016; Betriebsplanung Landwirtschaft 2016/17, KTBL-Datensammlung

(KLIK et al., 2010)

Klik A., G. Trümper, U. Baatar, S. Strohmeier, P. Liebhard, F. Deim, G. Moitzi, M. Schüller, N. Rampazzo, A. Mentler, G. Rampazzo-Todorovic, E. Brauner, W. Blum, G. Köllensperger, S. Hann, G. Breuer, B. Stürmer, S. Frank, J. Blatt, J. Rosner, E. Zwatz-Walter, R. Bruckner, J. Gruber, R. Spieß, H. Sanitzer, T.M. Haile, S. Selim, B. Grillitsch, D. Altmann, C. Guseck, W. Bursch und M. Fürhacker, im Auftrag des BMLFUW in Kooperation mit den Bundesländern Niederösterreich und Steiermark, 2010, Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf Kohlenstoffdynamik, CO₂-Emissionen und das Verhalten von Glyphosat und AMPA im Boden, <https://dafne.at/projekte/edissoc>, abgerufen am 08.07.2021 (ZITAT Seite 94 letzter Satz)

(KTBL, 2013)

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), 2013, Betriebswirtschaftliche und produktionstechnische Fachbegriffe, <https://daten.ktbl.de/downloads/dslkr/Glossar.pdf>, abgerufen am 25.05.2021 (ZITAT S.2)

(KREUTER u. SCHMIDT, 2007)

T. Kreuter, W. Schmidt, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 04.2007., Selbstregulation im pfluglosen Ackerbau, <https://www.sachsen.de/suche.html?bereich=B%C3%BCrgerservice&portal=Publikationen&searchTerm=Ackerschnecken>, abgerufen am 07.10.2021

(LANDERS et al., 2013)

J.N. Landers, G. Rass, P.L. Freitas, G. Basch, E. González Sanchez, V. Tabaglio, A. Kassam, R. Derpsch, T. Friedrich, L. Giupponi, European Geosciences Union, 2013, Effects of Zero Tillage (No-Till) Conservation Agriculture on soil physical and biological properties and their contributions to sustainability., <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/9227>, abgerufen am 08.03.2022

(LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN, 2022)

Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Sensoren für die variable Stickstoffdüngung - Funktionsprinzipien und Marktübersicht, https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/news/33577_Sensoren_f%C3%BCr_die_variable_Stickstoffd%C3%BCngung_-_Funktionsprinzipien_und_Markt%C3%BCbersicht, abgerufen am 23.02.2022

(LIEBHARD et al., 2004)

P. Liebhard, H. Wagentristl, G. Besenhofe und G. Bodner, Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen, Einfluss unterschiedlicher Bodennutzungssysteme auf ausgewählte Bodenparameter und den Bodenwasserhaushalt im semiariden Produktionsgebiet Österreichs, BERICHT ALVA - Jahrestagung 2004, https://www.alva.at/images/Publikationen/Tagungsband/TAGUNGSBERICHT_2004.pdf, abgerufen am 30.12.2021

(LOP, 2008)

Landwirtschaft ohne Pflug: LOP; das Fachmagazin für rationelle Landwirtschaft, März 2008, Erfahrungen mit Direktsaat in einem sächsischem Marktfruchtbetrieb permanente Direktsaat in Erprobung, Ausgabe 2, S. 10, <https://www.pfluglos.de/beitraege/articles/Direktsaat-Sachsen>, abgerufen am 09.03.2022

(MAI et al., 2015)

P. Mai, J. W. Hesse, M. Schmitz, H. Gervert, JOURNAL FÜR KULTURPFLANZEN, 2015, Konservierende Bodenbearbeitung in Deutschland als Lösungsbeitrag gegen Bodenerosion, 67, Verlag Eugen Ulmer KG, Stuttgart S. 310- 319 https://www.researchgate.net/profile/Puran-Mai/publication/286109829_Conservation_tillage_in_germany_A_solution_of_soil_erosion/links/5b4376570f7e9bb59b1af22e/Conservation-tillage-in-germany-A-solution-of-soil-erosion.pdf, abgerufen am 09.03.2022

(MESSERSCHMID, 2017)

S. Messerschmid, Badische Bauern Zeitung, 2017, Erfolgreiche Direktsaat braucht langen Atem, <https://www.badische-bauern-zeitung.de/erfolgreiche-direktsaat-braucht-langen-atem>, abgerufen am 20.10.2021

(MORADTALAB et al., 2021)

N. Moradtalab, D. Babin, L. Sommermann, J. H. Behr, S. P. Chowdhury, S. Windisch, J. Geistlinger, K. Smalla, G. Neumann, U. Ludewig, R. Grosch, OpenAgrar, 2021, Konservierende Bodenbearbeitung fördert die Rhizosphärenakkumulation von Benzoxanoiden, pflanzenwachstumsstimulierende Bodenmikroorganismen und die Stressresilienz von Winterweizen im Langzeitfeldversuch https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00074514, abgerufen am 04.11.2021

(NATURLAND, 2014)

Naturland, 12.2014, Merkblatt zur Schadnager-Bekämpfung im Grünland, https://www.naturland.de/images/Erzeuger/Fachthemen/Fachinformationen/Merkblatt_Schadnager_SW.pdf, abgerufen am 04.05.2020

(PITTELKOW et al., 2015)

C. M. Pittelkow, B. A. Linquist, M. E. Lundy, X. Liang, K. J. van Groeningen, J. Lee, N. van Gestel, J. Six, R. T. Venterea, C. van Kessel, Field Crops Research, 2015, When does no-till yield more? A global meta-analysis, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429015300228#fig0020>, abgerufen am 15.02.2022

(REICOSKY und LINDSTROM, 1993)

C. D. Reicosky, M. J. Lindstrom, 1993, Fall Tillage Method: Effect on Short-Term Carbon Dioxide Flux from Soil, <https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500060027x>, abgerufen am 19.02.2021

(RICHTER, 2017)

R. Richter, Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt, 2017, Prozesskosten im Ackerbau in Sachsen-Anhalt, https://llg.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LLFG/Dokumente/04_themen/betriebswirtschaft/prozesskosten/bw_prozess_17.pdf, abgerufen am 04.02.2022

(ROCHETTE, 2008)

P. Rochette, Soil and Tillage Research, 2008. No-till only increases N₂O emissions in poorly-aerated soils, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016719870800113X>, abgerufen am 21.02.2022

(SÁNCHEZ-GIRÓN et al., 2004)

V. Sánchez-Girón, A. Serrano, J.L. Hernanz, L. Navarrete, 2004, Economic assessment of three long-term tillage systems for rainfed cereal and legume production in semiarid central Spain, *Soil & Tillage Research* 78 35-44, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198704000133>, abgerufen am 11.02.2022

(SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ENERGIE, 2021)

Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL), Was ist Bodenerosion?, https://www.boden.sachsen.de/bodenerosion-19040.html?_cp=%7B%22accordion-content-22830%22%3A%7B%220%22%3Atrue%7D%2C%22previousOpen%22%3A%7B%22group%22%3A%22accordion-content-22830%22%2C%22idx%22%3A0%7D%7D, abgerufen am 17.09.2021

(SCHMID, 2013)

H. Schmid, Schweizerische Vogelwarte & SVS/BirdLife Schweiz, Sempach & Zürich, 2013, Sitzstangen für Greifvögel, <https://www.vogelwarte.ch/de/voegel/ratgeber/fuetterung-im-winter/sitzstangen-fuer-greifvoegel>, abgerufen am 05.10.2021

(SCHNEIDER, 2009)

M. Schneider, Technische Universität München, 07.07.2009, Fruchtfolgegestaltung und konservierende Bodenbearbeitung/Direktsaat – Eine pflanzenbaulich/ ökonomische Analyse, <https://mediatum.ub.tum.de/doc/679053/679053.pdf>, abgerufen am 15.04.2020

(SCHROERS und KRÖN, 2019)

J. O. Schroers und K. Krön, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), 2019, Methodische Grundlagen der Datensammlung „Betriebsplanung Landwirtschaft“, https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Artikel/Datensammlung/Methodik.pdf, abgerufen am 18.04.2022

(SIX et al., 2002)

J. Six, R. T. Conant, E. A. Paul, K. Paustian, Kluwer Academic Publishers, 2002, Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils, Plant and Soil 241, 155–176 (2002). <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.591.896&rep=rep1&type=pdf>, abgerufen am 03.11.2021

(SPEKTRUM.DE, 2020)

Spektrum.de, Spektrum Akademischer Verlag, 2000, Lexikon der Geowissenschaften Winderosion, <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/winderosion/18262>, abgerufen am 04.12.2020

(STADT BERNBURG, 2020)

Stadt Bernburg (Saale) <https://www.bernburg.de/de/stadtportrait.html>, abgerufen am 22.06.2020

(STATISTISCHES BUNDESAMT, 2017)

STATISTISCHES BUNDESAMT, 2017, Bodenbearbeitungsverfahren landwirtschaftlicher Betriebe auf Ackerflächen im Wirtschaftsjahr 2015/2016, <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Produktionsmethoden/Tabellen/bodenbearbeitungsverfahren-landwirtschaftliche-betriebe.html>, abgerufen am 20.02.2022

(STROTMANN, 2019)

K. Strotmann, agrarheute, 2019, Sky Agriculture: Mulch- und Direktsaat mit 4 Tanks und 2 Ablagetiefen, <https://www.agrarheute.com/technik/ackerbautechnik/sky-agriculture-mulch-direktsaat-4-tanks-2-ablagetiefen-561857>, abgerufen am 19.10.2021

(STURNY et al., 2007)

W. G. Sturny, A. Chervet, C. Maurer-Troxler, L. Ramseier, M. Müller, R. Schafflützel, W. Richner, B. Streit, P. Weisskopf und U. Zihlmann, 2007, Direktsaat und Pflug im Systemvergleich – eine Synthese, https://www.agrarforschungschweiz.ch/wp-content/uploads/2019/12/2007_08_1297.pdf, abgerufen am 03.11.2021

(SÜDZUCKER AG, 2021)

Südzucker AG Offenau, Institut für Zuckerrübenforschung, 2021, Ergebnisse aus den Bodenbearbeitungsversuchen,

<https://bisz.suedzucker.de/anbau/bodenbearbeitung/ergebnisse-aus-den-bodenbearbeitungsversuchen/>, abgerufen am 08.02.2021

(TLL, 2014)

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), 09.2014, Bekämpfung von Feldmäusen in landwirtschaftlichen Kulturen,

http://www.tll.de/www/daten/publikationen/merkblaetter/mb_fmaus.pdf, abgerufen am 04.05.2020

(WOOL.COM, 2021)

Wool.com, Colin Seis, 'Winona', Central Tablelands,

<https://www.wool.com/land/regenerative-agriculture/case-studies/weather-the-drought-with-regenerative-agriculture/>, abgerufen am 04.11.2021

(ÖKOLANDBAU.DE DAS INFORMATIONSPORTAL, 2018-a)

Ökolandbau.de Das Informationsportal, 22.11.2018, Feldmaus,

<https://www.oekolandbau.de/landwirtschaft/pflanze/grundlagen-pflanzenbau/pflanzenschutz/schaderreger/schadorganismen-im-obst-und-weinbau/tierische-schaderreger/feldmaus/>, abgerufen am 04.05.2020

(ÖKOLANDBAU.DE DAS INFORMATIONSPORTAL, 2018-b)

Ökolandbau.de Das Informationsportal, 13.11.2018, Schermaus,

<https://www.oekolandbau.de/landwirtschaft/pflanze/grundlagen-pflanzenbau/pflanzenschutz/schaderreger/schadorganismen-im-obst-und-weinbau/tierische-schaderreger/schermaus/>, abgerufen am 04.05.2020

IV. Anhang

Anhangsverzeichnis

Anhang 1:	Niederschlag der 4 Versuchsjahre erfasst durch DWD, 2021-c	X
Anhang 2:	Eigene Zusammenfassung der Daten des INTERNATIONALEN DLG-PFLANZENBAUZENTRUMS	XI
Anhang 3:	Datengrundlage mit ergänzenden Berechnungen für Winterraps.....	XII
Anhang 4:	Datengrundlage mit ergänzenden Berechnungen für Raps-Weizen.....	XII
Anhang 5:	Datengrundlage mit ergänzenden Berechnungen für Silomais	XII
Anhang 6:	Datengrundlage mit ergänzenden Berechnungen für Mais-Weizen	XIII
Anhang 7:	Punktogramm Erträge Winterraps 2014/ 2020 IPZ Versuch.....	XIV
Anhang 8:	Punktogramm Erträge Raps-Weizen 2014/2020 IPZ Versuch.....	XIV
Anhang 9:	Punktogramm Erträge Silomais 2014/2020 IPZ Versuch	XIV
Anhang 10:	Punktogramm Erträge Mais-Weizen 2014/2020 IPZ Versuch	XIV
Anhang 11:	Lineare der Arbeitserledigungskosten Mulchsaat Silomais	XIV
Anhang 12:	Lineare der Arbeitserledigungskosten Direktsaat Silomais.....	XIV
Anhang 13:	Eigene Zusammenfassung Versuchsergebnisse Oberacker 2008 bis 2020 CHERVET, 2021.....	XV

Anhang 1: Niederschlag der 4 Versuchsjahre erfasst durch DWD, 2021-c

DWD Wetterstation 445 Bernburg/Saale (Nord)				
Standort Breitengrad/Längengrad 51.8218 11.7110				
Monatssummen Niederschlag in mm				
	2017	2018	2019	2020
Jan.	26,00	34,60	40,20	29,1
Feb.	22,50	5,20	7,30	69,1
Mär.	36,20	47,90	35,90	2,8
Apr.	20,80	41,60	20,20	17,3
Mai	61,30	22,40	72,60	51,7
Jun.	50,20	11,30	28,70	20,8
Jul.	92,40	33,30	25,30	42,2
Aug.	54,40	58,50	39,40	107
Sep.	37,20	38,70	47,80	42,1
Okt.	37,60	6,50	47,80	38,1
Nov.	47,70	12,10	31,50	4,5
Dez.	27,50	57,90	38,10	32,4
Σ	513,80	370,00	434,80	457,1

Anhang 2: Eigene Zusammenfassung der Daten des INTERNATIONALEN DLG-PFLANZENBAUZENTRUMS

Variante (M/D)	Kultur	Jahr	Ertrag (ct/ha)	Summe EröB	Seagut	Düngung	Beizmittel	Fungizide	Herbizide	Insektizide& Akarizide	Wechstumregulatoren	Pflanzenschutz	Summe Direktkosten	Maschinen	Arbeit	Summe Gesamtkosten	Ergebnis
M	Winter Raps	2017	31,5	1081,71	59	442,36		71,12	117,66	37,73	37,73	226,51	727,87	347,62	118,92	1194,41	-112,7
D	Winter Raps	2017	33,9	1190,57	59	442,36		71,12	185,6	37,73	37,73	294,45	795,81	278,25	86,57	1160,63	29,94
M	Winter Raps	2018	38,37	1448,08	41,42	409,85		29,6	167,65	59,42	59,42	256,67	707,94	236,85	117,14	1061,93	386,15
D	Winter Raps	2018	38,15	1441,31	41,42	393,89		65,9	175,9	48,77	48,77	290,57	725,88	162,08	85,13	973,09	488,22
M	Winter Raps	2019	33	1267,2	41,42	177,81		116,64	153,39	80,1	80,1	350,13	569,36	325,55	88,8	983,71	283,49
D	Winter Raps	2019	36	1400,76	41,42	164,33		116,64	163,19	80,1	80,1	359,93	565,68	324,38	93,97	984,03	416,73
M	Winter Raps	2020	26,84	1081,92	41,42	267,36		54,24	146,87	39,63	39,63	240,74	549,52	276,79	86,39	986,77	99,15
D	Winter Raps	2020	28,48	1166,26	41,42	267,36		54,24	146,87	39,63	39,63	240,74	549,52	276,79	86,39	912,7	253,56
M	Silo Mais	2017	397,3	1152,17	261,98	376,55		110,55	110,55			110,55	749,08	321,47	136,3	1206,85	-54,68
D	Silo Mais	2017	406,1	1177,69	261,96	376,55		117,9	117,9			117,9	756,41	162,3	105,67	1024,38	153,31
M	Silo Mais	2018	297,5	862,75	184	372,28	79,8	117,9	117,9			197,7	753,98	302,25	131,83	1188,06	-325,31
D	Silo Mais	2018	370,7	1075,03	184	372,28	79,8	117,9	117,9			197,7	753,98	284,44	124,77	1163,19	-88,16
M	Silo Mais	2019	184,1	524,68	182,16	188,33	13,3	35,04	35,04			48,34	418,83	341,04	139,23	899,1	-374,42
D	Silo Mais	2019	185,5	528,68	182,16	188,33	13,3	48,79	48,79			62,09	432,58	260,15	105,67	798,4	-269,72
M	Silo Mais	2020	371,5	1077,35	182,16	60,04		48,91	48,91			48,91	291,11	222,27	84,33	597,71	479,64
D	Silo Mais	2020	408,7	1185,23	182,16	60,04		48,91	48,91			48,91	291,11	222,17	89,49	604,77	580,46
M	Raps Weizel	2017	67,9	1159,24	75,4	111,93	0	42,37	94,06	9,02	18,03	163,48	350,81	277,65	86,39	714,85	444,39
D	Raps Weizel	2017	69,4	1013,24	75,4	111,93	0	42,37	123,46	9,02	18,03	192,88	380,21	233,91	71,94	686,06	327,18
M	Raps Weizel	2018	51,8	947,94	79,92	101,74	0	88,25	113,66	9,02	7,92	218,85	400,51	161,02	78,13	639,66	308,28
D	Raps Weizel	2018	55,9	1022,97	79,92	101,74	0	88,25	121,91	9,02	7,92	227,1	408,76	189,28	101,54	699,58	323,39
M	Raps Weizel	2019	55,8	948,6	62,54	80,34	0	100,65	75,94	16,74	1,68	195,01	337,89	365,96	123,91	827,76	120,84
D	Raps Weizel	2019	62,2	995,2	62,54	86,83	0	100,65	99,84	16,74	1,68	218,91	368,28	299,5	106,87	774,65	220,55
M	Raps Weizel	2020	63,6	1081,2	74,7	116,78	0	106,95	64,67	32,4	72,2	276,22	467,7	324,57	109,8	902,07	179,13
D	Raps Weizel	2020	64,26	1060,29	74,7	116,78	0	106,95	64,67	32,4	72,2	276,22	467,7	244,48	69,87	782,05	278,24
M	Mais Weizel	2017	66	976,8	75,4	111,93	0	79,17	84,26	7,22	22,43	193,08	380,41	229,93	72,63	682,97	293,83
D	Mais Weizel	2017	74,9	1123,5	75,4	111,93	0	79,17	84,26	7,22	22,43	193,08	380,41	212,34	62,99	655,74	467,76
M	Mais Weizel	2018	56,6	1035,78	79,92	136,45	0	133,25	113,66	18,05	7,92	272,88	489,25	163,63	71,27	750,15	305,63
D	Mais Weizel	2018	52,3	957,09	79,92	128,76	0	88,25	113,66	9,02	7,92	218,85	427,53	158,16	74,86	660,55	296,54
M	Mais Weizel	2019	51,6	877,2	62,54	86,83	0	100,65	68,59	16,74	1,68	187,66	337,03	265,02	83,12	685,17	192,03
D	Mais Weizel	2019	55,7	919,05	62,54	86,83	0	100,65	68,59	16,74	1,68	187,66	337,03	229,62	66,76	632,91	286,14
M	Mais Weizel	2020	67,7	1185,97	74,7	116,78	0	106,95	57,08	32,4	79,82	276,25	467,73	247,72	52,32	767,77	418,2
D	Mais Weizel	2020	69,9	1223,26	74,7	116,78	0	106,95	57,08	32,4	79,82	276,25	467,73	209,54	49,56	726,83	496,43

Ergebnisse des Internationalen DLG- Pflanzenbauzentrums, alle Werte sind, sofern nichts anderes angegeben, in Euro je ha errechnet worden.

Anhang 3: Datengrundlage mit ergänzenden Berechnungen für Winterraps

Fruchtart	Variante	Jahr	Summe Erlös	Direktkosten	Direktkostenfreie Leistungen	Arbeits erledigungskosten	Prozesskostenfreie Leistungen
Winterraps	M	2017	1081,71	727,87	353,84	466,54	-112,7
	D	2017	1190,57	795,81	394,76	364,82	29,94
	M	2018	1448,08	707,94	740,14	353,99	386,15
	D	2018	1441,31	725,88	715,43	247,21	468,22
	M	2019	1267,2	569,36	697,84	414,35	283,49
	D	2019	1400,76	565,68	835,08	418,35	416,73
	M	2020	1081,92	549,52	532,4	439,25	93,15
	D	2020	1166,26	549,52	616,74	363,18	253,56
	Σ M		4878,91	2554,69	2324,22	1674,13	650,09
	Σ D		5198,9	2636,89	2562,01	1393,56	1168,45
Differenz		319,99	82,2	237,79	-280,57	518,36	

Anhang 4: Datengrundlage mit ergänzenden Berechnungen für Raps-Weizen

Fruchtart	Variante	Jahr	Summe Erlös	Direktkosten	Direktkostenfreie Leistungen	Arbeits erledigungskosten	Prozesskostenfreie Leistungen
Raps-Weizen	M	2017	1159,24	350,81	808,43	364,04	444,39
	D	2017	1013,24	380,21	633,03	305,85	327,18
	M	2018	947,94	400,51	547,43	239,15	308,28
	D	2018	1022,97	408,76	614,21	290,82	323,39
	M	2019	948,6	337,89	610,71	489,87	120,84
	D	2019	995,2	368,28	626,92	406,37	220,55
	M	2020	1081,2	467,7	613,5	434,37	179,13
	D	2020	1060,29	467,7	592,59	314,35	278,24
	Σ M		4136,98	1556,91	2580,07	1527,43	1052,64
	Σ D		4091,7	1624,95	2466,75	1317,39	1149,36
Differenz		-45,28	68,04	-113,32	-210,04	96,72	

Anhang 5: Datengrundlage mit ergänzenden Berechnungen für Silomais

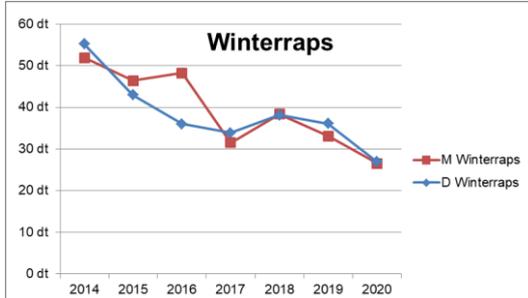
Fruchtart	Variante	Jahr	Summe Erlös	Direktkosten	Direktkostenfreie Leistungen	Arbeits erledigungskosten	Prozesskostenfreie Leistungen
Silomais	M	2017	1152,17	749,08	403,09	457,77	-54,68
	D	2017	1177,69	756,41	421,28	267,97	153,31
	M	2018	862,75	753,98	108,77	434,08	-325,31
	D	2018	1075,03	753,98	321,05	409,21	-88,16
	M	2019	524,68	418,83	105,85	480,27	-374,42
	D	2019	528,68	432,58	96,1	365,82	-269,72
	M	2020	1077,35	291,11	786,24	306,6	479,64
	D	2020	1185,23	291,11	894,12	313,66	580,46
	Σ M		3616,95	2213	1403,95	1678,72	-274,77
	Σ D		3966,63	2234,08	1732,55	1356,66	375,89
Differenz		349,68	21,08	328,6	-322,06	650,66	

Anhang 6: Datengrundlage mit ergänzenden Berechnungen für Mais-Weizen

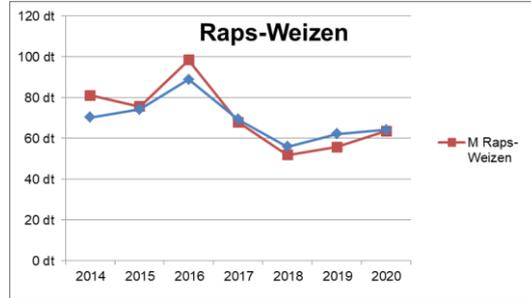
Fruchtart	Variante	Jahr	Summe Erlös	Direktkosten	Direktkostenfreie Leistungen	Arbeits erledigungskosten	Prozesskostenfreie Leistungen
Mais -Weizen	M	2017	976,8	380,41	596,39	302,56	293,83
	D	2017	1123,5	380,41	743,09	275,33	467,76
	M	2018	1035,78	489,25	546,53	240,9	305,63
	D	2018	957,09	427,53	529,56	233,02	296,54
	M	2019	877,2	337,03	540,17	348,14	192,03
	D	2019	919,05	337,03	582,02	295,88	286,14
	M	2020	1185,97	467,73	718,24	300,04	418,2
	D	2020	1223,26	467,73	755,53	259,1	496,43
	Σ M		4075,75	1674,42	2401,33	1191,64	1209,69
	Σ D		4222,9	1612,7	2610,2	1063,33	1546,87
	Differenz		147,15	61,72	208,87	128,31	337,18

Ertragsdiagramme aller Kulturen

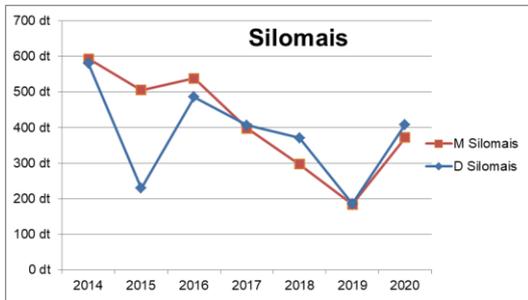
Anhang 7: Punktdiagramm Erträge Winterraps 2014/ 2020 IPZ Versuch



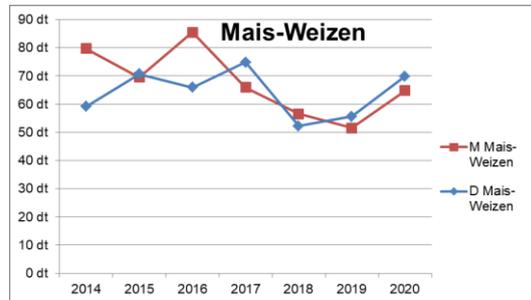
Anhang 8: Punktdiagramm Erträge Raps-Weizen 2014/2020 IPZ Versuch



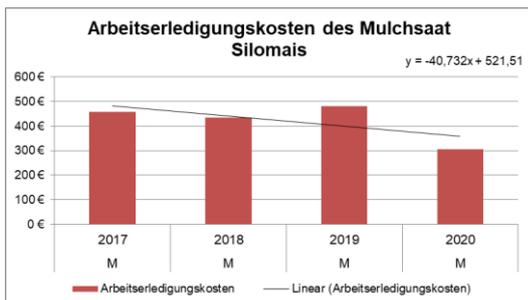
Anhang 9: Punktdiagramm Erträge Silomais 2014/2020 IPZ Versuch



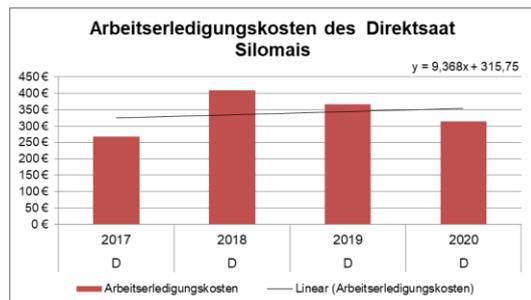
Anhang 10: Punktdiagramm Erträge Mais-Weizen 2014/2020 IPZ Versuch



Anhang 11: Lineare der Arbeitserledigungskosten Mulchsaat Silomais



Anhang 12: Lineare der Arbeitserledigungskosten Direktsaat Silomais



Anhang 13: Eigene Zusammenfassung Versuchsergebnisse Oberacker 2008 bis 2020 CHERVET, 2021

Versuches „Oberacker“ Erträge der Kulturen in dt/ha von 2008 bis 2020															
Kultur	Variante	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	Mittelwert 1 (2008 bis 2020)	Mittelwert 2 (2017 bis 2020)
Ackerbohnen/Soja	Pflug	26,1	33,1	18,8	33,16	31,18	37	23,74	14,09	20,25	36,72	22,66	16,16	26,08	23,95
	D	29,7	23,8	30,3	35,08	35	40,87	26,34	45,37	23,76	33,45	17,28	15,7	29,72	22,55
Wintergerste	Pflug	52,7	62,5	85,31	42,85	65,83	78,07	70,65	48,05	69,09	68,79	57,98	27,3	60,76	55,79
	D	63,4	63,7	84,55	40,28	69,77	76,02	80,47	49,83	61,58	62,71	52,25	28,81	61,28	51,34
Zuckerrüben	Pflug	1565,1	1239,9	1785,5	1004,4	1079,2	1529,5	1091,8	672,1	1469,4	1130,6	1316,4	1385,6	1272,5	1325,50
	D	1108,4	950,8	1713,2	617,5	1053,5	1591,1	1025,5	922,9	1177,5	648,3	789,8	1229,0	1069,0	961,14
Eiweisserbsen	Pflug	43,4	30,45	20,88	23,31	32,79	24,59	30,91	7,68	47,36	15,05	17,78	37,11	27,61	29,33
	D	53,3	34,61	26,85	27,99	32,56	39,72	42,23	14,42	49,18	29,88	23,49	36,24	34,21	34,70
Silomais	Pflug	615,3	558,3	697,8	640,5	584,1	540,9	507,54	536,7	469,5	529,86	578,1	603,15	571,81	545,15
	D	592,5	540,9	580,8	579,6	566,4	545,4	534,72	606	589,8	495,96	590,4	587,79	567,52	565,99
Winterweizen	Pflug	55,9	40,69	56,78	46,24	51,16	66,3	67,78	32,77	68,54	63,98	68,55	54,32	56,08	63,85
	D	54	48,93	53,48	47,78	62,13	68,79	72,42	40,77	61,35	67,3	56,25	56,08	57,44	60,25

Selbstständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst, in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht in einem anderen Studiengang als Prüfungsleistung vorgelegt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen (einschließlich der angegebenen oder Software) benutzt habe.

Bernburg,

den

16.05.2022

Moritz Tippelt