



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Bachelor-Studiengang Agrarwirtschaft

Bachelorarbeit

Auswirkungen reduzierter Bodenbearbeitung auf Nährstoffverfügbarkeit, Bodengefüge und Bodenleben

Zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Science

Vorgelegt von: Julius Install

Erstprüfer: Prof. Dr. Bernhard Seggewiß

Zweitprüfer: Dipl.-Ing. agr. Bernd Schulze

URN: urn:nbn:de:gbv:519-thesis2019-0031-3

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	2
1.1	Definition von reduzierter Bodenbearbeitung.....	2
1.2	Bedeutung von reduzierter Bodenbearbeitung.....	2
2	Auswirkungen auf die Nährstoffverfügbarkeit.....	3
2.1	Humus.....	3
2.1.1	Bedeutung von Humus.....	3
2.1.2	Auswirkungen auf den Humusgehalt.....	4
2.2	Stickstoff.....	6
2.2.1	Bedeutung von Stickstoff.....	6
2.2.2	Auswirkungen auf die Stickstoffverfügbarkeit.....	6
2.3	Phosphor.....	7
2.3.1	Bedeutung von Phosphor.....	7
2.3.2	Auswirkungen auf die Phosphorverfügbarkeit.....	8
2.4	Kalium.....	9
2.4.1	Bedeutung von Kalium.....	9
2.4.2	Auswirkungen auf die Kaliumverfügbarkeit.....	9
3	Auswirkungen auf das Bodengefüge.....	9
3.1	Wasserhaushalt.....	9
3.1.1	Wasseraufnahmefähigkeit.....	10
3.1.2	Speicherfähigkeit.....	11
3.1.3	Verdunstung.....	12
3.2	Befahrbarkeit.....	12
4	Auswirkungen auf das Bodenleben.....	13
4.1	Bedeutung von Bodenleben für den Pflanzenbau.....	13
4.2	Regenwurmpopulation.....	14
5	Exkurs in andere Auswirkungsbereiche.....	17
5.1	Ökonomie.....	17
5.2	Pflanzenschutz.....	19
5.3	Fruchtfolgeaspekte.....	19
6	Diskussion.....	20
7	Zusammenfassung.....	21
8	Eidesstattliche Erklärung.....	23
9	Literaturverzeichnis.....	24
10	Abbildungsverzeichnis.....	25

1 Einleitung

1.1 Definition von reduzierter Bodenbearbeitung

Die reduzierte Bodenbearbeitung beschreibt ein System der Landwirtschaft, in welchem dem Bodengefüge und dem Bodenleben besondere Aufmerksamkeit gewidmet wird. Als oberste Regel gilt hierbei, dass jeder mechanische Eingriff dem Boden Schaden zufügen kann. Deshalb werden die Bearbeitungshäufigkeit und die Bearbeitungstiefe so stark wie möglich reduziert.

Die reduzierte Bodenbearbeitung ist „ein kontinuierlicher Verzicht auf jegliche mechanische Störung des Bodens, oder nur minimale Störung des Bodens“ (T.Friedrich, et al.)

1.2 Bedeutung von reduzierter Bodenbearbeitung

Wie in der Definition schon erklärt, wird die Bearbeitungsintensität in diesem Verfahren stark reduziert. Um zu erkennen welche Unterschiede sich aus den einzelnen Verfahren ergeben muss man einige andere verbreitete Verfahren kurz beschreiben:

Als konventionelle Bodenbearbeitung wird das System bezeichnet, welches den Pflug als Hilfsmittel zur Grundbodenbearbeitung nutzt. Die Bearbeitungstiefe liegt hierbei bei maximal 25-30 Zentimetern. Der Boden auf der maximalen Tiefe ganzflächig geschnitten und um circa 270 Grad gedreht. Dies bewirkt ein sauberes Saatbeet, welches in der Regel frei von Ernterückständen ist. Die Ernterückstände der Vorfrucht werden dabei im kompletten Horizont gleichmäßig eingemischt. Die fatalste Auswirkung des Pflügens ist, dass Entstehen einer sogenannten Pflugsohle. Ein Bearbeitungshorizont der ganzflächig entsteht, und der eine tiefere Durchwurzelung des Bodens massiv behindert.

Als weiteres System lässt sich die Mulchsaat abgrenzen. Die Bearbeitungstiefe ist der des Pfluges sehr ähnlich. Allerdings wird statt des Pfluges zur Grundbodenbearbeitung ein sogenannter Mulchsaatgrubber benutzt. Dieser Grubber verhindert die Bildung einer Pflugsohle, weil kein ganzflächiger Schnitt des Bodens erfolgt. Allerdings bleiben einige Erntereste der Vorfrucht an der Oberfläche.

Die reduzierte Bodenbearbeitung, welche diese Arbeit thematisiert, ist eine Auswahl verschiedener Verfahren. In der Regel wird eine Arbeitstiefe von 15 Zentimetern nicht überschritten. Dabei ist es zwangsläufig nicht möglich die Erntereste vollständig einzumischen. Das ist bei diesem Verfahren auch nicht erwünscht, denn die Erntereste sollen als Erosionsschutz und als Nahrung für das Bodenleben dienen. Die Veränderungen, die dieses Verfahren mit sich bringt, sollen in dieser Arbeit erläutert und erklärt werden.

Mit der Reduzierung der Bodenbearbeitung ist es außerdem auch nötig, das komplette Bewirtschaftungssystem anzupassen. Die Fruchtfolge muss abgestimmt werden, sodass sich Verluste bei der Ernte der Vorfrucht nicht negativ auf die Folgekultur auswirken können. Um den gewünschten Humusaufbau bestmöglich zu unterstützen ist es außerdem vorteilhaft, zwischen den Hauptkulturen die dauerhafte Durchwurzelung mit Hilfe von Zwischenfrüchten zu gewährleisten.

2 Auswirkungen auf die Nährstoffverfügbarkeit

2.1 Humus

2.1.1 Bedeutung von Humus

Der Begriff Humus bezeichnet den gesamten Anteil an organischer Substanz, die durch mechanische und mikrobielle Zerkleinerung von pflanzlichen und tierischen Überresten entstehen. Dabei lässt sich der Humus in zwei Kategorien einteilen.

Der Dauerhumus umfasst die Huminstoffe. Diese Stoffe besitzen einen hochpolymeren Aufbau und sind im Boden schwer zersetzbar. Häufig besitzen sie eine negative Ladung und sind für die Ionenaustauschkapazität eines Bodens verantwortlich. Unter idealen Bedingungen wie zum Beispiel im Verdauungstrakt von Bodenlebewesen wie dem Regenwurm, gehen die Huminstoffe eine enge Verbindung mit Tonmineralien ein, und bilden so die sogenannten Ton-Humus-Komplexe. Diese Ton-Humus-Komplexe verleihen einem Boden viele positive Eigenschaften, welche die Fruchtbarkeit steigern. Einige der wichtigsten Eigenschaften sind: die Verbesserung des Wasserhaushaltes, die Bildung von Krümelgefügen, die Förderung der Durchlüftung und die Anregung des Bodenlebens. Durch die dunkle Färbung ist der Boden außerdem in der Lage sich schneller zu erwärmen.

Der Nährhumus umfasst die niedermolekulare organische Substanz im Boden. Diese sind zum Beispiel: organische Säuren, Zucker, Aminosäuren, Hemicellulosen, Nucleinsäuren und Fette. Diese Substanzen können in kurzer Zeit von den im Boden lebenden Mikroorganismen abgebaut werden. Als Endprodukte dieses Prozesses bleiben Stoffe wie Kohlenstoffdioxid, Wasser, Ammoniak, Nitrate, Phosphate, Schwefelwasserstoffe und Spurenelemente übrig, die in die Bodenlösung übergehen und als wichtige Nährstoffe für die Pflanzen verfügbar sind. Aufgrund dieser Tatsache gelten die Nichthumine als Nährstoffspeicher, welche durch stetige Mineralisation, zu Teilen eine kontinuierliche Nährstoffversorgung der Kulturpflanzen gewährleisten können. (Amelung, et al., 2018)

2.1.2 Auswirkungen auf den Humusgehalt

Die reduzierte Bodenbearbeitung, sorgt durch fehlendes Einmischen der Erntesterne dafür, dass sich in der oberen Krume des Bodens vermehrt mikrobielle Biomasse ansammelt. Die mikrobielle Biomasse ist hierbei eng mit der umsetzbaren organischen Substanz verbunden. Sie stellt eine wichtige Nahrungsgrundlage für die Bodenorganismen dar. Abbildung 1 stellt die Verteilung der mikrobiellen Biomasse innerhalb des Bearbeitungshorizonts grafisch dar.

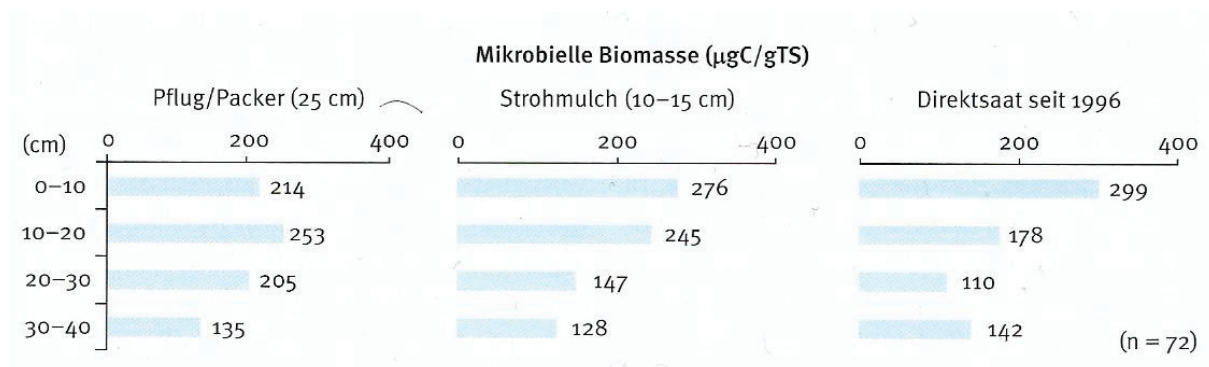


Abbildung 1: Gehalt an mikrobieller Biomasse in stark tonigem Schluff in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung in 0 bis 40 cm Tiefe (J.Bischoff, et al., Januar, 2018)

Am besten lässt sich der Anstieg der biologischen Aktivität mittels der β -Glucosidase-Aktivität und der Basalatmung veranschaulichen. Die β -Glucosidase ist ein Enzym welches maßgeblich am Umbau von organischer Substanz zu Mikroorganismen beteiligt ist, indem sie die Zellulose in den Erntesteren abbaut.

Die Basalatmung des Bodens gibt Aufschluss über die Fähigkeit des Bodens vermehrt Kohlenstoff zu speichern. In Abbildung 2 lässt sich erkennen, dass die Enzymaktivität in der Pflugvariante also im konventionellen Vergleich relativ gleichmäßig verteilt ist. In der untersten Bodenschicht, die aufgrund der Bearbeitungstiefe von 25 Zentimetern unberührt bleibt, ist sie jedoch am geringsten. Bei der Variante der Strohmulch-Saat verbleibt ein großer Teil der organischen Substanz im Bereich von 0-10 Zentimetern, weshalb dort auch die höchste Enzymaktivität zu verzeichnen ist. Diese lässt aber in den unteren Schichten aufgrund mangelnder organischer Substanz nach. Als Extrembeispiel sind in der Abbildung noch die Ergebnisse einer Parzelle abgebildet, auf welcher seit dem Jahr 1996 Direktsaat betrieben wird. Diese unterstreichen die Erkenntnisse der beiden voran gegangenen Versuche.

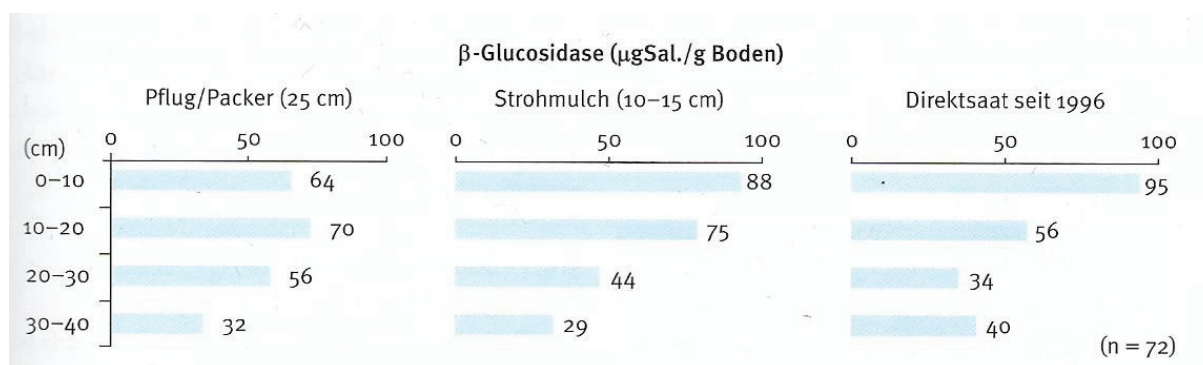


Abbildung 2: Beta-Glucosidase-Enzymaktivität in stark tonigem Schluff in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung in 0 bis 40 cm Tiefe (J.Bischoff, et al., Januar,2018)

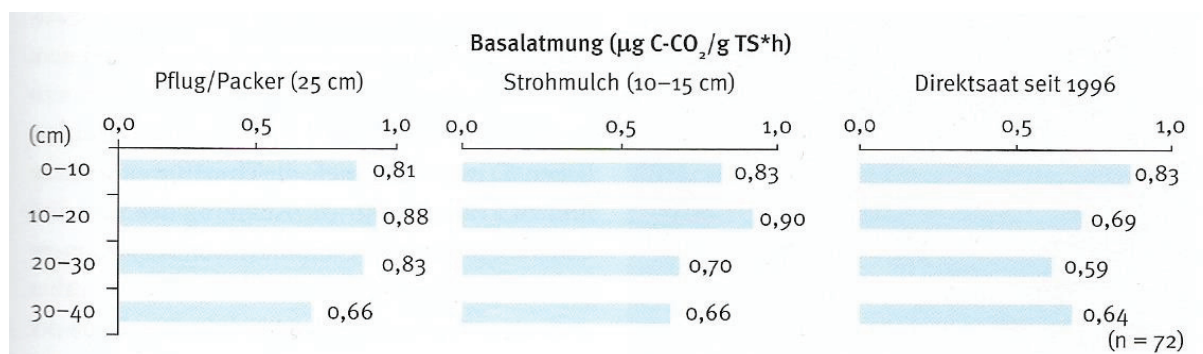


Abbildung 3: Basalrespiration in stark tonigem Schluff in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung in 0 bis 40 cm Tiefe (J.Bischoff, et al., Januar,2018)

Es bleibt also festzuhalten, dass die reduziert Bodenbearbeitung für eine Humusanreicherung sorgt. Der verminderte mechanische Eingriff in den Boden und die somit fehlende Belüftung, verbessern die Bedingungen der Humifizierungsprozesse, und vermindern die Mineralisierungsprozesse. Dabei ist nicht nur entscheidend ob der Boden gepflügt wird oder nicht, sondern genauso ausschlaggebend ist die Tatsache wie tief der Boden gelockert wird.

2.2 Stickstoff

2.2.1 Bedeutung von Stickstoff

Der Stickstoff zählt zu der Gruppe der Makronährelemente und ist somit ein wichtiger Bestandteil für das pflanzliche Wachstum. Ohne den Stickstoff wäre keine Photosynthese möglich, denn er ist ein Bestandteil des Enzyms Rubisco, welches als Katalysator in der Photosynthese dient. Der Stickstoff ist außerdem Bestandteil von Proteinen, DNA, RNA; Aminosäuren und Aminozuckern und ist somit maßgeblich an der Entwicklung von höheren Lebensformen beteiligt. Allerdings ist um den Stickstoffeintrag der Landwirtschaft in die Umwelt eine heftige Debatte entstanden, die auf zu hohen Nitratwerten im Grundwasserkörper in verschiedenen Regionen Deutschlands basiert. Das Nitrat, welches in der Bodenlösung mobil ist, wird sofern es nicht von den Pflanzen aufgenommen wird, bei Niederschlag ausgewaschen und gelangt ins Grundwasser. Über das Grundwasser gelangt es in unser Trinkwasser und wird im menschlichen Körper zum krebserregenden Nitrit umgewandelt. (Amelung, et al., 2018)

2.2.2 Auswirkungen auf die Stickstoffverfügbarkeit

Die Stickstoffverfügbarkeit bei reduzierter Bearbeitung des Bodens verändert sich massiv im Vergleich zum konventionellen Verfahren. Der Stickstoff ist im Boden in organischer Form vorhanden und in der Form nicht pflanzenverfügbar. Er muss erst durch die Mineralisierung zu Ammonium oder Nitrat umgewandelt werden. Ein Boden mineralisiert im Jahr circa 0,2-2% seines gesamten Stickstoffvorrates. Das sind je nach Bodenvorrat, Umweltbedingungen und pH-Wert etwa 10-220 Kilogramm pro Hektar. (Amelung, et al., 2018)

Ausschlaggebend für die Stickstoffmineralisierung ist der Kontakt zwischen der organischen Substanz und dem Boden. Wie bereits im Kapitel Auswirkungen auf den Humusgehalt erwähnt, leidet die Einmischung von Ernteresten der Vorfrucht, unter der niedrigen Intensität der Bodenbearbeitung, weshalb auch der Kontakt zwischen organischer Substanz und dem Boden verringert wird. Daraus resultiert eine verringerte Mineralisierungsrate. Im Frühjahr, zu Beginn der Vegetation, wirken sich Faktoren wie eine höhere Lagerungsdichte des Bodens, Versauerung der oberen Bodenschicht und eine verlangsamte Erwärmung auf eine niedrigere Mineralisationsrate aus. (Agrarlandschaften)

Im Zeitraum zwischen März und November machen sich allerdings die positiven Auswirkungen der reduzierten Bodenbearbeitung bemerkbar. Aufgrund der höheren Bodenfeuchte und

einem idealeren pH-Wert kommt es in den oberen 0-5 Zentimetern zu einer erhöhten Nitrifizierungsaktivität. Da die Bodenfeuchte bei reduzierter Bodenbearbeitung länger erhalten bleibt, ist es dem Boden also trotz anhaltender Trockenperioden möglich, der Kultur weiterhin Stickstoff aus dem organischen Stickstoffvorrat bereitzustellen, und unterliegt weniger Schwankungen als bei konventionell bearbeiteten Flächen. Dabei wirken insgesamt zwei Prozesse gegeneinander. Das mineralisierbare Potential des Bodens steigt, aufgrund dem ständigen Verbleib der Erntereste in den oberen Bodenschichten. Dadurch wird mehr organische Substanz humifiziert. Gleichzeitig nimmt jedoch die Mineralisierungsrate ab, das heißt es wird eine Art Puffer gebildet. Dieser Puffer verstärkt auf lange Sicht die Mineralisierung so stark, dass die ermittelten Werte einer Direktsaat, nach einiger Zeit an die Werte von flach-pfluglosen Verfahren angenähert, oder im Idealfall sogar angeglichen werden können (Agrarlandschaften)

2.3 Phosphor

2.3.1 Bedeutung von Phosphor

Der Phosphor zählt ebenso wie der Stickstoff zu den Makronährstoffen der Pflanzenernährung. Seine Funktion innerhalb der Pflanze liegt im Energietransfer, und hat damit einen genau so hohen Stellenwert für die Ertragsbildung wie der Stickstoff. Er wird von den Pflanzen mit Hilfe von Enzymen in Form von Phosphateestern oder Phospholipiden gebunden. Im Gegensatz zum Stickstoff muss der Phosphorgehalt durch Erhaltungsdüngung konstant gehalten werden. Die Nachlieferung durch den Boden findet nur über den Prozess der Verwitterung statt, und je nach Ausgangsgestein des Bodens beträgt der Wert circa 5 Kilogramm pro Hektar. Ansonsten wird der Phosphor aus organischer Substanz wie zum Beispiel, den auf dem Acker verbleibenden Ernteresten mineralisiert. Die Höhe der Mineralisierung hängt von der Vorfrucht, dem Ertrag und den Standortbedingungen ab, entspricht aber in etwa dem Phosphorgehalt des abefahrenen Erntegutes. Für eine Weizenernte mit einem Ertrag von 8 Tonnen pro Hektar, werden etwa 40 Kilogramm Phosphor benötigt. Davon werden 30 Kilogramm für das Korn verwendet und 10 Kilogramm für das Stroh. Liegt ein Phosphormangel vor so wird das Wachstum der Pflanze an Spross, Blättern und Wurzeln beeinträchtigt. Als weitere Folge kommt es bei den älteren Blättern zur sogenannten Anthocyan-Bildung, bei der sich die Blätter rot färben, und teilweise zu Chlorosen und Nekrosen führen können. (Amelung, et al., 2018)

2.3.2 Auswirkungen auf die Phosphorverfügbarkeit

Bei der reduzierten beziehungsweise konservierenden Bodenbearbeitung ohne Lockerung, kommt es in der oberen Bodenschicht zu einer Anreicherung von Phosphat. Der Grund dafür ist, dass Phosphor wie bereits beschrieben nicht mobil im Boden ist. Dadurch wird aufgrund der Erntereste nahe an der Oberfläche der Phosphatgehalt gesteigert. Im Umkehrschluss ist aber auch mit einer Phosphatverarmung im Unterboden zu rechnen. Dieser Prozess wird in Abbildung 4 grafisch dargestellt. Bei ausreichender Bodenfeuchte wird diesem Prozess durch die mischende Wirkung hoher Regenwurmaktivität leicht entgegengewirkt. (Brunotte, et al., 2014)

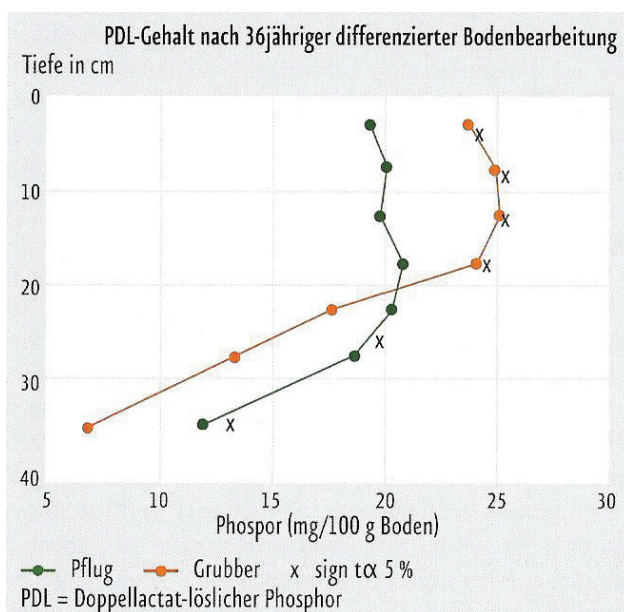


Abbildung 4: Verarmung des Unterbodens im Vergleich von Pflug- und Mulchsaat am Beispiel von Phosphor (Dr. Bodo Hofmann, Bernburger Ackerbautagung, 2006)

2.4 Kalium

2.4.1 Bedeutung von Kalium

Das Kalium steht an der siebten Stelle der häufigsten Elemente in der Erdkruste und ist dabei enorm wichtig für alle Lebewesen. In der Pflanze regelt es den sogenannten Turgor, also den Druck im Inneren der pflanzlichen Zelle und nimmt hierbei Einfluss auf den Wasserhaushalt der Pflanze. Ein mit Kalium unterversorgter Bestand benötigt in etwa 30 Prozent mehr Wasser, bei einem Mangel treten durch Ausgasungen an den Spaltöffnungen der Blattunterseite, Welkeerscheinungen ähnlich wie bei auftretendem Trockenstress auf. Des Weiteren sorgt eine gute Kaliumversorgung auch für eine gute Widerstandskraft gegen Pilzkrankheiten, Trockenstress und Frost, und verbessert außerdem die Standfestigkeit. Trotzdem weisen viele Böden einen Mangel an Kalium auf. Im weltweiten Durchschnitt beträgt dieser circa 20 Kilogramm pro Hektar. Für einen Weizenertrag von 8 Tonnen pro Hektar werden etwa 125 Kilogramm Kalium benötigt, davon etwa 40 Kilogramm für den Kornertrag und 85 Kilogramm für das Stroh. Die Vorräte aus der Bodenlösung betragen bei gedüngten Ackerflächen allerdings nur 5 bis 15 Kilogramm pro Hektar. Für eine gute Versorgung der Pflanzen müssen daher große Mengen Kalium von den Tonmineralen desorbiert werden.

2.4.2 Auswirkungen auf die Kaliumverfügbarkeit

Die Kaliumverfügbarkeit verhält sich ähnlich, wie die des Phosphors. Da die Vorräte in der Bodenlösung relativ gering sind, ist der Boden auf die Nachlieferung aus organischer Substanz angewiesen. Bei gleichmäßiger Einmischung der Erntereste findet eine gleichmäßige Kaliumfreisetzung in der kompletten Krume statt. Belässt man sie jedoch an der Oberfläche so kommt es zwangsläufig zu einem Kaliumüberschuss in den oberen fünf bis zehn Zentimetern der Krume, die Schicht darunter verarmt jedoch leicht. Da die Regenwürmer durch das Graben der Gänge einen leicht einmischenden Effekt haben, und dafür sorgen, dass ein Teil der organischen Substanz in tiefere Schichten gelangt, wird dem Prozess der Verarmung etwas entgegengewirkt. (Brunotte, et al., 2014)

3 Auswirkungen auf das Bodengefüge

3.1 Wasserhaushalt

In Gebieten mit leichten, teilweise sehr sandigen Böden ist das Bodenwasser schon immer ein begrenzender Produktionsfaktor für den Pflanzenbau gewesen. Seltene, geringe Niederschläge und Böden mit einem hohen Grobporenanteil, die eine ausreichende Speicherkapazität verhindern, sorgen oftmals für Mindererträge.

Jedoch hat der Sommer 2018 auch den Pflanzenbauern in Gebieten mit günstigeren Böden und normalerweise ausreichend Niederschlag gezeigt, dass der effiziente Umgang mit der Ressource Wasser, größerer Aufmerksamkeit bedarf, denn der Trend zu einer anhaltenden Trockenheit im Frühjahr beziehungsweise im Frühsommer zeichnet sich seit einigen Jahren ab. Erschwerend kommt hinzu, dass die seltenen Niederschlagsereignisse unwetterartige Ausmaße annehmen. Im Hinblick auf eine Effizienzsteigerung im Umgang mit dem Wasser muss also darauf geachtet werden, dass die Böden größere Mengen Wasser speichern können, um auch in trockenen Phasen genug nutzbare Feldkapazität zu besitzen, um die Wasserversorgung des Bestandes sicherzustellen. Außerdem muss die Permeabilität, also die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens verbessert werden, um den Niederschlag optimal aufnehmen zu können, sodass er nicht als Oberflächenabfluss verloren geht, und gegebenenfalls noch Erosionsschäden in Form von Spürinnen nach sich zieht. Des Weiteren muss die Transpiration also die Wasserverdunstung des Bodens verringert werden. Dies spielt insbesondere während der Frühsommertrockenheit eine große Rolle, da der Boden in dieser Zeit langanhaltender und intensiver Sonneneinstrahlung ausgesetzt ist, und es somit ebenfalls zu Wasserverlusten kommt. Wie sich der Wasserhaushalt verändert, wenn die Bearbeitungsintensität verringert wird, soll im Folgenden erläutert werden. (Schmidt, 2019)

3.1.1 Wasseraufnahmefähigkeit

Die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens steht in direktem Zusammenhang mit dem Bodengefüge und dem Bodenleben. Aufgrund der an der Oberfläche verbleibenden Erntereste, wird die Bodenoberfläche bei starkem Niederschlag zusätzlich geschützt. Somit haben auch große Regentropfen keine Möglichkeit die Bodenaggregate zu zerschlagen. Diese Aggregate sind zudem durch die Regenwurmaktivität stabilisiert. Ebenfalls positiv wirkt sich die Regenwurmaktivität auf den Anteil der Grobporen im Boden aus, dieser Anteil ist ausschlaggebend für eine gute Wasseraufnahmefähigkeit.

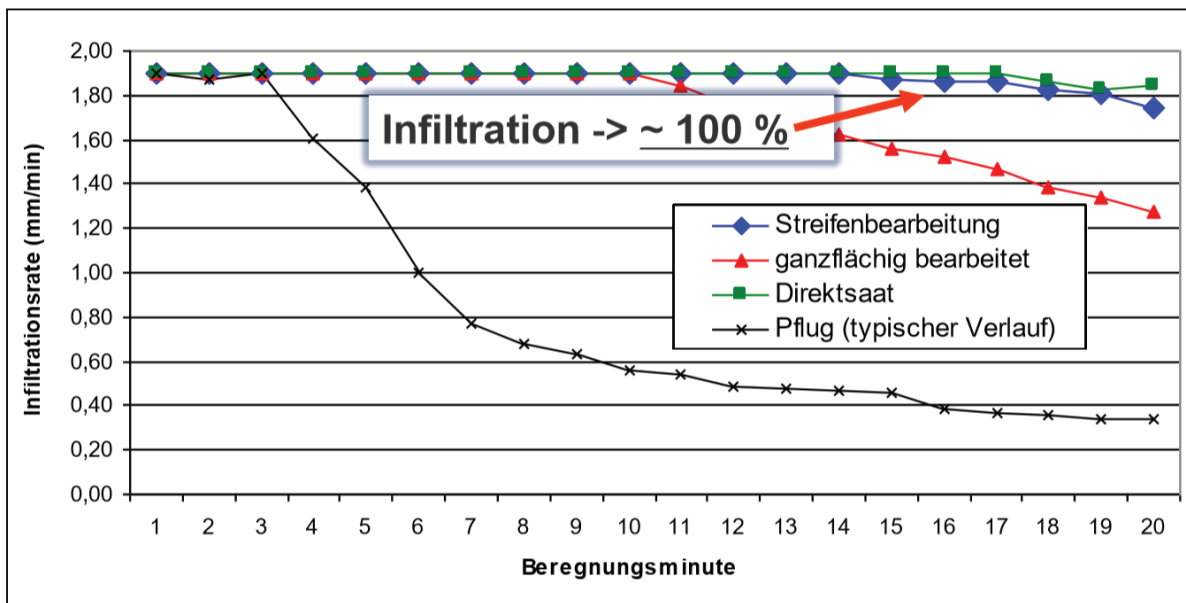


Abbildung 5: Auswirkungen von Streifenbearbeitung und Direktsaat zu Mais auf die Wasserinfiltration (Regensimulationsversuch, Körnermais, 38mm/20 min) (Schmidt, 2019)

In Abbildung 5 ist zu sehen, dass die Wasserinfiltrationsrate auf konventionell wendend bewirtschafteten Standorten schon nach drei Minuten abfällt. Umgerechnet bedeutet das, dass der Boden kaum in der Lage war einen Niederschlag von sechs Millimetern komplett aufzunehmen. In der 20. Minute des Beregnungsversuches liegt die Rate kaum noch bei 0,4 Millimeter pro Minute. Der ganzflächig, konservierend bearbeiteten Variante ist es immerhin möglich, bis zur zehnten Minute des Versuches, den kompletten Niederschlag aufzunehmen. Das bedeutet, dass ein Niederschlag von 19 Millimetern komplett aufgenommen werden konnte, bis die Permeabilität abgefallen ist. Nur der in Streifen bearbeiteten und der Variante mit Direktsaat ist es gelungen beinahe den kompletten gefallenen Niederschlag von 38 Millimetern in einer Zeit von 20 Minuten aufzunehmen. Dieser Versuch zeigt die drastischen Unterschiede in der Wasseraufnahmefähigkeit der Böden, die Maßgeblich entscheidend für eine ausreichende Versorgung der Pflanzenbestände ist, denn Wasser wird von den Pflanzen ausschließlich über den Boden aufgenommen. (Schmidt, 2019)

3.1.2 Speicherfähigkeit

Neben der Permeabilität ist die Speicherfähigkeit des Bodens, vor allem während langer Trockenperioden, enorm wichtig. Die Speicherfähigkeit hängt in erster Linie mit der Art des Ackerbodens und seiner Tiefgründigkeit zusammen. Es ist nicht möglich aus einem Sandboden, welcher nur 50 bis 100 Liter Wasser pro Kubikmeter speichern kann, in einen Löß-Ackerboden mit einem Speichervermögen von circa 420 Litern pro Kubikmeter umzuwandeln.

Jedoch laufen Böden, vor allem in Hanglage Gefahr, abgetragen zu werden. Dadurch verlieren sie an Tiefe, und die Bodenschicht, die die Fähigkeit besitzt, das Wasser zu halten, wird flachgründiger. Ausgelöst wird dieser Prozess, durch Wassererosion. Bei starkem Niederschlag werden Bodenpartikel von den Bergkuppen in die Senke gespült und sorgen auf lange Sicht für Differenzen im Wasserhaltevermögen des Bodens. Zur Vorbeugung dieses Prozesses tragen die Regenwürmer durch Erhöhung der Aggregatstabilität bei. Außerdem sorgen Erntereste an der Oberfläche für genügend Struktur im Boden, und geben den Partikeln ausreichenden Halt, um nicht abgetragen zu werden. Des Weiteren führt eine verbesserte Aufnahmefähigkeit, zwangsläufig zu geringerem Oberflächenabfluss und verhindert somit Bodenverluste durch Wassererosion und letztendlich wird somit die Wasserhaltefähigkeit des Bodens gewährleistet. (Schmidt, 2019)

3.1.3 Verdunstung

Während trockenen Phasen, so wie sie in den letzten Jahren im Frühsommer immer öfter auftreten spielt auch die Verdunstung eine wichtige Rolle im Wasserhaushalt. Die meiste Verdunstung geht von Ackerflächen die mit Sommerungen wie der Zuckerrübe oder Mais bestellt werden. Erfahrungsgemäß wird die über den Winter angebaute Zwischenfrucht im März eingearbeitet. Im schlechtesten Fall dauert es bis zur Aussaat vier Wochen, und bis die Blattmasse der Kulturpflanzen so groß ist, dass der ganze Boden beschattet wird, vergehen wiederum circa sechs bis acht Wochen. In dieser Zeit liegt der Acker quasi brach, und wird im konventionell wendenden Anbau sehr gut durchlüftet, was die Evaporation des Bodens begünstigt. Verzichtet man auf den Pflug und auf das Einmischen der Erntereste, so bildet die Auflage eine Art „Deckel“ für den Boden und sorgt für eine ausreichende Beschattung der Bodenoberfläche. Die Bodentemperatur wird verringert und folglich kommt es zu geringeren gasförmigen Verlusten des Bodenwassers. (Schmidt, 2019)

3.2 Befahrbarkeit

Aufgrund des technischen Fortschrittes nehmen landwirtschaftliche Maschinen immer größere Dimensionen an, die höhere Achs- und Radlasten mit sich bringen. Ob bei der Bodenbearbeitung oder dem Pflanzenschutz, die Gefahr für Schadverdichtungen durch hohe Bodendrücke steigt stetig an. Einerseits kann der Gefahr der Schadverdichtungen durch großvolumige Bereifung und Absenkung des Reifeninnendruckes entgegengewirkt werden, aber auch ein stabiles Bodengefüge ist hilfreich für die Prävention von Schadverdichtungen.

Durch den Humusaufbau in Kombination mit der Reduktion der Bodenbearbeitungsintensität ist es möglich, den Boden deutlich tragfähiger zu machen. Jedoch sollte das Befahren von wassergesättigten Böden trotzdem vermieden werden, denn auch ein tragfähiger Boden kann verdichtet werden. Des Weiteren kommt es durch die verbesserte Permeabilität des Bodens seltener zu einer kompletten Wassersättigung und der damit verbundenen Befahrbarkeitsproblematik, sodass sich das Zeitfenster für Bodenbearbeitung und Pflanzenschutzapplikationen vergrößert. (Teichmann, 2005)

4 Auswirkungen auf das Bodenleben

4.1 Bedeutung von Bodenleben für den Pflanzenbau

Das Bodenleben hat für den Pflanzenbau in Kombination mit reduzierter Intensität der Bodenbearbeitung eine enorme Bedeutung. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass dem Boden durch eine intensive Bodenbearbeitung einige Aufgaben abgenommen werden, um weiterhin Ackerbau betreiben zu können. Durch den Pflug wird der Boden zumindest bis zur Pflugsohle ausreichend durchlüftet und Erntereste werden gänzlich eingemischt um dann besser verteilt und über einen längeren Zeitraum von den Mikroorganismen zersetzt werden zu können. Erfolgt eine Reduktion der Bearbeitung, so wird das Bodenleben gefördert, was auch zwangsläufig nötig ist, um weiter Ackerbau betreiben zu können. Die mikrobielle Aktivität in den oberen zehn Zentimetern des Bodens wird aufgrund des Verbleibes der Erntereste angeregt, und der Regenwurm findet an der Oberfläche genug Nahrung, was einen Populationszuwachs zur Folge hat. Dadurch gibt es viel mehr Regenwurmgänge, die es möglich machen bei Starkregen mehr Wasser in kürzester Zeit aufzunehmen, ohne Abspülungsverluste in Kauf nehmen zu müssen. Außerdem sorgen sie für eine bessere Durchlüftung des Bodens und Pflanzenwurzeln können leichter in die Tiefe wachsen, um sich gegebenenfalls Nährstoffe und Wasser leichter erwachsen zu können

4.2 Regenwurmpopulation

Die Art und Weise wie ein Boden bewirtschaftet wird hat einen großen Einfluss auf die Population der Regenwürmer. Diese These konnte bereits durch einige Untersuchungen bestätigt werden. Dabei konnte man wie in Abbildung 6 dargestellt, einen Zusammenhang zwischen der reduzierten Bearbeitungsintensität und einer ansteigenden Regenwurmpopulation nachweisen.

Autor	Ort	Fruchtfolge	Direktsaat	konv. Bewirtschaftung
Parmalee et al., 1990	Athens, Georgia/USA	Winterroggen Körnerhirse	61 l/m ² 14.7 g/m ²	176/m ² 4.6 g/m ²
Tebrügge, 1986	Wernborn, Taunus/D	Winterweizen W.Gerste/Senf Hafer Winterweizen	187/m ² 195 g/m ²	40/m ² 20 g/m ²
Rovira et al., 1987	Kapunda, Australien	Lupine-Weizen	342/m ²	<u>130/m²</u>

Abbildung 6: Ergebnisse verschiedener Untersuchungen über den Einfluss von Direktsaat auf den Regenwurmbesatz (C.Sommer, et al., 1995)

Die Gründe für das starke Anwachsen der Regenwurmpopulation könnten in der Bodenruhe, die bei der Direktsaat nicht beziehungsweise nur kaum gestört wird, liegen. Außerdem ist ein größeres Nahrungsangebot aufgrund des Verbleibes der Erntereste an der Oberfläche vorhanden. Besonders der „Lumbricus terrestris“, welcher zu den tiefgrabenden Regenwürmern gehört, profitiert davon, denn er ist auf Nahrung von der Bodenoberfläche angewiesen. Das Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung nimmt unter diesem Aspekt die Mittelstellung zwischen der Direktsaat, und der konventionell wendenden Bodenbearbeitung ein.

Nicht nur die Anzahl der vorhandenen Regenwürmer verändert sich, sondern wie in Abbildung 7 beschrieben wird, ändert sich auch der prozentuale Anteil der Arten bei einer Umstellung der Bodenbearbeitung. (C.Sommer, et al., 1995)

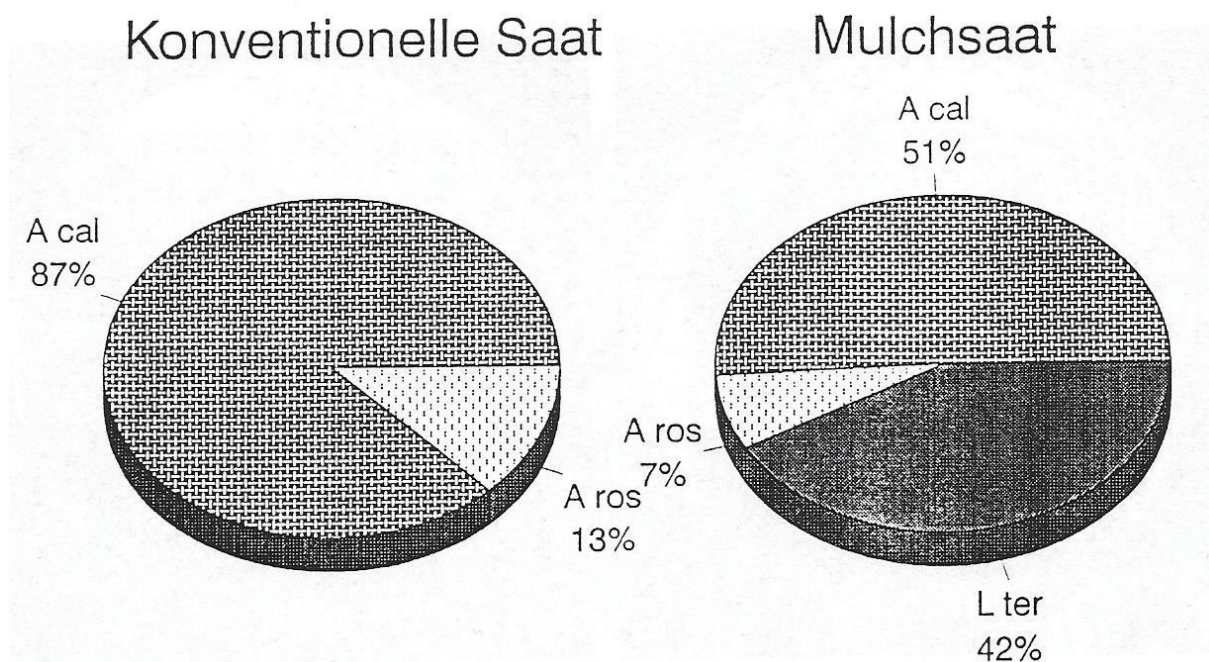


Abbildung 7: Artenzusammensetzung (Individuenzahlen) der Regenwürmer bei unterschiedlichen Bearbeitungsverfahren (Adenstedt, Oktober 1991) A cal= *Aporrectodea caliginosa*; A ros= *Aporrectodea rosea*; L ter= *Lubricus terrestris* (C.Sommer, et al., 1995)

Auf konventionell bestellten Flächen konnten sich nur die flach grabenden Arten „*Aporrectodea caliginosa*“ und „*Aporrectodea rosea*“ nachweisen lassen. Auf den Flächen, die mit der Mulchsaat bearbeitet wurden, konnte beinahe die Hälfte der Exemplare als „*Lumbricus terrestris*“ identifiziert werden. Diese Gattung des Regenwurmes besitzt die Fähigkeit Gänge in bis zu drei Meter Tiefe anzulegen. Erwachsene Exemplare können ein Gewicht von bis zu sechs Gramm erreichen. Durch die enorme Größe erhöht sich deshalb auch der Biomasseanteil, wie in Abbildung 8 zu sehen ist, sehr stark. (C.Sommer, et al., 1995)

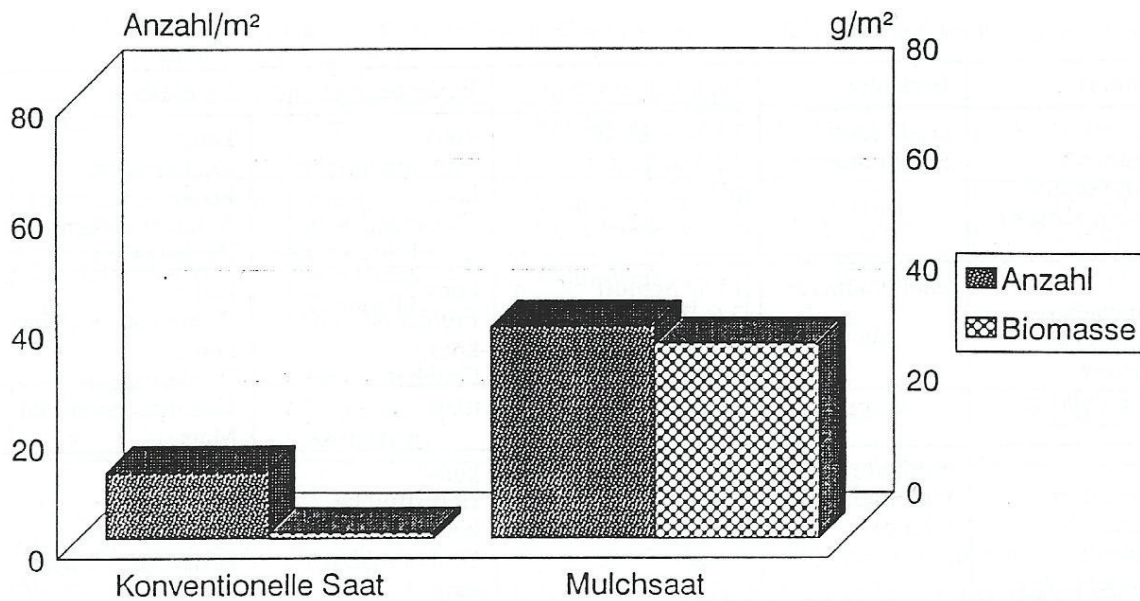


Abbildung 8: Regenwurmbestand bei unterschiedlichen Bearbeitungsverfahren zu Zuckerrübe (Adenstedt, Oktober 1991) (C.Sommer, et al., 1995)

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Regenwurm auf Ernterückstände an der Oberfläche angewiesen ist, um sich zu ernähren. Die Konsequenz daraus ist, den Boden so wenig wie möglich zu bearbeiten und möglichst viel organische Substanz an der Oberfläche zu belassen um der Regenwurmpopulation genug Nahrung zur Verfügung zu stellen, und damit den Anteil dieses Nützlings am Bodenleben möglichst hoch zu halten, um von den positiven Effekten die er mit sich zieht, profitieren zu können. (C.Sommer, et al., 1995)

5 Exkurs in andere Auswirkungsbereiche

Im vorangegangenen Teil wurden die Auswirkungen der reduzierten Bodenbearbeitung auf Nährstoffverfügbarkeit, Bodengefüge und Bodenleben erörtert. Jedoch reicht die Betrachtung dieser Aspekte nicht aus, um eine vollständige Bewertung dieses Systems der Bodenbearbeitung durchführen zu können. Um eine vollständige Bewertung durchführen zu können ist es nötig das Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung unter anderem auch auf Ökonomie und Umweltverträglichkeit zu prüfen, und zu Diskutieren welche Chancen und Risiken dieses System mit sich bringt.

5.1 Ökonomie

Unter Einwirkung sinkender Marktpreise für landwirtschaftliche Produktionsgüter ist der Landwirt nicht nur darauf angewiesen seine Erträge zu steigern, sondern auch die Produktionskosten so gering wie möglich zu halten, um die Liquidität des landwirtschaftlichen Betriebes trotz sinkender Erzeugerpreise weiter gewährleisten zu können. Im Hinblick auf ständige steigende Kraftstoffpreise, ist es umso interessanter wieviel Einsparpotential eine Reduktion der Bearbeitungsintensität mit sich bringen kann. Hierzu untersuchte die Firma „Amazone“ zusammen mit der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft e.V. (DLG) in den Jahren 2005 und 2006 verschiedene Verfahren der Bodenbearbeitung im Hinblick auf den Kraftstoffverbrauch und den Zeitbedarf.

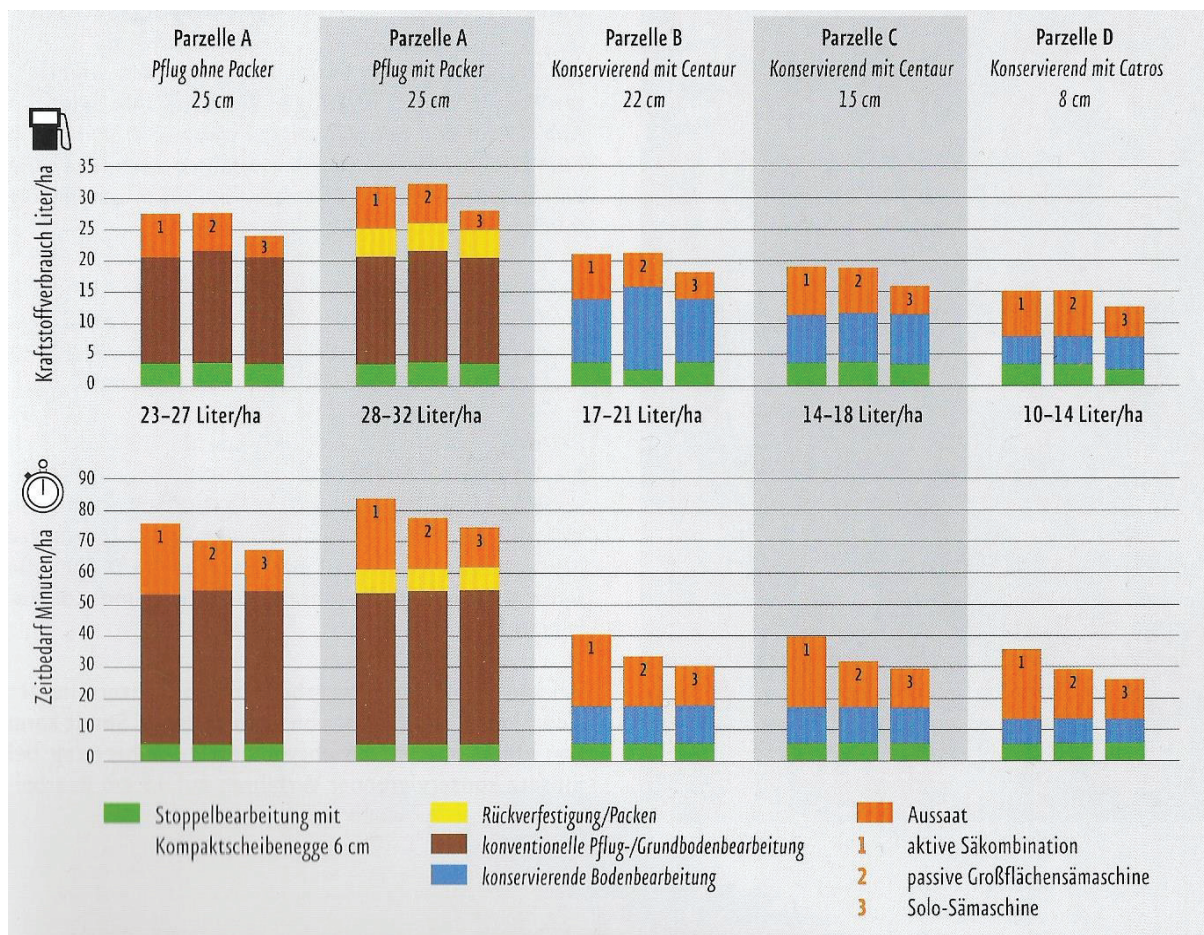


Abbildung 9: Kraftstoffverbrauch und Zeitbedarf der Verfahren (Ergebnisse des DLG-Testzentrums) (Brunotte, et al., 2014)

In Abbildung 9 sind die Ergebnisse der Untersuchungen aufgeführt. Der Stoppelsturz wurde auf allen Testflächen mit einer Kompaktscheibenegge mit sechs Zentimetern Bearbeitungstiefe durchgeführt. Der Verbrauch hierbei lag bei allen Flächen zwischen 4,6 und 4,9 Litern/Hektar. Interessanter wird es bei der Grundbodenbearbeitung, bei der sich signifikante Unterschiede zwischen konventioneller Pflugbearbeitung und der konservierenden Variante erkennen lassen. Noch deutlicher werden die Unterschiede, wenn an dem Pflug eine Packerwalze zur Rückverfestigung angebaut ist. Bei diesem Verfahren liegt der Verbrauch bei 28 bis 32 Litern pro Hektar. Bei der konservierenden Variante übernimmt eine Kombination aus Grubber und Scheibenegge die Grundbodenbearbeitung auf einer Tiefe von 15 Zentimetern. Hierbei liegt der addierte Kraftstoffverbrauch nur bei 14 bis 18 Litern pro Hektar. Es ist also zu erkennen, dass eine Reduktion des Kraftstoffverbrauchs um fast 50 Prozent stattfindet, wenn man auf den Pflug verzichtet und die Bearbeitungstiefe reduziert. Im zweiten Teil der Abbildung 9 ist der Arbeitszeitbedarf pro Hektar abgebildet. Auch hier ist deutliches Einsparpotential erkennbar, und eine Zunahme der Schlagkraft ist daraus abzuleiten.

5.2 Pflanzenschutz

Bei der nicht-wendenden Bodenbearbeitung verbleibt ein Großteil der Unkraut- und Ungrassamen nahe an der Oberfläche. Dies macht den Einsatz eines Totalherbizids einige Tage vor der Aussaat unabdingbar, um den Grundstein für einen Bestand ohne Fremdbesatz in der Folgekultur legen zu können. Der am weitesten verbreitete Wirkstoff, der für eine solche Applikation in Frage kommt, ist Glyphosat. Da dieser jedoch im Verdacht steht, das Krebsrisiko zu erhöhen, ist eine weitere Verlängerung der Zulassung eher fraglich, oder aufgrund des großen medialen Druckes sogar unwahrscheinlich. Kommt es zu einem Verbot des Wirkstoffes, so stellt es die konservierende Bodenbearbeitung vor eine neue Herausforderung, da der Anbau von Weizen zum Beispiel nach Triticale aufgrund von Ausfallgetreide im Folgebestand problematisch wird. Sollten Fruchtfolgen Getreide nach Getreide, oder Getreide nach Mais Fruchtwechselglieder beinhalten, so ist verstärkt auf eine Erhöhung des Druckes an Fusariosen zu achten. Des Weiteren gestaltet sich der Einsatz von Bodenherbiziden aufgrund der Menge an Ernteresten an der Oberfläche schwierig, und bei der Applikation während der Boden wassergesättigt ist, droht die Gefahr der Wirkstoffverlagerung aufgrund der hohen Permeabilität, speziell bei darauffolgend hohen Niederschlägen. Als generelle Tendenz lässt sich festhalten, dass der Pflanzenschutz Aufwand steigt, wenn die Bearbeitungsintensität zurück geht. Das Problem liegt hierbei vor allem in der gesellschaftlichen Akzeptanz, nach der die Landwirtschaft sich immer mehr richten muss. Der Forderung nach geringerem Düngemittel- und Pflanzenschutz Einsatz kann hier nur schwer nachgekommen werden, solange das oberste Ziel „die Produktion von qualitativ hochwertigen und besatzfreien Erntegütern“ lautet.

5.3 Fruchtfolgeaspekte

In Anbetracht der im Pflanzenschutz auftretenden Problematiken, muss bei der reduzierten Bodenbearbeitung zwangsläufig über Möglichkeiten des integrierten Pflanzenschutzes nachgedacht werden. Hierbei kann die Entspannung der Fruchtfolge ein Hilfsmittel sein, um die Herbizidproblematik lösen zu können. Der Wechsel zu anderen, im Ackerbau nicht mehr so weit verbreiteten Kulturen, wie zum Beispiel der Ackerbohne, bringt eine Entspannung in eine Süßgräser lastige Fruchtfolge, und reduziert hierbei die Notwendigkeit einer Applikation eines Totalherbizides. Allerdings ist am Beispiel der Ackerbohne zu sagen, dass ein Anbau von Kulturen, die nicht am breiten Markt gehandelt werden, auch einige Komplikationen mit sich bringen.

Je nach Region besteht die Gefahr, mit Vermarktungsproblematiken konfrontiert zu werden, was spezialisierte Lösungen erfordert. Außerdem besteht die Möglichkeit, dass diese Kulturen einen geringeren Deckungsbeitrag erbringen, was jedoch zwangsläufig in Kauf zu nehmen ist, solange die Pflanzenproduktion mit dem Bodenbearbeitungssystem fortgeführt werden soll.

6 Diskussion

Den großenteils positiven Auswirkungen der reduzierten Bodenbearbeitung, stehen auch einige Problemstellungen gegenüber.

Die problematische Lage im Fall Glyphosat, macht eine Prognose für diese Art der Landbewirtschaftung schwierig. Bei einem Verbot dieses Wirkstoffes würde es schwierig werden als Marktfruchtbetrieb weiterhin auf den Pflug zur Grundbodenbearbeitung verzichten zu können. Generell muss man über eine zukunftsfähige Ausrichtung der Landwirtschaft diskutieren, denn der Druck der Öffentlichkeit verlangt eine drastische Reduktion von Düngung und Pflanzenschutz, ungeachtet der damit einhergehenden Auswirkungen.

Es wird jedoch übersehen, dass diese Pflanzenschutzmittel eine schonende Bewirtschaftung der Ackerflächen erst ermöglichen, denn die im ersten Teil dieser Arbeit beschriebenen Auswirkungen in den Bereichen, Nährstoffverfügbarkeit, Bodengefüge und Bodenleben, sind größtenteils als absolut positiv zu bewerten.

Des Weiteren, ist auch zu erwähnen, dass ein konsequenter Humusaufbau dazu beiträgt, die Atmosphäre massiv um Kohlenstoffdioxid zu erleichtern. Somit ist es möglich, auf der gleichen landwirtschaftlichen Nutzfläche mehr Kohlenstoffdioxid im Boden festzulegen, um zusätzlich neben der gesteigerten Bodenfruchtbarkeit, einen Beitrag zum Klimaschutz leisten zu können. Ein konsequenter Humusaufbau sorgt, aber ebenfalls dafür, dass mit den „Vorboten“ des Klimawandels in Form von langanhaltenden Trockenphasen und starken Niederschlägen besser umgegangen werden kann, sodass es möglich ist, das Wasser besser aufzunehmen und zu speichern.

Deswegen sollte der Pflanzenschutz und auch die Düngung als Möglichkeit gesehen werden, fortschrittlichere Landwirtschaft zu betreiben. Es muss abgewogen werden, ob ein intakter Boden und hohe Qualitäten der Erntegüter, oder das Verbot vermeintlich aus Unwissenheit verunglimpfter Wirkstoffe für ein vermeintlich gesünderes Leben, einen besseren Beitrag zur Gesellschaft darstellen.

Ein weiteres Problem ist die Akzeptanz der reduzierten Bodenbearbeitung und die Durchführbarkeit in der Praxis. Für eine Umstellung des Bearbeitungsverfahrens benötigt man in der Regel auch angepasste Technik. Für größer strukturierte Betriebe sollte die Umstellung aus finanzieller Sicht kein Problem darstellen, da man betriebs-, sowie arbeitswirtschaftlich, aufgrund des geringeren Kraftstoffbedarfes und niedrigerer Lohnkosten pro Hektar, im Gegenzug schnellere und messbarere Erfolge erzielen kann. Bei kleiner-strukturierten Betrieben fehlt es oft an Liquidität und Engagement, um ein bestehendes und gut funktionierendes System zu ändern, und das Fehlen von Fremdarbeitskräften, entkräftet das Argument der Lohnkostensenkung pro Hektar. Aufgrund dieser Tatsachen stellt sich eine geographisch flächendeckende Reduzierung der Bodenbearbeitung eher problematisch dar, solange es keinen aktiven Anstoß von außen gibt, der auch diese Betriebe dazu bringen könnte ihre Art der Bodenbearbeitung zu verändern. Noch dazu kommt bei den kleiner-strukturierten Betrieben nicht selten ein Wissensdefizit. In diesen Betrieben, die oft von mehreren Generationen zusammen bewirtschaftet werden, sind oftmals Betriebsleiter vorhanden, dessen landwirtschaftliche Schulbildung längere Zeit zurück liegt. Deshalb wird oftmals „nach alter Schule“ verfahren, und das bedeutet, dass ein Pflugverzicht kaum vorstellbar ist. Das bedeutet nicht, dass auf diesen Betrieben niemals eine Umstellung stattfindet, jedoch kann davon ausgegangen werden, dass diese Veränderungen eher zeitverzögert stattfinden.

7 Zusammenfassung

Zusammenfassend ist zu sagen, dass der Nährstoffhaushalt einige Veränderungen erfährt, wenn man das Bodenbearbeitungssystem umstellt, dies hat vorrangig mit der veränderten Verteilung der Erntereste zutun. Das ist auch einer der Gründe für den vermehrten Humusaufbau, der zudem durch die geringere Bearbeitungsintensität gefördert wird. Die sich daraus ergebenden Nährstoffengpässe lassen sich durch eine veränderte Düngestrategie jedoch beheben.

Die Veränderungen im Wasserhaushalt sind durchgehend, als positiv zu bewerten. Die Permeabilität des Bodens nimmt aufgrund, der verstärkten Regenwurmaktivität, dessen Gänge sich bestens zur Wasseraufnahme eignen, stark zu. Das begünstigt die Aufnahme des insgesamt gefallenen Niederschlages, um ihn für die Produktion von Biomasse verwenden zu können.

Des Weiteren verhindert der kaum auftretende Oberflächenabfluss, in Kombination mit den an der Oberfläche verbleibenden Erntereste, nachhaltig den Bodenabtrag durch Wassererosion. Außerdem werden Verdunstungsverluste durch stärkere Bedeckung der Bodenoberfläche minimiert. Durch den gesteigerten Humusgehalt des Bodens wird zudem die nutzbare Feldkapazität erhöht und die damit verbundene Gefügestabilisierung der Bodenaggregate sorgen für eine deutlich verbesserte Befahrbarkeit.

Im Themengebiet es Bodenlebens gibt es ebenfalls positive Änderungen zu verzeichnen. Die Regenwurmaktivität wird nicht nur verstärkt, sondern es kommt auch zu einer Veränderung der Regenwurmart. Tiefgrabende Arten ernähren sich von Ernteresten an der Oberfläche, welche sie bei reduzierter Bearbeitung ausreichend zur Verfügung haben. Diese tiefgrabenden Arten beziehungsweise die Gänge, die sie im Boden hinterlassen, bieten den Pflanzen die Möglichkeit, einfacher in die Tiefe zu gelangen, um sich Wasser und Nährstoffe besser erwachsen zu können. Außerdem nimmt die mikrobielle Aktivität in der oberen Bodenschicht zu, was nach einiger Zeit dazu führt, dass Erntereste schneller umgesetzt werden können, und Probleme durch die fehlende phytosanitäre Wirkung des Pfluges, an Gewichtung verlieren.

Diskutabel hingegen sind die Veränderungen bezüglich des erhöhten Pflanzenschutzinsatzes, speziell im Hinblick auf die öffentliche Meinung, nach der sich die Landwirtschaft immer mehr richten muss. Dabei sollte jedoch in Betracht gezogen werden, dass die Atmosphäre durch den höheren Kohlenstoffgehalt im Boden um Kohlenstoffdioxid erleichtert wird, und der Boden zugleich eine höhere Toleranz im Bezug auf längere Trockenphasen aufweist. Zudem lässt sich die geforderte Minimierung von Erosionsschäden gewährleisten, und die nachhaltige Bodenfruchtbarkeit durch ein intaktes Bodenleben gewährleisten. Ob die Hürden, die sich bei einer Umstellung der Bodenbearbeitung, in Form von finanziellen Verbindlichkeiten, Amortisierung und Akzeptanz innerhalb des Betriebes, überwinden lassen ist betriebsspezifisch zu ermitteln.

Abschließend ist noch zu sagen, dass die in dieser Arbeit genannten Zahlen und Fakten, lediglich als Richtwert zu verstehen sind, um Tendenzen der Auswirkungen zu verdeutlichen. Der Grund hierfür ist, dass der Produktionsfaktor „Boden“ nicht standardisierbar ist, denn die Bodenzusammensetzung und die Umweltfaktoren an den Versuchsstandorten sind niemals zu 100 Prozent zu kopieren.

8 Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die hier vorliegende Bachelorarbeit selbstständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und sowohl wörtliche, als auch sinngemäß entlehnte Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Die Arbeit hat in gleicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Ort, Datum

Unterschrift

9 Literaturverzeichnis

Agarlandschaften ANNA - Agentur für Nachhaltige Nutzung von Ohne Pflug [Online]. - ANNA - Agentur für Nachhaltige Nutzung von Agrarlandschaften. - 9.. April 2019. - <http://www.ohnepflug.de/>.

Amelung Wulf [et al.] Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde [Buch]. - Berlin : Springer-Verlag GmbH Deutschland, Springer Nature 2018, 2018.

Brunotte PD Dr. Habil. Joachim und Sommer PD Dr. Habil. Claus Intelligenter Pflanzenbau [Buch]. - Hasbergen-Gaste : AMAZONEN-Werke H.Dreyer GmbH&Co. KG, 2014.

C.Sommer Prof. Dr.-Ing., J.Brunotte Dr. und B.Ortmeier Ing. grad. Einführung von Verfahren der Konservierenden Bodenbearbeitung in die Praxis [Buch]. - Darmstadt : Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), 1995.

J.Bischoff [et al.] Praxishandbuch Bodenbearbeitung und Aussaat [Buch]. - Bernburg, Dresden, Darmstadt, Köln : Erling Verlag GmbH&Co.KG, Januar,2018. - Bd. 1.

Schmidt Dr. Walter Ifugl.sachsen.de [Online]. - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, 4.. Februar 2019. - 27.. Mai 2019. - http://www.lfulg.sachsen.de/download/Ifulg/Nachlese_KAM_Bearbeitungssysteme-Wasserhaushalt.pdf.

Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH Lexikon der Biologie [Online]. - Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, 10. April 2019. - 10. April 2019. - <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/humus/32850>.

T.Friedrich, R.Derpsch und A.Kassam rolf-derpsch [Online]. - 9. April 2019. - <http://www.rolf-derpsch.com/fileadmin/templates/main/downloads/globale-ausbreitung-konservierende-landwirtschaft.pdf>.

Teichmann Gerhard Erfahrungen, Ansätze und Lösungen aus der Praxis [Buchabschnitt] // Bodenleben und Bodenfruchtbarkeit-Stand des Wissens und zukünftige Herausforderungen-Tagungsband zur Fachveranstaltung von ilu und GKB am 22. September 2005 in Bonn / Buchverf. Umwelt Institut für Landwirtschaft und, FNL und Bodenbearbeitung Gesellschaft für konservierende. - Bonn : Institut für Landwirtschaft un Umwelt (ilu), 2005.

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gehalt an mikrobieller Biomasse in stark tonigem Schluff in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung in 0 bis 40 cm Tiefe (J.Bischoff, et al., Januar,2018)	4
Abbildung 2: Beta-Glucosidase-Enzymaktivität in stark tonigem Schluff in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung in 0 bis 40 cm Tiefe (J.Bischoff, et al., Januar,2018) ...	5
Abbildung 3: Basalatmung in stark tonigem Schluff in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung in 0 bis 40 cm Tiefe (J.Bischoff, et al., Januar,2018)	5
Abbildung 4: Verarmung des Unterbodens im Vergleich von Pflug- und Mulchsaat am Beispiel von Phosphor (Dr. Bodo Hofmann, Bernburger Ackerbautagung, 2006)	8
Abbildung 5: Auswirkungen von Streifenbearbeitung und Direktsaat zu Mais auf die Wasserinfiltration (Regensimulationsversuch, Körnermais, 38mm/20 min) (Schmidt, 2019)	11
Abbildung 6: Ergebnisse verschiedener Untersuchungen über den Einfluss von Direktsaat auf den Regenwurmbesatz (C.Sommer, et al., 1995).....	14
Abbildung 7: Artenzusammensetzung (Individuenzahlen) der Regenwürmer bei unterschiedlichen Bearbeitungsverfahren (Adenstedt, Oktober 1991) A cal= Aporrectodea caliginosa; A ros= Aporrectodea rosea; L ter= Lubricus terrestris (C.Sommer, et al., 1995)	15
Abbildung 8: Regenwurmbestand bei unterschiedlichen Bearbeitungsverfahren zu Zuckerrübe (Adenstedt, Oktober 1991) (C.Sommer, et al., 1995)	16
Abbildung 9: Kraftstoffverbrauch und Zeitbedarf der Verfahren (Ergebnisse des DLG-Testzentrums) (Brunotte, et al., 2014)	18