

**Hochschule Weihenstephan - Triesdorf**

Fakultät Landwirtschaft, Lebensmittel und Ernährung

Studiengang Landwirtschaft

## **Bachelorarbeit**

### **Konservierende Landwirtschaft (Conservation Agriculture) und konventionelle Landwirtschaft – Betriebsmittelanalyse**

eingereicht von:	Hannes Niedermüller
Betreuer:	Prof. Dr. Ulrich Groß
Zweitbetreuerin:	Dr. Jana Epperlein
Tag der Abgabe:	01.10.2024



## Zusammenfassung

Die moderne Landwirtschaft steht vor zahlreichen Herausforderungen, darunter die Umweltbelastung durch den Einsatz von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln sowie die Bedrohung der Bodenfruchtbarkeit durch Erosion. Die Arbeit befasst sich mit der Analyse des Betriebsmitteleinsatzes in der Conservation Agriculture (CA) im Vergleich zur herkömmlichen konventionellen Landwirtschaft mit Bodenbearbeitung. Ziel der Untersuchung ist es, zu evaluieren, inwieweit Conservation Agriculture die Probleme der heutigen Landwirtschaft lindern kann, indem sie den Einsatz von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln reduziert sowie den Treibstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Fußabdruck verringert.

Im Rahmen der Arbeit wurden Daten von Landwirten erhoben, die bereits seit mehreren Jahren Conservation Agriculture betreiben. Diese Daten umfassen den Pflanzenschutzmitteleinsatz, die Stickstoffdüngung sowie den Treibstoffverbrauch. Diese Ergebnisse wurden mit Vergleichsdaten aus der konventionellen Landwirtschaft abgeglichen. Die Auswertung erfolgte unter Einbezug des Pesticide Load Indicators (PLI) zur Bewertung der ökologischen Auswirkungen der Pflanzenschutzmittel.

Die Ergebnisse zeigen, dass Conservation Agriculture signifikante Reduktionen beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, insbesondere bei Herbiziden und Fungiziden, erzielt. Die Toxizität konnte in den untersuchten Betrieben um bis zu 70 % gesenkt werden. Der Grund hierfür ist der Verzicht auf Bodenbearbeitung, wodurch die Bodengesundheit verbessert wird, der Boden permanent bedeckt ist, die Biodiversität auf den Feldern gesteigert wird und Nützlinge gefördert werden. Auch der Stickstoffdüngerbedarf war in CA-Betrieben geringer, was auf die stabilere Bodenstruktur und die verbesserte Nährstoffnutzung zurückzuführen ist. Zudem zeigte sich, dass der Treibstoffverbrauch durch den geringeren Maschineneinsatz erheblich gesenkt werden konnte. Trotz des reduzierten Betriebsmitteleinsatzes fallen die Erträge in den Direktsaatbetrieben nicht schlechter aus als bei herkömmlichen konventionellen Systemen, sondern sind sogar stabiler.

Abschließend lässt sich feststellen, dass Conservation Agriculture ein vielversprechendes System darstellt, um ökologische und ökonomische Vorteile zu vereinen. Durch die Einsparung von Betriebsmitteln und die Reduktion der Umweltbelastung trägt CA zur nachhaltigen landwirtschaftlichen Produktion bei.

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	III
Tabellenverzeichnis.....	VI
Abbildungsverzeichnis.....	VII
Abkürzungsverzeichnis.....	VIII
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung .....	1
1.2 Zielsetzung.....	2
1.3 Vorgehensweise.....	2
<b>2 Literaturübersicht.....</b>	<b>3</b>
2.1 Conservation Agriculture .....	3
2.1.1 Definition und Prinzipien .....	3
2.1.2 Geschichte und Verbreitung .....	4
2.1.3 Abgrenzung zu konservierender Bodenbearbeitung und Regenerativer Landwirtschaft .....	5
2.1.4 CO <sub>2</sub> -Neutralität der Conservation Agriculture.....	8
2.2 Bodenerosion und der Einfluss von Conservation Agriculture .....	10
2.2.1 Winderosion.....	10
2.2.2 Wassererosion.....	11
2.3 Übersicht über Pflanzenschutz-, Dünger- und Treibstoffeinsatz in der konventionellen Landwirtschaft und in der Conservation Agriculture .....	14
2.3.1 Einsatz von Pflanzenschutzmitteln .....	14
2.3.2 Einsatz von Düngemitteln.....	18
2.3.3 Treibstoffverbrauch.....	22
<b>3 Material und Methodik.....</b>	<b>24</b>
3.1 Datenerhebung .....	24
3.1.1 Datenerhebung von CA-Landwirten .....	24
3.1.2 Ermittlung von Vergleichsdaten.....	26
3.2 Auswertung von Pflanzenschutz und Dünger .....	27
3.3 Berechnung von Dieselbedarf, Arbeitszeitbedarf und Feldüberfahrten mit KTBL.....	28

<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>31</b>
4.1	Pflanzenschutz.....	31
4.2	Düngung .....	38
4.3	Ertrag .....	42
4.4	Dieselbedarf, Arbeitszeitbedarf und Feldüberfahrten.....	43
<b>5</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>45</b>
<b>6</b>	<b>Fazit</b> .....	<b>51</b>
	Literaturverzeichnis .....	53
	Anhang.....	57

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Szenarien mit dazugehörigen Arbeitsverfahren.....	29
Tabelle 2: Arbeitszeitbedarf und Dieselbedarf .....	43
Tabelle 3: Summe des Arbeitszeitbedarfs und Dieselbedarfs und Reduktionen .....	44

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fünf Prinzipien der regenerativen Landwirtschaft (eigene Grafik in Anlehnung an Juckerfarm 2024) .....	8
Abbildung 2: Datentabelle der eingetragenen Düngedaten.....	25
Abbildung 3: Vergleich des PLI Winterweizen in den verschiedenen Regionen zwischen der konventionellen Variante und der CA-Variante .....	31
Abbildung 4: Vergleich des PLI Winterraps in den verschiedenen Regionen zwischen der konventionellen Variante und der CA-Variante .....	32
Abbildung 5: Vergleich des PLI Mais in den verschiedenen Regionen zwischen der konventionellen Variante und der CA-Variante .....	33
Abbildung 6: Vergleich des PLI Wintergerste in den verschiedenen Regionen zwischen der konventionellen Variante und der CA-Variante .....	34
Abbildung 7: Vergleich der Toxizität der Kulturen zwischen konventionell und Conservation Agriculture.....	35
Abbildung 8: Pflanzenschutzmittelreduktionen der Kulturen aufgeteilt in Herbizide, Fungizide, Insektizide und Wachstumsregler.....	36
Abbildung 9: Pflanzenschutzmittelreduktionen der extensiven Vergleichsvariante der Kulturen aufgeteilt in Herbizide, Fungizide, Insektizide und Wachstumsregler.....	37
Abbildung 10: Vergleich der Stickstoffmenge im Winterweizen zwischen CA-System und Beratervariante.....	38
Abbildung 11: Vergleich der Stickstoffmenge im Winterraps zwischen CA-System und Beratervariante.....	39
Abbildung 12: Vergleich der Stickstoffmenge im Mais zwischen CA-System und Beratervariante.....	39
Abbildung 13: Vergleich der Stickstoffmenge in der Wintergerste zwischen CA-System und Beratervariante.....	40
Abbildung 14: Stickstoffreduktionen der vier Kulturen und der vier Regionen .....	41
Abbildung 15: Relative Ertragsveränderung von konventionell zu Conservation Agriculture.....	42

## Abkürzungsverzeichnis

Akh	-	Arbeitskraftstunde
CA	-	Conservation Agriculture
CULTAN	-	Controlled Uptake Long-Term Ammonium Nutrition
GKB	-	Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung
ha	-	Hektar
kg	-	Kilogramm
KTBL	-	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.
l	-	Liter
m/s	-	Meter pro Sekunde
N	-	Stickstoff
PLI	-	Pesticide Load Indicator
PSM	-	Pflanzenschutzmittel
WG	-	Wintergerste
WRA	-	Winterraps
WW	-	Winterweizen

# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

Die Landwirtschaft steht heute vor einer Vielzahl von Herausforderungen, die nicht nur die Produktionseffizienz betreffen, sondern auch erhebliche ökologische und gesellschaftliche Auswirkungen haben. Eine der drängendsten Problematiken ist dabei die Verunreinigung des Grundwassers durch Nitrat, die hauptsächlich durch übermäßigen Einsatz von Düngemitteln und die Auswaschung dieser verursacht wird. Die Nitratbelastung führt zu gesundheitlichen Risiken für die Bevölkerung und stellt eine Bedrohung für die Trinkwasserqualität dar. (Umweltbundesamt, 2024)

Ein weiteres kritisches Thema ist der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und die damit verbundenen Rückstände, die nicht nur auf den Feldern verbleiben, sondern auch in benachbarte Ökosysteme und Wasserquellen gelangen können. Dies führt zur Beeinträchtigung der Umwelt und gefährdet insbesondere Bestäuber wie Bienen, die für die Landwirtschaft unerlässlich sind. (Ghosh, et al., 2019)

Auch der Verlust des fruchtbaren Oberbodens durch Erosion ist ein zunehmendes Problem. Mit Erosionsverlusten von jährlich einer bis zehn Tonnen je Hektar ist der Bodenverlust in Deutschland deutlich höher als die Bodenneubildung, welche nur wenige Kilogramm bis maximal eine Tonne je Hektar und Jahr beträgt. (Freitag, et al., 2024)

Die wachsende Weltbevölkerung stellt zudem erhöhte Anforderungen an die landwirtschaftliche Produktion. Bis 2050 wird erwartet, dass die globale Nahrungsmittelnachfrage um 50 % steigen wird, was zusätzlichen Druck auf die landwirtschaftlichen Systeme ausübt (FAO, 2022). Gleichzeitig erfordert der Klimawandel Anpassungen in der Bewirtschaftungspraxis, um die Treibhausgasemissionen zu reduzieren und die Resilienz der Landwirtschaft gegenüber Extremwetterereignissen zu erhöhen. Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft wird somit zu einem entscheidenden Faktor, um langfristig die Lebensmittelproduktion sicherzustellen und gleichzeitig die natürlichen Ressourcen zu schonen. (FAO, 2022)

## 1.2 Zielsetzung

Um die genannten Probleme, aber auch weitere Probleme, die es aktuell in der Landwirtschaft gibt, anzugehen und zu lösen, bedarf es einem Umdenken in der Landwirtschaft, Systemänderungen und Lösungsansätzen. Das Ziel dieser Arbeit ist es, das System der Conservation Agriculture vorzustellen und darzulegen, wie die aufgezeigten Probleme mit diesem System gelöst, beziehungsweise gemildert werden. Außerdem wird der Betriebsmitteleinsatz zwischen dem System der Conservation Agriculture und der herkömmlichen konventionellen Landwirtschaft verglichen. Es soll analysiert werden, inwiefern durch dieses System Dünge- und Pflanzenschutzmittel eingespart werden, aber auch welchen Effekt dieses System auf den Treibstoffverbrauch hat.

## 1.3 Vorgehensweise

Um die genannten Ziele zu erreichen, wird ein methodischer Ansatz verfolgt, der sowohl theoretische als auch empirische Elemente umfasst. Zunächst erfolgt eine umfassende Literaturrecherche, um den aktuellen Wissensstand zu Conservation Agriculture und konventionellen Anbausystemen darzustellen. Diese Literaturübersicht bildet die Basis für die weiteren Analysen und liefert wichtige Hintergrundinformationen zu den Prinzipien, Vorteilen und Herausforderungen der Conservation Agriculture.

Im empirischen Teil der Arbeit wird der Dünge- und Pflanzenschutzmitteleinsatz, sowie der Treibstoffeinsatz umfassend untersucht. Hierfür werden Daten von Betrieben, die Conservation Agriculture praktizieren, gesammelt und analysiert. Es werden deutsche Landwirte befragt, die bereits seit mehreren Jahren auf dieses Anbausystem umgestellt haben. Zur Einordnung der Daten werden diese mit den entsprechenden Daten von Betrieben verglichen, die konventionellen Anbau betreiben. Durch diesen empirischen Teil, den diese Studie beinhaltet, können Thesen aus dem Literaturteil belegt, beziehungsweise widerlegt werden.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Conservation Agriculture

#### 2.1.1 Definition und Prinzipien

Conservation Agriculture ist ein landwirtschaftliches System, das auf den Prinzipien des minimalen Bodeneingriffs, einer permanenten Bodenbedeckung und einer vielfältigen Fruchtfolge basiert. Das System zielt darauf ab, die Bodenfruchtbarkeit zu verbessern, die Bodendegradation zu reduzieren und insgesamt nachhaltige und gesunde Lebensmittel zu produzieren. (FAO, 2022)

Das erste Prinzip, der minimale mechanische Bodeneingriff, auch bekannt als No-Till oder Direktsaat, zielt darauf ab, die Bodenstörung so gering wie möglich zu halten. Der Boden wird also nicht bearbeitet und die Aussaat erfolgt meist mit einer speziellen Sätechnik, welche das Saatgut, ohne eine Bodenbearbeitung durchzuführen, platzieren kann. Durch den Verzicht auf Bodenbearbeitung bleibt die natürliche Struktur des Bodens erhalten, was mehrere Vorteile mit sich bringt. Es wird nicht nur die Erosion reduziert, da die Bodenkrümelstruktur intakt bleibt und nicht durch mechanische Einwirkung zerkleinert wird, sondern es wird auch die Wasseraufnahme gefördert, da die Bodenporen, die für die Infiltration von Wasser wichtig sind, nicht zerstört werden. Ein ungestörter Boden unterstützt zudem die Biodiversität im Boden einschließlich der Mikroorganismen und Regenwürmer, die für die Bodenfruchtbarkeit essenziell sind. Ein weiterer positiver Nebeneffekt ist die bessere Befahrbarkeit der Böden, auch unter feuchten Bedingungen. (FAO, 2022) (Kassam, et al., 2015)

Das zweite Prinzip von CA ist die permanente organische Bodenbedeckung. Das bedeutet, dass der Boden zu jeder Zeit entweder durch lebende Pflanzen oder durch Ernterückstände bedeckt ist. Diese kontinuierliche Bedeckung schützt den Boden vor Erosion durch Wind und Wasser. Pflanzenreste und lebende Deckfrüchte wirken wie eine Schutzschicht, die den Aufprall von Regentropfen abmildert und das Abfließen von Wasser reduziert. Dadurch wird die Infiltration verbessert. Zudem trägt die Bodenbedeckung zur Erhaltung der Bodenfeuchtigkeit bei, indem sie die Verdunstung verringert.

Die organische Substanz, die durch Bodenlebewesen in den Boden eingebracht wird, verbessert die Bodenstruktur und fördert die Aktivität von Bodenorganismen, die wiederum zur Nährstoffverfügbarkeit beitragen. (Ghosh, et al., 2019) (Kassam, et al., 2015)

Das dritte Prinzip, die vielfältige Fruchtfolge beziehungsweise die Artenvielfalt, beinhaltet zum einen den systematischen Wechsel verschiedener Pflanzenarten auf demselben Feld in aufeinanderfolgenden Anbauperioden. Zum anderen kann dieses Prinzip aber auch durch einen Zwischenfruchtanbau mit vielfältigen Mischungen und einen Gemengeanbau mit verschiedenen Pflanzenarten auf einem Feld, die getrennt oder miteinander geerntet werden, umgesetzt werden. Diese Praktiken tragen dazu bei, dass die Biodiversität in landwirtschaftlichen Systemen erhöht und das Risiko von Schädlings- und Krankheitsbefall reduziert wird. Verschiedene Pflanzenarten nutzen und ergänzen die Nährstoffe im Boden auf unterschiedliche Weise, was zu einer ausgewogenen Bodengesundheit führt. Zum Beispiel können Leguminosen, die in Fruchtfolgen integriert werden, den Boden mit Stickstoff anreichern, der für nachfolgende Pflanzen verfügbar ist. Darüber hinaus tragen vielfältige Fruchtfolgen dazu bei, die Bodenstruktur zu verbessern, da die Wurzelsysteme der verschiedenen Pflanzenarten unterschiedliche Tiefen und Strukturen haben, was die Stabilität des Bodens erhöht. (Ghosh, et al., 2019)

### 2.1.2 Geschichte und Verbreitung

Conservation Agriculture hat seine Wurzeln in frühen landwirtschaftlichen Praktiken zur Verhinderung von Bodenerosion und -degradation. Die moderne Form von CA entstand Mitte des 20. Jahrhunderts, insbesondere als Reaktion auf die Sandstürme und Dürren in den 1930er Jahren in den USA in den sogenannten Dust Bowls, welche die schweren Folgen intensiver Bodenbearbeitung verdeutlichten. Diese Katastrophe führte zu einem Umdenken und zur Einführung konservierender Bodenbearbeitungstechniken wie No-Till und Mulchsaat, um die Bodenstruktur zu erhalten und die Erosion zu minimieren (Kassam et al., 2018).

Ein entscheidender Fortschritt war die Einführung von Herbiziden wie Glyphosat in den 1970er Jahren. Diese ermöglichten es den Landwirten, Unkräuter effektiv zu kontrollieren, ohne den Boden mechanisch bearbeiten zu müssen, was die Verbreitung von CA-Techniken erheblich beschleunigte. (Neve, et al., 2024)

Durch Landwirte und Wissenschaftler wurde dieses System stetig weiterentwickelt, bis es in den 1990er Jahren weltweit an Aufmerksamkeit gewann. Im Laufe der Jahre stieg die Anbaufläche weltweit auf ungefähr 157 Millionen Hektar an. Der größte Teil der Anbaufläche entfällt dabei auf Südamerika, USA und Kanada. (Kassam, et al., 2015)

Heute wird CA auf über 200 Millionen Hektar weltweit angewendet, was etwa 15 % der globalen Ackerfläche entspricht. (FAO, 2021)

In Deutschland dagegen wird Conservation Agriculture nur von wenigen Landwirten angewendet und auch von politischer Seite erhält sie kaum Anerkennung. Das liegt vor allem daran, „dass die zerstörende Wirkung der Bodenbearbeitung klimaabhängig ist“ (Friedrich, 2024). Während die Erosion und die Bodenzerstörung in den tropischen Ländern (Brasilien, Argentinien, etc.) große Ausmaße einnimmt, „dauern die Prozesse der Bodenzerstörung in gemäßigten Klimaten wie in Mitteleuropa deutlich länger“ (Friedrich, 2024).

## 2.1.3 Abgrenzung zu konservierender Bodenbearbeitung und Regenerativer Landwirtschaft

### 2.1.3.1 Konservierende Bodenbearbeitung

Konservierende Bodenbearbeitung ist eine landwirtschaftliche Praxis, bei der der Boden minimal gestört wird, um seine Struktur und Fruchtbarkeit weitestgehend zu erhalten. Anstelle des Pfluges, mit dem der Boden gewendet wird, werden nicht-wendende Geräte wie Grubber oder Scheibeneggen eingesetzt. Bei einer Bearbeitung wird darauf geachtet, dass möglichst flach gearbeitet wird. Mit dem Verzicht auf den Pflug wird die Bodenstruktur weitestgehend intakt gelassen. Durch die geringere Störung des Bodens bleibt ein höherer Anteil der natürlichen Bodenporenstruktur erhalten, was die Wasserinfiltration verbessert und somit das Risiko von Oberflächenverschlammung und Erosion verringert.

Durch das Belassen von Ernterückständen wie Stroh auf, beziehungsweise wenige Zentimeter unter der Bodenoberfläche wird die Bodenbedeckung verbessert, was wiederum die Feuchtigkeit im Boden bewahrt und die Lebensbedingungen für Bodenorganismen optimiert. (Uri, et al., 1998)

Gleichzeitig kann der Energieaufwand durch den Verzicht auf intensives Pflügen reduziert werden, was die Betriebskosten senkt und umweltschonender ist (Sommer, et al., 1986).

Aber auch bei der konservierenden Bodenbearbeitung gibt es Systeme, bei denen eine Lockerung auf Krumentiefe (bis zu 25 cm) durchgeführt wird. Diese Lockerung findet mit einem Tiefgrubber oder einem Tiefenlockerer statt. (KTBL, 2014)

Allerdings birgt die konservierende Bodenbearbeitung auch Herausforderungen, wie etwa die erhöhte Notwendigkeit für den Einsatz von Herbiziden zur Unkrautkontrolle, da das nicht-wendende Verfahren das Wachstum verschiedener Unkrautarten begünstigen kann (Seitz, et al., 2003).

Des Weiteren wird bei jeder Bodenbearbeitung Stickstoff in mineralische Formen überführt, wodurch vor allem Nitrat entsteht. Da Nitrat sehr mobil ist, kann es leicht durch Niederschläge ausgewaschen werden. Da nach einer Bodenbearbeitung meist keine lebenden Pflanzen auf dem Acker stehen, die den mineralisierten Stickstoff aufnehmen können führt dies dazu, dass der Stickstoff in tiefere Bodenschichten oder sogar ins Grundwasser gelangt, wo er verloren geht und Umweltprobleme verursachen kann. (Salomon & Kuhn, 2022)

### 2.1.3.2 Regenerative Landwirtschaft

Im Gegensatz zum Begriff der Conservation Agriculture ist der Begriff der regenerativen Landwirtschaft, beziehungsweise Regenerative Agriculture nicht eindeutig definiert. Eine Definition von Robert Rodale definiert den regenerativen Bioanbau als einen ganzheitlichen Ansatz, der kontinuierliche Innovationen und Verbesserungen ökologischer, sozialer und wirtschaftlicher Maßnahmen fördert. Die Bodengesundheit steht hier im Mittelpunkt. Aber auch auf hohe Standards für Tierschutz und Arbeiterschutz wird Wert gelegt. Somit soll ein System, das im Einklang mit der Natur arbeitet, geschaffen werden. (Rodale, 2024)

Vor allem in Deutschland gibt es viele verschiedene Ansätze und Herangehensweisen an das System der regenerativen Landwirtschaft. Insgesamt verfolgen aber alle Ansätze ein ähnliches Ziel, welches darauf abzielt die Gesundheit und Fruchtbarkeit des Bodens zu verbessern, die Biodiversität zu fördern, das Wasser zu speichern und die Kohlenstoffbindung zu erhöhen. (Moyer, et al., 2020)

Ein Ansatz der Regenerativen Landwirtschaft, wie er vor allem bei ökologisch wirtschaftenden Betrieben umgesetzt wird, umfasst folgende Prinzipien: Die Felder sollen dauerhaft begrünt werden und der Unterboden soll mechanisch gelockert werden. Eine Gründüngung soll vor der Saat durch Bearbeitung umgebrochen werden und in Rotte gebracht werden. Wirtschaftsdünger, sowie die angebauten Kulturen sollen mit verschiedenen Produkten belebt werden. (Näser, 2024)

Dieser Ansatz erweist sich jedoch als fragwürdig, da auf der einen Seite Boden aufgebaut und die Fruchtbarkeit verbessert werden soll, aber auf der anderen Seite Jahr für Jahr der Oberboden bearbeitet wird und der Unterboden immer wieder mechanisch gestört wird, was zu Bodenabtrag und einer Reduktion der Bodenqualität führt.

Ein weiterer Ansatz der regenerativen Landwirtschaft, der vor allem weltweit verbreitet ist, ergänzt die drei Prinzipien der Conservation Agriculture. Es findet keine Bodenbearbeitung statt, der Boden ist immer bedeckt und die Biodiversität wird gefördert. Als viertes Prinzip werden bei der regenerativen Landwirtschaft ganzjährig lebende Wurzeln im Boden erhalten. Wurzeln stabilisieren den Boden und sorgen kontinuierlich für den Kreislauf von Wasser und Nährstoffen, sodass diese wertvollen Ressourcen nicht ausgewaschen werden. Außerdem fördern lebende Wurzeln durch die Ausscheidung von Exsudaten die Humusbildung im Boden. Ein Beispiel für die Umsetzung dieses Prinzips ist die Aussaat von Untersaaten in den Hauptkulturen vor der Ernte. Somit sind die Felder nach der Ernte sofort wieder mit lebenden Pflanzen bewachsen. Aber auch das Planting-Green Verfahren zielt darauf ab, dass der Boden immer bewachsen ist, indem die Hauptkultur in eine grüne Zwischenfrucht direkt eingesät wird. (Chesapeake Bay Foundation, 2024)

Das fünfte Prinzip ist die Integration von Tieren, welches zahlreiche Vorteile für den Boden mit sich bringt und Nährstoffkreisläufe schließt. Im Idealfall werden die Tiere auf Weideflächen und Ackerflächen gehalten, wodurch die Pflanzen durch die Förderung der Photosynthese dazu anregt werden, mehr Kohlenstoff in den Boden zu pumpen. Aber auch bei der Stallhaltung fallen wertvolle organische Dünger an, welche den Boden mit Nährstoffen versorgen und zu einem aktiven Bodenleben beitragen. Diese positiven Wirkungen zeigen sich in der Funktionalität des Wasserzyklus, des Mineralstoffkreislaufs, des Energiestoffwechsels und der Vielfalt der Pflanzen und Bodenlebewesen. (Schlichenmaier, 2022)

Diese fünf Prinzipien werden in Abbildung 1 zusammengefasst.



Abbildung 1: Fünf Prinzipien der regenerativen Landwirtschaft (eigene Grafik in Anlehnung an Juckerfarm 2024)

#### 2.1.4 CO<sub>2</sub>-Neutralität der Conservation Agriculture

Die Praktiken der Conservation Agriculture tragen nicht nur zur Verbesserung der Bodenstruktur und Bodenfruchtbarkeit bei, sondern fördern auch die Kohlenstoffspeicherung im Boden und reduzieren die CO<sub>2</sub>-Emissionen, was zur CO<sub>2</sub>-Neutralität beiträgt.

Ein Prinzip der Conservation Agriculture ist die minimale, beziehungsweise fehlende Bodenbearbeitung (No-Till), die zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen beiträgt. Bei herkömmlicher Bodenbearbeitung wird der Boden aufgebrochen, was zur Freisetzung von im Boden gebundenem Kohlenstoff als CO<sub>2</sub> führt. Durch Bodenbearbeitung wird organischer Kohlenstoff oxidiert und in die Atmosphäre freigesetzt, was zur Erhöhung der Treibhausgasemissionen beiträgt. Studien zeigen, dass jede Bodenbearbeitung bis zu 300 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Hektar freisetzen kann.

In CA-Systemen wird die Bodenbearbeitung minimiert, wodurch die organischen Stoffe im Boden geschützt bleiben und die Oxidation von organischem Kohlenstoff vermindert wird. (Freitag, et al., 2024)

Ein weiteres zentrales Prinzip der CA ist die permanente Bodenbedeckung mit Pflanzenresten oder Zwischenfrüchten. Diese Bedeckung schützt den Boden vor Erosion und trägt zur Anreicherung von organischer Substanz bei. Pflanzenreste und Zwischenfrüchte werden allmählich zersetzt und erhöhen den Gehalt an organischem Kohlenstoff im Boden. Untersuchungen zeigen, dass durch CA-Systeme jährliche Kohlenstoffspeicherungen von bis zu einer Tonne pro Hektar möglich sind. (Freitag, et al., 2024)

Fruchtfolgepraktiken, die eine Vielfalt an Pflanzenarten umfassen, tragen ebenfalls zur Kohlenstoffspeicherung bei. Verschiedene Pflanzenarten haben unterschiedliche Wurzelstrukturen und Biomasseproduktionen, was die Bodenstruktur verbessert und die Speicherung von Kohlenstoff in den tieferen Bodenschichten fördert. Diese Vielfalt hilft das mikrobielle Leben im Boden zu unterstützen, welches eine wichtige Rolle im Kohlenstoffkreislauf spielt. (Ghosh, et al., 2019)

Während die kurzfristigen Vorteile von CA bezüglich der Speicherung von Kohlenstoff und der Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen gut dokumentiert sind, gibt es auch Herausforderungen. Einige Studien zeigen, dass die volle Wirkung der CA-Prinzipien erst nach mehreren Jahren sichtbar werden, da der Übergang von traditionellen konventionellen Anbausystemen zu CA-Systemen eine Zeit der ökologischen Anpassung erfordert. Dies kann in den ersten Jahren zu einer geringeren Produktivität führen, bis das System vollständig etabliert ist. (Freitag, et al., 2024)

## 2.2 Bodenerosion und der Einfluss von Conservation Agriculture

Erosion bezeichnet den Prozess, bei dem Bodenpartikel durch Wind oder Wasser von ihrem ursprünglichen Standort entfernt und an einem anderen Ort abgelagert werden. Dieser natürliche Prozess wird durch menschliche Eingriffe, wie der Landwirtschaft, stark beschleunigt, was zu erheblichen Umweltschäden führen kann. Bodenerosion kann in zwei Hauptkategorien unterteilt werden: Winderosion und Wassererosion. Beide Prozesse werden durch verschiedene Faktoren beeinflusst, darunter Bodenstruktur, Bodenbedeckung und Landnutzung. (Lal, 2001)

### 2.2.1 Winderosion

Winderosion tritt auf, wenn Winde stark genug sind, um Bodenpartikel von der Bodenoberfläche zu lösen und zu transportieren. Der Prozess der Winderosion lässt sich in drei Hauptphasen unterteilen: Ablösung, Transport und Ablagerung. Die Ursachen und Faktoren einer Winderosion lassen sich auf die klimatische Erosivität und den bodenbürtigen Erosionswiderstand zurückführen. Die klimatische Erosivität umfasst das Wetter und auch die Topografie mit der übergeordneten Landnutzung. Bei Windgeschwindigkeiten zwischen sechs m/s und acht m/s und anhaltender Trockenheit beginnt die Verlagerung beziehungsweise der Transport von Bodenmaterial. Aber auch die Lage der Flächen in der Landschaft hat einen Einfluss auf das Auftreten einer Winderosion. Ganzjährig genutztes Dauergrünland, aber auch Wälder sind durch ihren dauerhaften Bewuchs nicht der Gefahr einer Erosion ausgesetzt. Aus diesem Grund können auch Landschaftselemente wie Windschutzhecken sehr gut mit eingegliedert werden, um Strömungsgeschwindigkeiten zu verringern und somit auch vor dem Abtrag des Bodens zu schützen. (Busch, 2023)

Auf den bodenbürtigen Erosionswiderstand hat der Boden mit seiner Bodenart, seinem Humusgehalt und der Aggregatstabilität einen großen Einfluss. Böden mit erhöhtem Sandanteil, die überwiegend aus Mittel- und Feinsanden bestehen, haben eine größere Erosionsgefährdung. Da Humus durch seine Huminstoffe in mineralischen Böden eine stabilisierende Wirkung hat, wirkt eine Erhöhung des Humusgehaltes einer Gefährdung durch Wind entgegen. (Busch, 2023)

Jedoch spielt hier auch die Bodenbewirtschaftung mit ihrer Nutzung, sowie dem Flächenmanagement eine wichtige Rolle. Bei erhöhter Intensität steigt folglich auch die Gefahr einer Erosion. (Busch, 2023)

Somit ist die Erosionsgefährdung bei einem feinen Saatbeet, welches durch mechanische Bodenbearbeitung hergestellt wird, hoch. Bei dem System der Conservation Agriculture kann die Erosion durch Wind somit stark reduziert werden. (Kassam, et al., 2023)

Die kontinuierliche Bodenbedeckung und die minimale Störung der Bodenstruktur führt zu einer verbesserten Bodenaggregation und Stabilität, wodurch der Sedimentverlust erheblich verringert wird. Aber auch der Verzicht auf Bodenbearbeitung trägt dazu bei, dass keine Bodenbestandteile aufgewirbelt werden und vom Wind davongetragen werden können. (Kassam, et al., 2015)

### 2.2.2 Wassererosion

Wassererosion entsteht durch den Abtrag von Bodenpartikeln durch nicht infiltriertes Wasser. Ist das Wasserangebot durch den Regen größer als die Wasseraufnahmekapazität des Bodens, kommt es zur Erosion. Ein bereits verschlammter Boden kann ebenfalls, wie ein schon gesättigter Boden, weniger Wasser aufnehmen und besitzt somit eine erhöhte Erosionsgefahr. Wassererosion beginnt oftmals mit dem sogenannten „Splash-Effekt“. Die Regentropfen prallen bei starken Niederschlägen und einem Durchmesser von bis zu 6 mm mit einer Geschwindigkeit von 32 km/h auf den Boden. Bodenaggregate werden durch die vorhandene Energie in kleine Teile zerteilt und verstopfen schon nach kurzer Regendauer die dränenden Grobporen. Somit wird eine dünne Oberflächenverschlammung verursacht, die die Infiltrationsfähigkeit des Bodens herabsetzt und dadurch die Erosionsgefährdung erhöht. Das Wasser fließt nun oberflächlich hangabwärts und transportiert Bodenmaterial mit sich. (Busch, 2023) (Derpsch, 2022)

Bei gleichmäßigem, hangabwärts gerichtetem Abfluss entstehen flächengebundene Erosionsformen. Hier können unterschiedliche Erosionsrillen mit unterschiedlichen Tiefen entstehen, aber auch Gräben sind möglich.

Bei wieder auftretendem Niederschlag kann die Erosion durch diese bereits bestehenden Rinnen nochmals beschleunigt werden. (Busch, 2023)

Die Ursachen für eine Erosion gehen entweder auf die menschliche Bewirtschaftung zurück oder sind natürlich bedingte Faktoren. Neben dem Niederschlag, welcher für eine Wassererosion ausschlaggebend ist, ist die Topografie ein weiterer wichtiger natürlicher Faktor. Hangneigung und Hanglänge haben einen großen Einfluss auf den durch Regen hervorgerufenen Bodenabtrag. (Busch, 2023)

Jedoch gilt es auch die Bodenzusammensetzung bei den natürlichen Faktoren nicht zu vernachlässigen. Die Korngrößenzusammensetzung beziehungsweise die Bodenart ist ausschlaggebend für die Infiltrationsfähigkeit des Bodens, die auch durch den Humusgehalt entscheidend beeinflusst wird. Böden mit einem geringen Humusanteil und größeren Anteilen an Schluff und Feinsandfraktionen, neigen eher dazu erosionsgefährdend zu sein als humose Böden mit einem Tonanteil von über 20 Prozent. (Busch, 2023)

Während dichte Wälder und Grünland, beziehungsweise bewachsenes Ackerland verhindern, dass die Regentropfen mit voller Geschwindigkeit auf die Bodenoberfläche auftreffen, ist ein unbewachsener, offener Boden stets der Kraft der Regentropfen ausgesetzt. Bei der als Ackerland genutzten Fläche muss man jedoch zusätzlich die Bewirtschaftung in Betracht ziehen. Bei einer konventionellen Bearbeitung ist der Boden oftmals längere Zeit komplett unbedeckt und ist daher einer großen Erosionsgefahr ausgesetzt. Steigt die Bodenbedeckung so sinkt gleichzeitig das Risiko einer Erosion. (Busch, 2023)

Durch die ganzjährige Bodenbedeckung bei CA wird die Aufprallenergie der Regentropfen stark reduziert, wodurch die Bodenteilchen nicht zerschlagen werden und die Bodenstruktur erhalten bleibt. Somit wird die Wasserinfiltration durch die intakte Bodenstruktur, aber auch durch die Vermeidung von Bodenverdichtung durch minimalen Maschineneinsatz verbessert und die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens wird erhöht. (Ghosh, et al., 2019) (Kassam, et al., 2023)

Untersuchungen haben gezeigt, dass die Wasserinfiltration in CA-Systemen im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung um das Dreifache verbessert wird (Kassam, et al., 2023).

Ein anderer wichtiger Faktor ist die Wasseraufnahmekapazität des Bodens. Je rauer die Oberfläche des Ackers, desto mehr Wasser kann in den kleinen Vertiefungen gespeichert werden und somit vor einem direkten Abfluss ohne Infiltration geschützt werden. Für eine gute Infiltration sind die schnell dränenden Poren mit ihren ehemaligen Wurzelgängen und vertikalen Regenwurmgingen zuständig. Dadurch, dass der Boden bei CA nicht mehr bearbeitet wird, werden die Regenwurmginge nicht mehr zerstört und können somit bei Niederschlag der Wasserableitung dienen, wodurch die Erosionsgefahr vermindert wird. Böden mit höheren Humus-, Ton- und Kalkgehalten und einer guten mikrobiellen Aktivität sind stabiler und daher auch nicht so anfällig für eine Erosion. (Busch, 2023)

Die am einfachsten zu erkennenden Schäden einer Wassererosion sind durch starke Niederschläge entstandene Rinnen, Rillen und Gräben. Generell alle Schäden, die auf der Ackerfläche entstehen, werden als sogenannte On-Site-Schäden bezeichnet. Hierzu zählen die Verletzung, Entwurzelung, Überdeckung und Vernichtung von Kulturpflanzen. Aber auch das Wegspülen von Düngemitteln, Saatgut und Pflanzenschutzmitteln verbunden mit einer Anlagerung an nicht gewünschten Orten zählt hierzu. Schäden, die nicht direkt visuell feststellbar sind, wie etwa der Verlust an wertvoller Bodensubstanz, sind mit einem sinkenden Wasserspeicher-, Filter- und Puffervermögen verbunden. Zudem lässt sich nicht direkt die Verarmung des Bodens an Humus und Nährstoffen, die im Boden gebunden sind, feststellen. Auf längere Zeit betrachtet wirkt sich das oben genannte ertragsmindernd aus. (Busch, 2023)

Ein Schutz vor Erosion ist gleichzeitig auch ein Schutz der umliegenden Gewässer, da ein nicht zu vernachlässigbarer Anteil an Boden von Ackerflächen in Oberflächengewässer hineingespült wird. Da oftmals nicht nur Bodenpartikel mit hineinfließen, sondern auch Schadstoffe, ist dies ein großes Problem. In Deutschland fließen insgesamt sechs Prozent des durch Erosion abgetragenen Bodens in Gewässer. Das sind 1,6 Millionen Tonnen an Boden die jährlich in die umliegenden Gewässer gelangen. (Umweltbundesamt, 2022)

## 2.3 Übersicht über Pflanzenschutz-, Dünger- und Treibstoffeinsatz in der konventionellen Landwirtschaft und in der Conservation Agriculture

### 2.3.1 Einsatz von Pflanzenschutzmitteln

#### 2.3.1.1 Pflanzenschutz in der konventionellen Landwirtschaft

In der konventionellen Landwirtschaft werden Pflanzenschutzmittel häufig in großen Mengen verwendet, um Unkräuter, Schädlinge und Krankheiten zu bekämpfen. Diese Substanzen sind in der Regel in vier Hauptkategorien unterteilt: Herbizide, Insektizide, Fungizide und Wachstumsregler.

Herbizide sind chemische Mittel, die Unkräuter abtöten oder deren Wachstum hemmen. Sie werden häufig vor oder nach der Saat ausgebracht, um den Wettbewerb um Nährstoffe, Wasser und Licht zwischen den Unkräutern und den Kulturpflanzen zu reduzieren. Glyphosat, ein nicht-selektives Herbizid, ist eines der am häufigsten verwendeten Herbizide weltweit und wird besonders in der konventionellen Landwirtschaft intensiv eingesetzt. (Neve, et al., 2024)

Insektizide werden eingesetzt, um Insekten zu töten oder deren Fortpflanzung zu verhindern. Diese Mittel sind entscheidend für den Schutz der Pflanzen vor Schadinsekten, die erheblichen Schaden anrichten können. Insektizide wie Neonicotinoide sind aufgrund ihrer Wirksamkeit weit verbreitet, stehen jedoch auch wegen ihrer negativen Auswirkungen auf Nichtzielorganismen, insbesondere Bestäuber wie Bienen, in der Kritik. (Ghosh, et al., 2019)

Fungizide werden zur Bekämpfung von Pilzkrankheiten, die Pflanzen infizieren und Erträge mindern können, eingesetzt. Diese Mittel werden oft prophylaktisch angewendet, um den Ausbruch von Krankheiten zu verhindern. Häufig verwendete Fungizide umfassen Substanzen wie Azole und Strobilurine, die in vielen landwirtschaftlichen Systemen eine wesentliche Rolle spielen. (Lezovic & Kleffmann Group, 2011)

Wachstumsregler werden zur Stabilisierung der Kulturpflanzen eingesetzt. Sie verkürzen die Halmlänge und senken somit die Lageranfälligkeit der Pflanzen. (Laermann, 1987)

Der breite Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in der konventionellen Landwirtschaft hat jedoch mehrere ökologische und gesundheitliche Nachteile. Dazu gehören die Kontamination von Boden und Wasser, die Entwicklung von Resistenzen bei Schadorganismen und potenzielle Gesundheitsrisiken für Landwirte und Verbraucher. Diese negativen Auswirkungen haben zu einer verstärkten Diskussion über die Notwendigkeit nachhaltigerer Pflanzenschutzstrategien geführt. (Kassam, et al., 2023)

### 2.3.1.2 Pflanzenschutz in der Conservation Agriculture

Conservation Agriculture verfolgt einen ganzheitlichen Ansatz im Pflanzenschutz, der darauf abzielt, die negativen Auswirkungen des intensiven chemischen Einsatzes zu minimieren. Durch das Zusammenwirken von minimaler Bodenbearbeitung, permanenter Bodenbedeckung und vielfältigen Fruchtfolgen wird die Bodenfruchtbarkeit verbessert, wodurch die Notwendigkeit für chemische Pflanzenschutzmittel reduziert werden kann. (Kassam, et al., 2015)

In CA-Systemen wird der Einsatz von Herbiziden häufig auf das notwendige Minimum beschränkt. Durch die Praxis der Direktsaat bleibt der Boden ungestört, was das Wachstum von Unkräutern hemmt. Zusätzlich wird die Bodenbedeckung durch Pflanzenreste und Zwischenfrüchte aufrechterhalten, wodurch Unkräuter unterdrückt und reduziert werden. Glyphosat wird in CA oftmals vor der Aussaat der Hauptkultur eingesetzt, um Zwischenfrüchte und Unkräuter chemisch abzutöten. Das ist meist notwendig, um der Kulturpflanze einen Start ohne Konkurrenz anderer Pflanzen zu ermöglichen. In CA werden jedoch durch verschiedene Maßnahmen, wie zum Beispiel die Aufbereitung des Spritzwassers, geringere Aufwandmengen je Hektar als in der konventionellen Landwirtschaft eingesetzt. (Neve, et al., 2024)

Ein Bericht von Kassam (2023) zeigt, dass in CA-Systemen der Herbizideinsatz um etwa 20 – 30 % reduziert werden kann, ohne die Erträge zu beeinträchtigen. Durch integrierte Unkrautmanagementstrategien, die biologische und chemische Methoden kombinieren, kann durch CA die Abhängigkeit von Herbiziden weiter verringert werden (Kassam, et al., 2023).

Der Einsatz von Insektiziden in CA-Systemen wird ebenfalls durch die Förderung natürlicher Schädlingskontrollmechanismen reduziert. Die Diversifizierung der Fruchtfolgen und der Anbau von Zwischenfrüchten, Untersaaten und Begleitpflanzen schaffen Lebensräume für nützliche Insekten, die als natürliche Feinde von Schädlingen fungieren. Dies reduziert den Bedarf an chemischen Insektiziden und fördert ein ökologisches Gleichgewicht. (Ghosh, et al., 2019)

Die vielfältigere Fruchtfolge und die Diversifizierung der Pflanzenarten in CA tragen dazu bei, das Auftreten von Pflanzenkrankheiten zu reduzieren. Durch den Wechsel der Kulturpflanzen werden die spezifischen Krankheitszyklen unterbrochen, was den Einsatz von Fungiziden verringert. Zudem fördern die verbesserte Bodenstruktur und Bodengesundheit durch CA eine stärkere Widerstandsfähigkeit der Pflanzen gegenüber Krankheiten. (Kassam, et al., 2015)

Oftmals werden biologisch basierte Fungizide und Spurenelemente in geringen Mengen eingesetzt, die weniger umweltschädlich sind als synthetische Alternativen. Diese Methoden dienen der Pflanzenernährung und verbessern die Pflanzengesundheit, wodurch die Pflanzen widerstandsfähiger gegenüber Krankheiten werden und die natürlichen Abwehrmechanismen der Pflanzen gestärkt werden. (Ghosh, et al., 2019)

Die Reduzierung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln in CA-Systemen bietet sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile. Ökologisch gesehen führt der geringere Einsatz von chemischen Mitteln zu geringerer Kontamination von Boden und Wasser, fördert die Biodiversität und reduziert die Entwicklung von Resistenzen bei Schädlingen und Unkräutern. Dies trägt zu einem nachhaltigeren und widerstandsfähigeren Agrarökosystem bei. (Neve, et al., 2024)

Ökonomisch gesehen können Landwirte durch den reduzierten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zusätzlich Kosten sparen. Der geringere Bedarf an teuren chemischen Mitteln und die langfristigen Vorteile einer verbesserten Bodenfruchtbarkeit und Pflanzengesundheit führen zu stabileren und oft höheren Erträgen. (Ghosh, et al., 2019)

### 2.3.1.3 Einstufung von Pflanzenschutzmitteln nach ihrer Toxizität

Der Pesticide Load Indicator ist ein umfassender Indikator zur Bewertung der Risiken, die durch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln entstehen. Der PLI setzt sich aus drei gleich gewichteten Hauptkomponenten zusammen: dem Human Health Load, dem Ecotoxicity Load und dem Fate Load. Diese drei Subindikatoren bewerten verschiedene Risikobereiche. Der Human Health Load analysiert potenzielle Gesundheitsrisiken, die auf Basis von Gefahrenhinweisen (H-Sätzen) und Risikobewertungen (R-Sätzen) festgelegt werden. Der Ecotoxicity Load bezieht sich auf die Auswirkungen der PSM auf die Ökosysteme, indem er akute und chronische Wirkungen auf elf verschiedene Indikatororganismen untersucht. Schließlich bewertet der Fate Load das Umweltverhalten der PSM, insbesondere deren Halbwertszeit im Boden, das Potenzial zur Bioakkumulation und das Risiko der Auswaschung in Gewässer. (Dehler, 2022)

Die Berechnung des PLI basiert auf umfangreichen Daten zu den eingesetzten Wirkstoffen und deren Eigenschaften, einschließlich der chemischen Zusammensetzung, der Konzentrationen und der Persistenz in der Umwelt. Die Werte des Pesticide Load Indicators (PLI) werden in numerischen Größen angegeben, wobei der Wert eines bestimmten Pflanzenschutzmittels höher ist, je größer das Risiko für Mensch und Umwelt eingeschätzt wird. In der Regel bewegen sich die PLI-Werte auf einer Skala, die je nach dem untersuchten Pflanzenschutzmittel und den spezifischen Anwendungsbedingungen stark variieren kann. (Dehler, 2022)

Ein Wert von beispielsweise 0,1 oder darunter zeigt an, dass das Risiko durch dieses Pflanzenschutzmittel als sehr gering eingeschätzt wird. Solche niedrigen Werte treten meist bei weniger toxischen oder biologischen Pflanzenschutzmitteln auf. Höhere Werte von eins bis zehn deuten auf mittlere bis höhere Risiken hin, während sehr hohe Werte von zehn und darüber typischerweise auf hochtoxische Substanzen hindeuten, die erhebliche Risiken für die menschliche Gesundheit und die Umwelt bergen. (Dehler, 2022)

Es ist wichtig zu beachten, dass diese Werte in Relation zueinander bewertet werden müssen. Ein Wert allein gibt noch keine endgültige Aussage über die Gefährlichkeit eines Pflanzenschutzmittels. Vielmehr muss er im Kontext der spezifischen Anwendungsbedingungen und der lokalen Umweltsensitivität betrachtet werden. (Dehler, 2022)

## 2.3.2 Einsatz von Düngemitteln

### 2.3.2.1 Düngemittleinsatz in der konventionellen Landwirtschaft

Düngemittel sind unerlässlich für die moderne Landwirtschaft, da sie die benötigten Nährstoffe liefern, die das Pflanzenwachstum fördern. In der konventionellen Landwirtschaft sind synthetische Düngemittel weit verbreitet. Diese bestehen hauptsächlich aus Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K). Die häufigsten Methoden der Düngung umfassen die Bodenapplikation und die Blattdüngung. Die Bodenapplikation ist die am häufigsten verwendete Methode. Dabei werden Düngemittel in Form von Granulaten, Pulvern oder Flüssigdüngern direkt auf den Boden aufgebracht oder in den Boden eingearbeitet. Der Stickstoff liegt bei dieser Art der Düngung meist in Ammonium- und Nitratform vor. (Ghosh, et al., 2019)

Bei der Blattdüngung werden Nährstoffe direkt auf die Blätter der Pflanzen gesprüht, was eine schnelle Aufnahme ermöglicht. Diese Methode wird oft als Ergänzung zur Bodenapplikation verwendet, um akute Nährstoffmängel zu beheben. (Lezovic & Kleffmann Group, 2011)

Die intensive Nutzung von synthetischen Düngemitteln in der konventionellen Landwirtschaft in Kombination mit Bodenbearbeitung hat erhebliche Umweltprobleme zur Folge. Stickstoff, insbesondere in Form von Nitrat, kann leicht aus dem Boden ausgewaschen und ins Grundwasser gespült werden, was zur Verschmutzung von Trinkwasserressourcen führt. (Ghosh, et al., 2019)

### 2.3.2.2 Düngemittleinsatz in der Conservation Agriculture

In der Conservation Agriculture kann im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft weniger Dünger, insbesondere weniger Stickstoff, verwendet werden. Dies ist auf mehrere Faktoren zurückzuführen, die mit der verbesserten und stabileren Bodenstruktur in CA-Systemen zusammenhängen. Durch die minimale Bodenbearbeitung und die kontinuierliche Bodenbedeckung wird die Bodengesundheit gefördert, was zu einer besseren Nährstoffnutzung und geringerer Auswaschung führt. Die stabile Bodenstruktur in CA-Systemen trägt dazu bei, dass der gedüngte Stickstoff länger im Boden verbleibt und den Pflanzen effizienter zur Verfügung steht und nicht durch Niederschläge ausgewaschen wird. Studien zeigen, dass diese Praktiken die Auswaschung von Nährstoffen in das Grundwasser signifikant reduzieren, was sowohl ökologisch vorteilhaft ist als, auch die Effizienz der Düngung erhöht. (Ghosh, et al., 2019) (Kassam, et al., 2015)

Des Weiteren wird der Stickstoff durch die Integration von organischen Düngemitteln und der Nutzung von Leguminosen in Fruchtfolgen auf natürliche Weise angereichert. Diese Methoden tragen zusätzlich zur langfristigen Bodenfruchtbarkeit bei und reduzieren die Abhängigkeit von synthetischen Stickstoffdüngern. Bodenanalysen und präzise Düngemittelanwendungen helfen zusätzlich dabei, die tatsächlich benötigten Nährstoffmengen zu bestimmen, was zu einer effizienteren Nutzung der Ressourcen führt. (Kassam, et al., 2023)

### 2.3.2.3 CULTAN-Düngung

Eine spezielle und innovative Methode ist die CULTAN-Düngung (Controlled Uptake Long-Term Ammonium Nutrition), die eine effizientere Nährstoffnutzung und geringere Umweltbelastungen ermöglicht. Diese Methode findet vor allem Anwendung in der Conservation Agriculture, da Stickstoffdünger, die auf den Boden aufgebracht werden, oftmals nicht direkt Pflanzenverfügbar sind. Das liegt insbesondere an der dauerhaften Bodenbedeckung durch Ernterückstände und abgestorbene Pflanzen. Die CULTAN-Düngung ist eine spezifische Methode der Stickstoffdüngung, bei der Stickstoff in Form von Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) als Depot in den Boden injiziert wird.

Diese Methode wurde von Dr. Karl Sommer und seinen Kollegen entwickelt und bietet mehrere Vorteile für die Pflanzenernährung und den Umweltschutz. Durch die hohe Konzentration der punktuell in den Boden eingebrachten Ammoniumdepots, werden diese nicht durch biologische und chemische Aktivitäten zersetzt. Somit findet keine Nitrifikation von Ammonium in Nitratstickstoff statt, wodurch es auch nicht zur Verlagerung und Auswaschung des Nitrates kommen kann. Das CULTAN-Depot hat eine Attraktionswirkung auf die Wurzeln, wodurch diese zu diesem Depot hinwachsen und es umschließen. Die Pflanzenwurzeln nehmen das Ammonium langsam und kontinuierlich über einen langen Zeitraum auf. Dies gewährleistet eine gleichmäßige und nachhaltige Nährstoffversorgung, die das Pflanzenwachstum optimiert und zu gesünderen Pflanzen führt. Durch diese spezielle Stickstoffaufnahme verändert sich der Ort des Stickstoffeinbaus von den Blättern zu den Wurzeln, wodurch das Wurzelwachstum gefördert wird. (Sommer, 2005)

Die praktische Umsetzung der CULTAN-Düngung erfordert spezielle Injektionsgeräte, die den Dünger punktgenau in den Boden einbringen. Diese Geräte sind darauf ausgelegt, Ammonium in ungefähr zehn cm Tiefe zu injizieren, wo es langsam von den Pflanzenwurzeln aufgenommen wird. Durch diese spezielle Technik nehmen die Depots maximal fünf Prozent des Bodenvolumens ein, während der restliche Boden frei von Dünger bleibt. (Sommer, 2005)

#### 2.3.2.4 Auswirkung der Düngung auf den Pflanzenschutz

In der Conservation Agriculture wird wie zuvor beschrieben häufiger auf die CULTAN-Düngung gesetzt als in herkömmlichen konventionellen Systemen. Welche Vorteile diese Ammoniumdüngung gegenüber einer nitratbetonten Düngung in Bezug auf den Pflanzenschutz hat, soll im Folgenden dargelegt werden.

Pflanzen, die mit Nitrat versorgt werden, zeigen eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber verschiedenen Krankheiten. Diese Anfälligkeit kann durch mehrere physiologische und biochemische Mechanismen erklärt werden. Nitrat kann die Produktion von sekundären Metaboliten, die für die Pflanzenabwehr wichtig sind, reduzieren.

Sekundäre Metaboliten wie Polyphenole und Flavonoide spielen eine wesentliche Rolle im Abwehrsystem der Pflanzen, indem sie pathogene Mikroorganismen hemmen oder deren Ausbreitung verzögern. Die Reduktion dieser Abwehrstoffe führt dazu, dass Pflanzen leichter von Pathogenen wie Bakterien und Pilzen befallen werden. (Zhang, et al., 2019)

Eine Nitrat-Ernährung hat auch Auswirkungen auf den pflanzlichen Stoffwechsel, insbesondere auf die Produktion von Abwehrproteinen. Studien zeigen, dass hohe Nitratkonzentrationen die Expression von Genen, die für Abwehrmechanismen verantwortlich sind, negativ beeinflussen können. Dies resultiert in einer geringeren Fähigkeit der Pflanzen, auf Pathogenbefall zu reagieren. (Sun, et al., 2020)

Im Gegensatz dazu verbessert eine Düngung mit Ammonium die Krankheitsresistenz. Ammonium fördert die Synthese von Proteinen und unterstützt die Bildung von Abwehrstoffen, was zu einer verstärkten Immunantwort führt. Es wird angenommen, dass Ammonium die Aktivität von Abwehrgenen steigert und die Bildung von Abwehrproteinen fördert, die gegen verschiedene Pathogene wirken. (Mur, et al., 2016)

Zusätzlich zur Krankheitsanfälligkeit wirkt sich die Art der Stickstoffversorgung auch auf die Anfälligkeit gegenüber Schadinsekten aus. Pflanzen, die mit Nitrat gedüngt werden, können durch ihre Nährstoffzusammensetzung und den resultierenden Metaboliten für Schadinsekten attraktiver werden. Diese Insekten nutzen die von den Pflanzen produzierten Nährstoffe zur Ernährung und Fortpflanzung. Nitratdüngung kann zu einem höheren Gehalt an zuckerhaltigen Verbindungen führen, die Insekten anziehen. Ammonium hingegen kann die Widerstandsfähigkeit gegenüber Schädlingen stärken, indem es die Produktion von Stoffen erhöht, die insektenabwehrend wirken. (Mur, et al., 2016) (Sun, et al., 2020)

Auch auf den Einsatz von Wachstumsreglern nimmt die Stickstoffversorgung Einfluss. Studien haben gezeigt, dass Ammonium die Synthese von Auxinen anregen kann, was zu einer verbesserten Wurzelentwicklung und einer geringeren Entwicklung des Sprosses führt.

Durch das veränderte Pflanzenwachstum mit einem verstärkten Wurzelwachstum werden weniger Halmstabilisatoren benötigt, da der Spross kürzer bleibt. (Zhang, et al., 2019)

### 2.3.3 Treibstoffverbrauch

Der Treibstoffverbrauch in der Landwirtschaft ist ein entscheidender Faktor für die Betriebskosten und die Umweltbelastung.

In der konventionellen Landwirtschaft ist der Treibstoffverbrauch oft sehr hoch. Intensive Bodenbearbeitungstechniken wie das Pflügen und Grubbern erfordern den Einsatz schwerer Maschinen, die große Mengen an Diesel verbrauchen. Laut Ulrich Graf kann der Treibstoffverbrauch in der konventionellen Landwirtschaft bis zu 120 Liter Diesel pro Hektar und Jahr betragen. (Graf, 2024) Bei intensiven Anbausystemen mit viel Bodenbearbeitung kann dieser Wert aber auch schnell überschritten werden. (Lezovic & Kleffmann Group, 2011)

Im Gegensatz dazu reduziert Conservation Agriculture den Treibstoffverbrauch erheblich. Durch die Minimierung der Bodenbearbeitung, beispielsweise durch No-Till-Techniken, wird die Anzahl der Überfahrten auf dem Feld reduziert, was direkt zu einer Reduzierung des Treibstoffverbrauchs führt. Studien zeigen, dass der Treibstoffverbrauch in CA-Systemen um ungefähr 29 Liter pro Hektar und Jahr geringer ist als in konventionellen Systemen. (Kassam, et al., 2023)

Ein wesentlicher Vorteil von CA ist dabei, dass durch den Verzicht auf intensive Bodenbearbeitung die Maschinen weniger häufig eingesetzt werden müssen, was nicht nur den Treibstoffverbrauch, sondern auch den Verschleiß der Maschinen reduziert. Dies führt zu geringeren Betriebskosten und einer längeren Lebensdauer der landwirtschaftlichen Geräte. (Kassam, et al., 2015)

Die Reduzierung des Treibstoffverbrauchs in CA-Systemen hat auch bedeutende ökologische Vorteile. Der geringere Einsatz von fossilen Brennstoffen trägt nicht nur zur Senkung der Betriebskosten bei, sondern reduziert auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen und unterstützt somit die Ziele des Europäischen Green Deal und trägt zu einer nachhaltigeren Landwirtschaft bei. (Ghosh, et al., 2019)

Laut einer Studie von Kassam, et al. (2023) könnten durch die vollständige Umsetzung von CA-Methoden in Europa die landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen um bis zu 24 % reduziert werden.

## 3 Material und Methodik

Das Ziel der Literaturrecherche war, den aktuellen Wissensstand über Conservation Agriculture zu ermitteln. Es wurden Informationen aus Büchern und Fachzeitschriften sowie wissenschaftlichen Artikeln verwendet. Um im empirischen Teil eine Diskussionsgrundlage zu haben, wurde in der Literaturrecherche auch auf die Düngung und den Pflanzenschutz eingegangen und deren Anwendung in der Conservation Agriculture dargelegt.

Somit wurde durch den im Vorfeld erarbeiteten theoretischen Rahmen der Arbeit eine Basis für den nachstehenden empirischen Teil geschaffen. Das Kapitel dient als dokumentierter Überblick über den Forschungsprozess und soll so die Vorgehensweise der Studie darlegen. Dafür wird die Methodenwahl der Bachelorarbeit genauer erläutert, indem auf die Datenerhebung, die Auswertung von Pflanzenschutz- und Düngereinsatz, die Ermittlung der Vergleichsdaten und die Berechnung von Diesel und Feldüberfahrten eingegangen wird.

### 3.1 Datenerhebung

#### 3.1.1 Datenerhebung von CA-Landwirten

Zur Durchführung der Studie werden Pflanzenschutz und Düngedaten von Betrieben benötigt, die Direktsaat betreiben beziehungsweise die das gesamte System der Conservation Agriculture umsetzen. Hierfür wurde ein Handout erstellt, welches über das Netzwerk der GKB verbreitet wird. Einige Effekte im CA-System kommen erst mehrere Jahre nach der Umstellung zum Tragen, weshalb vor allem Betriebe gesucht werden, die seit 2019 Direktsaat betreiben. Da der Pflanzenschutz- und Düngemiteleinsatz in verschiedenen Jahren aufgrund der Witterungsverhältnisse sehr unterschiedlich ausfallen kann, müssen für die Datenerhebung mehrere Jahre betrachtet werden, um Extremjahre zu relativieren. Es wurden somit die Erntejahre 2020, 2021 und 2022 angefragt, wobei für jedes Jahr jeweils drei Schläge benötigt werden. Der Pflanzenschutz- und Düngemiteleinsatz variiert aber nicht nur von Jahr zu Jahr, sondern auch zwischen den verschiedenen Kulturarten. Somit können die Kulturen nur miteinander, aber nicht untereinander verglichen werden.

Um die Stichprobe möglichst hochzuhalten, werden nur Kulturen betrachtet, die standartmäßig auf vielen Betrieben in Deutschland angebaut werden. Das sind die Kulturen Winterweizen, Winterraps, Mais und Wintergerste. Auf speziellere beziehungsweise auf Sonderkulturen wird in dieser Studie verzichtet. Da es in Deutschland nur wenige Betriebe gibt, die schon mehrere Jahre CA betreiben, konnten 17 Betriebe akquiriert werden, welche die Anforderungen erfüllen und ihre Daten zur Verfügung stellen. Diese geben ihre Daten für die insgesamt neun benötigten Schläge meist in Form von Auszügen aus der Ackerschlagkartei heraus.

Nach Erhalt der Ackerschlagdaten wurden diese in Excel eingefügt. Es wurden die einzelnen Schläge mit Schlaggröße, Erntejahr der Kultur und deren Aussattermin, der Vorfrucht und dem Ertrag eingetragen. Der Ertrag ist wichtig, um zu überprüfen, inwiefern der Ertrag der Direktsaatbetriebe vom Durchschnittsertrag abweicht. Wie in Abbildung 2 zu sehen, wurden beim Dünger die Maßnahmen mit dem Düngungszeitpunkt, der Art des Düngers und der Stickstoffmenge erfasst. Beim Pflanzenschutz wurden anstatt der Düngungsart und der Düngermenge die Pflanzenschutzmittel mit den enthaltenen Wirkstoffen und der Ausgebrachten Menge der Wirkstoffe eingetragen.

Düngemittleinsatz													
Betriebsnummer	Gebiet	Schlagname	Erntejahr	Fruchtart	Schlaggröße	Vorfrucht	Saattermin	Ertrag	Applikationsdatum	Düngungsart	N-Menge/ha	Nmineralisch	Norganisch
1	Ost	Schlag 1	2020	WRA	12,184	Winterweizen	15.08.2019	19,3	18.03.2020	AHL	70	70	
1	Ost	Schlag 1	2020	WRA	12,184	Winterweizen	15.08.2019	19,3	08.04.2020	AHL	56	56	
1	Ost	Schlag 2	2020	MA	5,2609	Qualitätsweizen	22.04.2020	90	20.08.2019	MIN	18	18	
1	Ost	Schlag 2	2020	MA	5,2609	Qualitätsweizen	22.04.2020	90	17.03.2020	AHL	84	84	
1	Ost	Schlag 2	2020	MA	5,2609	Qualitätsweizen	22.04.2020	90	17.03.2020	ASL	24	24	
1	Ost	Schlag 3	2020	WWV	10,4704	Winterraps	19.09.2019	73	19.03.2020	AHL	84	84	
1	Ost	Schlag 3	2020	WWV	10,4704	Winterraps	19.09.2019	73	19.03.2020	ASL	24	24	
1	Ost	Schlag 3	2020	WWV	10,4704	Winterraps	19.09.2019	73	19.05.2020	AHL	28	28	
1	Ost	Schlag 4	2021	WRA	7,287	Braugerste	19.08.2020	22	01.04.2021	AHL	56	56	
1	Ost	Schlag 4	2021	WRA	7,287	Braugerste	19.08.2020	22	19.04.2021	AHL	84	84	
1	Ost	Schlag 5	2021	WWV	12,184	Winterraps	12.10.2020	72	08.04.2021	AHL	119	119	
1	Ost	Schlag 5	2021	WWV	12,184	Winterraps	12.10.2020	72	08.04.2021	ASL	17	17	
1	Ost	Schlag 6	2021	MA	1,8654	Qualitätsweizen	07.05.2021	88	13.05.2021	AHL	120	120	
1	Ost	Schlag 6	2021	MA	1,8654	Qualitätsweizen	07.05.2021	88	13.05.2021	ASL	16	16	
1	Ost	Schlag 7	2022	WWV	5,82	Winterraps	07.10.2021	65	12.04.2022	AHL	100	100	
1	Ost	Schlag 7	2022	WWV	5,82	Winterraps	07.10.2021	65	12.04.2022	ASL	28	28	
1	Ost	Schlag 8	2022	WWV	16,9	Winterweizen	19.10.2021	65	14.04.2022	AHL	100	100	
1	Ost	Schlag 8	2022	WWV	16,9	Winterweizen	19.10.2021	65	14.04.2022	ASL	28	28	
1	Ost	Schlag 8	2022	WWV	16,9	Winterweizen	19.10.2021	65	01.06.2022	AHL	18	18	
1	Ost	Schlag 9	2022	MA	21,32	Winterweizen	06.05.2022	67	18.05.2022	AHL	100	100	
1	Ost	Schlag 9	2022	MA	21,32	Winterweizen	06.05.2022	67	18.05.2022	ASL	28	28	
2	West	Schlag 10	2020	MA	3,49	Winterweizen	10.04.2020	347	17.04.2020	ASL	85	85	
2	West	Schlag 10	2020	MA	3,49	Winterweizen	10.04.2020	347	17.04.2020	NP	16	16	
2	West	Schlag 11	2020	WRA	8,93	Wintergerste	14.08.2019	38	14.08.2019	DAP	8	8	
2	West	Schlag 11	2020	WRA	8,93	Wintergerste	14.08.2019	38	08.03.2020	ASL	54	54	
2	West	Schlag 11	2020	WRA	8,93	Wintergerste	14.08.2019	38	08.03.2020	AHL	75	75	
2	West	Schlag 12	2020	WWV	8,98	Zuckerrübe	29.10.2019	55	31.03.2020	ASL	146	146	
2	West	Schlag 12	2020	WWV	8,98	Zuckerrübe	29.10.2019	55	31.03.2020	NP	8	8	

Abbildung 2: Datentabelle der eingetragenen Düngedaten

Da die Betriebe in ganz Deutschland verteilt sind und der Pflanzenschutzmitteleinsatz und Düngemiteleininsatz auch abhängig von Klima und der Ertragserwartung der Böden ist, werden die Betriebe nach ihrer groben geographischen Lage, beziehungsweise nach der Beschaffenheit der Böden in Gruppen eingeteilt. Hierbei werden die nördlichen Standorte an der Küste, die südlichen Standorte, die westlichen Standorte und die Betriebe, die im Osten Deutschlands liegen und auf leichten Böden wirtschaften, zu jeweils einer Gruppe zusammengefasst.

### 3.1.2 Ermittlung von Vergleichsdaten

Um die ermittelten Durchschnittswerte vergleichen zu können, benötigt man Referenzwerte von den verschiedenen Regionen. Hierfür lieferte ein Beratungsunternehmen durchschnittliche Applikationsmuster von Beratungsbetrieben, die konventionell im Pflug- und Mulchsaatsystem wirtschaften, in den vier verschiedenen Regionen für die vier Fruchtarten. Diese Applikationsmuster beinhalten zum einen den durchschnittlichen Stickstoffeinsatz je Hektar und zum anderen durchschnittliche Behandlungsmuster für die Kulturen und die drei Jahre. Die Behandlungsmuster enthalten die eingesetzten Wirkstoffe mit den dazugehörigen Aufwandmengen. Zusätzlich wurde von der Beratung für jede Region noch ein extensives Applikationsmuster zur Verfügung gestellt, welches Betriebe abbildet, die extensiver Ackerbau betreiben. Die Auswertung erfolgte anschließend mit beiden Applikationsmustern.

Um auch die Erträge der Direktsaatlandwirte mit dem Durchschnitt zu vergleichen, wurden die Durchschnittserträge der Kulturen und der Jahre in den vier Regionen recherchiert. Hierfür wurden die Ernteberichte des BMEL, die Ernteberichte der Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e. V., die Landessortenversuche der LfL und die Landessortenversuche der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen hergenommen.

### 3.2 Auswertung von Pflanzenschutz und Dünger

Nach dem Erhalt der Daten werden diese ausgewertet und miteinander verglichen. Die Daten zum Pflanzenschutz wurden von Max Meister (NABU) in Excel zusammengefasst und anschließend zur Auswertung übergeben. Die Auswertung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes erfolgt auf der Grundlage des im Literaturteil beschriebenen Pesticide Load Indicators, der als Dimensionslose Zahl steht. Dieser komplexe Indikator berücksichtigt nicht nur die Toxizität eines Stoffes, sondern auch andere Faktoren wie das Umweltverhalten und die Langzeitwirkung. Bei dieser Analyse wird oftmals von Toxizität gesprochen, jedoch sind hier auch die anderen Faktoren miteinbezogen. Zunächst wird jeder eingesetzte Wirkstoff mit dem dazugehörigen PLI versehen. Anschließend werden die eingesetzten Wirkstoffmengen mit dem jeweiligen PLI multipliziert. Diese Vorgehensweise wird sowohl bei den Daten der Direktsaatbetriebe durchgeführt sowie bei den konventionellen Applikationsmustern, die durch die Beratung bereitgestellt wurden. Die Produkte aus der Wirkstoffmenge und dem PLI des Wirkstoffes von Direktsaatbetrieben und konventionellen Betrieben werden anschließend miteinander verglichen.

Beim Dünger wird der durchschnittlich ausgebrachte Stickstoff in Kilogramm für jede der vier Regionen für drei Jahre 2019, 2020 und 2021 und für vier verschiedene Kulturen ausgewertet. Somit erhält man für jede Region einen Durchschnittswert für die Kulturen Winterweizen, Winterraps, Mais und Wintergerste. Dieser Wert wird jeweils mit der konventionellen Variante verglichen und die Reduktion in Prozent berechnet. Anschließend werden die Jahre zusammengefasst, sodass für jede Region eine Gesamtreduktion für die verschiedenen Kulturen entsteht. Diese Reduktionen werden danach nochmal zu einer Gesamtreduktion für Deutschland zusammengefasst.

Um die CULTAN-Düngung abzubilden, wird der insgesamt je Hektar ausgebrachte Stickstoff in kg N berechnet und mit dem Stickstoff, der durch eine CULTAN-Düngung ausgebracht wird, verglichen.

### 3.3 Berechnung von Dieselbedarf, Arbeitszeitbedarf und Feldüberfahrten mit KTBL

Die Betriebe, die ihre Dünge- und Pflanzenschutzmitteldaten herausgaben, wurden auch aufgefordert, Dieserverbrauchsdaten des Betriebes zur Verfügung zu stellen. Da manche Betriebe überwiegend eigenmechanisiert sind und bei anderen Betrieben aber viele Arbeiten von einem Lohnunternehmer durchgeführt werden, wurden sehr unterschiedliche Dieserverbrauchsdaten pro Hektar geliefert. Aus diesem Grund wurden der Dieserverbrauch sowie die Feldüberfahrten mit standardisierten Daten von der Website des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. analysiert.

Hierfür wurden für drei Szenarien (Pflug, Mulchsaat, Direktsaat) standardisierte Daten mit dem KTBL-Feldarbeitsrechner berechnet. Diese Szenarien werden in verschiedene Arbeitsverfahren untergliedert, wie sie auch in der Praxis Anwendung finden. In diesem Vergleich werden nur die Bodenbearbeitung und die Aussaat betrachtet. Es wird angenommen, dass die Überfahrten für die Bestandesführung und die Ernte in den unterschiedlichen Systemen gleich sind. Wie in Tabelle 1 dargestellt, setzt sich das klassische Szenario Pflug aus den Arbeitsverfahren Stoppelgrubbern flach, Grubbern mit Flügelschargrubber, Pflügen mit Drehverstellpflug, Eggen mit Federzinkenegge und der Aussaat mit einer Säkombination aus Kreiselegge und Sämaschine zusammen. Die Mulchsaatvariante setzt sich ähnlich wie die Pflugvariante aus den gleichen Arbeitsverfahren zusammen, wobei das Verfahren Pflügen durch Grubbern mit dem Tiefgrubber ersetzt wird. Das Direktsaatszenario setzt sich aus dem Arbeitsverfahren Säen von Zwischenfrüchten mit einer Direktsaatmaschine und der Aussaat der Hauptkultur ebenfalls mit einer Direktsaatmaschine zusammen. Zusätzlich findet hier vor der Aussaat eine Überfahrt mit der Pflanzenschutzspritze statt, um Segetalflora chemisch abzutöten.

Für alle drei Szenarien wurde mit einer Schlaggröße von fünf Hektar und einer Hof – Feld Entfernung von fünf Kilometern gerechnet. Für Grubber und Sämaschine wurde eine einheitliche Arbeitsbreite von drei Metern gewählt, um die drei Varianten vergleichen zu können.

Lediglich die Federzinkenegge hat eine Arbeitsbreite von 4,5 Metern und die Pflanzenschutzspritze eine Arbeitsbreite von 21 Metern wie in Tabelle 1 zu sehen ist.

Tabelle 1: Szenarien mit dazugehörigen Arbeitsverfahren

<b>Szenario 1 (Pflug)</b>	
1. Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	3 m; 120 kW
2. Grubbern mit Flügelschargrubber	3 m; 102 kW
3. Pflügen mit Drehverstellpflug, angebaut	5 Schare; 157 kW
4. Eggen mit Federzinkenegge, angebaut	4,5 m; 102 kW
5. Säen von Weizen, Ackerbohnen, Erbsen, Sojabohnen mit Kreiselegge und Sämaschine	3 m; 120 kW
<b>Szenario 2 (Mulchsaat)</b>	
1. Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	3 m; 120 kW
2. Grubbern mit Flügelschargrubber	3 m; 102 kW
3. Grubbern mit Tiefgrubber	3 m; 157 kW
4. Eggen mit Federzinkenegge, angebaut	4,5 m; 102 kW
5. Säen von Weizen, Ackerbohnen, Erbsen, Sojabohnen mit Kreiselegge und Sämaschine	3 m; 120 kW
<b>Szenario 3 (Direktsaat)</b>	
1. Säen von Grassamen, Klee gras mit Direktsaatmaschine	3 m; 102 kW
2. Pflanzenschutzspritze, angehängt	21 m, 3.000 l; 83 kW
3. Säen von Weizen, Ackerbohnen, Erbsen; Sojabohnen mit Direktsaatmaschine	3 m; 102 kW

(Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.)

Die verschiedenen Arbeitsverfahren können mehrere Teilarbeiten umfassen, wie zum Beispiel Be-/ Entladen, Transport, Feldarbeit, Wartung. KTBL gibt für die unterschiedlichen Arbeitsverfahren einen Gesamtarbeitszeitbedarf in Akh/ha an. „Er enthält die Teilzeiten Hauptzeit, Wendezeit, Versorgungszeit, nicht vermeidbare Verlustzeit, Wartezeit, Wegezeit und Rüstzeit“ (KTBL, 2024). Den Treibstoffbedarf berechnet KTBL „teilzeitspezifisch auf Basis der Zeitanteile der einzelnen Teilzeiten und der Motorbelastung in der jeweiligen Teilzeit“ (KTBL, 2024).

Die von KTBL ausgegebenen Daten für den Arbeitszeitbedarf und den Dieserverbrauch werden in einem Tabellenkalkulationsprogramm zusammengefasst, ausgewertet und anschließend miteinander verglichen.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Pflanzenschutz

Die Ergebnisse des Pflanzenschutzmitteleinsatzes werden zuerst in absoluten Zahlen dargestellt und anschließend in relativen Zahlen.

In Abbildung 3 ist der PLI von Winterweizen abgebildet. Die linken vier Balken stellen die herkömmliche konventionelle Variante dar und die vier rechten Balken die Direktsaatvariante in den vier verschiedenen Regionen. Die drei betrachteten Jahre 2020, 2021 und 2022 wurden hier zusammengefasst. Die PLIs bei der konventionellen Variante bewegen sich um 4000, bis zu 6000. Die PLIs der CA-Variante bewegen sich dagegen nur im Bereich zwischen 1000 und 2000, was eine deutliche Verringerung der Toxizität aufzeigt. Die Herbizide verursachen in beiden Varianten die höchste Toxizität, während Insektizide kaum Toxizität verursachen.

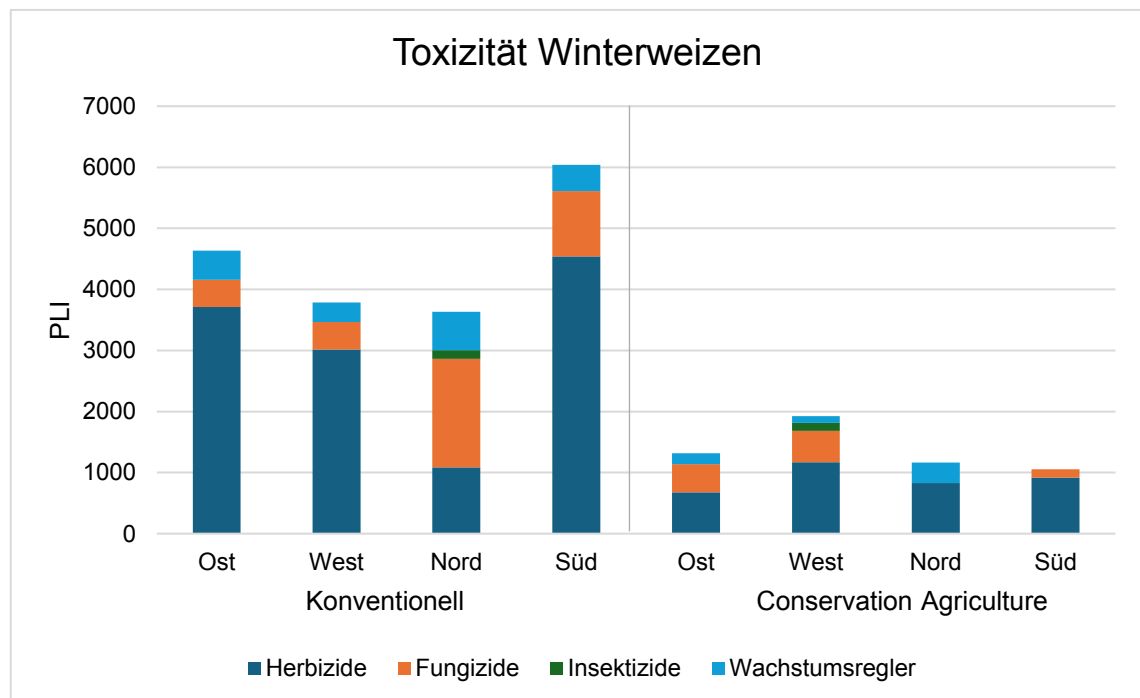


Abbildung 3: Vergleich des PLI Winterweizen in den verschiedenen Regionen zwischen der konventionellen Variante und der CA-Variante

In Abbildung 4 ist der Winterraps dargestellt. Das Prinzip hier ist dasselbe, wie zuvor für den Winterweizen beschrieben. Auch hier ist die Toxizität des CA-Systems signifikant geringer als beim herkömmlichen System. Beim Winterraps nehmen jedoch die Insektizide einen größeren Stellenwert ein, wie zuvor beim Weizen.

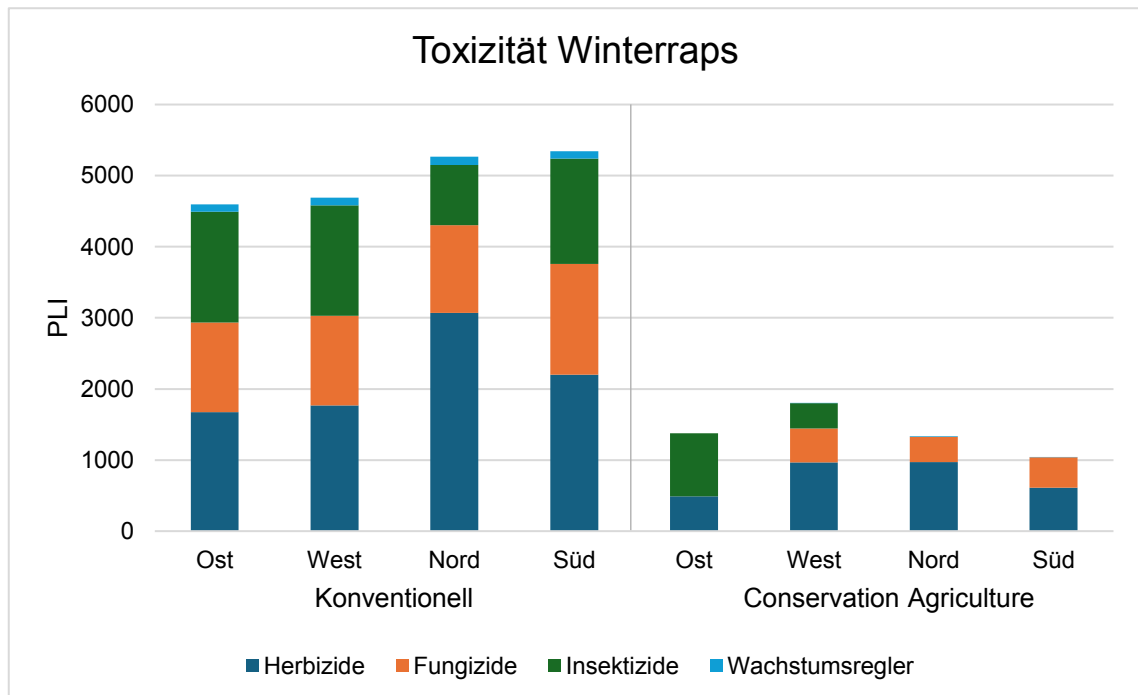


Abbildung 4: Vergleich des PLI Winterraps in den verschiedenen Regionen zwischen der konventionellen Variante und der CA-Variante

Der PLI Mais ist in Abbildung 5 dargestellt. Im Mais wurden in beiden Varianten nur Herbizide eingesetzt. Die Unterschiede zwischen den beiden Varianten sind in dieser Kultur nicht so stark wie bei den vorhergehenden Kulturen Winterweizen und Winterraps.

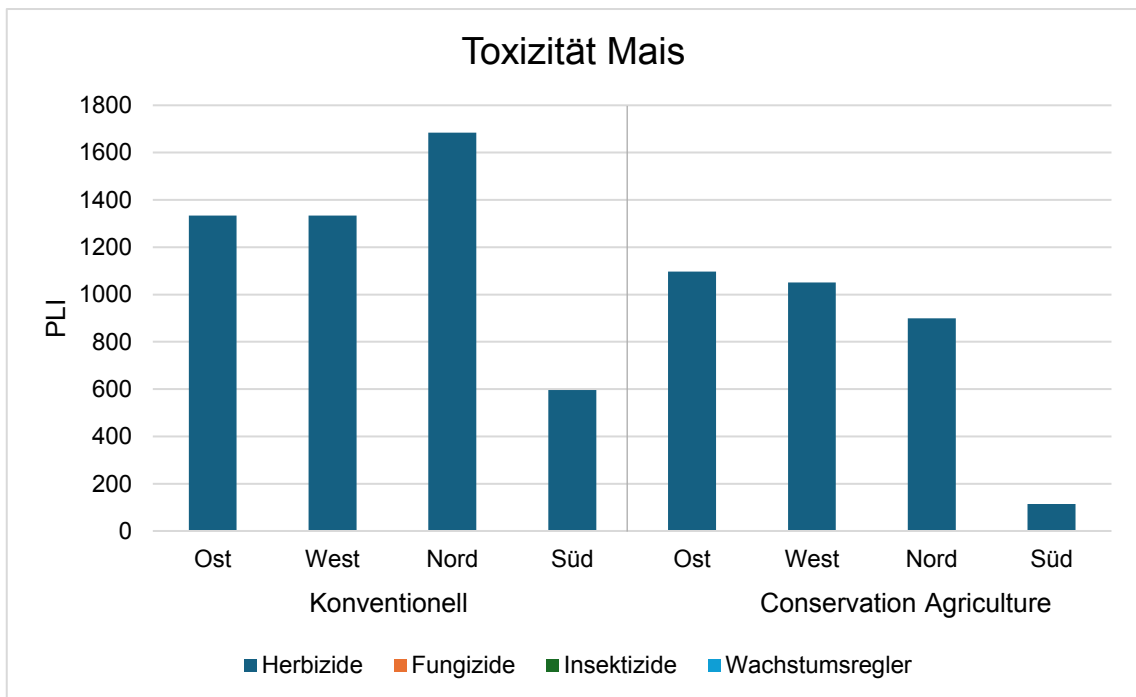


Abbildung 5: Vergleich des PLI Mais in den verschiedenen Regionen zwischen der konventionellen Variante und der CA-Variante

In Abbildung 6 ist die Wintergerste dargestellt. Bei dieser Kultur weisen wieder die Herbizide die höchste Toxizität auf, während die Toxizität der anderen Pflanzenschutzmittel eher gering ausfallen.

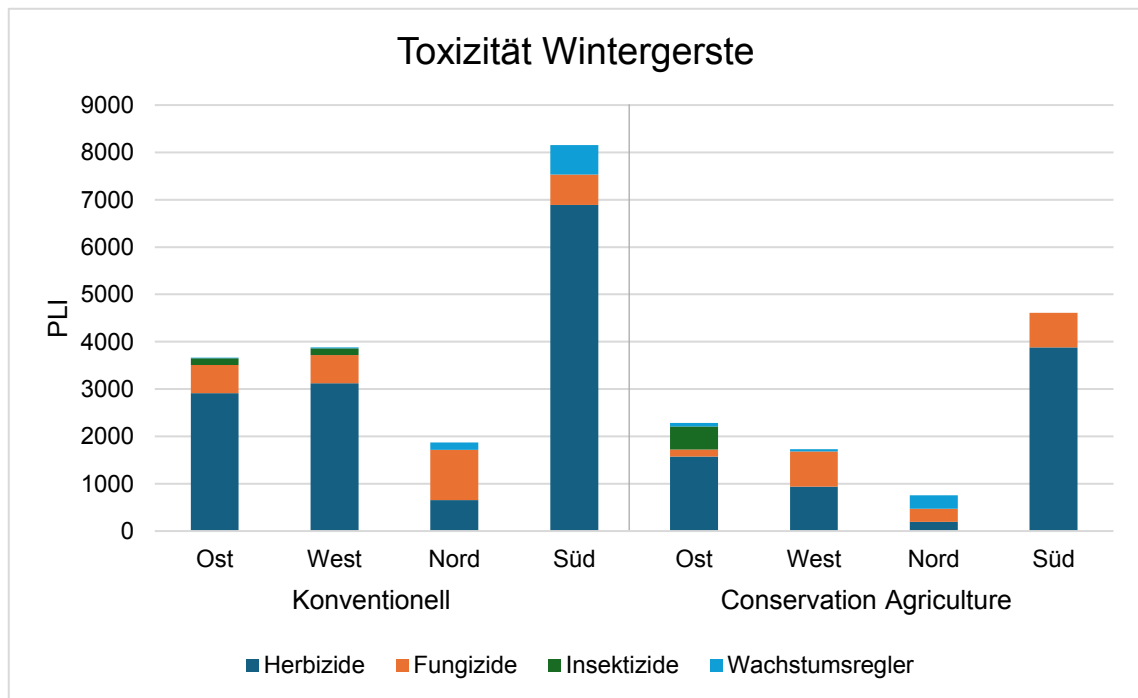


Abbildung 6: Vergleich des PLI Wintergerste in den verschiedenen Regionen zwischen der konventionellen Variante und der CA-Variante

Die vier Regionen wurden zur besseren Übersicht nochmals zu einer Gesamtoxizität zusammengefasst. Diese Gesamtoxizität der vier Kulturen ist in Abbildung 7 dargestellt. Auch hier sind signifikante Toxizitätsunterschiede in den Kulturen Winterweizen, Winterraps und Wintergerste zu erkennen. Beim Mais fällt der Unterschied nicht so deutlich aus.

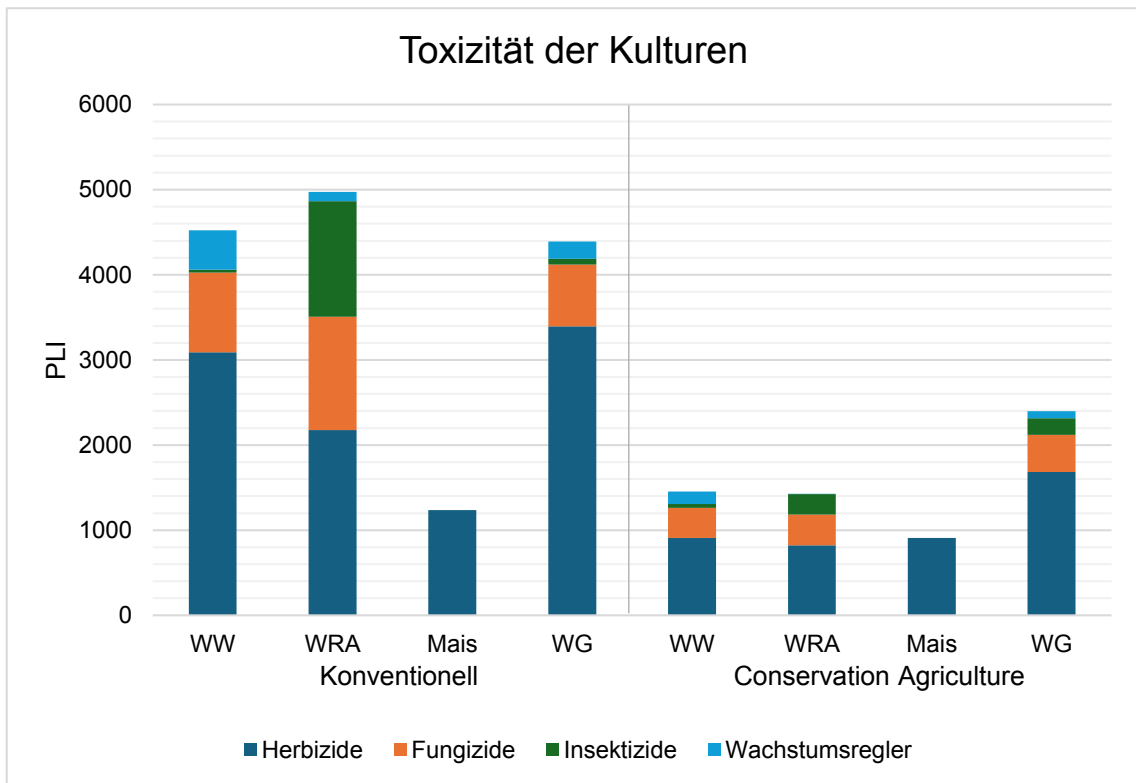


Abbildung 7: Vergleich der Toxizität der Kulturen zwischen konventionell und Conservation Agriculture

Eine ungefähre Abschätzung über die Höhe der relativen Reduktionen der Pflanzenschutzmittel kann durch die Absolute Darstellung schon gegeben werden. Die genauen Reduktionen in Prozent werden in Abbildung 8 dargestellt. Hier werden die Regionen und Jahre zusammengefasst und die Reduktionen von Herbiziden, Fungiziden, Insektiziden und Wachstumsregler, sowie die Gesamtreduktion in den vier Kulturen abgebildet. Insgesamt fällt die Reduktion beim Winterraps und Winterweizen am größten aus. Auch bei der Wintergerste fällt die Reduktion mit 45,4 % hoch aus. Beim Mais liegt die Gesamtreduktion nur bei 26,6 %, was der Reduktion der Herbizide entspricht, da hier keine Fungizide, Insektizide und Wachstumsregler eingesetzt wurden.

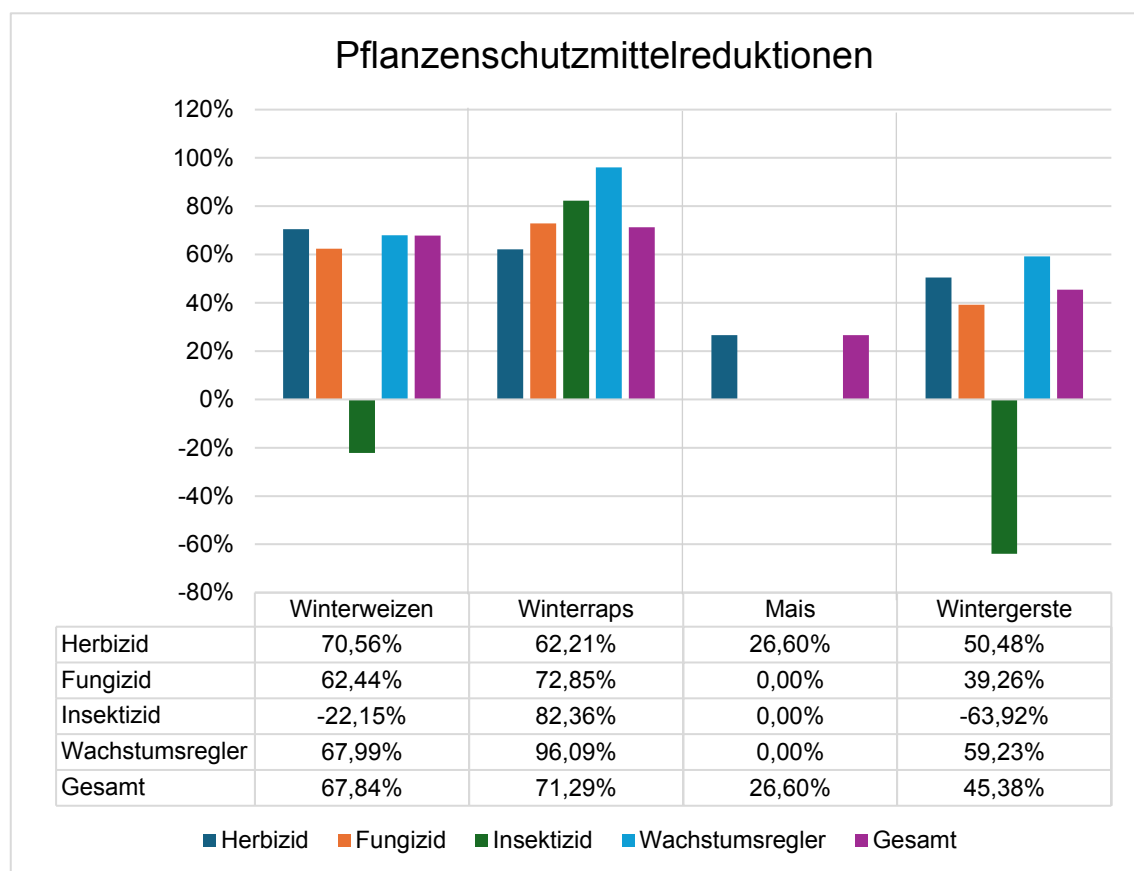


Abbildung 8: Pflanzenschutzmittelreduktionen der Kulturen aufgeteilt in Herbizide, Fungizide, Insektizide und Wachstumsregler

Wie zuvor schon erwähnt, wurde neben dieser Auswertung der Pflanzenschutzmitteleinsatz auch mit einer extensiven Variante verglichen. Die Auswertung erfolgte nach derselben Methode wie bei der intensiveren konventionellen Variante. Die Ergebnisse der extensiven Variante werden in Abbildung 9 dargestellt. Betrachtet man hier die Reduktionen, fällt auf, dass diese nur wenig geringer ausfallen wie in dem Vergleich mit der normalen Variante.

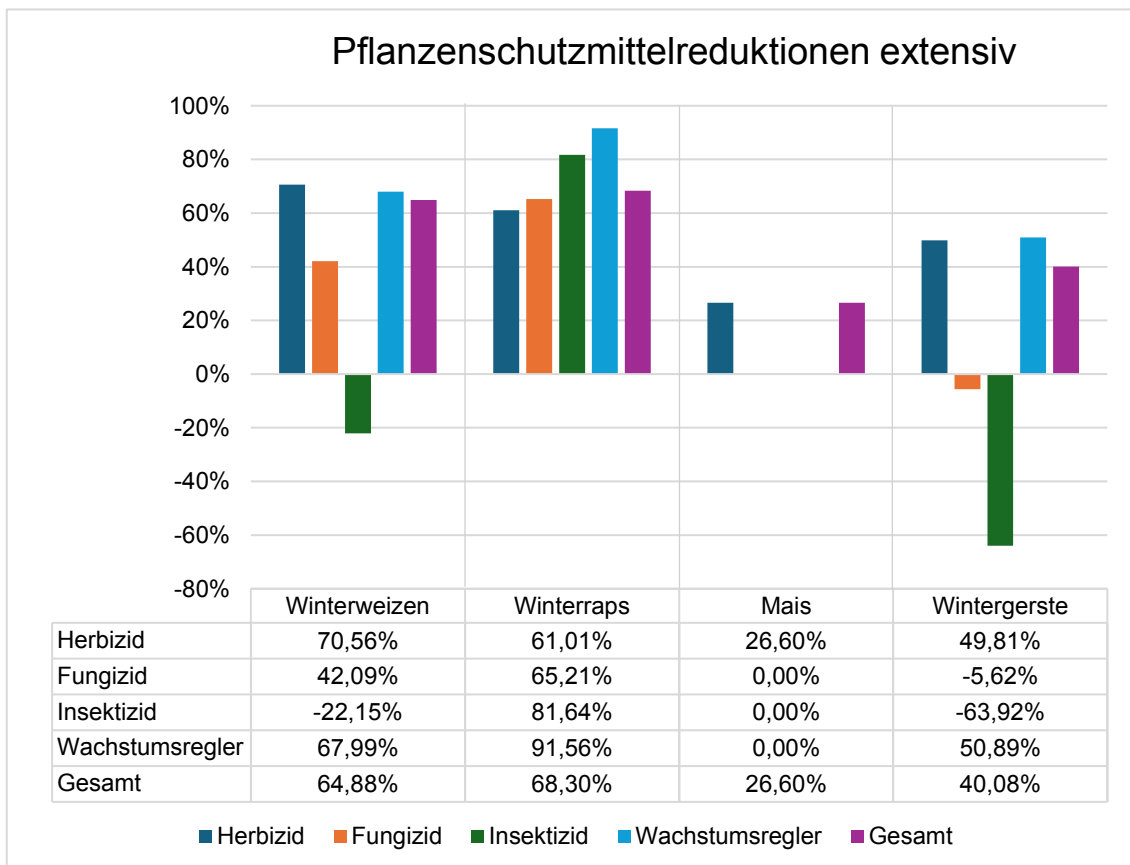


Abbildung 9: Pflanzenschutzmittelreduktionen der extensiven Vergleichsvariante der Kulturen aufgeteilt in Herbizide, Fungizide, Insektizide und Wachstumsregler

## 4.2 Düngung

Die Ergebnisse der Auswertung des Düngemittleinsatzes werden in folgenden Tabellen dargestellt und immer in Kilogramm Stickstoff je Hektar angegeben.

In Abbildung 10 ist die durchschnittliche Stickstoffmenge der drei Jahre von Winterweizen in den vier Regionen durch die orangenen Säulen abgebildet. Diese reicht von 116 kg N auf den Standorten im Osten bis hin zu 150 kg N auf den Standorten im Westen. Den Durchschnittswerten gegenübergestellt und mit blau hinterlegt ist der Stickstoffeinsatz der konventionellen Variante. Dieser bewegt sich zwischen 160 kg N und 210 kg N, je nach Region.

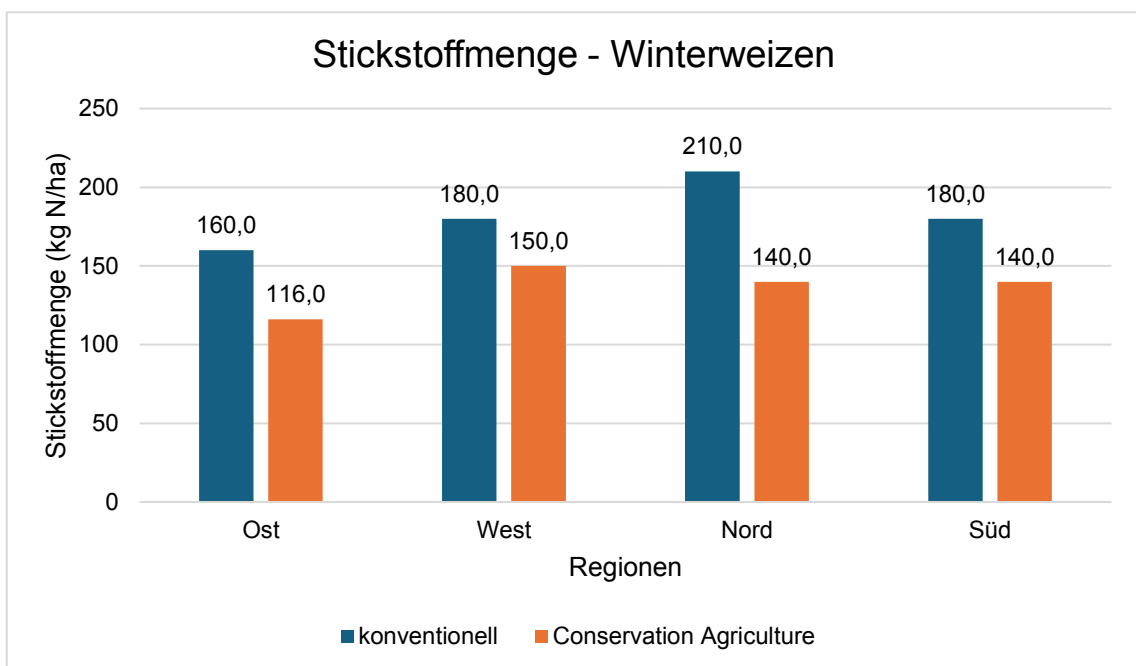


Abbildung 10: Vergleich der Stickstoffmenge im Winterweizen zwischen CA-System und Beratervariante

In Abbildung 11 ist, ähnlich wie im vorherigen Diagramm, der durchschnittliche Düngemittleinsatz abgebildet. In diesem Diagramm aber für den Winterraps. Hier reicht der durchschnittliche Stickstoffeinsatz von 130 kg N auf den östlichen Standorten bis zu 140 kg N auf den nördlichen Standorten. Die Standorte im Süden und Westen bewegen sich mit 136 kg N und 133 kg N zwischen den Standorten im Norden und Osten.

Auch hier ist zum Vergleich die konventionelle Variante danebengestellt. Diese liegt bei 150 kg N, beziehungsweise bei 140 kg N auf den östlichen Standorten.

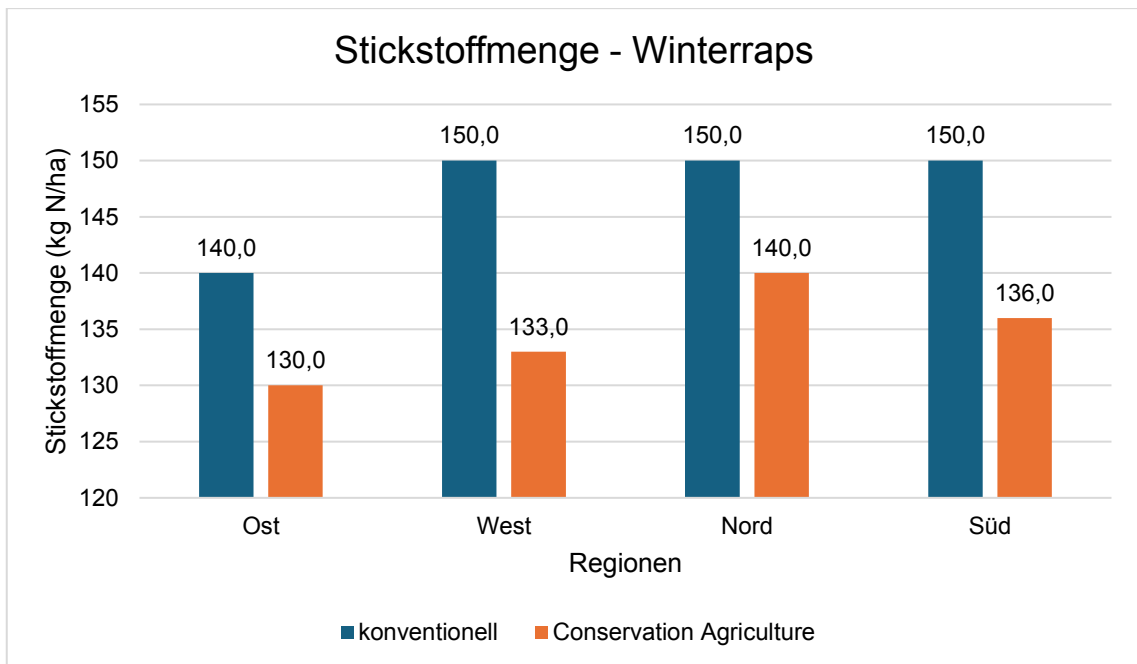


Abbildung 11: Vergleich der Stickstoffmenge im Winterraps zwischen CA-System und Beratervariante

In Abbildung 12 ist die durchschnittliche Stickstoffmenge für den Mais abgebildet. Hier liegen die Standorte im Osten bei 104 kg N und die Standorte im Norden bei 136 kg N. Die Standorte im Süden und Westen liegen dazwischen mit 139 kg N und 135 kg N. Die Vergleichsvariante reicht von 100 kg N auf den östlichen Standorten bis hin zu 170 kg N auf den Standorten im Norden und Süden.

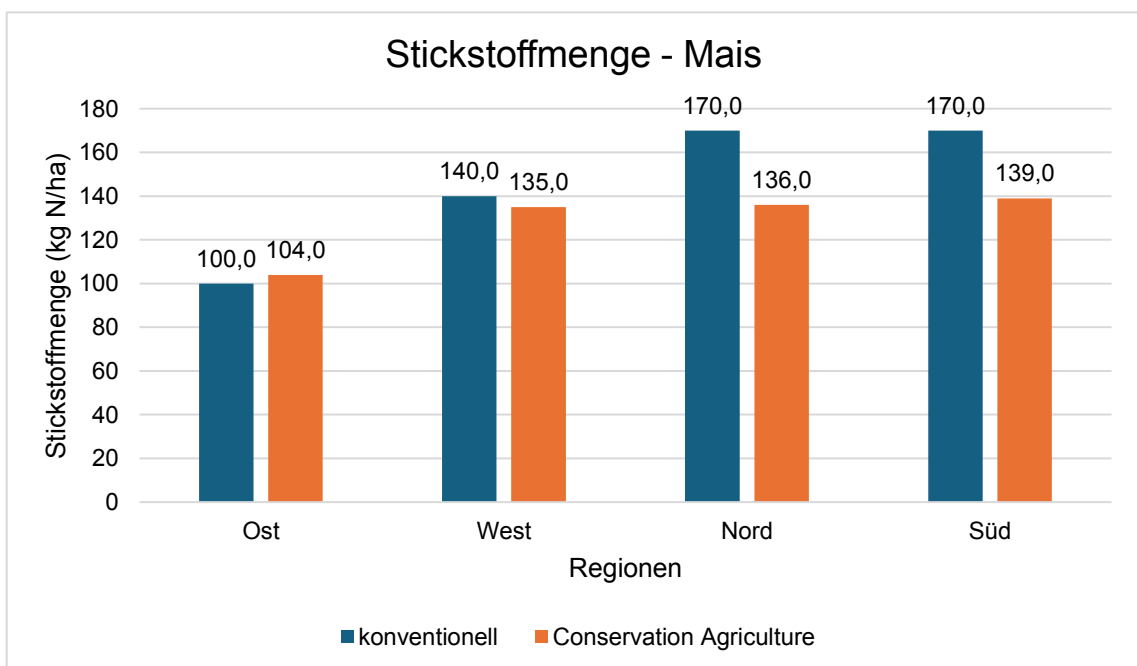


Abbildung 12: Vergleich der Stickstoffmenge im Mais zwischen CA-System und Beratervariante

Die durchschnittliche Düngermenge der Wintergerste ist in Abbildung 13 dargestellt. Diese beträgt im Osten 95 kg N, im Norden dagegen 146 kg N, auf den Standorten im Süden 134 kg N und im Westen 125 kg N.

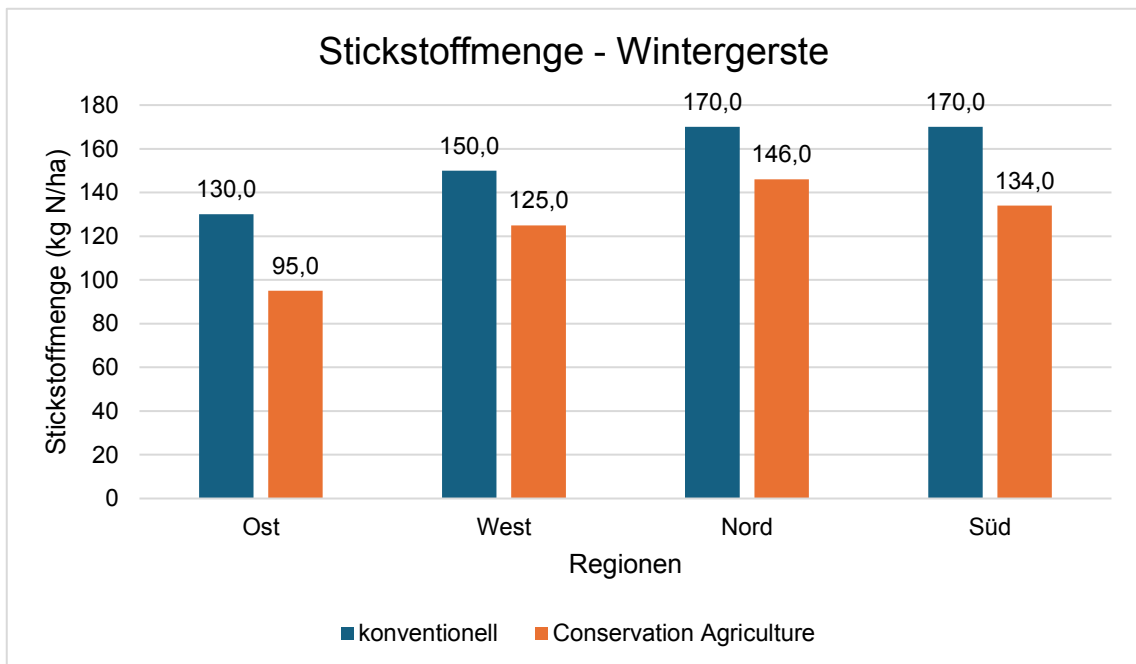


Abbildung 13: Vergleich der Stickstoffmenge in der Wintergerste zwischen CA-System und Beratervariante

Die Durchschnittswerte der einzelnen Regionen werden anschließend mit der dazugehörigen konventionellen Variante verglichen, wodurch die Reduktion von der herkömmlichen konventionellen Beratervariante hin zur Direktsaatvariante berechnet wird. Diese Reduktionen sind in Abbildung 14 zusammengefasst.

Beim Winterweizen liegen die Reduktionen in den vier Regionen zwischen 16,8 % im Westen (orange) und 33,3 % im Norden (grün). Die Regionen Ost (dunkelblau) und Süd (hellblau) liegen mit 27,4 % und 22,2 % dazwischen. Insgesamt (lila) konnte der Stickstoffeinsatz im Winterweizen im Schnitt aller Regionen durch die Direktsaat um 23,3 % gesenkt werden. Beim Winterraps fällt die Gesamtreduktion mit 9,1 % geringer aus. Die Reduktion in den Regionen reicht von 6,5 % im Norden bis zu 11,5 % im Westen. Beim Mais liegt die Gesamtreduktion bei 6,7 %, wobei die Reduktionen hier in den nördlichen und südlichen Regionen bei 20,2 % und 18,4 % liegen, im Westen jedoch nur bei 3,27 % und im Osten bei -4,4 %. Bei der Wintergerste wurde in den Regionen Ost und West 26,8 %, beziehungsweise 16,9 % Stickstoff eingespart.

Dagegen liegt die Reduktion in den Regionen Nord und Süd bei 14,1 % und 6,9 %. Die Gesamtreduktion der Wintergerste beläuft sich somit auf 16,4 %.

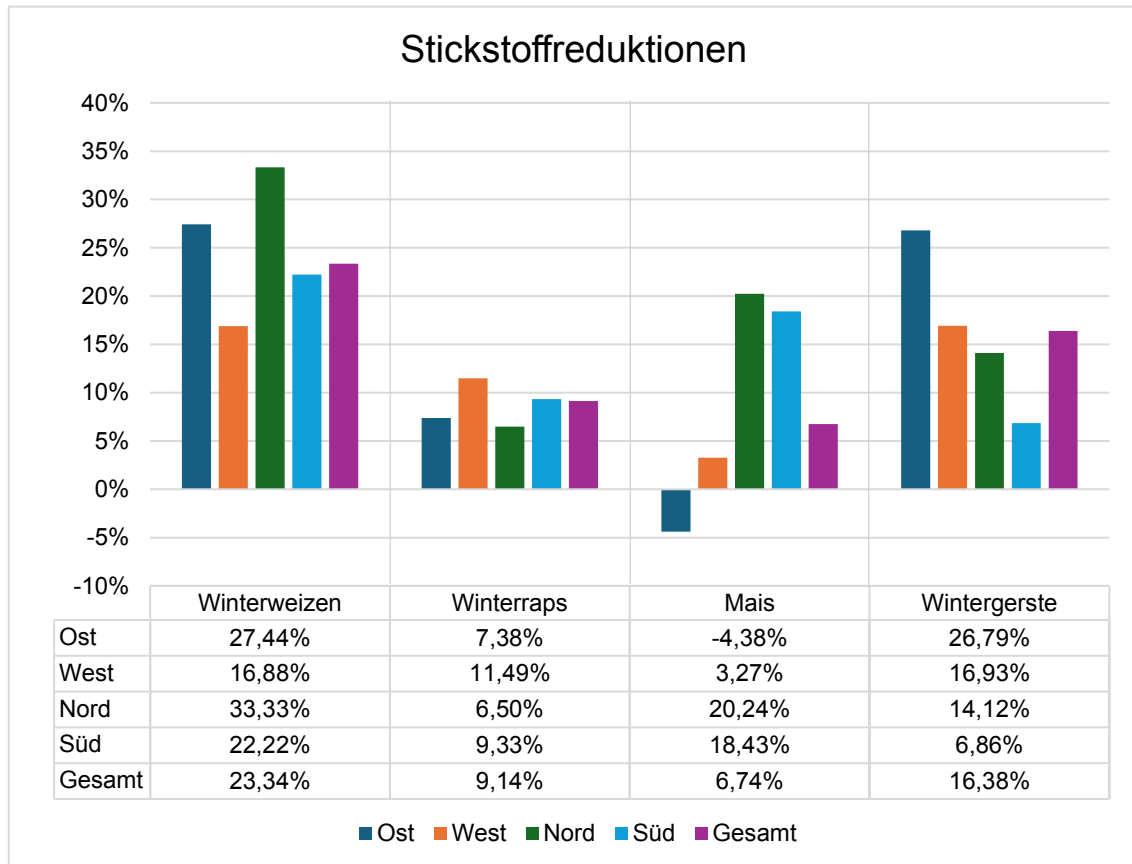


Abbildung 14: Stickstoffreduktionen der vier Kulturen und der vier Regionen

Die Gesamtreduktion des Stickstoffeinsatzes zwischen der konventionellen Variante und dem System der Conservation Agriculture beträgt über die drei Jahre, den vier Kulturen und den vier Regionen 15,20 %.

Die CULTAN-Düngung wird von den insgesamt 17 Betrieben von sechs Betrieben eingesetzt. Von manchen Betrieben in jedem Jahr und bei allen Kulturen, bei anderen Betrieben dagegen seltener, beziehungsweise nur in manchen Jahren oder Kulturen. Insgesamt wurden in dieser Arbeit 20182 kg N eingesetzt. Davon wurden 4312 kg N durch eine CULTAN-Düngung ausgebracht. Es wurden somit von dem in dieser Arbeit betrachteten Stickstoff 21,37 % in Form einer CULTAN-Düngung ausgebracht.

### 4.3 Ertrag

Der Vergleich der Erträge des CA-Systems und der des herkömmlichen konventionellen Systems lieferte folgende Ergebnisse. In Abbildung 15 ist die Relative Ertragsveränderung von einem herkömmlichen konventionellen System zu einem CA-System dargestellt. Bis auf den Raps wurden in dieser Auswertung keine Mindererträge festgestellt, sondern die Erträge konnten in der Direktsaat sogar gesteigert werden.

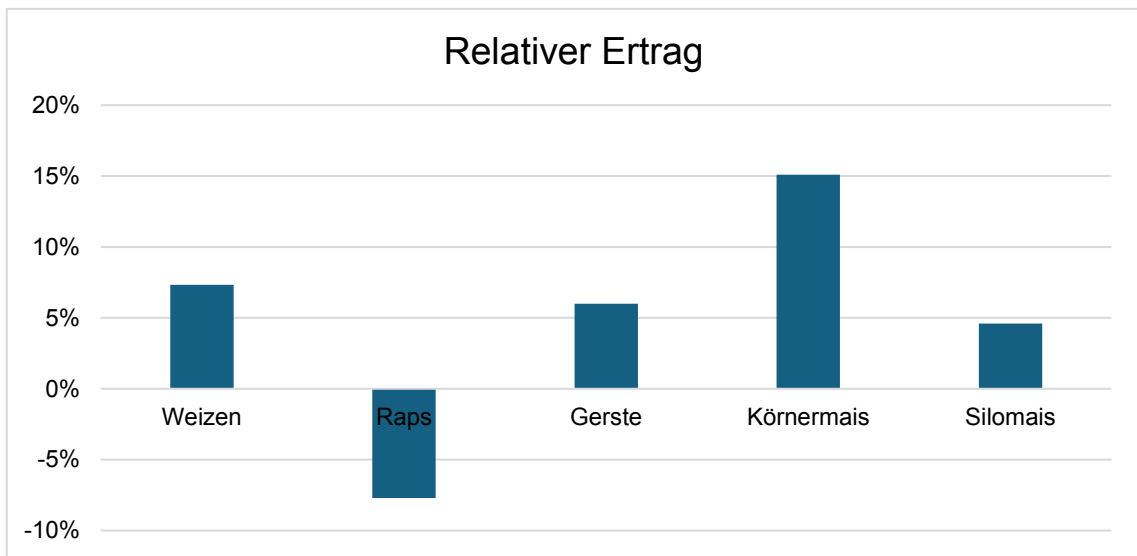


Abbildung 15: Relative Ertragsveränderung von konventionell zu Conservation Agriculture

#### 4.4 Dieselbedarf, Arbeitszeitbedarf und Feldüberfahrten

Die mit KTBL berechneten Werte für den Arbeitszeit- und Dieselbedarf für die drei Verfahren Pflug, Mulchsaat und Direktsaat sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Arbeitszeitbedarf und Dieselbedarf

<b>Szenario 1 (Pflug)</b>	Arbeitszeitbedarf (Akh/ha)	Dieselbedarf (l/ha)
1. Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	0,53	7,87
2. Grubbern mit Flügelschargrubber	0,47	6,99
3. Pflügen mit Drehverstellpflug, angebaut	0,96	24,63
4. Eggen mit Federzinkenegge, angebaut	0,43	6,4
5. Säen von Weizen, Ackerbohnen, Erbsen, Sojabohnen mit Kreiselegge und Sämaschine	0,89	18,37
<b>Szenario 2 (Mulchsaat)</b>		
1. Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	0,53	7,87
2. Grubbern mit Flügelschargrubber	0,47	6,99
3. Grubbern mit Tiefgrubber	0,74	16,68
4. Eggen mit Federzinkenegge, angebaut	0,43	6,4
5. Säen von Weizen, Ackerbohnen, Erbsen, Sojabohnen mit Kreiselegge und Sämaschine	0,89	18,37
<b>Szenario 3 (Direktsaat)</b>		
1. Säen von Grassamen, Klee gras mit Direktsaatmaschine	0,57	7,32
2. Pflanzenschutzspritze, angehängt	0,15	1,21
3. Säen von Weizen, Ackerbohnen, Erbsen; Sojabohnen mit Direktsaatmaschine	0,61	7,68

(Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.)

In Tabelle 3 sind der Gesamtarbeitszeitbedarf und der gesamte Dieserverbrauch der unterschiedlichen Verfahren aufsummiert dargestellt. Zusätzlich ist angegeben, wie hoch die Reduktionen von Pflug zur Direktsaat und von Mulchsaat zur Direktsaat sind.

Tabelle 3: Summe des Arbeitszeitbedarfs und Dieselbedarfs und Reduktionen

	Arbeitszeitbedarf (Akh/ha)	Dieselbedarf (l/ha)
Pflugvariante	3,28	64,26
Mulchsaat	3,06	56,31
Direktsaat	1,33	16,21
Reduktion Pflug - Direktsaat	59,45 %	74,77 %
Reduktion Mulchsaat - Direktsaat	56,54 %	71,21 %

Der Arbeitszeitbedarf liegt bei der Pflugvariante bei 3,28 Akh/ha und bei der Mulchsaat bei 3,06 Akh/ha. Bei der Direktsaat dagegen beträgt die Arbeitszeit 1,33 Akh/ha. Somit ergibt sich von dem Szenario Pflug zu Direktsaat eine Reduktion von 59,45 %. Zwischen der Mulchsaatvariante und der Direktsaat beträgt die Reduktion demnach 56,54 %.

Beim Dieselbedarf zeichnet sich ein ähnliches Bild ab. Dieser beträgt bei dem Pflugszenario 64,26 l/ha für die Bodenbearbeitung und Aussaat und bei der Mulchsaatvariante 56,31 l/ha. Bei der Direktsaat beträgt der Dieselbedarf für die Aussaat der Zwischenfrucht und der Hauptkultur 16,21 l/ha. Somit ergibt sich eine Reduktion zwischen der Pflugvariante und der Direktsaat von 74,77 % und zwischen Mulchsaat und Direktsaat eine Reduktion von 71,21 %.

Betrachtet man die Anzahl der in Tabelle 2 dargestellten Arbeitsverfahren in den unterschiedlichen Varianten, so fällt auf, dass bei Pflug und Mulchsaat jeweils fünf Feldüberfahrten nötig sind, um die Aussaat vorzunehmen. Bei der Direktsaat sind lediglich drei Feldüberfahrten nötig, wo von eine dieser Überfahrten mit der Feldspritze mit größerer Arbeitsbreite stattfindet und eine Überfahrt die Aussaat der Zwischenfrucht darstellt.

## 5 Diskussion

Die in Kapitel 4.1 vorgestellten Ergebnisse der Pflanzenschutzmittelauswertung zeigen insgesamt eine deutliche Reduzierung der Toxizität von einem herkömmlichen konventionellen Verfahren hin zur Conservation Agriculture. Betrachtet man die Toxizität bei Winterweizen (Abbildung 3), Winterraps (Abbildung 4) und bei der Wintergerste (Abbildung 6) fällt auf, dass vor allem die Herbizide bei diesen Kulturen in der konventionellen Variante eine wesentlich höhere Toxizität aufweisen als in der CA-Variante.

Die Behauptung, dass bei einem Direktsaatsystem mehr Herbizide eingesetzt werden müssen, da Segetalflora nicht mehr mechanisch eingedämmt werden kann, wird durch diese Ergebnisse somit widerlegt. Im konventionellen System werden nach der Aussaat meist Bodenherbizide eingesetzt, um auflaufende Unkräuter und Gräser zu beseitigen. Diese Bodenherbizide enthalten Wirkstoffe, die eine sehr hohe Toxizität aufweisen. Im CA-System dagegen kann oftmals auf diese Bodenherbizide verzichtet werden. Zum einen sind die Böden in diesem System bei der Aussaat meist mit einer Multschicht aus Ernteresten oder Zwischenfrüchten bedeckt, wodurch eine Applikation von Bodenherbiziden oftmals nicht sinnvoll ist, da diese durch die Multschicht abgefangen werden und somit nicht am Boden ankommen. Zum anderen erfolgt die Aussaat ohne nennenswerte Bodenbewegung, wodurch keine Segetalflora zum Keimen angeregt wird.

Da eine mechanische Beseitigung von Altverunkrautung, Ausfallgetreide oder nicht abgestorbenen Zwischenfrüchten vor der Aussaat einer Hauptkultur in diesem System nicht möglich ist, wird wenige Tage vor der Saat Glyphosat angewendet. Da der Wirkstoff Glyphosat aber eine sehr geringe Toxizität aufweist, ist die Anwendung wesentlich verträglicher für Mensch, Tier und Umwelt.

Der Wirkstoff Glyphosat ist somit ein wichtiges Werkzeug im System der Conservation Agriculture. In der herkömmlichen Landwirtschaft werden andere Werkzeuge eingesetzt, die in Bezug auf ihre Auswirkungen als umweltschädlicher gesehen werden können.

Eine Bodenbearbeitung kann mit ihren vielen Folgen und Nachteilen (Erosion, Eingriff in das Bodenleben, Verringerung der organischen Substanz, Auswaschung von Nährstoffen, etc.) für Mensch, Tier und Umwelt kritischer zu betrachten sein als der Einsatz von Glyphosat.

Die wesentlich höhere Toxizität der Herbizide bei dem konventionellen System (Abbildung 3, 4 und 5) liegt somit überwiegend an den giftigeren Pflanzenschutzmitteln, die in diesem System nötig sind. Ein weiterer Grund ist auch das geringere Unkrautauflaufen im Direktsaatssystem. Hierbei werden keine Unkrautsamen durch Bodenbearbeitung verschüttet und konserviert, welche dann Jahre später, bei erneuter Bodenbearbeitung wieder an die Oberfläche geholt werden und auflaufen. Der Samenvorrat in den obersten Zentimetern nimmt somit im Laufe der Jahre ab, wodurch auch der Herbizidaufwand reduziert werden kann.

Betrachtet man die Toxizität bei Mais in Abbildung 5 fällt auf, dass die Toxizitätsunterschiede mit einer Reduktion um 26,6 % von dem konventionellen System zu dem Direktsaat System nicht so hoch sind wie bei Weizen, Raps und Gerste. Das liegt daran, dass beim Mais insgesamt weniger Herbizide eingesetzt werden, wodurch das Reduzierungspotential nicht so groß ist. Aber auch hier erfolgt eine Reduzierung der Toxizität, die sich vor allem darauf zurückführen lässt, dass im CA-System vermehrt Glyphosat, welches wie zuvor erwähnt eine sehr geringe Toxizität hat, eingesetzt wird und somit auf toxischere Wirkstoffe verzichtet werden kann.

Vergleicht man den Einsatz der Fungizide im Winterweizen, Winterraps und der Wintergerste (Abbildung 3, 4 und 6), zeigt sich auch hier eine deutliche Reduktion der Toxizität zwischen konventionell und CA. Wie schon im Literaturteil beschrieben, ist diese Reduktion auf eine vielfältigere Fruchtfolge, auf Diversifizierung im Anbau und auf eine verbesserte Bodengesundheit zurückzuführen. Aber auch die häufiger eingesetzte Ammoniumdüngung im CULTAN-Verfahren trägt dazu bei. Die Pflanzen sind somit widerstandsfähiger gegenüber Krankheiten, wodurch der Fungizideinsatz reduziert werden kann.

Auch der Einsatz von Wachstumsregler kann im CA-System deutlich reduziert werden. Diese Reduktion kann auch wieder auf eine ammoniumbetonte Pflanzenernährung zurückgeführt werden.

Betrachtet man die Insektizide im Winterraps, so fällt auf, dass diese von der konventionellen Variante hin zur Direktsaatvariante um 82,4 % (Abbildung 8) reduziert werden können. Der Winterraps stellt eine Frucht dar, die aufgrund der vielen Schadinsekten, die dieser Kultur erheblichen Schaden zufügen können, sehr insektizidintensiv ist. Somit besteht hier ein hohes Reduzierungspotential, welches durch die Direktsaat genutzt wird. Die Einsparung von Insektiziden hängt mit dem Verzicht auf Bodenbearbeitung zusammen. In herkömmlichen Systemen wird der Lebensraum der Bodenlebewesen sowie anderer Kleinstlebewesen und Insekten immer wieder durch Bodenbearbeitung zerstört. Somit werden zum einen auch Schädlinge kontrolliert, zum anderen aber auch viele Nützlinge zerstört. In der Conservation Agriculture werden durch die fehlende Bodenbearbeitung vor allem die Nützlinge gefördert, indem ihr Lebensraum nicht gestört wird, sondern durch die Auflage von Ernterückständen und Zwischenfrüchten ein Lebensraum geschaffen wird. Somit kann eine Schädlingsreduktion bei langjähriger Direktsaat durch die erhöhte Anzahl an Nützlingen erfolgen. Neben Insekten werden auch andere Lebewesen durch das Weglassen von Bodenbearbeitung gefördert, wie zum Beispiel Bodenbrüter und Niederwild. Die These, dass in der Direktsaat weniger Insektizide eingesetzt werden als in herkömmlichen Verfahren, kann somit bestätigt werden.

Betrachtet man den Insektizideinsatz in Winterweizen und der Wintergerste zeichnet sich jedoch ein etwas anderes Bild. In diesen Kulturen werden nur selten Insektizide eingesetzt, da der Druck und der Schaden der Schadinsekten wesentlich geringer als bei Raps sind. Da der Stichprobenumfang dieser Studie mit 17 Betrieben und 153 Schlägen relativ gering ist, wirken sich einzelne wenige Insektizidmaßnahmen sehr stark auf das Gesamtergebnis aus, womit die Erhöhungen beim Winterweizen und der Wintergerste begründet werden können.

Da viele konventionelle Landwirte schon Pflanzenschutzmittel einsparen, sei es durch alternative biologische Mittel oder durch eine breitere Fruchtfolge, wurden die Daten der Direktsaatbetriebe mit einer extensiven Pflanzenschutzvariante verglichen.

Vor allem der Wachstumsregler- und Fungizideinsatz wurden in dieser Variante reduziert. Die Ergebnisse (Abbildung 9) zeigen jedoch ein ähnliches Bild wie bei der konventionellen intensiven Variante. Die Gesamtreduktionen fallen nur 3 – 5 % geringer aus als bei der intensiven Variante. Somit konnte dargelegt werden, dass die Conservation Agriculture nicht nur gegenüber normalen (intensiven) Betrieben Pflanzenschutzmittel reduzieren kann, sondern auch gegenüber extensiv wirtschaftenden Betrieben, die schon PSM einsparen.

Neben dem Pflanzenschutzmitteleinsatz wird im System der Conservation Agriculture auch der Stickstoffeinsatz reduziert. Diese Reduktion ist zum einen auf die CULTAN-Düngung zurückzuführen, welche von sechs der 17 analysierten Betrieben eingesetzt wird. Durch diese Art der Düngung steht der Stickstoff den Pflanzen über einen langen Zeitraum zur Verfügung, da er in einem stabilen Ammoniumdepot vorliegt und nicht durch Nitrifikation in auswaschungsgefährdetes Nitrat umgewandelt wird. Das Ammonium wird nur langsam freigesetzt, wodurch eine Überversorgung der Pflanzen vermieden wird. Die Pflanzen nehmen den Stickstoff effektiver auf und nutzen ihn besser, wodurch geringere Stickstoffmengen notwendig sind. Zum anderen wird der gedüngte Stickstoff sowie andere Nährstoffe, wie in Kapitel 2.3.2.2 beschrieben, in einem unbearbeiteten Boden nicht so stark ausgewaschen, wie es in einem bearbeiteten Boden der Fall ist. Somit stehen die Nährstoffe den Pflanzen zur Verfügung und es kann auf eine höhere Düngergabe verzichtet werden. Dennoch ist Stickstoffdüngung gerade in den Anfangsjahren der Direktsaat sehr wichtig, um die fehlende Mineralisation durch Bodenbearbeitung auszugleichen.

Betrachtet man die in Abbildung 14 dargestellten Stickstoffreduktionen fällt auf, dass diese zwischen den Regionen stark variieren. Eine Erklärung hierfür ist der geringe Stichprobenumfang. Dadurch wirken sich einzelne Schläge, auf denen überdurchschnittlich viel oder überdurchschnittlich wenig Stickstoff eingesetzt wird, sehr stark auf das durchschnittliche Ergebnis aus. Aber auch die Vergleichswerte der konventionellen Betriebe sind nur Durchschnittswerte und können in der Praxis sowohl nach oben als auch nach unten abweichen.

Trotz der hohen Reduktionen beim Pflanzenschutz und den Reduktionen bei der Stickstoffdüngung werden in der Conservation Agriculture gleiche, wenn nicht sogar höhere Erträge, wie bei der herkömmlichen konventionellen Variante, erzielt.

Die in dieser Analyse berechneten höheren Erträge sind jedoch mit Vorsicht zu betrachten. Bei den Vergleichsdaten handelt es sich um Durchschnittswerte der Regionen. Es kann durchaus vorkommen, dass Direktsaatlandwirte in manchen Jahren auch geringere Erträge als ihre herkömmlich wirtschaftenden Nachbarn erzielen. Was aber nicht zu vernachlässigen ist, ist die Ertragsstabilität in Extremjahren. Zum Beispiel fallen die Erträge in trockenen Jahren bei Direktsaatlandwirten nicht so stark ab wie bei herkömmlich wirtschaftenden Landwirten. Das hängt damit zusammen, dass Direktsaatböden ein besseres Wasserhaltevermögen haben und oftmals auch höhere Humuswerte aufweisen als Böden, die bearbeitet werden.

Die Ergebnisse der Auswertung des Dieselbedarfs und der Arbeitszeit sind sehr eindeutig und sprechen für die Conservation Agriculture. Mit einer Dieseleinsparung von 48 Litern bei der Pflugvariante auf Direktsaat, beziehungsweise 40 Litern je Hektar von Mulchsaat auf Direktsaat wurden die in Kapitel 2.3.3 angegebenen 29 Liter nicht nur belegt, sondern sogar übertroffen. Bei einer derartigen Dieseleinsparung von über 70 % werden sowohl die Betriebskosten stark reduziert als auch CO<sub>2</sub> eingespart. Jedoch muss bei dieser Auswertung beachtet werden, dass die berechneten Reduktionen nicht für den gesamten Dieserverbrauch eines Betriebes gelten, sondern in diesem Fall nur die Vorbereitung der Aussaat und die Aussaat an sich betrachtet wurden.

Die Verringerung des Arbeitszeitbedarfs um knapp 60 % bewirkt nicht nur eine Reduktion von Arbeitsspitzen, sondern reduziert auch Maschinenkosten. Die genaue Einsparung an Maschinenkosten wurde in diesem Fall zwar nicht berechnet, jedoch liegt diese Einsparung ungefähr auf einem Niveau mit der Arbeitszeitreduktion, da für die durchgeführten Arbeiten immer Maschinen benötigt werden. Dadurch, dass deutlich weniger Maschinenstunden anfallen, kann in vielen Fällen der Maschinenpark reduziert werden, wodurch Kosten gespart werden.

Aber auch Neuanschaffungen müssen seltener getätigt werden, da die Maschinen eine geringere Auslastung haben. Das senkt nicht nur die Betriebskosten, sondern auch den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck.

Ein wesentlicher Punkt, der bei der Analyse aussen vor gelassen wurde, ist die Verstärkung der Reduktionen durch eine langjährige Direktsaat. Wird auf einem Feld das CA-System mehrere Jahre konsequent umgesetzt, wird der Boden weiter aufgebaut, die Bodenfruchtbarkeit steigt und die Nährstoffe nehmen weiter zu, wodurch immer mehr Pflanzenschutz- und Düngemittel eingespart werden können.

Außerdem muss bei dieser Studie berücksichtigt werden, dass ausschließlich Getreide und Raps betrachtet wurden. Die Landwirtschaftliche Produktion ist jedoch weitaus vielfältiger. Es kann somit in dieser Studie keine Aussage darüber getroffen werden, wie groß das Einsparpotential bei beispielsweise Kartoffeln oder anderen Gemüsearten ist und inwiefern diese Kulturen in das System der Conservation Agriculture integriert werden können.

## 6 Fazit

Wie in der Einleitung beschrieben steht die Landwirtschaft vor vielen Herausforderungen in der Zukunft. Es gibt unterschiedliche Ansätze, wie diese Probleme angegangen werden können. Von politischer Seite werden oftmals pauschale Verbote oder Einschränkungen zur Lösung der Probleme auferlegt. Weshalb die Conservation Agriculture ein Lösungsansatz für viele der Probleme ist, wurde in dieser Arbeit dargelegt.

Um die Bevölkerung zu ernähren, ist Ackerbau notwendig. Der Ackerbau stellt immer einen Eingriff in die Natur dar. Jedoch ist der Eingriff von System zu System unterschiedlich. Findet der Eingriff in der herkömmlichen Landwirtschaft durch Bodenbearbeitung und Pflanzenschutzmittel statt, so wird in der Conservation Agriculture auf eine Bodenbearbeitung verzichtet. Somit wird ein Verlust des fruchtbaren Oberbodens durch Erosion vorgebeugt, wodurch auch die nächsten Generationen auf fruchtbaren Böden Ackerbau betreiben können. Zusätzlich kann der Pflanzenschutzmitteleinsatz, der Düngemiteleinsetz und der Einsatz von Diesel stark reduziert werden und das ohne pauschale Verbote. Die Verringerung dieser Betriebsmittel ist darauf zurückzuführen, dass die Conservation Agriculture ein ganzheitliches System abbildet, in dem der Boden nicht gestört wird, der Bodenaufbau und das Bodenleben gefördert werden und Pflanzen bedarfsgerechter mit Nährstoffen versorgt werden. Auf den „gesünderen“ Böden wachsen somit auch gesündere Pflanzen, wodurch auf natürliche Art und Weise Fungizide, Insektizide und Wachstumsregler eingespart werden können. Landwirte, die das CA-System umsetzten, setzten vermehrt auch auf eine ammoniumbasierte Düngung beziehungsweise auf das CULTAN-Verfahren. Durch diese Art der Düngung kann nicht nur Stickstoff eingespart werden, sondern auch Pflanzenschutzmittel. Durch die Einsparung von Pflanzenschutz- und Düngemitteln, aber auch durch die Vermeidung von Erosion wird verhindert, dass diese Betriebsmittel in Oberflächengewässer oder andere Ökosysteme gelangen.

Auch der CO<sub>2</sub>-Ausstoß, welcher aufgrund des Klimawandels zunehmend an Bedeutung gewinnt, wird durch dieses System reduziert. Hier ist vor allem der wesentlich geringere Dieserverbrauch, aber auch seltenere Neuanschaffungen und eine längere Haltbarkeit der Maschinen ausschlaggebend.

Trotz der Reduktionen vor allem bei Pflanzenschutz und Dünger können die Erträge in der Conservation Agriculture auf einem hohen stabilen Niveau gehalten werden, wodurch eine Ernährung der Bevölkerung nachhaltig gesichert ist.

Das System der Conservation Agriculture stellt somit ein System dar, welches für viele, der in der Einleitung angesprochenen Probleme, einen Lösungsansatz bietet. Sei es der Pflanzenschutzmitteleinsatz, der Düngemiteleinsetz, oder der Verlust des fruchtbaren Oberbodens, der die Grundlage unserer Nahrungsmittelproduktion stellt, die Conservation Agriculture kann diese Probleme durch ein ganzheitliches System auf natürliche Art und Weise lösen und stellt somit eine zukunftsfähige, nachhaltige Praxis dar.

## Literaturverzeichnis

Banerjee, S. et al., 2024. Biotic homogenization, lower soil fungal diversity and fewer rare taxa in arable soils across Europe. In: Nature Communications.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. von:  
<https://www.lfl.bayern.de/ipz/index.php>

Busch, M., 2023. Vorsorge gegen Bodenerosion. In: Gute fachliche Praxis-  
Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz, S. 77-115.

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. von:  
[https://www.bmel.de/DE/Home/home\\_node.html](https://www.bmel.de/DE/Home/home_node.html)

Chesapeake Bay Foundation, 2024. Chesapeake Bay Foundation -  
Regenerative Agriculture. Abgerufen am 19.04.2024 von:  
<https://www.cbf.org/issues /agriculture/regenerative-agriculture.html>.

Dehler, M., 2022. Möglichkeiten zur Reduzierung des Pflanzenschutzmittel-  
Einsatzes im Ackerbau. Thünen Institut.

Derpsch, R., 2022. Grundsätze zum Verständnis der Bodenerosion in der  
Agrarwirtschaft.

Derpsch, R. et al., 2024. Nature's laws of declining soil productivity and  
Conservation Agriculture. In: Soil Security.

Dippel, S. et al., 2009. Risk factors for lameness in freestall-housed dairy cows  
across two breeds, farming systems, and countries. In: Journal of Dairy  
Science. S. 5476-5486.

FAO, 2021. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Abgerufen  
am 18.04.2024 von: [https://www.fao.org/newsroom/detail/FAO-Director-  
General-opens-the-8th-World-Congress-on-Conservation-Agriculture/en](https://www.fao.org/newsroom/detail/FAO-Director-General-opens-the-8th-World-Congress-on-Conservation-Agriculture/en).

FAO, 2022. Food and Agriculture Organization of the United Nations -  
Conservation Agriculture. Abgerufen am 25.03.2024 von:  
<https://www.fao.org/3/cb8350en/cb8350en.pdf>

FAO, 2022. The State of Food and Agriculture 2022. Leveraging automation in  
agriculture for transforming agrifood systems. In: The State of the World.

Freitag, M., Friedrich, T. & Kassam, A., 2024. The carbon footprint of Conservation Agriculture. In: International Journal of Agricultural Sustainability.

Friedrich, T., 2024. Die Landwirtschaft der Zukunft – für eine echte Agrarwende.

Ghosh, S., Das, T., Sharma, D. & Gupta, K., 2019. Potential of conservation agriculture for ecosystem services: A review. In: Indian Journal of Agricultural Sciences.

Graf, U., 2024. Agrardiesel im EU-Vergleich. In: Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt.

Jahangir, M. M. R. et al., 2022. Conservation Agriculture With Optimum Fertilizer Nitrogen Rate Reduces GWP for Rice Cultivation in Floodplain Soils.

Jat, R. A., Sahrawat, K. L., Kassam, A. H. & Friedrich, T., 2014. Conservation Agriculture for Sustainable and Resilient Agriculture: Global Status, Prospects and Challenges.

Jaworski, C. C., Krzywoszynska, A., Leake, J. R. & Dicks, L. V., 2023. Sustainable soil management in the United Kingdom: A survey of current practices and how they relate to the principles of regenerative agriculture. In: Soil Use and Management.

Jucker Farm AG, 2024. Juckerfarm. Abgerufen am 11.08.2024 von: <https://www.juckerfarm.ch/farmticker/hintergruende/die-5-regenerativen-prinzipien-teil-1/>

Kassam, A. et al., 2023. Förderung des Europäischen Green Deal im Bereich der Kulturpflanzenerzeugung: Konservierende Landwirtschaft und die Instrumente zu ihrer Umsetzung in Dänemark, Deutschland, Frankreich, Italien, Polen und Spanien.

Kassam, A., Friedrich, T., Derpsch, R. & Kienzle, J., 2015. Overview of the Worldwide Spread of Conservation Agriculture.

KTBL, 2014. Bodenbearbeitung und Bestellung - Definition von Bodenbearbeitungs- und Bestellsystemen. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL).

KTBL, 2024. Feldarbeitsrechner. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL). Abgerufen am 22.03.2024 von:  
<https://www.ktbl.de/webanwendungen/feldarbeitsrechner>

Laermann, H. T., 1987. Wachstumsregler im neuen Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen. Stuttgart: Eugen Ulmer GmbH & Co.

Lal, R., 2001. Soil degradation by erosion. In: Land degradation & development. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen von:  
<https://www.landwirtschaftskammer.de/index.htm>

Lezovic, G. & Kleffmann Group, 2011. Wo stehen wir derzeit? In: Landwirtschaft ohne Pflug.

Moyer, J., Smith, A., Rui, Y. & Hayden, J., 2020. Regenerative Agriculture and the soil carbon solution. In: Rodale Institute.

Mur, L. et al., 2016. Moving nitrogen to the centre of plant defence against pathogens. In: Annals of Botany.

Näser, D., 2024. Regenerative Landwirtschaft. Abgerufen am 22.04.2024 von:  
[<https://www.regenerative-landwirtschaft.de/definition.html>

Neve, P. et al., 2024. Current and future glyphosate use in European agriculture. In: Weed Research.

Oyeogbe, A. I., 2021. Nitrogen Management in Conservation Agriculture.

Rejesus, R. M. et al., 2023. Long-term economic impacts of no-till adoption. In: Soil Security.

Rodale, R., 2024. Rodale Insitute. Abgerufen am 18.08.2024 von:  
<https://rodaleinstitute.org/why-organic/organic-basics/regenerative-organic-agriculture/>

Rusinamhodzi, L. et al., 2011. A meta-analysis of long-term effects of conservation agriculture on maize grain yield under rain-fed conditions. In: Agronomy for Sustainable Development.

Salomon, M. & Kuhn, T., 2022. Stickstoffeinträge aus der Landwirtschaft - ein überwindbares Hindernis bei der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie? In: Wasser, Energie und Umwelt.

- Schlichenmaier, T., 2022. Die 5 Prinzipien der Regenerativen Landwirtschaft.
- Seitz, T., Hoffmann, M. & Krähmer, H., 2003. Herbizide für die Landwirtschaft: Chemische Unkrautbekämpfung.
- Sommer, C., Zach, M. & Dambroth, M., 1986. Konservierende Bodenbearbeitung – ein Konzept für strukturelabile, erosionsgefährdete Böden. DLG.
- Sommer, K., 2005. CULTAN-Düngung Physiologisch, ökologisch, ökonomisch optimiertes Düngungsverfahren für Ackerkulturen, Grünland, Gemüse, Zierpflanzen und Obstgehölze.
- Sun, Y. et al., 2020. Unravelling the Roles of Nitrogen Nutrition in Plant Disease Defences. In: International Journal of Molecular Sciences.
- Umweltbundesamt, 2022. Bodenerosion durch Wasser. Abgerufen am 28.04.2024 von: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-flaeche/bodenbelastungen/bodenerosion/bodenerosion-durch-wasser#undefined>
- Umweltbundesamt, 2024. Indikator: Nitrat im Grundwasser. Abgerufen am 29.06.2024 von: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren/indikator-nitrat-im-grundwasser#die-wichtigsten-fakten>
- Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e. V. von: <https://www.ufop.de/>
- Uri, N., Atwood, J. & Sanabria, J., 1998. The environmental benefits and costs of conservation tillage. Science of the Total Environment.
- Vrska, I. P. I., 2019. Regenerative Agriculture and the problem of sustainability - contributions for a discussion.
- Zhang, K., Wu, Y. & Hang, H., 2019. Differential contributions of  $\text{NO}_3^-$  /  $\text{NH}_4^+$  to nitrogen use in response to a variable inorganic nitrogen supply in plantlets of two Brassicaceae species in vitro. In: Plant Methods.

## Anhang

Als Anhang wurde ein USB-Datenträger der Arbeit beigelegt, auf dem sich alle Rohdaten, die für die Arbeit relevant sind, befinden.

## Erklärung

Verfasser/in \_\_\_\_\_ (Name, Vorname):  
Niedermüller, Hannes

Betreuer/in \_\_\_\_\_ (Name, Vorname):  
Prof. Dr. Groß, Ulrich

Thema der Arbeit:

Konservierende Landwirtschaft  
(Conservation Agriculture) und konventionelle  
Landwirtschaft - Betriebsmittelanalyse

Ich erkläre hiermit, dass ich die Arbeit gemäß § 35 Abs. 7 RaPO (Rahmenprüfungsordnung für die Hochschulen für angewandte Wissenschaften in Bayern) selbstständig verfasst, noch nicht anderweitig zu Prüfungszwecken vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benutzt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Birnenfeld	01.10.2024	H. Niedermüller
Ort	Datum	Unterschrift Verfasser/in

## Erklärung bzgl. der Zugänglichkeit von Bachelor-/Masterarbeiten

Verfasser/in (Name, Vorname): Niedermüller Hannes  
Betreuer/in (Name, Vorname): Prof. Dr. Groß Ulrich  
Thema der Arbeit: Konservierende Landwirtschaft (Conservation Agriculture) und konventionelle Landwirtschaft – Betriebsmittelanalyse

Ich bin damit einverstanden, dass die von mir angefertigte Arbeit mit o.g. Titel innerhalb des Bibliothekssystems der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf aufgestellt und damit einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird. Die Arbeit darf im Bibliothekskatalog der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (und zugeordneten Verbundkatalogen) nachgewiesen werden und steht allen Interessierten entsprechend der jeweils gültigen Nutzungsmodalitäten der Hochschulbibliothek der HSWT zur Verfügung. Ich bin mir auch darüber im klaren, dass die Arbeit damit von Dritten ohne mein Wissen kopiert werden kann.

Die Veröffentlichung der Arbeit habe ich mit meiner Betreuerin bzw. meinem Betreuer und falls zutreffend, mit der Firma/ Institution abgesprochen, die eine Mitbetreuung übernommen hatte.

- Ja  
 Ja, nach Ablauf einer Sperrfrist von \_\_\_\_ Jahren  
 Nein

Birchfeld , 01.10.2024 H. Niedermüller  
Ort Datum Unterschrift Verfasser/in

### Fachgebiet:

#### **Umweltsicherung**

- Abfall  
 Boden  
 Wasser  
 Analytik, Mikrobiologie  
 Ökologie & Naturschutz  
 Umwelttechnik, EDV  
 Verwaltung, Recht, Wirtschaft  
 Umweltmanagement  
 Erneuerbare Energien

#### **Landwirtschaft**

- Pflanzliche Erzeugung  
 Tierische Erzeugung  
 Agrarökonomie  
 Landtechnik  
 Erneuerbare Energien  
 Agrarökologie  
 Ökologische Landwirtschaft

#### Ernährung und Versorgungsmanagement

#### Agrartechnik

#### Lebensmittelmanagement

#### **Master:**

- Energiemanagement und Energietechnik  
 MBA Agrarmanagement  
 MBA Regionalmanagement

Als Betreuer/in bin ich mit der Aufnahme in das Bibliothekssystem der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf einverstanden.

\_\_\_\_\_  
Ort Datum Unterschrift Betreuer/in