

---

# **Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme – Dammkultur, konventionelle und reduzierte Bodenbearbeitung – auf Stickstoffdynamik und Ernteparameter auf einer seichtgründigen Braunerde**

---

Masterarbeit

---

**Lisa Doppelbauer, BSc**

**01240138**

*Wien, September 2019*

*Studienkennzahl: UH 066 455*

Betreut von

Dr. Wilfried Hartl, Bio Forschung Austria

und

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn Peter Liebhard, Institut für  
Pflanzenbau, Universität für Bodenkultur Wien



## Danksagung

Herrn Mag. Dr. Wilfried Hartl und Herrn Prof.-Dr. Peter Liebhard danke ich für die Betreuung, für den Zeitaufwand der vielen Diskussionen und im Besonderen für das kollegiale Arbeitsklima.

Ein besonderes Dankeschön möchte ich an Herrn Johannes Doppelbauer aussprechen, der den Feldversuch ermöglichte und mit allen Maschinen, seinen Flächen und dem technischen Know-How immer zur Seite stand.

Weiters gilt ein großer Dank Herrn Dieter Haas, für die Hilfe, Mitarbeit und große Ausdauer bei den Feldebproben und im Labor. Den weiteren MitarbeiterInnen der Bio Forschung Austria möchte ich für die vielen Ratschläge und Vertretungsdienste danken, im Besonderen Marion Bonell, Katrin Fuchs, Ewald Recher, Eva Erhart, Elisabeth Neuner und Karoline Messenböck.

Ganz besonderen Dank möchte ich an meine Eltern aussprechen, nicht nur für die finanzielle Unterstützung meines Studiums, sondern auch für die Geduld und ihr offenes Ohr im Laufe der Jahre.

Für die Mitarbeit bei der Ernte möchte ich mich bei meinen Geschwistern, Eltern und meinen Freunden bedanken, die an einem Sonntag, dem heißesten Tag des Jahres, bereitgestanden sind.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei meinen StudienkollegInnen und Freunden bedanken, für die wertvolle, lehrreiche Zeit und die spannenden Diskussionen an der BOKU und in Wien.

## **Abstract**

Das Bodenbearbeitungssystem Dammkultur nach Turiel wurde in Österreich im vergangenen Jahrzehnt in der Nutzpflanzenproduktion zunehmend von LandwirtInnen eingeführt. Es gibt jedoch nur wenige Versuchsergebnisse (Müller et al. 2009). In dieser Arbeit werden die Stickstoffdynamik des Bodens und ausgewählte Ernteparameter im Dammkultursystem im Vergleich zu konventionellen Systemen anhand eines einjährigen Feldversuches 2015 / 2016 mit Dinkel auf einer seichtgründigen Braunerde beurteilt.

Das Dammkultursystem erfordert im Frühjahr eine Hacke, dadurch werden den Jungpflanzen höhere Nitratmengen zur Verfügung gestellt. Beim Probennahmetermin Mitte Mai wurden im Boden der Variante Häufelpflug signifikant höhere Nitratwerte gegenüber der Variante mit Grubber gemessen. Dies ergab zum Zeitpunkt des Schossens eine höhere Stickstoffversorgung, da davon ausgegangen werden kann, dass es durch die zusätzliche Bearbeitung im Frühjahr zu einer höheren Nitratfreisetzung gekommen ist. Bei allen übrigen Bodenprobennahmeterminen unterschieden sich die Gehaltswerte nicht.

Die geringere Pflanzenanzahl der Variante Dammkultur im Herbst wurde durch eine höhere Bestockung im Frühjahr ausgeglichen. Dadurch kam es bei den drei Bodenbearbeitungssystemen im Ertrag und in anderen Ernteparametern zu keinen unterschiedlichen Ergebnissen.

Die Höhe der Eingriffsintensität und die Anzahl der Bodenbearbeitungen ist bei den unterschiedlichen Bodenbearbeitungssystemen unterschiedlich hoch. Das System Dammkultur ist stark von der Art des Einsatzes abhängig und kann sich sowohl positiv als auch negativ im Vergleich zum Pflug auswirken.

The ridge tillage system was more and more implemented in Austrian farms during the last decades. So far, little research has been done on this topic and therefore scientific literature is rare. This field experiment gives insight into nitrogen dynamics and yield parameters of spelt (*Triticum aestivum subsp. spelta*) under the ridge tillage system compared with a conventional tillage system, a reduced tillage system and a more intense ridge tillage system. The field trial took place within one season between 2015 and 2016 on a shallow cambisol in Austria.

The ridge tillage system allows hoeing in spring which can lead to higher amounts of plant available nitrate. In this study significantly higher amounts of NO<sub>x</sub> could be reached in May during jointing in the ridge tillage system compared to the reduced system. At the other soil sampling dates no differences between the amounts of NO<sub>x</sub> could be found.

The plant number in autumn was significantly lower in the ridge tillage system compared to the other systems. This difference was compensated as the plants in the ridge tillage system had a higher tillering and therefore no differences in yield and yield parameters appeared.

The four different tillage systems differ in their soil movement intensity on the field. The ridge tillage system and its intensity are highly dependent on how the machinery is applied and therefore can have positive as well as negative effects compared to a conventional tillage system.

# Inhalt

---

<b>DANKSAGUNG</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>2</b>
<b>1 EINLEITUNG, PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG</b>	<b>7</b>
1.1 EINLEITUNG	7
1.2 PROBLEMSTELLUNG	9
1.3 ZIELSETZUNG	9
1.4 HYPOTHESEN	10
1.5 FORSCHUNGSFRAGEN	10
<b>2 AUSGEWÄHLTE LITERATUR</b>	<b>10</b>
2.1 FELDVERSUCHSMETHODIK	10
2.2 BODEN	12
2.2.1 <i>Pflanzenoptimale Bodenstruktur</i>	12
2.3 BODENBEARBEITUNGSVERFAHREN	13
2.3.1 <i>Wendende Bodenlockerung – Pflug</i>	22
2.3.2 <i>Tiefe mischende, nicht wendende Bodenlockerung</i>	24
2.3.3 <i>Flache mulchende, mischende Bodenbearbeitung</i>	25
2.3.4 <i>Vergleich wendender – nicht wendender Bodenbearbeitung</i>	25
2.3.5 <i>Vergleich seichter und tiefer nicht wendender Bodenbearbeitung</i>	28
2.3.6 <i>Dammkultur</i>	29
2.4 STICKSTOFFKREISLAUF	33
2.5 ERTRAG	42
<b>3 MATERIAL UND METHODEN</b>	<b>44</b>
3.1 MATERIAL	44
3.1.1 <i>Standort</i>	44
3.1.2 <i>Boden</i>	44
3.1.3 <i>Klima</i>	45
3.1.4 <i>Witterungsverlauf</i>	45
3.2 METHODE	48
3.2.1 <i>Versuchsanordnung</i>	48
3.2.2 <i>Fruchtartbeschreibung</i>	49
3.2.3 <i>Eingesetzte Maschinen und Geräte bei den unterschiedlichen Bodenbearbeitungssystemen</i>	50
3.2.3.1 Pflug	50
3.2.3.2 Grubber	50
3.2.3.3 Häufelpflug	50
3.2.4 <i>Bodenbearbeitungstermine</i>	52
3.2.5 <i>Bodenprobenahme</i>	53
3.2.6 <i>Bestandesdichte</i>	54
3.2.7 <i>Bestandeshöhe</i>	55
3.2.8 <i>Braunrostbefall</i>	55
3.3 ERNTE	56
3.4 PROBENAUFBEREITUNG	56
3.4.1 <i>Bodenproben</i>	56
3.4.2 <i>Stickstoffbestimmung der Bodenproben</i>	57
3.4.3 <i>Ertragsermittlung</i>	58
3.4.3.1 <i>Kornertrag</i>	58
3.4.3.2 <i>Strohertrag</i>	59

3.4.3.3	C/N-Bestimmung der oberirdischen Biomasse	59
3.5	STATISTISCHE DATENANALYSE	60
<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>60</b>
4.1	NITRATVERLAUF	61
4.2	AMMONIUMVERLAUF	62
4.3	PFLANZENPARAMETER	63
4.4	NO <sub>x</sub> -VERLAUF IN 3 TIEFEN	64
4.5	NO <sub>x</sub> -VERLAUF	65
4.6	FELDAUFGANG	67
4.7	ERNTEPARAMETER	67
4.8	STATISTISCHE DATENANALYSE	69
4.8.1	<i>Einfluss der Bodenbearbeitungssysteme auf NO<sub>x</sub> innerhalb der einzelnen Bodentiefen und Beprobungsterminen</i>	69
4.8.2	<i>Vergleich der NO<sub>x</sub>- und NH<sub>4</sub>-Werte auf Unterschiede zwischen den Terminen, ohne Horizontierung</i>	70
4.8.3	<i>Vergleich der NO<sub>x</sub>-Werte - und NH<sub>4</sub>-Werte auf Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungssystemen, ohne Horizontierung</i>	72
4.8.4	<i>Vergleich der NO<sub>x</sub>- und NH<sub>4</sub>-Werte des Gesamthorizonts auf Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungssystemen innerhalb eines Termins (getrennte Terminbetrachtung)</i>	73
4.8.5	<i>Test auf Unterschiede zwischen den Bodentiefen</i>	78
4.8.5.1	NO <sub>x</sub> nach Tiefen, alle Termine einbezogen	78
4.8.5.2	NH <sub>4</sub> nach Tiefen, alle Termine einbezogen	79
4.8.6	<i>Pflanzenparameter und Bodenfeuchte</i>	79
4.8.7	<i>Bodenfeuchte im Oktober 2015</i>	81
4.8.8	<i>Pflanzenzahl</i>	83
4.8.9	<i>Korrelationen &gt; 0,5</i>	84
<b>5</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>89</b>
5.1	N <sub>MIN</sub> -GEHALTSWERTE IN ABHÄNGIGKEIT DER BODENBEARBEITUNGSSYSTEME	90
5.1.1	<i>Ammonium</i>	94
5.1.2	<i>Bodenfeuchte</i>	94
5.2	PFLANZENPARAMETER UND ERTRAGSPARAMETER	95
5.3	KORRELATIONEN	96
<b>6</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN/ CONCLUSIO</b>	<b>99</b>
<b>7</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>100</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>104</b>
<b>9</b>	<b>ANHANG</b>	<b>108</b>
9.1	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	108
9.2	TABELLENVERZEICHNIS	109
<b>10</b>	<b>EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG</b>	<b>111</b>



# 1 Einleitung, Problemstellung und Zielsetzung

## 1.1 Einleitung

„Ökologischer Ackerbau kann auch bei einem Verzicht auf tiefes Pflügen langfristig erfolgreich sein“ (Schmidt, 2010a, 284).

Aussagen wie diese prägen Diskussionen um Bodenbearbeitungsgeräte im Ackerbau. Dabei wird vielfach der Unterschied zwischen wendender und nicht wendender Bodenbearbeitung in den Vordergrund gerückt (Berner und Mäder, 2010; Paffrath und Stumm, 2010). Detailliertere Forschungen beschäftigen sich auch mit Bearbeitungstiefen der Maschineneinsätze und einem System, in dem der Pflug nur alle paar Jahre eingesetzt wird (Liebhard, 1995; Hampl, 2010; Kainz, 2010).

Ein neuer Ansatz im Ackerbau ist das Dammkultursystem, das durch die Form der Bodenoberfläche im Damm viele Potentiale bietet, jedoch wissenschaftlich kaum erforscht ist. Die Dammkultur ist eine sehr alte Wirtschaftsweise, die in Spanien eingesetzt wurde, durch das Aufkommen des Traktors und gleichzeitig des Pfluges aber in größeren Betrieben in Vergessenheit geriet (Turiel, no date). Seit etwa 10 Jahren wird die Dammkultur mit dem Häufelpflug als ihr zentrales Gerät von österreichischen LandwirtInnen eingesetzt und hat mit Stand 2019 eine Anwendung in mehr als 100 Betrieben erreicht.

Diese Arbeit soll dabei helfen, Beobachtungen und Hypothesen aus der Praxis wissenschaftlich zu erproben und auszutesten. Dabei wird der Schwerpunkt auf die Stickstoffdynamik im Boden und Pflanzenparameter, vor allem in Bezug auf die Ernte gelegt. Der Versuch wurde auf einem Betrieb in der Welser Heide auf einer seichtgründigen Braunerde im Biologischen Anbau angelegt.

Bodenbearbeitungsverfahren können sich bei konventioneller oder biologischer Wirtschaftsweise unterschiedlich auf den Boden auswirken, vor allem die Stickstoffdynamik unterscheidet sich dabei (Schmidt, 2010a).

Bodenbearbeitung beeinflusst nachhaltig Bodeneigenschaften und die Pflanzenentwicklung in Kombination mit den Standorteigenschaften. Effekte von Bodenbearbeitungssystemen lassen sich meist nur langfristig erkennen, da ein

Gleichgewicht im Boden erst nach längerer Zeit eintritt. Wird ein Bodenbearbeitungssystem geändert, wirkt sich dies auf Bodeneigenschaften, aber auch auf die Entwicklung und den Ertrag von Kulturpflanzen aus. Ebenso können sich die Kosten der Betriebsmittel dadurch ändern (Schmidt, 2010a; Bischoff, 2018). Unter diesem Gesichtspunkt bietet der einjährige Feldversuch die Möglichkeit, grundlegende Unterschiede folgender vier Bodenbearbeitungssysteme herauszukristallisieren:

- Dammkultur mit Häufelpflug,
- Dammkultur intensiv mit Häufelpflug und aufgeschraubten Drähten
- Reduziertes Bodenbearbeitungssystem mit Grubber und Kreiselegge
- Konventionelles Bodenbearbeitungssystem mit Wendepflug, Grubber und Kreiselegge

Das Dammkultur-System arbeitet mischend und lockernd mit der Möglichkeit zur krumentiefen Lockerung und zu schneidender Bearbeitung durch Drähte oder Spezialschare (Schmidt, 2010a). Die Frage, ob es als reduziertes oder intensives Bodenbearbeitungsverfahren gilt, konnte bisher nicht eindeutig geklärt werden. Es könnte als reduziertes Bodenbearbeitungssystem angesehen werden, bei dem jedoch auch tief gelockert wird (Haase *et al.*, 2010) und kann so beispielsweise zwischen ein reduziertes und konventionelles System gestellt werden (Müller *et al.*, 2009a).

Meistens verbessert sich bei der Anwendung reduzierter Bodenbearbeitungssysteme die Oberflächenstruktur eines Bodens, der Humusgehalt und das Bodenleben werden gefördert. Dadurch kommt es zu einer besseren Wasserhaltefähigkeit und einem verringerten Erosionsrisiko. Die Wasserverdaulichkeit wird vor allem durch die vielen Bioporen, unter anderem durch Regenwürmer verursacht, verbessert. Einschränkungen gibt es oft seitens der Stickstoffmineralisierung bei reduzierten Systemen. Wirtschaftlich ist in reduzierten Systemen oft mit Einbußen von 10-20% im Ertrag bei Druschfrüchten zu rechnen. Diese Mindererträge können oft durch die verringerten Maschinenkosten und weniger Treibstoffverbrauch kompensiert werden (Schmidt, 2010a). Wie sich diese Bodeneigenschaften in der Dammkultur auswirken ist kaum geklärt, nur wenige Arbeiten beschäftigen sich bis jetzt mit diesem Thema (Cox *et al.*, 1990; Quintern, 2006; Müller, 2009; Dittmann und Zimmer, 2010; Haase *et al.*, 2010; Schmidt, 2010a). Betriebe begründen ihre Umstellung auf Dammkultur mit Disteldruck, schlechter Bodenstruktur oder zu niedrigen Marktfruchterträgen

(Haase *et al.*, 2010). Dieser Versuch konnte interessante Ergebnisse bezüglich Bodenfeuchte, Stickstoffmineralisierung, Bestockung und Ertrag von Dinkel liefern und so einen Beitrag zur Klärung der vielen Fragen in der Dammkultur leisten.

## **1.2 Problemstellung**

In der Nutzpflanzenproduktion wird vor allem im Bereich der ökologischen Landwirtschaft immer wieder die Frage aufgeworfen, wie die Nahrungsmittelversorgung bei gleichzeitiger nachhaltiger Bodenbewirtschaftung sichergestellt werden kann. Prozesse im Boden sind sehr komplex und kombinieren biologische, physikalische und chemische Vorgänge. Da für die meisten LandwirtInnen auch ein ökonomischer Aspekt ihr Wirtschaften beeinflusst, werden viele verschiedene Systeme der Bodenbearbeitung praktiziert und erforscht. Immer mehr LandwirtInnen in Österreich versuchen mit dem Bodenbearbeitungssystem der Dammkultur erfolgreicher und bodenschonender zu arbeiten. Dabei soll die Bodenstruktur verbessert werden oder Erträge auf lange Zeit stabil gehalten werden (Haase *et al.*, 2010). Dieses alte, wiederentdeckte Bodenbearbeitungssystem wirkt vielversprechend, kann jedoch noch kaum mit wissenschaftlicher Literatur bestätigt werden.

## **1.3 Zielsetzung**

Mit dieser Arbeit soll ein Teil der komplexen Zusammenhänge betreffend Bodenbearbeitung und speziell der Dammkultur untersucht werden. Die wissenschaftliche Debatte um dieses Thema soll hiermit bereichert werden.

## 1.4 Hypothesen

- Mit der Intensität der Bodenbearbeitung nimmt die Nitratfreisetzung im Boden zu.
- Die pfluglose Bodenbewirtschaftung bewirkt eine regelmäßigeren Nitratfreisetzung als bei Bodenbearbeitung mit Pflug, wo es kurz nach der Bearbeitung zu hohen Nitratfreisetzungen kommt.
- Im System der Dammkultur kann der Boden im Frühjahr früher abtrocknen und eine Bodenbefahrung ermöglichen

## 1.5 Forschungsfragen

- Wie wirken sich unterschiedliche Bodenbearbeitungsverfahren auf die Nitrat- und Ammoniumgehalte im Boden aus?
- Wie wirken sich unterschiedliche Bodenbearbeitungsverfahren auf den Dinkelertrag und die Ernteparameter aus?

# 2 Ausgewählte Literatur

## 2.1 Feldversuchsmethodik

Zwei Jahre vor einem Feldversuch müssen die Bearbeitung, die Vorfrucht und die Düngung auf dem Standort einheitlich gewesen sein. Bei der Wahl der Feldstücke weisen meist Schwemmböden gleichmäßigere Eigenschaften auf als Verwitterungsböden bei denen der Boden stärker durchmischt ist (Mudra, 1949). Bodenbearbeitungsversuche können nicht wie andere Versuche auf kleinen Parzellen ausgeführt werden, sondern brauchen Langstreifen. Ernteerhebungen erfolgen indem kleine Flächeneinheiten aus den Versuchspartellen herausgeschnitten werden. Bei

Bodenbearbeitungsversuchen soll die Versuchsdauer optimalerweise mehrere Jahre dauern, da verschiedene Bearbeitungsmaßnahmen erst durch die Wirkung über einen längeren Zeitraum tragend werden können. Bei Versuchen dieser Größe muss ein Kompromiss geschlossen werden zwischen den theoretisch optimalen Parametern und dem praktisch Möglichen. Im Versuch müssen alle Versuchsbedingungen gleich sein, mit Ausnahme des zu prüfenden Faktors. Diese Vorgehensweise wird als Differenzmethode bezeichnet (Jacob, 1961).

Der Versuchsstandort braucht einen einheitlichen Grundwasserspiegel, besonders bei Überschwemmungsgefahr oder Staunässe, da geringe Unterschiede sich schon stark auf die Versuchsergebnisse auswirken können. Ein Standort sollte durch die Entwicklung der Vorfrucht, vor allem durch die Pflanzenfarbe und den Wuchs, schon im Vorhinein beobachtet werden. Dabei ist der Feldaufgang und die Bestandesentwicklung im Mai, Juni und Juli am aussagekräftigsten (Jacob, 1961). Sehr feuchte Jahre können etwaige Unterschiede besser verbergen als trockenere Jahre (Mudra, 1949). Minimale Unterschiede können oft durch chemische, physikalische oder geologische Untersuchungen nicht erkannt werden, sehr wohl aber im Erscheinungsbild der Pflanze ersichtlich sein (Jacob, 1961). Fruchtarten können diese Differenzen unterschiedlich zeigen, Sommergetreide besser als Wintergetreide, Weizen besser als Roggen. Bei intensiveren Kulturen können die Unterschiede am besten durch Rüben, Ölfrüchte, Klee, Gemüse oder Lupinen erkannt werden, weniger gut durch Kartoffeln oder Hülsenfrüchte, Hirse oder Mais. Hanf kann Bodenunterschiede besonders gut aufzeigen (Mudra, 1949; Jacob, 1961).

Auf jedem Versuchsfeld und bei jeder Kulturart ist ein mittlerer Fehler zu finden, der die Höhe der an dieses Feld oder Pflanzen gebundenen Unterschiede definiert. Die Höhe dieser Fehler muss bei der Wahl des Signifikanzniveaus miteinbezogen werden, da er die natürliche Schwankungsbreite des Ergebnisses darstellt (Jacob, 1961).

Eine Reihenanlage als Versuchsaufbau soll nur bei wenigen Versuchsvarianten verwendet werden, da ansonsten der Versuch sehr langgestreckt wird und Bodenunterschiede wahrscheinlicher werden. In der Reihenanlage kann der Versuch jedoch gut überblickt werden und häufig ist diese Form der Anlage durch die Form des Feldstücks bedingt. Vorteile sind ein selteneres Wenden mit den Maschinen, um die Parzellen gleich zu behandeln (Jacob, 1961).

## 2.2 Boden

### 2.2.1 *Pflanzenoptimale Bodenstruktur*

Bodenbearbeitung beeinflusst mitunter die Bodenstruktur - das hat Prof. Liebhard 1994 in seiner Habilitationsarbeit sehr genau an einem oberösterreichischen Standort in Ansfelden mit einer tiefgründigen, mittelschweren, kalkfreien, pseudovergleyten Lockersediment- Braunerde untersucht. Dabei zeigte sich, dass ein ausschließlicher Einsatz von Fräse einen negativen Einfluss auf die Bodenstruktur hat. Der optimale Anteil an Poren am Bodenvolumen soll mindestens 42 % betragen (Liebhard, 1994).

Bodenbearbeitung beeinflusst auch die verschiedenen große Porenklassen. Dabei kann es zu einer Unterbrechung der Kapillaren an der Oberfläche kommen, wenn feinkrümeliger Boden und organisches Material die Oberfläche abdecken. Dies führt zu einer eingeschränkten Evaporation (Walther, 1986). Bei der Betrachtung der Bodenporen dürfen nicht nur das Porenvolumen und die Porengrößen beachtet werden, sondern es muss auch die Porenkontinuität untersucht werden, um die Funktionalität der Poren, besonders die Leitungsfunktion, bewerten zu können. Hierbei können die Poren als ununterbrochene Gänge in einem Netz vorkommen, oder als isolierte Hohlräume vorliegen (Walther, 1986).

Bodenbearbeitung wirkt sich auch auf die Bodenstruktur aus, indem sie einerseits mit den Geräten den Boden bewegt und den Boden mit Gewicht belastet, andererseits auch für die Verteilung der organischen Substanz und miteinhergehend das Bodenleben beeinflusst. Reduzierte Bodenbearbeitung wirkt sich meist positiv auf die Oberflächenstruktur aus und somit auf die Erosions- und Verschlammungsanfälligkeit und die Wasserverdaulichkeit. Das seichte eingearbeitete organische Material schafft eine raue Oberfläche sowie Grobporen. Durch die Förderung der Mikroorganismen trägt die seichte Einarbeitung zu stabilen Bodenaggregaten an der Oberfläche bei und schafft Bioporen. Diese Bioporen können auch in den darunter liegenden Schichten für eine Bodenlockerung durch neue Makroporen sorgen. In Form von Mikroporen kann der Boden für eine gute Wasserhaltefähigkeit sorgen und gleichzeitig durch die Lebendverdauung die Tragfähigkeit des Bodens erhöht werden (Schmidt, 2010a).

Wenn Böden gepflügt werden, kommt es zu einer Überlockerung der Böden und ein großer Luftraum entsteht. Nachfolgend sackt der Boden wieder zusammen, da die neu geschaffenen Poren nicht stabil genug sind. Der Pflug wirkt sich, bezogen auf die Bodenstruktur, negativ aus (Walther, 1986). Je stärker der Druck, der durch Pflüge unter dem Furchenrad des Traktors entsteht, umso eher kommt es darunter zu einer Porendiskontinuität bei der Sohle und weniger Durchlässigkeit. Infolge kann es zu Staunässe und einer verminderten Durchwurzelung kommen. Die Standorteigenschaften werden somit verschlechtert (Hartge 1983 in: Walther 1986). Tiefe Bearbeitung unter zu feuchten Bedingungen kann ebenso in der Krume zu einer Verminderung der Aggregatstabilität und einer Verdichtung führen (Richter 1982 in: Walther 1986).

Das Wasserhaltevermögen von Böden hängt primär vom Gehalt der organischen Masse ab und weniger von der Bearbeitung und der Veränderung des Sekundärbodengefüges. Bei gepflügten Beständen ist die Wasserkapazität im unteren Teil der Krume besser als im oberen, während bei Direktsaatflächen und Grünland die Wasserkapazität im oberen Teil der Krume besser ist (Ouwerkerk und Boone 1970, Jones et al. 1969 in: Walther, 1986).

## **2.3 Bodenbearbeitungsverfahren**

„Unter bester Bearbeitbarkeit eines Bodens versteht man den Zustand, der bei einem lockernden Eingriff mit einem Minimum an Energieaufwand zu einem Maximum an Bröckelung in Zugewinn an Grobporen führt“ (Diercks 1994, 71).

Bodenbearbeitung bewirkt eine Lockerung, die sich gleichzeitig auch verdichtend auswirkt und so ein Grundproblem der Bearbeitung darstellt. Schare der Werkzeuge üben beim Eindringen in den Boden einen Druck auf Bodenaggregate aus. Vor allem die darunter liegenden und die davor liegenden Aggregate werden beeinflusst, sodass es im Inneren zu einer Verminderung des Volumens kommt und gleichzeitig das Aggregat erhalten bleibt. Die Folge ist eine Lockerung zwischen den Bodenaggregaten bei gleichzeitiger Verdichtung innerhalb der Bodenaggregate (Diercks, 1994).

Bodenbearbeitung beeinflusst nachhaltig Bodeneigenschaften und die Pflanzenentwicklung in Kombination mit den Standorteigenschaften. Effekte von Bodenbearbeitungssystemen lassen sich meist nur langfristig erkennen, da ein Gleichgewicht im Boden erst nach längerer Zeit eintritt. Wird ein Bodenbearbeitungssystem geändert, wirkt sich dies auf Bodeneigenschaften, aber auch auf die Entwicklung und den Ertrag von Kulturpflanzen aus. Ebenso können sich die Kosten der Betriebsmittel dadurch ändern (Schmidt, 2010a; Bischoff, 2018).

Wird eine intensive Bodenbearbeitung angewendet, so kann dies zu einer Überlockerung, nachfolgend auch zu einer Bodenschadverdichtung und Erosion führen. Die Intensität der Grundbodenbearbeitung sollte hinterfragt werden. Durch konservierende Bodenbearbeitung kann eine Bodenbedeckung durch lebendiges und abgestorbenes Pflanzenmaterial gefördert werden und somit den Boden vor Klimaeinflüssen schützen. Ebenso führt sie zu einem stabileren Bodengefüge, das auch vor Verdichtungen schützen kann und Regen besser aufnehmen kann. Werden Pflanzenreste auf dem Boden belassen, können sie die unproduktive Verdunstung eindämmen (Bischoff, 2018).

Unkrautdruck zwischen den verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen wurde vielfach untersucht. Dabei gibt es viele Studien, in denen sich die Umstellung auf reduzierte Bodenbearbeitung (flache und tiefe) positiv auf den Druck durch Samenunkräuter und Ungräser auswirkte. Einige Studien zeigten auch positive Effekte betreffend Wurzelunkräuter, besonders Disteln (Schmidt, 2010a).

Minimalbodenbearbeitung wie die pfluglose Bodenbearbeitung erhöht den Unkrautdruck, besonders in Direktsaatsystemen und bei kurzen Fruchtfolgen. Eine funktionierende Fruchtfolge ist notwendig, um Unkraut- und Ungrasdruck gering zu halten (Peigné et al., 2007; Bischoff, 2018). Bei der konservierenden Bodenbearbeitung können Unkräuter mechanisch beseitigt werden, etwa durch mehrere Durchfahrten mit Grubber oder Scheibenegge. Somit kann eine ähnliche Unkrautwirkung erzielt werden wie bei der Bearbeitung mit Pflug (Dittmann und Zimmer, 2010; Bischoff, 2018). Einheitliche Unkrautbekämpfung im pflug- und nicht pflugbasierten Systemen führen laut anderen Autoren zu höherem Unkrautdruck in den pfluglosen Varianten. Je nach Kulturart konnten Erhöhungen um das 1,3-4,8-fache gemessen werden. Der Druck der Ungräser war jedoch noch größer und war bis 9,2-

mal höher als in der Pflugvariante. Ebenso wurde der Disteldruck ohne Pflugeinsatz höher (Dittmann und Zimmer, 2010).

Beim Bearbeitungssystem mit Pflug kann kaum eine Mulchdecke erhalten bleiben, was bei der konservierenden Bearbeitung jedoch möglich ist (Bischoff, 2018). Konservierende Bodenbearbeitung funktioniert vor allem auf drainagierten Tonböden, kalkhaltigen Böden und stabilen Lehmböden. Auf erosionsgefährdeten Standorten und bei trockenen Standorten mit guter Bodenstruktur kann sie gut eingesetzt werden. Bei einer schlechten Bodenstruktur, vor allem auf sandigen und schluffigen Böden, und bei feuchten Standorten ist die Anwendung einer konservierenden Bodenbearbeitung kritisch. Diese Faktoren sollen vor der Umstellung von konventioneller Bodenbearbeitung auf konservierende beachtet werden. Beim Umbruch von Zwischenfrüchten und Grünland kann eine tiefere Bodenbearbeitung benötigt werden und zwischen den Hauptfrüchten ist eine seichtere Bodenbearbeitung leichter möglich, die weiterhin für einen raschen Abbau der Pflanzenreste sorgt (Peigné et al., 2007). Eine zunehmende Anwendung von konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren wird durch betriebswirtschaftliche und verfahrenstechnische Vorteile gegenüber dem Pflug begründet. Das Pflugsystem wird durch die Notwendigkeit leistungsstarker Maschinen und die Zeitintensität mehr und mehr abgelöst (Bischoff, 2018).

WALTHER (1986) hat festgestellt, dass die Keimdichten von der Bodenbearbeitungsintensität abhängen. Seine Abstufung bei feuchten Verhältnissen auf einem Lössboden lautet folgendermaßen (von hoch nach tief): Pflug – Schwergrubber mit Rotoregge – Flügelschargrubber mit Rotoregge – Direktsaat. Bei den Kornerträgen konnte er auch Unterschiede feststellen. Die Verfahren ohne wendende Bodenbearbeitung wiesen um 11-18% niedrigere Kornerträge auf als die wendende Bearbeitung mit Pflug (Walther, 1986).

Ein Versuch zeigte, dass bei trockenen Bedingungen die Weizenkeimung bei der Direktsaatvariante bei 98% lag und somit mehr Keimwasser zur Verfügung stellte, während Schwergrubber-, Flügelschargrubber- und Pflugvarianten nur zwischen 75 und 80% lagen. Bei nassen Bedingungen erbringt die Pflugvariante bei gut durchlüfteten Böden eine höhere Keimrate als Direktsaat (Walther, 1986). Soll ein Boden pfluglos bewirtschaftet werden, muss auf eine gute Verteilung und Einarbeitung der Strohreste geachtet werden und die Saatechnik präzise erfolgen, um den Feldaufgang zu gewährleisten (Bischoff, 2018).

Die Jugendentwicklung bei Weizen kann bei Löss- und Auenböden bei feuchtwarmer Witterung im Direktsaatverfahren besser sein als in anderen Verfahren. WALTHER (1985) konnte keine einheitlichen Unterschiede des pflanzenverfügbaren Stickstoffs bei verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren (Pflug, Schwergrubber, Flügelschargrubber, Direktsaat) erkennen. Ein tendenziell niedrigeres Stickstoffangebot wurde in den Direktsaatvarianten vor allem bei Löss gefunden (Walther, 1986).

Im trockenen Jahr war die Stickstoffmineralisierung bei Direktsaat am geringsten und die Erträge lagen trotz der höchsten Keimrate nur im Mittelfeld. Bei Pflug waren die Erträge am höchsten, gefolgt von Schwergrubber und Direktsaat und die niedrigsten Erträge erzielte die Flügelschargrubbervariante (Walther, 1986). Der Ertrag auf einem Auenboden hat wegen Überschwemmungen und einem hohen Grundwasserstand große Schwankungen gezeigt. Durch die Einarbeitung von Stroh konnten die Erträge gesteigert werden (Walther, 1986).

SCHMIDT (2010a) kam zu der Erkenntnis, dass reduzierte Bodenbearbeitung den Ertrag in vielen Fällen senkt, den geringsten Ertrag erreicht eine nicht wendende Bearbeitung mit wenig Arbeitstiefe. Bei Hackfrüchten sind kaum Unterschiede beim Ertrag zu erkennen (Schmidt, 2010a).

SCHMIDT (2010a) hinterfragt die Aussagekraft von Ertragsbewertungen in wissenschaftlichen Versuchen, da sie oft nicht praxistauglich genug sind, um in der kurzen Versuchsdauer reale Ergebnisse zu erzielen und die Stabilität von Erträgen aufzuzeigen (Schmidt, 2010a).

Beim Direktsaatverfahren reicherte sich beim Versuch von WALTHER (1986) organische Masse in den ersten 10 cm an. Auf Lössboden konnte dies auch bei allen nicht wendenden Varianten festgestellt werden. Der höchste organische Kohlenstoffzuwachs konnte beim Einsatz von Flügelschargrubber mit einmaligem Pflügen im Herbst gemessen werden (Walther, 1986). Ein anderer Versuch zeigte, dass reduzierte Bodenbearbeitung verglichen mit Pflug (beide mit Bearbeitungstiefe 30 cm) organischen Kohlenstoff, mikrobielle Biomasse, anorganischen Stickstoff und labile Kohlenstoff- und Stickstoffpools im Boden erhöht (Salinas-Garcia et al., 1997). Beim Vergleich von Dammkultur konnten erhöhte Werte beim mikrobiellen

Kohlenstoff und Stickstoff um 5 und 6% verglichen mit Pflug erreicht werden. Es kam zu einer starken räumlichen Verteilung zwischen Dämmen und Furchen, ebenso bei der Lagerungsdichte, dem Bodenwassergehalt und anorganischem Stickstoff (Müller et al., 2009b). Ein anderer Versuch auf Tschernosem zeigte ebenso eine höhere Lagerungsdichte bei Dammkultur verglichen mit Pflug.

### **Erosion:**

Durch den Klimawandel kommt es in Zukunft vermehrt zu Starkregenereignissen und Trockenperioden. Somit werden Bodenbearbeitungssysteme mit wasserschonenden und ressourcenschonenden Maßnahmen an Bedeutung gewinnen. Dabei bekommt eine verringerte Bodenbearbeitungsintensität eine tragende Rolle. Bei geringer Wasserinfiltrationsleistung von Böden kommt es auch zu Wassererosion und somit zur Verlagerung von Bodenmaterial, im schlimmsten Fall wird damit Hochwasser verursacht. Besonders nach Pflugbestellungen sind Böden wassererosionsgefährdet. Nach dem Abtrocknen von stark verschlammten Böden wird eine Bearbeitung schwierig bis unmöglich und die Oberfläche verkrustet. Durchlässigkeit sowie Bodendurchlüftung werden herabgesetzt und die Luftzirkulation minimiert, was sich auf die biologische Aktivität auswirkt und zu Sauerstoffmangel führt. Ebenso sind gepflügte Böden mehr dem Risiko der Winderosion ausgesetzt, vor allem wenn sie trocken und unbedeckt sind. Bodenerhaltende Maßnahmen gewinnen so in der Zukunft an Wichtigkeit, sodass möglichst eine andauernde Bodenbedeckung, wenig unproduktive Verdunstung, eine gute Infiltrationsleistung, eine gute Wasserspeicherkapazität sowie wenig Oberflächenabfluss und wenig Nährstoffaustrag erreicht werden. Um mechanische Unkrautbekämpfung bei gleichzeitigem Erhalt einer Mulchdecke zu erreichen, kann optimalerweise Unkraut unter dem Boden abgeschnitten werden, sodass Wurzel und Trieb getrennt werden (Bischoff, 2018). Das Dammkultursystem kann mehr Erosionsschutz bieten als ein Pflugsystem, da Pflanzenreste eher an der Bodenoberfläche bleiben, während der Pflug die Pflanzenreste sehr gut im Boden verteilt (Pikul et al., 2001).

## **Standort:**

Bei der Wahl von Bodenbearbeitungssystemen spielen Bodeneigenschaften und das Klima eine tragende Rolle. Dabei ist vor allem in trockeneren Gebieten eine effiziente Wasserausnutzung von Bedeutung. In Gebieten, in denen die Wasserreserven über den Winter gut aufgefüllt werden können, erweist sich die konservierende Bodenbearbeitung als Vorteil, da sie die unproduktive Verdunstung dieser Reserven gering hält und die Infiltrationsraten erhöht (Bischoff, 2018).

Der Übergang von einer tiefgründigen Bodenbearbeitung zu einer seichten bietet das Gefahrenpotential, dass auf dazu neigenden Böden Verdichtungen auftreten können. Der Anbau von tiefwurzelnden Leguminosen wird hierbei empfohlen (Bischoff, 2018).

Bodenbearbeitung und biologische Aktivität wirken sich auf das Bodengefüge aus, und bestimmen somit das Verhältnis von Poren und fester Bodensubstanz, sowie die Anfälligkeit für Verdichtungen und Erosion. Bodenverdichtungen betreffen vor allem die Grobporen (Bischoff, 2018).

Landläufig wird die Meinung vertreten, dass umso leichter auf den Pflug verzichtet werden kann, umso trockener und schwerer ein Boden ist. Bei Sandböden sowie feinsandigen Schluffböden wird kaum auf den Pflug verzichtet, um eine Dichtlagerung zu verhindern. Gerade bei Böden mit Wassereinfluss (staunass oder grundwasserbeeinflusst) wird der Pflug oft empfohlen (Bischoff, 2018). Für die Bearbeitung von Tonböden ist viel Zugkraft notwendig, deswegen werden sie als schwere Böden bezeichnet. Eine weitere Bezeichnung ist „Minutenböden“, da das Zeitfenster für die Bearbeitung sehr eng ist. Die Kationenaustauschkapazität ist sehr hoch durch den hohen Tonanteil. Daraus folgt ein hohes Nährstoffspeicherpotential und wenig Nährstoffauswaschungsrisiko. Die Böden können viel Wasser speichern, jedoch viel davon in den Feinporen und somit ist dieser Anteil des Wassers nicht pflanzenverfügbar. Durch das gute Wasserhaltevermögen kann es leicht zu Luftmangel kommen und die Böden staunass werden und vergleyen. Tonböden sind anfällig für Bodendruck (Bischoff, 2018).

## **Definition von Bodenbearbeitungsverfahren:**

Nach BISCHOFF (2018) werden Bodenbearbeitungsverfahren in vier Gruppen nach ihrer Intensität unterschieden:

- „ganzflächig wendende, krumentiefe Bodenlockerung (mindestens 25 cm tief),
- Ganzflächig nicht wendende, mischende, krumentiefe Bodenlockerung (mindestens 25 cm tief),
- Ganzflächig flach mulchende, mischende Bodenbearbeitung (6 bis 10 cm tief) und
- Streifenbodenbearbeitung (auch Strip-Tillage oder Strip-Till) mit partieller krumentiefer Bodenlockerung (mindestens 25 cm tief)“ (Bischoff, 2018, p. 31).

Die Direktsaat wird als eine Sonderform ohne Bodenbearbeitung vor der Saat beschrieben (Bischoff, 2018).

Reduzierte und konservierende Bodenbearbeitung werden in der Literatur oft gleichgesetzt (Müller, 2009). Bei allen Bodenbearbeitungsverfahren ist es wichtig, die Überfahrt mit der bestmöglichen Qualität und zum passenden Zeitpunkt zu tätigen (Bischoff, 2018).

Das Dammkultur-System arbeitet mischend und lockernd mit der Möglichkeit zur krumentiefen Lockerung und der Möglichkeit zu schneidender Bearbeitung durch Drähte oder Spezialschare (Schmidt, 2010a). Es kann als reduziertes Bodenbearbeitungssystem angesehen werden, bei dem jedoch auch tief gelockert wird (Haase *et al.*, 2010).

Bei reduzierten Bodenbearbeitungssystemen oder dem Dammkultursystem ist eine übliche Aufteilung in Grund-, Folge- oder Vorbodenbearbeitung nicht unbedingt möglich. Es gibt viele ökologisch wirtschaftende Betriebe, die erfolgreich mit pflugloser Bodenbearbeitung arbeiten. Um erfolgreich zu sein, bedarf es Ausdauer und Kreativität von Landwirten bei der Einstellung der verwendeten Geräte. Dabei ist in pfluglosen Systemen die Anwendung der Maschinen häufig eine anspruchsvollere und muss genau an die Standortbedingungen und den Bodenzustand angepasst werden. Besonders Häufelpfluge haben sehr vielfältige Formen der Anwendungen, und brauchen viel Wissen und Erfahrungen (Schmidt, 2010a).

Durch ihre besondere Oberflächenform wegen des erhöhten Saatbettes stellt die Dammkultur ein von den üblichen Bearbeitungen abweichendes System dar. Eine Art des Dammkultursystems des amerikanischen Cornbelts belässt die Dämme mehrjährig an derselben Stelle und bearbeitet sie zwischen Ernte und erneuter Saat nicht. Dabei wird nur 1/3 der Bodenoberfläche bewegt und durch den zusätzlichen Mulch kommt es zur Erosionsminderung. Dieses System wird als reduziertes Bodenbearbeitungssystem angesehen (Müller, 2009).

Als Konservierende Bodenbearbeitung gelten alle Bodenbearbeitungsverfahren, die ohne wendende Verfahren arbeiten. Weitere Bezeichnungen sind Minimalbodenbearbeitung, reduzierte Bodenbearbeitung oder Mulchsaat.

Bezüglich Krankheiten und Schädlingen gibt es verschiedene Forschungsergebnisse betreffend reduzierte Bodenbearbeitung. Beim Befall von Pilzkrankheiten tendieren Studien eher zu einer Verminderung des Befalls bei reduzierter Bearbeitung (Schmidt, 2010a).

Am Versuchsstandort Raasdorf wurden vier Bodenbearbeitungssysteme auf einem 7-jährigen Feldversuch getestet. Wendepflug, Direktsaat, tiefe konservierende und seichte konservierende Bodenbearbeitung. Je geringer die Bodenbearbeitungsintensität war, umso mehr nahmen der organische Kohlenstoff, der Gesamtstickstoff, potentiell mineralisierbarer Stickstoff, Phosphor und Kalium in den ersten 10 cm zu. Organischer Kohlenstoff, Gesamtstickstoff, Phosphor und Kalium waren beim Wendepflug am gleichmäßigsten verteilt und mit abnehmender Intensität der Bodenbearbeitung nahmen diese nach unten hin ab. Besonders Phosphor und Kalium nahmen in 30-40cm ab und die Gefahr einer Unterversorgung in der Tiefe über längere Zeit besteht. Nach 7 Jahren hatten die unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme keinen Unterschied auf den pH-Wert auf einem neutralen Tschernosem bewirkt. Der pH-Wert nahm in die Tiefe hin leicht ab (von 7,55-7,61 zwischen 0 und 40 cm). Unterschiede gab es jedoch bei den Fruchtfolgen, wobei die Fruchtfolge mit Raps am Schluss leicht saurer war als die Fruchtfolge mit Mais am Schluss. Dies kann an unterschiedlichen Prozessen in der Rhizosphäre liegen.

Der Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphor wurde durch das Bodenbearbeitungssystem beeinflusst. In den obersten 10 cm hatten die Systeme

Direktsaat (NT), reduzierte Bodenbearbeitung seicht (CTs) und reduzierte Bodenbearbeitung tief (CTd) höhere Werte an pflanzenverfügbarem Phosphor als die Variante Pflug (MT). Die tief bearbeitenden Systeme Pflug und CTd erreichten in 30-40 cm Tiefe höhere Werte an pflanzenverfügbarem Phosphor als Direktsaat und CTs.

Beim organischen Kohlenstoff kam es zu großen Unterschieden in den ersten 10 cm zwischen den Bearbeitungssystemen. Die höchsten Werte erreichte NT, gefolgt von CTs, CTd und MT. Bei NT und CTs kam es zu einer Abnahme an organischem Kohlenstoff nach unten, die bei CTd weniger ausgeprägt war. In 30 bis 40 cm Tiefe erreichten NT und CTs die niedrigsten Werte, die Unterschiede zwischen den vier Bearbeitungssystemen waren aber nicht so ausgeprägt wie in den obersten 10 cm. NT und CTs können Humus mehren und können so bezüglich Humusgehalt auf lange Sicht nachhaltiger sein als MT und CTd.

Das pflanzenverfügbare Kalium verhält sich ähnlich und erreichte in den ersten 10 cm die höchsten Werte bei NT, gefolgt von CTs, CTd und MT. In 30-40 cm Bodentiefe verhält sich der Kaliumgehalt in genau umgekehrter Reihenfolge.

Der Gesamtstickstoff wurde im Versuch in Raasdorf ebenso vom Bodenbearbeitungssystem und seiner Tiefe beeinflusst, nicht aber von der Fruchtfolge. Das Direktsaatsystem und das seichte reduzierte Bodenbearbeitungssystem konnten den Stickstoff in den ersten 10 cm anhäufen und bei den anderen Systemen war kein Unterschied ersichtlich. Der potentiell mineralisierbare Stickstoff wiederum konnte bei allen Systemen mit Ausnahme des Pflugs in den ersten 10 cm angehäuft werden. Am meisten potentiell mineralisierbarer Stickstoff stand unter dem seichten reduzierten Bodenbearbeitungssystem zur Verfügung, da sich Pflanzenreste im oberen Bereich akkumulierten (Neugschwandtner *et al.*, 2014). Ein Versuch zur Dammkultur zeigte bei der Dammvariante höhere  $N_{\min}$ -Werte in 0-120 cm Tiefe und in 0-30 cm als bei der Pflugvariante. Dabei ergaben sich starke Unterschiede zwischen den Dammfurchen (13,8 kg/ha) und der Dammkrone (31,8 kg/ha). Das  $N_{\min}$ -Niveau war in den ersten 30 cm am niedrigsten. In der Variante Pflug wurde der meiste  $N_{\min}$  zwischen 60-90 cm gefunden, gefolgt von 30-60 cm. In der Variante Dammkultur war es umgekehrt, das  $N_{\min}$ -Niveau war in 30-60 cm am höchsten, gefolgt von 60-90 cm Tiefe (Zillger und Buchmann, 2009).

Ein weiterer Versuch wurde in Ansfelden, etwa 18 km entfernt vom Versuch dieser Arbeit, durchgeführt. Die Versuchsvarianten waren Pflug in drei verschiedenen Bearbeitungstiefen (17, 24 und 30 cm), Grubber in drei verschiedenen Bearbeitungstiefen (17, 24 und 30 cm), Fräse (10 cm Tiefe) und eine Kombination aus Fräse (10 cm vor Getreide) und Pflug (24 cm vor Hackfrüchten). Der Kaliumgehalt ( $K_2O$  CAL-Methode) kann durch unterschiedliche Bodenbearbeitungssysteme variieren. In diesem konventionellen Versuch wurden die höchsten Werte mit Fräse erreicht, gefolgt von Grubber und Pflug. Keine Unterschiede fanden sich im Phosphatgehalt ( $P_2O_5$ , CAL-Methode). Der Humusgehalt nahm mit zunehmender Bearbeitungstiefe ab. Bei nicht wendenden Bodenbearbeitungsverfahren nahm der Humusgehalt signifikant zu (Liebhard, 1995).

Im Ertrag konnten beim Versuch von LIEBHARD (1995) bei Winterweizen nur geringe Unterschiede zwischen reduziertem und konventionellem Bodenbearbeitungssystem festgestellt werden. Der höchste Ertrag zeigte sich im Integrierten Bodenbearbeitungssystem mit Pflug und Fräse abwechselnd eingesetzt, der niedrigste Ertrag war beim seichtesten Grubbereinsatz zu finden. Mit zunehmender Versuchsdauer wurde die Zahl der Jungpflanzen im pfluglosen System um bis zu 11% geringer, wobei die Unterschiede in der 10-jährigen Versuchsdauer größer wurden und anfangs an der Signifikanzschwelle lagen. Die Zahl der ährentragenden Halme verhält sich sehr ähnlich. Bei seichter wurzelnden Getreidearten wie dem Winterweizen kann diesem Versuch zufolge eine seichtere Bodenbearbeitung als standortüblich angewendet werden.

Ein Versuch auf einem tonigen Lehm in Südwestdeutschland ergab eine erhöhte Bodenatmung unter einem Schichtpflug (30 cm Bearbeitungstiefe), verglichen mit einem Wendepflug (30 cm Bearbeitungstiefe) (Vakali, Zaller und Köpke, 2011).

### **2.3.1 Wendende Bodenlockerung – Pflug**

„Die Frage, Pflügen oder nicht Pflügen?“ ist nicht eindeutig lösbar und sicher auch so falsch gestellt. Es sollte besser gefragt werden: „Wann pflügen und wann nicht pflügen?“ (Hampl 2010, 265). Es wird empfohlen, den Pflug bewusst zur Unkrautregulierung einzusetzen, jedoch nicht immer und für die bodenfördernden

Maßnahmen eine nicht wendende Bearbeitungsvariante zu wählen. Eine Kombination könnte der Zweischichtenpflug darstellen, der flach mischt und tief lockert (Hampl, 2010).

Durch die Bewirtschaftung mit Pflug kommt es zu einer krumentiefen und ganzflächig wendenden Bodenlockerung (Bischoff, 2018). Beim Pflugeinsatz wird eine undurchlässige und dichte Bodenschicht gebildet, die unterhalb der bearbeiteten Krume liegt (Walther, 1986). Meist kommt der Pflug im Zuge der Herbstfurche als Grundbodenbearbeitung zum Einsatz. Beim sogenannten Scharpflug wird der Boden in 20 bis 30 cm Tiefe gelockert und um 135-140 Grad gewendet. Umgekehrt sorgt der Schälppflug für eine flache Bearbeitung mit circa 10 cm Tiefe.

Die Aufgabe des Pfluges ist die Lockerung, das Wenden und Mischen des Bodens. Dabei sollen Pflanzenrückstände und Dünger eingearbeitet werden. Abbauvorgänge laufen dadurch schneller ab. Diese Vorgänge machen den Pflug bezogen auf die physikalischen, chemischen und biologischen Bodenparameter zum intensivsten Bodenbearbeitungsgerät. Dies hat eine gute Bereitstellung an Nährstoffen zur Folge, es kommt dadurch aber auch zu Humusabbau. Durch die wendende Wirkung wird Unkraut mechanisch entgegengewirkt und Pflanzenkrankheiten und Schädlinge werden verringert (Bischoff, 2018).

Auswirkungen des Pflugeinsatzes sind stark von der Art der Einstellungen des Gerätes, der Bodenfeuchte und der Bodenart abhängig. Dabei ist auf die Vermeidung von Schadverdichtungen und Pflugsohlen zu achten. Beim Pflugeinsatz wird der Grobporenanteil erhöht und somit das Krumenvolumen erhöht. Durch die Volumensvergrößerung wird anschließend durch den Krumpacker die Ackerkrume wieder verdichtet. Er wirkt verdichtend auf die Unterkrume, lässt die Oberschicht jedoch locker. Bei der Anwendung des Krumpackers muss die Furche von loser Erde frei gehalten werden, da sie bei erneutem Befahren durch das Furchenrad sonst mitwirkt bei der Pflugsohlenbildung (Bischoff, 2018).

Strukturschäden durch den Pflug können durch Flankendruck und Schlupf von zu breiten Antriebsrädern in der Furche entstehen. Der sogenannte Maurerkelleneffekt entsteht bei der Bewegung und Verschmierung des Bodens durch die Reifendrehung. Poren brechen, werden gegeneinander verschoben und anschließend gepresst und zugeschmiert. Am anfälligsten ist der Boden bei feuchten

Bedingungen. Eine dichte Grenzschicht kann entstehen, die dichter ist als der Untergrund. Abhängig sind diese Auswirkungen außerdem von der Raddruckbelastung, der Bearbeitungstiefe und dem Druck vom Pflugschar (Bischoff, 2018).

### 2.3.2 Tiefe mischende, nicht wendende Bodenlockerung

Die mischende, nicht wendende Bodenlockerung wird auch **Konservierende Bodenlockerung** genannt. Die Tiefe reicht auf 20 bis 30 cm hinab. Das vorrangige Ziel ist das Aufbrechen von Bodenverdichtungen. Dabei kommt es zu keinen Schnittflächen oder Gleitsohlen. Somit wird die Wasserinfiltration nicht gestört. Vorzugsweise werden schmale Werkzeuge auf **Grubbern** aufgeschraubt, um Bodenschollen durch breitere Werkzeuge zu verhindern (Bischoff, 2018).

Bei der Bearbeitung spielt die Fahrgeschwindigkeit eine große Rolle. Ist der Boden trocken, kann eine hohe Geschwindigkeit zu einer guten Zerkleinerung führen, bis die Bearbeitungsgrenze erreicht ist und große Schollen aus dem Boden gerissen werden. Sind Tonböden stark verdichtet, wird die Bearbeitungstiefe erst nach einigen Überfahrten erreicht, weil ansonsten der Kraftaufwand zu hoch wäre (Bischoff, 2018).

Werden Bearbeitungstiefen bei der konventionellen, als auch bei der konservierenden Bodenbearbeitung abgewechselt, können stark verdichtete Schichten vermieden werden. Bei weitreichenderen Bodenverdichtungen kann eine Krumbasislockerung auf 30-40 cm Tiefe durchgeführt werden. Die Tiefenlockerung findet unmittelbar nach der Stoppelbearbeitung statt und erfolgt schräg zur üblichen Bearbeitungsrichtung, um eine anschließende Wiederverdichtung zu vermeiden. Dabei sind trockene Bedingungen notwendig, sodass die verdichtete Zone bröckelnd aufbricht. Die Bodenstruktur wird dabei nicht zerstört, ebenso werden die Bodenhorizonte nicht vermischt. Um eine längere Lockerung gewährleisten zu können, ist im Anschluss eine schnelle und intensive Durchwurzelung notwendig (Bischoff, 2018).

### 2.3.3 Flache mulchende, mischende Bodenbearbeitung

Wird eine flache mulchende, mischende Bodenbearbeitung angewandt, so dient sie als **Stoppelbearbeitung** oder **Saatbettbereitung** (Bischoff, 2018).

Bei der Stoppelbearbeitung werden Pflanzenreste mit dem Boden vermischt und ein schnellerer Abbau erfolgt. Die Keimung der Samen von Ausfallgetreide oder Unkraut soll angeregt werden, was auch eine Rückverfestigung mit einer Walze benötigt. Durch die Mulchdecke kann die Verdunstungsrate gesenkt werden, jedoch auch die Aussaat behindert werden. Um Krankheiten durch Pflanzenrückstände verhindern zu können, muss auch eine ausgewogene Fruchtfolge angewandt werden (Bischoff, 2018).

Je enger die Fruchtfolge und je kürzer die Zeit, für Verrottungsprozesse ist, umso besser müssen Pflanzenrückstände in den Boden eingearbeitet werden. Sind große Strohmenen am Feld vorhanden, ist eine zweite Einarbeitung nötig, wobei die Pflanzenrückstände auf etwa 20 cm Tiefe eingearbeitet werden. Eine tiefere Bearbeitung kann zu steigenden Wasserverlusten führen (Bischoff, 2018).

### 2.3.4 Vergleich wendender – nicht wendender Bodenbearbeitung

„Ökologischer Ackerbau kann auch bei einem Verzicht auf tiefes Pflügen langfristig erfolgreich sein (Schmidt, 2010a, 284).

Meistens verbessert sich bei der Anwendung reduzierter Bodenbearbeitungssysteme die Oberflächenstruktur eines Bodens, der Humusgehalt und das Bodenleben wird gefördert. Dadurch kommt es zu einer besseren Wasserhaltefähigkeit und einem verringerten Erosionsrisiko. Die Wasserverdaulichkeit wird vor allem durch die vielen Bioporen, unter anderem durch Regenwürmer verursacht, verbessert.

Einschränkungen gibt es oft seitens der Stickstoffmineralisierung bei reduzierten Systemen. Wirtschaftlich ist in reduzierten Systemen oft mit Einbußen von 10-20% im Ertrag bei Druschfrüchten zu rechnen. Diese Mindererträge können oft durch die verringerten Maschinenkosten und weniger Treibstoffverbrauch kompensiert werden (Schmidt, 2010a).

Laut BISCHOFF (2018) bewirkt der Einsatz von Pflug stark gelockerte Bodenverhältnisse in der Oberbodenkrume. Der Übergang zum Unterboden erweist sich jedoch als verdichtet. Bei den nicht wendenden Varianten sind die Luftkapazitäten geringer in den oberen Bodenschichten, steigen jedoch in den unteren Bodenschichten an. Im Versuch gab es auch eine Variante, die seit kurzer Zeit pfluglos ist und geringe Luftkapazität im gesamten beprobten Horizont (66 cm) aufweist. Bei der Mulchsaatvariante war oben wenig Luftkapazität und unten eine hohe Luftkapazität zu finden.

Bei den Varianten ohne Pflug konnten nach einigen Jahren mehr vertikale Poren und Bioporen nachgewiesen werden, obwohl die Luftkapazität geringer war. Dies führte zu einer enormen Verbesserung der Regenverdaulichkeit. Das bedeutet, dass auf lange Zeit konservierende Bodenbearbeitung die Infiltration in den Boden fördert und der Oberflächenabfluss vermindert werden kann (Bischoff, 2018).

Systeme in der Bodenbearbeitung unterscheiden sich oft durch die Art der Einmischung von Pflanzenresten und organischen Düngern. Während beim Pflug das organische Material sehr gleichmäßig über die gesamte Krume verteilt wird, konzentriert sich das organische Material bei nicht wendenden Verfahren oft auf den oberen Teil der Bodenkrume (Schmidt, 2010a). Dadurch kann es zu höheren Humusgehalten im Oberboden (0-15 cm) bei nicht wendender Bearbeitung mit Scheibenegge und Schwergrubber (12-15 cm Tiefe) und zu minimal höheren Humusgehalten in 15-30 cm Tiefe bei Pflugeinsatz auf 25-30 cm Tiefe kommen. Insgesamt erreichte die pfluglose Variante in einem Versuch höhere Humusgehalte in der Ackerkrume (0-30 cm) (Dittmann und Zimmer, 2010).

Manche Standorte können ohne Pflugfurche im Frühling nur langsamer abtrocknen als gepflügte Standorte (Quintern, 2006).

Bezüglich der Regenwürmer wirkt sich eine nicht wendende Bearbeitung besser auf den Besatz, insbesondere den der tief grabenden Arten, aus (Schmidt, 2010a).

In unterschiedlichen Studien wurde die Auswirkung reduzierter Bodenbearbeitung auf das C/N-Verhältnis, also das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Gesamtstickstoff, beobachtet. So kommt es zu einem gemeinsamen Verschieben des C- und N-Gehaltes (Peigné et al. 2007 nach Schmidt 2010 und Ekeberg & Riley 1997 nach Schmidt 2010) oder aber auch zu einem weiteren C/N-Verhältnis bei

abnehmender Bodenbearbeitungsintensität in den oberen 10 cm. Bei Direktsaat und Parapflug konnte ein höherer Anteil an organischer Substanz und organischem Stickstoff in den ersten 10 cm Boden gemessen werden. In den Tiefen 10-30 cm kam es jedoch zu einer Minderung der Werte. In den ersten 10 cm hat die Pflugvariante und Grubber ein niedrigeres C/N-Verhältnis als die Varianten Direktsaat und Parapflug. Somit ist die organische Substanz unter Pflug schon mehr humifiziert und weniger kohlenstoffreich als die anderen Varianten (López-Fando und Pardo, 2009).

Bei einem Versuch mit dem Vergleich von Grubber, Pflug und nur einem zeitweisen Einsatz von Pflug konnte letztere Variante mit den Erträgen von nur Pflug mithalten. Wirtschaftlich und in Bezug auf Bodenschutz brachte diese Variante die besten Ergebnisse. Die Grubbervariante brachte niedrigere Erträge, jedoch eine höhere Humusanreicherung, mehr Stickstoffvorräte und eine Verbesserung des Bodenlebens (Kainz, 2010).

Bodennährstoffe sind in reduzierten Bodenbearbeitungssystemen häufig in der Oberkrume akkumuliert, wobei bei Kalium am ehesten ein Unterschied zum Pflugsystem erkannt werden kann (Schmidt, 2010a). Ein Versuch zeigt, dass im Pflugsystem weniger Kalium aber mehr Phosphor in der Ackerkrume vorhanden ist als bei nicht wendender Bearbeitung. Durch den Pflugeinsatz kommt es zur vermehrten Auswaschung von Kalium und Düngereinsatz ist vermehrt notwendig (Dittmann und Zimmer, 2010). In der Nährstoffmenge über die gesamte Krume hinweg gibt es jedoch nur selten Unterschiede. Bezüglich des pH-Wertes bei reduzierter und wendender Bodenbearbeitung kann keine eindeutige Aussage getroffen werden, da es unterschiedliche Versuchsergebnisse gibt (Schmidt, 2010a).

Die **Stickstoffmineralisierung** unter verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren hängt stark von der Art der Bearbeitung, den Standortbedingungen und dem Dünge- und Fruchtfolgesystem ab. Dabei ist ein Vergleich von konventionellen und ökologisch geführten Flächen aufgrund der mineralischen Düngung nur schwer möglich. Bei reduzierten Bodenbearbeitungsverfahren kann eine niedrigere Mineralisierung auftreten, jedoch nicht zwingend, da die Art des Maschineneinsatzes, der Standort und der Rest der Bewirtschaftung ebenso eine Rolle spielen (Schmidt, 2010a).

Bei der Bewertung der Bodenbearbeitungssysteme hinsichtlich des Ertrags darf auf keinen Fall ökologische und konventionelle Landwirtschaft verglichen werden, da der Betriebsmitteleinsatz einen entscheidenden Unterschied macht. Durch Dünger und Herbizide können etwaige Ertragsunterschiede ausgeglichen werden. Ebenso spielt der Standort bei der Ertragsbildung eine wichtige Rolle (Schmidt, 2010a).

Je weniger intensiv ein Bodenbearbeitungssystem ist, umso eher tendieren die Erträge abzunehmen. Gründe können eine geringere Stickstoffmineralisation, eine veränderte Bodenstruktur oder höheres Unkrautkommen sein. Meist sind Ertragsunterschiede nicht nur auf einen Faktor zurückzuführen. Zu den größten Unterschieden kommt es bei komplettem Verzicht auf wendende Bodenbearbeitungsverfahren. Im Feldfutterbau konnten durch das bessere Wasserhaltevermögen der reduzierten Varianten auch gegenteilige Ergebnisse mit höheren Erträgen erzielt werden (Berner et al. 2010, Dittmann & Zimmer in Schmidt 2010a). Bei Hackfrüchten kommen Autoren zu verschiedenen Ergebnissen beim Ertrag (Schmidt, 2010a).

### **2.3.5 Vergleich seichter und tiefer nicht wendender Bodenbearbeitung**

SCHMIDT (2010a) konzentrierte sich auf nicht wendende Verfahren und stellte bei Böden mit seichter Bodenbearbeitung einen höheren Anteil an organischer Substanz fest, als Betriebe, die ebenso die Unterkrume lockern. Wenn mehr organische Substanz im oberen Teil der Krume angehäuft wird kann es vorkommen, dass der organische Anteil im unteren Teil der Krume abnimmt. Wie sich seichte und tiefe nicht wendende Bodenbearbeitung im gesamten Humusgehalt unterscheiden, ist umstritten. Neben einer Anreicherung von Humus bei der seichten Bearbeitung können auch Nährstoffe wie Kalium, aber auch Phosphat und Zink und das Bodenleben im oberen Teil der Krume angereichert werden. Bezüglich des pH-Wertes gibt es kein klares Muster. Bezüglich der Stickstoffmineralisierung werden eher niedrigere Werte bei reduzierter Bearbeitung beschrieben, jedoch hängen diese sehr stark von der jeweiligen Bewirtschaftung und dem Standort ab (Schmidt, 2010a).

### 2.3.6 Dammkultur

Das eingesetzte Gerät im System der Dammkultur wird als „Häufelpflug“ bezeichnet. Im Nordwesten von Spanien wird es auch heute noch angewendet (Stielow, 2007). Es dient als Universalgerät bei allen Arbeitsschritten (Quintern, 2006). Einsatzbereiche sind die Stoppel- und Grundbodenbearbeitung, das Auf- und Umhäufeln, die Saat, die Pflege oder das Pflanzen von Kartoffeln. Unkrautpflege kann mit Striegel oder durch Hacken mit dem Häufelpflug erfolgen (Schmidt, 2010a). An einem Eisenrahmen können je nach Bedarf unterschiedliche Geräte angebracht werden, die sich nach dem jeweiligen Arbeitsschritt und dem Bodentyp richten. Das Gerät arbeitet tief lockernd und flach mischend (Quintern, 2006).

Beweggründe für LandwirtInnen zur Umstellung auf Dammkultur sind oftmals Schadverdichtungen und Problemverunkrautungen. Um das System im Betrieb implementieren zu können, ist pflanzenbauliches Wissen und eine gute Standortkenntnis nötig. Vor allem in den ersten Jahren ist Beratung notwendig (Quintern, 2006).

Zentrales Element sind die Häufelkörper, die verschieden aufgebaut sind und im Tal der Dämme fungieren. Sie schütten links und rechts die Erde auf den Damm auf, beziehungsweise ziehen neue Dämme. Beim Dammkultursystem nach Turiel beträgt der übliche Abstand zwischen den Dämmen 90 oder 45 cm, abweichende Systeme existieren, beispielsweise der Firma Frost mit einem Reihenabstand von 80 cm (Quintern, 2006; Schmidt, 2010a). Umgangssprachlich werden die Dämme nach ihrem Abstand bezeichnet. So wird von „90er Dämmen“ oder „45er Dämmen“ gesprochen. Der Dammabstand richtet sich nach der jeweiligen Kulturart. Bei Getreide, mit Ausnahme Mais, wird auf 45er Dämmen angebaut. Mais wird auf 90er Dämmen kultiviert. Getreide und Leguminosen werden in diesem System ebenso auf Dämmen angebaut und zwar auf den Dammkronen (Quintern, 2006). Auch bei Feldgemüse kann der Häufelpflug eingesetzt werden (Schmidt, 2010a).

Die Feldoberfläche wird durch die Dämme im Vergleich zu ebenen Flächen vergrößert. Gegenüber einer gepflügten Fläche konnte eine um 9% höhere Bodenoberfläche festgestellt werden. Das ergibt eine Oberfläche von 1,0878 ha pro Hektar Fläche (Müller *et al.*, 2009a).

Eigene theoretische Berechnungen zur Oberfläche ergaben folgendes Ergebnis:

90er Dämme – 15 cm breite Dammkrone – 20 cm Höhe: 1,111 ha → + 11,1%  
Oberfläche

90er Dämme – 15 cm breite Dammkrone – 30 cm Höhe: 1,234 ha → + 23,4%  
Oberfläche

45er Dämme – 10 cm breite Dammkrone – 15 cm Höhe: 1,247 ha → + 24,7%  
Oberfläche

Beim Versuch von MÜLLER (2009) erreicht das Dammkultursystem bei Weizen geringere Erträge und die Unterschiede werden auf einen niedrigeren Kornertrag/Ähre (1,1 g/Ähre) als bei Pflug und Ecomat (je 1,3 g/Ähre) zurückgeführt. Bei Wintergerste, Ackerbohne und Kartoffeln wurden in diesem Versuch ebenso geringere Erträge erzielt. Im Versuch wurde ebenso festgestellt, dass das Dammkultursystem im Vergleich zum Pflugsystem bei Ackerbohne weniger CO<sub>2</sub> freisetzt. Der Standort Frankenhausen hat 699 mm Niederschlag bei einer Jahresdurchschnittstemperatur von 8,5° C im 30-jährigen Mittel. Der Bodentyp ist eine Parabraunerde aus Löss bei einem C/N-Verhältnis von 11. Die Anzahl der Bodenbearbeitungen vor der Saat von Sommerweizen betrug zwischen Begrünungsumbruch und Ansaat je 3 Mal bei Winterweizen und bei Ackerbohne (Müller, 2009).

Das Gerät arbeitet tief lockernd und flach mischend und ermöglicht eine krumentiefe Lockerung. Im System werden Dämme aufgehäufelt und auch umgehäufelt, was bedeutet, dass sie versetzt werden, indem die Häufelwerkzeuge am Rahmen versetzt werden. Ebenso kann die Dammbasis aufgelockert werden. Werden Dämme versetzt, sorgt dies für eine Lockerung und Mischung des Bodens und Unkräuter werden verschüttet. Die Fruchtfolge muss so an die Bodenbearbeitung angepasst werden, dass nach dem Umhäufeln eine ausreichende Bodenruhe gewährleistet werden kann. Um eine schneidende Bearbeitung zu erzielen, kann ein breites Spezialschar eingesetzt werden oder sogenannte Drähte, die quer zur Fahrtrichtung an Scharen oder Grindeln befestigt werden können. Damit können beispielsweise die Wurzeln von Ackerkratzdisteln abgeschnitten werden (Quintern, 2006; Haase *et al.*, 2010; Schmidt, 2010a) oder Unkräuter entwurzelt werden. Drähte werden etwa 1 cm

tief geführt bei der Hacke und durch die Selbstführung des Geräts können sie sehr knapp hacken. Distel- und Queckenprobleme sollen dadurch nach zwei bis drei Jahren „sicher“ reguliert werden und so können Bodenüberfahrten eingeschränkt werden (Stielow, 2007). Bei der Hacke von Jungpflanzen soll etwa 20 kg Stickstoff freigesetzt werden. Dabei kann eine Kettenwalze eingesetzt werden, die Unkraut beseitigt und Getreide zum Bestocken anregt und zu robusten kürzeren Halmen führt (Stielow, 2007). Im Dammkultursystem kann das Gerät auch zur Unkrautregulierung verwendet werden und für den Sävorgang kann eine meist pneumatische oder mechanische (Drill-)Sämaschine auf den Rahmen aufgesetzt und integriert werden. Für die Saat wird in die Dämme gesät oder beim Sävorgang die Dämme umgehäufelt (Quintern, 2006; Müller, 2009). Im System sind Untersaaten in den Dammfurchen möglich (Quintern, 2006).

Dammkulturgeräte gibt es von diversen Herstellern, beispielsweise von Julian Turiel oder FB-Frost. Am Rahmen können Werkzeuge fürs Hacken, Häufeln, Striegeln oder Schleppen befestigt werden. Die Werkzeuge sind Häufelschare, Säschare, Tiefenlockerer oder Schleppen (Quintern, 2006). Bearbeitungstiefen und Anwendungen variieren stark zwischen den anwendenden Betrieben, so kann zum Beispiel mit Bearbeitungstiefen von 10-20 cm oder auch 35-40 cm bei der Tiefenlockerung gearbeitet werden (Quintern, 2006; Müller, 2009; Haase *et al.*, 2010; Schmidt, 2010a, mündliche Information von Johannes Doppelbauer, Wels, 01.05.2019). Ist der Boden trocken genug und wird auf ausreichend Durchwurzelung geachtet, kann die Tiefenlockerung bis über 40 cm gehen (mündliche Information von Johannes Doppelbauer, Wels, 01.05.2019). Bei einer Bearbeitungstiefe von 10-15 cm kann ein 15-20 cm hoher Damm geschaffen werden. Ziele der Tiefenlockerung sind die Förderung der Durchwurzelung, bessere Infiltrationsraten und ein durch Aufwerfen von Schollen vermindertes Erosionsrisiko (Quintern, 2006; Müller, 2009; Haase *et al.*, 2010; Schmidt, 2010a). In Nordrhein-Westfalen zählt die Dammkultur als erosionsmindernde Bodenbearbeitung und bekommt so flächenbezogenen Förderungen (Quintern, 2006).

Der Versuch in Frankenhausen hat die Erträge von Ackerbohnen, Wintergerste, Klee gras mit 3 Schnitten und Kartoffeln erhoben und geringere Erträge als beim Pflugsystem erzielt. Die Wurzelmasse des Klee grasses hat im Mai höhere Werte aufgewiesen (Quintern, 2006).

Betriebe begründen die Umstellung zur Dammkultur beispielsweise mit hohem Disteldruck, schlechter Bodenstruktur oder niedrigen Marktfruchterträgen. Sie wollen die Bodenqualität, den Ertrag oder die Backqualität des Weizens erhöhen. Ein Vorteil ist die Möglichkeit, Überfahrten einzusparen, wenn direkt in den Damm eingesät werden kann (Haase *et al.*, 2010). Der Häufelpflug soll auf lange Sicht Ertragsschwankungen durch Nässe und Trockenheit ausgleichen und zu stabilen Erträgen führen (Haase *et al.*, 2010).

Der Häufelpflug wird häufig kombiniert mit Striegel, Scheibenegge, Federzinkengrubber, Kreiselegge oder Drillmaschine. Betriebe können bei passenden Verhältnissen durch den Einsatz des Häufelpfluges auf den Einsatz einer Fräse verzichten (Schmidt, 2010a).

Nicht wissenschaftliche Literatur beschreibt die Dammkultur meist mit vielen Vorteilen: Das Dammkultursystem soll in sehr kurzer Zeit die Krümelung des Bodens stark verbessern. Vor allem bei verdichteten schweren Tonböden kann das System gut eingesetzt werden, indem eine Kettenwalze den Boden andrückt und an der Oberfläche feinkrümeligen Boden hinterlässt (Stielow, 2007).

Das Ertragsniveau soll auf Dauer ausgeglichen werden und nicht mehr so stark von zu feuchten oder zu trockenen Bedingungen abhängen. Bei der Bearbeitung kommen am Anfang oft große Kluten an die Oberfläche, die schon nach dem ersten Jahr zerfallen sollen. Bei stark tonhaltigen Böden dauert es länger, bis sich das neue System eingependelt hat. Sandige Böden können durch die Dammkultur ebenso eine gute Gare erreichen. Der Umsatz von abgestorbenem Material erfolgt viel schneller in Dämmen als in flachen Bodenbearbeitungssystemen. Durch die viele mikrobielle Biomasse kommt es auch zu mehr CO<sub>2</sub>-Ausgasungen am Feld und einer positiven Wirkung auf die Saat, die Keimpflanzen und die daraus wachsende Kultur (Stielow, 2007).

STIELOW (2007) glaubt nicht, dass die Dammkultur zu einem Humusabbau führt, da „die Biomasse im Boden und deren Stoffwechselprodukte nicht unbedingt mineralisieren, wenn ausreichend Pflanzen- und Wurzelmasse vorhanden ist. Auch die geringe Zahl der Bodenbearbeitungsgänge in der etablierten Dammkultur spricht gegen eine Mineralisierung des Humus unter dem Einsatz des Häufelpfluges“

(Stielow, 2007, 30). Durch den lockeren Boden kann Saatgut tief abgelegt werden, zum Beispiel Ackerbohnen bis 15 cm, Getreide bis 10 cm und Raps auf 5 cm Tiefe. Dadurch soll das Wurzelwachstum angeregt werden und die Pflanze das Blindstriegeln überleben. Beim Blindstriegeln werden Kettenwalzen verwendet und danach werden die Dämme gehäufelt. So bildet sich auf der Bodenoberfläche eine dünne Mulchschicht aus Boden, die die Verdunstung hemmt (Stielow, 2007).

## 2.4 Stickstoffkreislauf

Der Stickstoffkreislauf wird nachfolgend anhand der Grundlagenliteratur von SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL UND BLUME (2010) erläutert.

Stickstoff (N) kann oft ertragsbegrenzend wirken und durch die Menge und Verfügbarkeit kann es zu Ertragsregulierungen und -steigerungen kommen. Diese ökonomische Sichtweise wird seitens gesetzlicher Regulierungen aus ökologischen Gründen eingedämmt. Nitrat wird leicht aus dem Boden ausgewaschen und führt so zu Oberflächen- und Grundwasserverunreinigungen. Stickstoff kann als das Treibhausgas Lachgas (Distickstoffmonoxid,  $N_2O$ ) auch in der Atmosphäre gefährlich wirken. Außerdem kann Ammonium ( $NH_4^+$ ) und Nitrat ( $NO_3^-$ ) als Deposition im Boden und Gewässer versauernd wirken und die Biodiversität gefährden (Scheffer, Schachtschabel und Blume, 2010).

Stickstoff kommt in unterschiedlichen Verbindungen sowohl in der Luft als auch im Boden vor. Atmosphärischer Stickstoff in Form von  $N_2$  kann auf natürliche Art fixiert werden. Nachfolgend angeführte Prozesse spielen in der Landwirtschaft gemäßigter Gebiete eine Rolle.

Die biologische Stickstofffixierung läuft anhand von freilebenden heterotrophen Bakterien ab und kann zwischen 1 und 30 kg/ha/a betragen. Je mehr leicht verfügbarer organischer Stickstoff vorhanden ist, umso weniger Stickstoff wird fixiert. Auch eine Stickstoffdüngung vermindert die natürliche Stickstoffbindung. Eine

stickstoffzehrende Frucht wie Weizen braucht für die volle Entwicklung etwa 190 kg Stickstoff pro Hektar, was die biologische N<sub>2</sub>-Bindung stark übersteigt.

Eine vor allem im Biolandbau stark genützte Methode, um Stickstoff im Boden zu mehren, ist die symbiontische N<sub>2</sub>-Bindung (N<sub>2</sub> = molekularer Stickstoff) durch Rhizobien, Knöllchenbakterien. Mithilfe von Leguminosen sind sie in der Lage, bis über 300 kg N/ha/a zu binden. Ein gut durchlüfteter Boden, pH-Werte bis leicht sauer oder alkalisch sowie ausreichend vorhandenes Eisen, Molybdän und Cobalt verbessern das Stickstoffbindungsvermögen. Mithilfe großen Energieaufwandes kann Luftstickstoff auch künstlich fixiert werden. Der Prozess wird als Haber-Bosch-Verfahren bezeichnet. Die auf diese Art hergestellten Stickstoffdünger sind in der biologischen Landwirtschaft verboten.

Das Stickstoffbindungsvermögen hängt von äußeren Einflüssen ab. Einstrahlung, Temperatur, Niederschlag, Düngung und N-Umsetzung im Boden sind solche Faktoren. Als Bestandteil von Aminosäuren kommt Stickstoff in großen Mengen in der mikrobiellen Biomasse vor und stellt auf diese Art organisch gebundene N-Reserven von 80-300 kg/ha/a im A<sub>p</sub>-Horizont von mitteleuropäischen Ackerböden dar. Stickstoff, der aus der Atmosphäre in den Boden übergeht, ist meist zu über 90% organisch gebunden. Der Rest kann durch die NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Fixierung über Tonminerale anorganisch gebunden werden.

Stickstoff in organischer Form stammt meist aus organischen Pflanzenrückständen oder Bodenorganismen sowie jeglichen Stoffwechselprodukten, ist aber auch in Huminstoffen gebunden. Der Großteil an organischem Stickstoff kommt in Amid- und Peptidverbindungen vor, ein kleinerer Teil als Proteine, Aminosäuren sowie Amino Zucker. Amino Zucker stammen vor allem aus mikrobiellen Resten. In Huminstoffen sind viele Amid-Stickstoff-Verbindungen und heterocyclisch gebundener Stickstoff vorhanden.

Die Stickstoffvorräte können in einen stabilen und einen labilen N-Pool unterteilt werden. Ihre Anteile sind stark vom Boden, seiner Nutzung und den klimatischen Bedingungen abhängig. Zum stabilen N-Pool zählen Amide, Peptide und Huminstoffe, die in stabilen Verbindungen eingebaut sind. In dieser Form sind sie nur schwer abbaubar und können lange überdauern.

Im labilen N-Pool werden leicht abbaubare Stickstoffverbindungen zusammengefasst. Diese sind pflanzliche Aminosäuren und Proteine.

$N_t$  bezeichnet den Gesamt-Stickstoff-Gehalt im Boden. Sein Anteil beträgt im gemäßigt-humiden Klima etwa 0,7-2 g/kg Boden im  $A_p$ -Horizont, was 3-9 t/ha entspricht. Der  $N_t$ -Gehalt ist eng an den  $C_{org}$ -Gehalt des Bodens gebunden. Bei Nutzungsänderung können sich beide Gehalte rasch verändern und innerhalb weniger Jahre kann der  $N_t$ -Gehalt um die Hälfte absinken. Dies ist beispielsweise vom Umbruch von Grünland zur Ackernutzung der Fall. Wirkt sich die Nutzungsänderung positiv auf den  $N_t$ - und  $C_{org}$ -Gehalt aus, so dauert der Aufbau um das Doppelte zweimal so lange wie der Abbau von  $N_t$  und Zeitspannen von etwa 150 Jahren können dafür benötigt werden. Eine Erhöhung von  $N_t$  bis zu 25% ist durch die Ausbringung von Kompost und Festmist möglich.

Durch den starken Zusammenhang von  $C_{org}$  und  $N_t$  kann für unterschiedliche Böden ein sehr klares relativ konstantes Kohlenstoff/Stickstoff (C/N)-Verhältnis angegeben werden. Mitteleuropas Acker- und Grünlandflächen haben in der Regel ein C/N-Verhältnis von < 10-15. Je weniger zersetzt das organische Material im oder auf dem Boden ist, umso weiter das Verhältnis. Saure Waldböden können ein Verhältnis von 25-38 aufweisen. Am extremsten verhält sich das C/N-Verhältnis von Mooren mit 40-60. Mit dem heute sehr hohen (gegenüber wann oder was?) atmosphärischen Stickstoff kommt es zur Verengung von C/N-Verhältnissen durch eine stärkere organische Bindung von N. Der Grund liegt im mikrobiellen und abiotischen Einbau von  $NH_4^+$  und  $NO_3^-$  in organische Substanzen.

Die Stickstoffgehalte im Boden werden stark vom Klima mitbestimmt. Temperatur und der N/S-Quotient bestehend aus Niederschlägen/Sättigungsdefizit können Böden mit gleichem Ausgangsgestein in unterschiedlichster Weise verändern. Bei niedriger Temperatur kommt es zum höchsten Anstieg an  $N_t$ , genauso wie bei zunehmendem N/S-Quotienten. Kommt es zu höheren Temperaturen, der N/S-Quotient bleibt aber gleich, so wird die Mineralisierung erhöht und der  $N_t$ -Gehalt sinkt.

Für die Pflanzen verfügbarer Stickstoff kommt als  $NO_3^-$  und  $NH_4^+$  vor.  $NH_4^+$ , Ammonium, wird leicht adsorbiert und somit vor Auswaschung geschützt. Ammonium ist mit vorwiegend weniger als 1% am  $N_t$  beteiligt und somit überwiegt  $NO_3^-$  in der

Pflanzenaufnahme. Organischer Stickstoff kann bei geringer Molekülgröße ebenso aufgenommen werden. Diese, beispielsweise Aminosäuren, werden in der Regel schneller von Rhizosphärenbakterien aufgenommen als von Wurzeln (Scheffer, Schachtschabel und Blume, 2010).

### **Mineralisierung – Ammonifikation**

Bei der Mineralisierung werden organische Stickstoffverbindungen durch Mikroorganismen umgewandelt. Aminogruppen,  $-NH_2$ -Gruppen, werden dabei abgespalten und zu  $NH_4^+$ -Ionen. Aus Makromolekülen, wie etwa Proteinen, werden zunächst durch Hydrolasen kleinere Verbindungen, wie etwa Aminosäuren. In der anschließenden Desaminierung werden  $NH_4^+$ -Ionen freigesetzt. Die abgebauten organischen Substanzen dienen den Mikroorganismen hierbei als Energielieferant und zum Körperaufbau. Sie versorgen sie mit Stickstoff, Kohlenstoff und anderen Nährelementen.

Wenn mehr  $NH_4^+$ -Ionen freigesetzt werden, als von Mikroorganismen gebraucht werden, wird Ammonium adsorbiert oder in einem weiteren Prozess der Nitrifikation unterzogen. Dies ist vor allem bei einem engen C/N-Verhältnis im organischen Material der Fall. Wird zu wenig Stickstoff freigesetzt, kann im Bodenvorrat gespeicherter Stickstoff von den Mikroorganismen aufgenommen werden. In dieser Form gespeicherter Stickstoff ist nicht unmittelbar verfügbar und der Vorgang wird als Stickstoff-Immobilisierung oder Stickstoff-Sperre bezeichnet. Bei organischem Material mit einem C/N-Verhältnis von etwa 25 wird Stickstoff weder immobilisiert noch mobilisiert. Vor allem wenn der Boden mit organischem Material angereichert wird, das ein weites C/N-Verhältnis hat, kann es durch den fehlenden Stickstoff im Material zu einer Stickstoffsperre kommen. Mineralischer Stickstoff wird stattdessen aufgenommen und vor allem im Winter vor der Auswaschung bewahrt.

Die Mineralisierungsrate wird von äußeren Faktoren beeinflusst. Steigende Temperaturen bis  $50^\circ C$  erhöhen die Ammonifikation und ein optimaler pH-Wert liegt zwischen 5 und 8. Die Bodenfeuchte hat wenig Einfluss, wohl aber ein Wechsel in der Feuchte. Folgt auf eine trockene Phase ein nasse, so wird die Ammonifikation angeregt.

Silicatreiche Böden sind in der Lage,  $\text{NH}_4^+$ -Ionen anzulagern, da sie negativ geladen sind. Dabei können sie als Ionenaustauscher für  $\text{K}^+$  dienen. Dreischichttonminerale wie etwa Illite, Vermiculite und Smectite mit hoher Ladung lagern dabei das Ammonium in ihre Zwischenschichten ein. Schluffreiche Böden in Mitteleuropa können etwa 0,1-0,33 kg N/kg Boden anheften und können so schon seit ihrer Entwicklung  $\text{NH}_4^+$  gespeichert haben, oder aber auch frisch gedüngtes  $\text{NH}_4^+$  anlagern. Schon lange gespeichertes Ammonium sitzt weiter innen in den Zwischenschichten und ist im Vergleich zum kürzlich angelagerten Ammonium im Randbereich nur schwer verfügbar. Der  $\text{NH}_4^+$ -Gehalt in der Bodenlösung bestimmt auch die Diffusionsrate der angelagerten Ammonium-Ionen. Sinkt der Ammoniumgehalt in der Bodenlösung, werden sie vermehrt wieder freigesetzt. Diese Prozesse werden auch durch das Vorhandensein von  $\text{K}^+$ -Ionen beeinflusst, da sie einen ähnlichen Ionenradius besitzen und so als Konkurrenten funktionieren (Scheffer, Schachtschabel und Blume, 2010).

## Nitrifikation

Bei der Nitrifikation kommt es zur mikrobiellen Oxidation von  $\text{NH}_4^+$  zu  $\text{NO}_3^-$ . Sauerstoff wird dafür benötigt. Der Prozess läuft in zwei Teilschritten ab:

1.  $\text{NH}_4^+ + 3/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{H}^+$
2.  $\text{NO}_2^- + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$

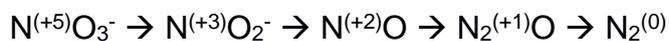
Die erste Reaktion kann aus Teilreaktionen bestehen, die NO und  $\text{N}_2\text{O}$  bilden können. Reaktion 1 und 2 sind exergonisch (thermodynamisch günstig) und liefern Energie für beteiligte Mikroorganismen. An Reaktion 1 sind Nitrosomonas und an Reaktion 2 sind Nitrobacter beteiligt. Sie sind aerob und chemo-autotroph (nehmen Energie aus der Oxidation anorganischer Verbindungen auf) lebend. Durch das Freiwerden von  $\text{H}^+$  wirkt die Reaktion versauernd.

Optimale Bedingungen für den Reaktionsablauf sind Temperaturen im Bereich 25-35°C, pH-Werte zwischen 5,5 und 8 sowie ein C/N-Verhältnis von <25 im Oberboden. Reaktion 2 ist empfindlich gegenüber niedrigen Temperaturen. Sie wird dabei verlangsamt. Bei gemäßigt-humiden Klimaten und gut durchlüfteten Böden laufen Nitrifikationsprozesse sehr schnell ab und sie bauen  $\text{NH}_4^+$  sehr schnell in  $\text{NO}_3^-$

ab. Ammonium ist deshalb nur in sehr geringen Mengen verfügbar. Die Nitrifikation wird durch Sauerstoffmangel und Temperaturen  $<6^{\circ}\text{C}$  herabgesetzt. Diese Bedingungen deuten auf wenig durchlüftete Böden, Grund- und Stauwasser, also Bedingungen der Tundra hin. Bei  $>30^{\circ}\text{C}$  und tropischen Bedingungen ist ebenso die Mineralisierung vorherrschend (Scheffer, Schachtschabel und Blume, 2010).

## Denitrifikation

Als Denitrifikation wird die Umwandlung von Nitrat über Nitrit zu Stickoxiden und molekularem Stickstoff bezeichnet. Dabei ändert der Stickstoff seine Oxidationsstufe von +5 auf 0.



Denitrifikationsprozesse finden vor allem unter sauerstoffarmen Verhältnissen bei etwa 70-80%iger Wassersättigung statt. Hierbei können spezielle Mikroorganismen wie Pseudomonas oder Alcaligenes sauerstoffhaltige Stickstoffverbindungen als Elektronenakzeptoren verwenden, wenn atmosphärischer Sauerstoff weniger wird. Als Energiequelle benötigen sie ebenso organische Kohlenstoffverbindungen und so finden Denitrifikationsprozesse vor allem in den oberen Bodenschichten statt.

Der Großteil der Gase, die an die Atmosphäre abgegeben werden sind  $\text{N}_2\text{O}$  und  $\text{N}_2$ , jedoch kaum  $\text{NO}$ .  $\text{N}_2\text{O}$  kann bei kälteren Temperaturen und saureren Bedingungen noch gebildet werden, während die Bildung von  $\text{N}_2$  Bedingungen von etwa  $5-50^{\circ}\text{C}$  und einen pH-Wert von 6-8 voraussetzt. Je mehr N gedüngt wird und je mehr leicht zersetzbare organische Substanz vorhanden ist, umso eher kommt es zur Denitrifikation, da die mikrobielle Aktivität und Mineralisationsprozesse dadurch angeregt werden.

Pro Jahr können auf landwirtschaftlich genutzten Flächen etwa 3 bis  $>30$  kg N durch Denitrifikationsprozesse verloren gehen. Bei mineralisch gedüngten Böden kann dies ein Wert von 1 bis  $>16\%$  der ausgebrachten N-Dünger sein. Tonböden sind anfällig für Denitrifikation und die Tendenz steigt je dichtgelagerter und schlechter drainiert die Böden sind. Wechsel von feuchten und trockenen Bedingungen erhöhen ebenso Denitrifikationsprozesse. In sauren Waldböden erreichen Denitrifikationsverluste nur sehr geringe Werte und dann meist in Form von  $\text{N}_2\text{O}$ .

Durch zu hohe Düngergaben kann Stickstoff nicht mehr ausgenutzt werden und geht infolge dessen als Nitrat durch Auswaschung oder nach Umsetzung zu Gasen verloren. Die Folge sind Gewässer- und Luftbelastungen (Scheffer, Schachtschabel und Blume, 2010).

Durch die Berechnung des Stickstoffbedarfs durch die Ertragserwartung sowie den durchschnittlichen Gehalten an N der jeweiligen Feldfrucht, können Düngemengen oder wie in dieser Arbeit gewünschte Nitratmengen im Boden ermittelt werden.

Bodenuntersuchungen messen die Proben auf den mineralischen Stickstoff,  $N_{min}$ , der sich aus Nitrat,  $NO_3^-$  und Ammonium,  $NH_4^+$ , zusammensetzt. Dabei erreichen  $N_{min}$ -Werte Größenordnungen von 10-200 kg/ha und sind neben den Bodenverhältnissen und der Witterung auch von der Bewirtschaftung wie der Vorfrucht und des Düngenniveaus abhängig. In sandigen Böden sind die  $N_{min}$ -Werte vor allem nach Regen sehr gering. Je höher das Wasserspeichervermögen eines Bodens ist, umso weniger die Auswaschungsrate und umso höher können die  $N_{min}$ -Werte sein.

Pro Jahr beträgt die Stickstoffdeposition, wovon 50% Nitrat und Ammonium sind, durchschnittlich 28 kg/ha in Deutschland. Hohe Einträge mit über 100 kg/ha sind in Gebieten mit Massentierhaltung zu finden (Scheffer, Schachtschabel und Blume, 2010).

## **Mineralisierung**

N-Bereitstellung durch Mineralisierung: Stickstoff kann aus dem labilen Stickstoffspeicher des Bodens mineralisiert werden. Während der Vegetationsperiode kann es so zu einer Freisetzung von 0,2-2% des im Boden organisch gebundenen Stickstoffes kommen. Die Mineralisierungsrate hängt hierbei von der Temperatur und der Bodenfeuchte ab und kann zwischen <10-220 kg N/ha/a betragen. Es kann kaum vorhergesagt werden, wie hoch sie sein wird und sie ist „bisher noch mit beträchtlicher Unsicherheit“ behaftet (Scheffer, Schachtschabel und Blume, 2010, p. 408). Der Großteil der Mineralisierung erfolgt zwischen Mai und August. „Bei Winterweizen z.B. sind zur Erzielung optimaler Erträge N-Vorräte zu Vegetationsbeginn im Frühjahr von ca. 120 kg/ha erforderlich (N-Vorräte plus Startergabe), die dann meist um zwei weitere N-Gaben (Schosser- und Spätgabe)

bis auf ca. 200 kg N/ha ergänzt werden“ (Scheffer, Schachtschabel und Blume, 2010, p. 408). Anders lautende Literatur nennt eine Nährstoffaufnahme von etwa 148 kg N/ha bis zum Beginn des Ährenschiebens (EC 51) bei Weizen (Ruhr-Stickstoff Aktiengesellschaft Bochum, 1988) oder bei einem Ertragsniveau von 6t werden einer anderen Angabe zufolge 140-180 kg N/ha bei Winterweizen entzogen (Buchner und Sturm, 1985 in: Reiner *et al.*, 1992). Die Angaben beziehen sich jeweils auf Stroh und Korn. Ertragsbezogen kann pro Tonne Körner mit Stroh von etwa 25 kg N Entzug bei Weizen ausgegangen werden. Der Entzug spiegelt aber nicht den tatsächlichen Stickstoffbedarf der Pflanze dar, da die Aufnahme während der Vegetationszeit den eigentlichen Bedarf darstellt (Lütke Entrup und Oehmichen, 2000).

### **Stickstoffdynamik**

Ein Versuch zur Stickstoffdynamik auf zwei Versuchsstandorten mit Parabraunerde und Pseudogley hat den Nitratverlauf im Boden unter 750-800 mm/650-700 mm Niederschlag bei einer mittleren Jahrestemperatur von 7-8°C dargestellt. Bei diesem Klima kann es zu drei Nettomineralisierungsphasen kommen. Sie sind meist im späten Frühjahr (April-Juni), im Sommer (Juni-August) und September und von Standort zu Standort etwas verschoben. Im Laufe des Jahres kommt es auch zu zwei bis drei Nettoimmobilisierungsphasen, in denen der  $N_{org}$ -Gehalt ansteigt. Eine davon ist im Oktober, bei der aber gleichzeitig eine Nitratverlagerung nach unten stattfindet. Eine weitere ist Anfang Juni. Auf dem in der Literatur angeführten Versuch wurden zwischen 0 und 80 kg N/ha immobilisiert, mit einem Mittelwert von 29 kg N/ha (Beprobungstiefe der Versuche 0-60, bzw. 0-90 cm Tiefe). Der Phasenabstand von Mineralisierung und Immobilisierung wird stark von der Bodenbearbeitung und der jeweiligen Witterung beeinflusst (Scheller, 1994).

Der Stickstoffbedarf von Winterweizen ist relativ gut an die Nettostickstoffmineralisierung des Bodens angepasst, besser als bei Winterroggen und Wintergerste, da Weizen 2-3 Wochen später mit dem Schossen beginnt als beispielsweise Winterroggen. Die Überwinterung erfolgt bei spät gesättem Weizen im 3-5-Blattstadium und bei milden Wintern kann die Bestockung über den Winter und im frühen Frühjahr erfolgen. Bei sehr kalten Wintern und spät gesättem Weizen kann

sich der Weizen bis zum Frühjahr oft nur bis zum 5-Blattstadium entwickeln und es kann vorkommen, dass die Nettomineralisierungsrate des Bodens im Frühjahr höher ist als die Stickstoffaufnahme des Weizens. Ein Nitratvorrat für die spätere Schossphase kann sich so aufbauen (Scheller, 1994).

Bei unterschiedlichen Bodenbearbeitungsverfahren bei Zuckerrübe wurde mit geringerer Bodenbearbeitungs-Intensität auch eine geringere Stickstoffmineralisation gemessen (Neumayr, 1999).

In einem Versuch wurden die  $N_{\min}$ -Werte gemessen und es konnte im Frühjahr und Herbst kein Unterschied zwischen den wendenden und nicht wendenden Bodenbearbeitungsverfahren erkannt werden. Eine klare Verlagerung konnte aber bei sehr viel Regen erkannt werden (Paffrath und Stumm, 2010).

Ein weiterer Versuch zeigte im Frühjahr geringere  $N_{\min}$ -Werte bei einer Variante mit Schichtengrubber und Rotoregge im Vergleich zu einer herkömmlichen Pflugvariante (Schmidt *et al.*, 2010).

WABERER (2011) hat, bezogen auf  $N_{\min}$ -Werte im Oberboden von 0-30 cm die deutlichsten Unterschiede festgestellt und schließt daraus, dass zwischen Bodenbearbeitung und  $N_{\min}$  ein Zusammenhang besteht. Die Werte im Tiefenbereich von 30-60 cm unterschieden sich im Vergleich dazu nur gering (Waberer, 2011).

MÜLLER (2009b) fand einen Unterschied in der räumlichen Verteilung von anorganischem Stickstoff im Dammkultursystem.

Bei einem Vergleich von Bodenbearbeitungsverfahren erreichte die Direktsaatvariante im Vergleich zu Pflug, Schwergrubber und Flügelschargrubber die geringsten  $N_{\min}$ -Werte im Boden. Wurde Stroh am Feld belassen wurde weniger Stickstoff eingewaschen als bei den Varianten ohne Stroh (Walther, 1986). Die Stickstoffmineralisierung ist in reduzierten Bodenbearbeitungssystemen stark verringert und als Hauptstickstoffquelle im Biolandbau besteht somit die Gefahr einer zu geringen Stickstoffnachlieferung (Peigné *et al.*, 2007). Ackerflächen zeigen gegenüber Grünlandflächen erhöhte Nitratwerte im Sickerwasser. Die Nutzbare Feldkapazität innerhalb des effektiven Wurzelraums ( $nFKW$ ) ist mitverantwortlich für die Nitratverlagerung. Im Acker kann bei einer niedrigeren  $nFKW$  von einer höheren Nitratkonzentration ausgegangen werden (Haußmann *et al.*, 1994).

## 2.5 Ertrag

Bei den Erträgen lässt sich kein eindeutiger Vorteil eines Bodenbearbeitungsverfahrens erkennen, da große Unterschiede zwischen Pflug, Schwergrubber, Flügelschargrubber und Direktsaat in den einzelnen Jahren und auf den einzelnen Bodenarten zu finden sind. Tendenziell konnte jedoch ein nasses Versuchsjahr von der Pflugbearbeitung hinsichtlich Ertrag profitieren und das Direktsaatverfahren keinen Vorteil hinsichtlich Ertrag zeigen (Walther, 1986). Tendenziell ist die Pflugvariante auf schwereren Böden im Ertrag bevorzugt (Quintern, 2006).

WABERER (2011) hat in seiner Arbeit die Verfahren Pflug, Grubber und Direktsaat im Raum Raasdorf verglichen. In neun Jahren konnten die Direktsaat zweimal, der Pflug einmal und der Grubber auch einmal signifikant höhere Erträge erzielen. Die Direktsaat weist den höchsten Variationskoeffizienten auf und ist somit am wenigsten ertragsstabil. Die Grubbervariante zeigt die stabilsten Ertragswerte. Der Weizen im Direktsaatverfahren reift später ab, und muss somit entweder später oder mit höheren Feuchtegehalten geerntet werden. Die höchsten Werte bezüglich der Gesamtbiomasse lieferte das Direktsaatverfahren, obwohl es lückige Bestände zeigte. Eine Wechselwirkung zwischen der **Wasseraufnahme** und dem Ertrag konnte im Juni festgestellt werden. Man kann somit darauf schließen, dass in der Kornfüllungsphase der Wasserbedarf erhöht ist. Somit sollte in diesem Stadium auch kein Wassermangel auftreten. Es konnte gemessen werden, dass bei Direktsaat mit Mulchschicht weniger Wasserverlust auftritt als bei Grubber und Pflug. Der Mehrertrag kann auf die bessere Wasserverfügbarkeit zurückgeführt werden. Der Autor folgert aus seinen Ergebnissen, dass langjährig gesehen keine Ertragsverluste mit der Direktsaat einhergehen (Waberer, 2011).

Ein weiterer ertragsbezogener Versuch wurde von Dittmann & Zimmer (2010) durchgeführt. Dabei konnten Roggen und Triticale unter Pflug die höchsten Erträge liefern. Klee gras konnte im nicht wendenden System mit Scheibenegge und Schwergrubber die höchsten Erträge liefern. Keine Unterschiede ergaben sich bei Kartoffel, Lupine und Silomais. In trockenen Jahren konnte das pfluglose System für Kartoffeln und Silomais Vorteile bringen und länger Wasser zur Verfügung stellen.

Beim Betrachten der gesamten produzierten Trockenmasse sind keine Unterschiede in den Systemen erkennbar. Das Getreide erreichte im pfluglosen System zwar weniger Korn-, jedoch höhere Stroherträge (Dittmann und Zimmer, 2010).

Ein anderer Versuch zeigte langjährig in getreidelastigen Fruchtfolgen höhere Erträge unter Pflug, jedoch auch einen stärkeren Humusabbau (Koch und Gaberle, 2010).

Die Ertragswirkung des Bodenbearbeitungssystems hängt auch vom Zeitpunkt des Stickstoffbedarfs der Kultur ab. Wintergetreide kann durch seinen frühen Bedarf an Stickstoff unter reduzierten Bodenbearbeitungsverfahren und auf schweren Böden nur geringere Erträge (-10%) erzielen. Sonnenblume oder Mais, also Kulturen mit einem späteren Stickstoffbedarf können ebenso hohe oder sogar höhere Erträge bei reduzierten Bodenbearbeitungssystemen erreichen. Bei Klee gras resultierte reduzierte Bearbeitung in einer besseren Trockenstresstoleranz der Pflanzen. Insgesamt konnte in diesem Versuch die reduzierte Bodenbearbeitung zu 11% höheren Erträgen führen (Berner und Mäder, 2010).

Ein Versuch zeigte vor allem bei Weißkohl und Getreide in den ersten Jahren nach der Umstellung Ertragseinbußen bei reduzierter Bodenbearbeitung, bei Kartoffel waren die Unterschiede zum Pflug jedoch sehr gering. Durch andere Einsparungen kann das reduzierte System jedoch ökonomisch mit dem Pflugsystem mithalten (Paffrath und Stumm, 2010).

Viele Bäuerinnen und Bauern, die auf das Dammkultursystem umgestellt haben, haben die Erträge von Kartoffeln, Zuckerrübe und Leguminosen auf gleichem Niveau halten können oder sogar verbessert. Der Versuch auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen brachte Mindererträge bei Kartoffeln, begründet durch eine Tiefenlockerung im Jugendstadium der Pflanzen. Bei Getreide gibt es tendenziell Ertragseinbußen von 20-30 %, da die Dammausformung und die Saattechnik immer wieder Probleme verursachen. Die Dammkrone ist dann zu schmal und bietet zu wenig Standraum für das Getreide (Quintern, 2006). Ein Versuch auf Tschernosem zeigte höhere Maiserträge beim konventionellen Bodenbearbeitungssystem verglichen mit einem Dammkultursystem (Pikul *et al.*, 2001).

## **3 Material und Methoden**

### **3.1 Material**

#### **3.1.1 Standort**

Der Versuchsstandort hat folgende Koordinaten:

48° 11.633160 E, 14° 2.555880

#### **Kurzfassung der Versuchskenndaten:**

Vorfrucht: Ackerbohne

Düngung: keine Düngung

Dinkelsorte: Ebners Rotkorn

Saatstärke: 150 kg/ha

Anbauermin: 13.10.2015

Erntetermin: 10. und 11.07.2016

Reihenabstand: 45 cm bei HP (Häufelpflug, Dammkultur) und HPD (Häufelpflug mit Drähten, Dammkultur), 12 cm bei GR (Gruber) und PF (Pflug)

Bei der Bewirtschaftung wurde das Ceterus paribus Prinzip angewandt, das die Bodenbearbeitungstermine dem jeweiligen System anpasst. Alle anderen Faktoren wie Saatstärke, Kulturart, Vorfrucht und Standortbedingungen bleiben gleich.

#### **3.1.2 Boden**

Der Boden am Versuchsstandort befindet sich auf etwa 315 m Seehöhe und ist eine „vergleyte, kalkfreie Lockersediment-Braunerde aus kolluvialem Feinmaterial über Schotter“ (BFW, 2019, n. ID 15, KB 68). Der Boden weist eine hohe Wasserspeicherfähigkeit auf und ist mäßig durchlässig. Somit ist der Boden gut wasserversorgt (BFW, 2019). Der Standort ist für den Ackerbau gut zu bearbeiten, nicht erosionsgefährdet und wird als mittelwertiges Ackerland eingestuft.

Laut BFW (2019) ergibt sich eine Horizontierung mit dem A-Horizont bis auf 20-30 cm Tiefe, dem Bv-Horizont auf 55-60 cm Tiefe, dem Bg-Horizont auf 80-85 cm Tiefe und dem D-Horizont auf 100 cm Tiefe (BFW, 2019). Die Bodenart der Horizonte A und Bv ist „Lehm oder schluffiger Lehm“, die des Horizontes Bg ist Lehm oder lehmiger Ton. Im D-Horizont sind Kies und Schotter vorherrschend. Der A-Horizont ist mittelhumos mit Mull. Alle Horizonte über dem D-Horizont sind kalkfrei und schwach sauer, der D-Horizont ist hingegen stark kalkhaltig und alkalisch.

Wie von BFW (2019) erwähnt, reicht die Schotteroberkante teilweise auf unter 1m Tiefe, ebenso am Versuchsstandort, der schon in 50 cm Tiefe einen D-Horizont aufweist.

### 3.1.3 Klima

Die Klimadaten stammen von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik.

Der Niederschlagsdaten stammen von der Station Hörsching, 12,2 km entfernt vom Versuchsstandort. Die Wetterstation liegt bei 48°14.466000'N 14°11.466000'E, auf einer Seehöhe von 298 m. Die mittlere Jahresniederschlagssumme beträgt im 30-jährigen Mittel (1981-2010) **790 mm** (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, no date b).

Die Daten für die mittlere jährliche Lufttemperatur im 30-jährigen Mittel (1981-2010) stammen von der Wetterstation Wels-Schleißheim mit 4,06 km Entfernung zum Versuchsstandort bei Koordinate 48° 9.768000'N 14° 4.284000'E. Die mittlere jährliche Lufttemperatur beträgt 9°C (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, no date a).

### 3.1.4 Witterungsverlauf

Die Daten zum Witterungsverlauf zwischen Jänner 2015 und Juli 2016 stammen vom Amt der OÖ. Landesregierung, Direktion Umwelt- und Wasserwirtschaft, Abteilung Oberflächengewässermanagement / Hydrografie (Tabelle 1, Abb. 1 und Abb. 2).

Tabelle 1: Mittlere monatliche Niederschlags- und Lufttemperaturwerte der Periode Jänner 2015-Juli 2016

<b>Monat</b>	<b>Niederschlag</b>	<b>Lufttemperatur</b>
Jänner 2015	57,4 mm	2,2 °C
Februar 2015	13,0 mm	0,5 °C
März 2015	67,6 mm	5,9 °C
April 2015	64,6 mm	10,3 °C
Mai 2015	127,6 mm	14,5 °C
Juni 2015	93,9 mm	18,7 °C
Juli 2015	32,2 mm	23,5 °C
August 2015	21,4 mm	23,2 °C
September 2015	57,3 mm	14,8 °C
Oktober 2015	80,8 mm	9,3 °C
November 2015	45,5 mm	6,9 °C
Dezember 2015	10,4 mm	2,7 °C
Jänner 2016	72,9 mm	-0,7 °C
Februar 2016	60,8 mm	4,3 °C
März 2016	35,3 mm	5,5 °C
April 2016	53,3 mm	9,8 °C
Mai 2016	163,1 mm	14 °C
Juni 2016	83,0 mm	18,4 °C
Juli 2016	138,4 mm	20,5 °C

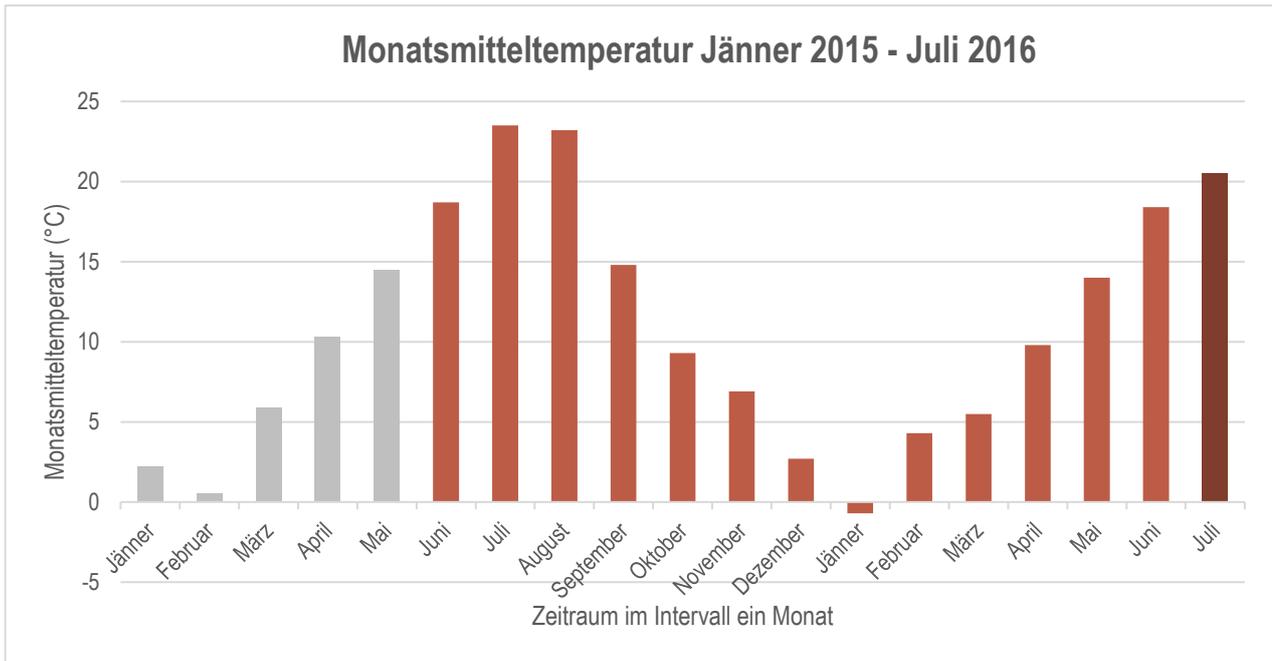


Abbildung 1: Monatsmitteltemperatur Jänner 2015-Juli 2016 (°C)

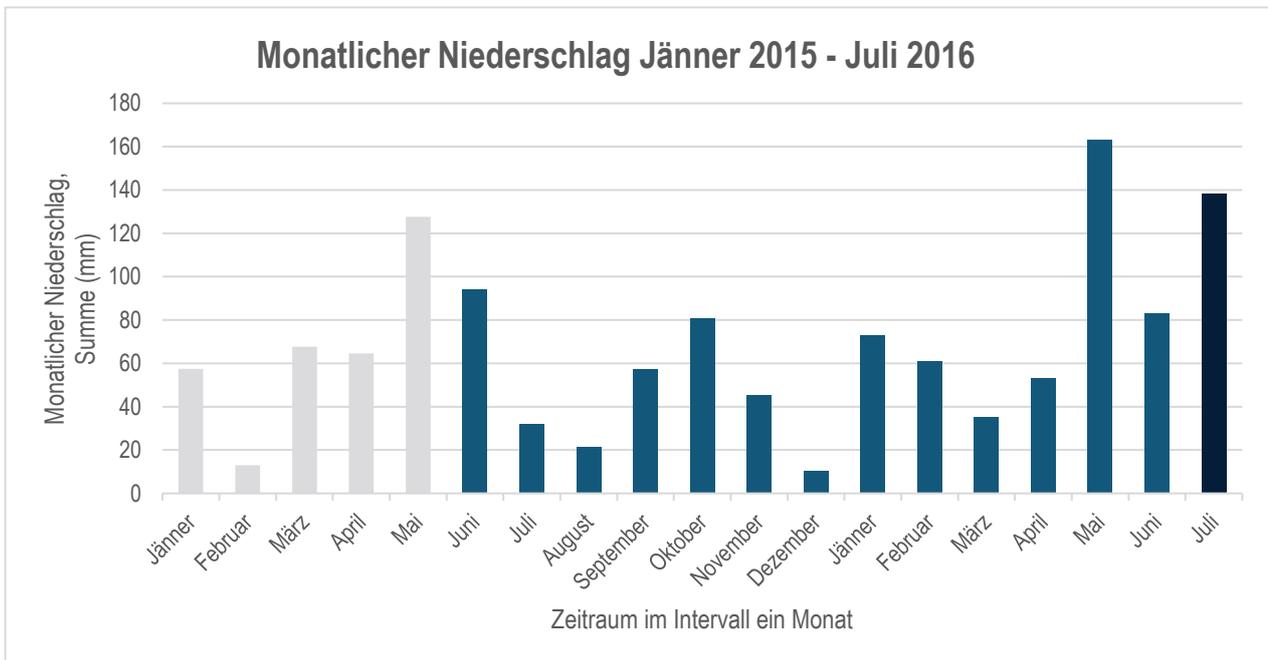


Abbildung 2: Monatlicher Niederschlag Jänner 2015-Juli 2016

## 3.2 Methode

### 3.2.1 Versuchsanordnung

Versuchsplan:

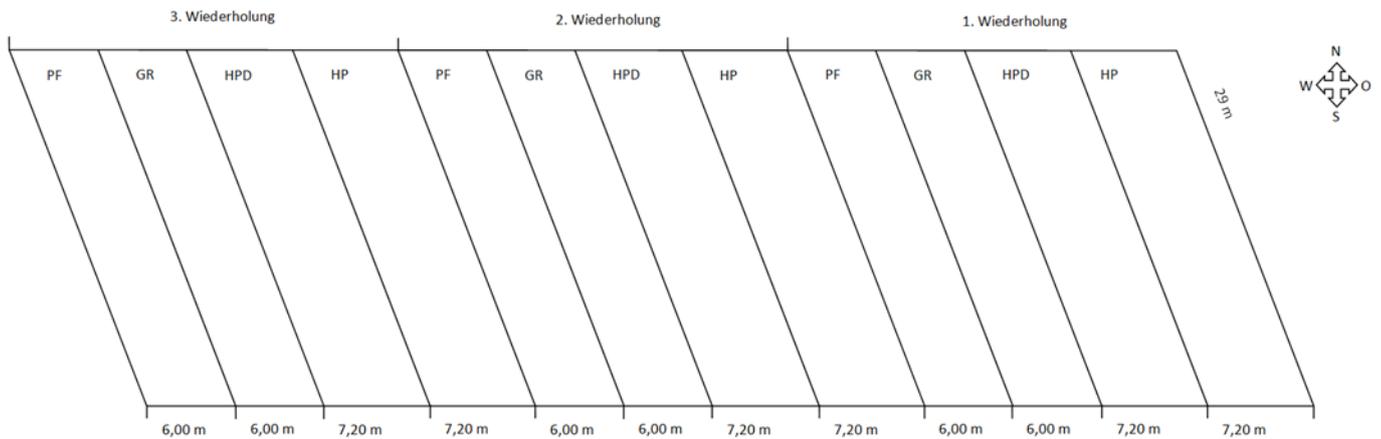


Abbildung 3: Versuchsplan, Skizze 2015

Abkürzungen:

PF... Pflug

GR... Grubber

HPD... Häufelpflug mit Drähten

HP... Häufelpflug

In Hinblick auf die praktische Durchführbarkeit wurde der Versuch als Langstreifenversuch in Reihenanlage angelegt (Abb. 3). Durch eine Versuchslänge von 29 m konnten die Bodenbearbeitungsgeräte optimal eingesetzt werden. Die Langstreifen lagen in gleichbleibender Anordnung nebeneinander. Durch 3 Wiederholungen mit jeweils 4 Versuchsfaktoren ergeben sich 12 Parzellen. Am Anfang und am Ende des Versuches wurde jeweils eine Kontrollvariante hinzugefügt,

was die Parzellenanzahl auf 14 erhöht. Die Reihenanlage ermöglicht eine gute Übersichtlichkeit, sie ergibt sich aus dem schmalen zur Verfügung stehenden Feldstück und ist gerade bei wenigen Prüfnummern passend in der Anwendung.

Die Bodenbearbeitung auf den Kontrollparzellen sowie auf dem den Versuch umgebenden Feld erfolgte ident zu jenen der Variante HP. Die Parzellenbreite war mit 7,2 m für die Parzellen HP und HPD geplant und mit 6 m für die Parzellen GR und PF. Die Breiten ergeben sich aus den Dimensionen der Bodenbearbeitungsgeräte mit 3,6 m beim Häufelpflug und 3 m bei Pflug und Grubber. Jede Parzelle wurde in zwei Bearbeitungsrichtungen befahren, weswegen sich die Parzellenbreite verdoppelt.

Bedingt durch die Form der Parzellen als Parallelogramm überschneiden sich die Parzellen an ihren Rändern. Für die Datenerhebung wurden von den angelegten Bruttoparzellen nur die Nettoparzellen beprobt und ausgewertet.

Die Randwirkung um die Parzellen wird größtenteils ausgeschaltet, da rund um die Parzellen ebenfalls Dinkel angebaut wurde (mit dem Häufelpflug nach Turiel).

### 3.2.2 Fruchtartbeschreibung

Der Versuch wurde mit Dinkel (*Triticum spelta* L.), Sorte Ebners Rotkorn, als Hauptfrucht durchgeführt. Er wurde mit einer Saatstärke von 150 kg/ha angesät, was einer Saatstärke von 15 g/m<sup>2</sup> und von 102,68 Vesen/ m<sup>2</sup> entspricht.

#### **Ebners Rotkorn:**

Die Sorte Ebners Rotkorn zeichnet sich durch ihre Winterhärte und ihre gute Anpassungsfähigkeit aus. Sie ist als Biosorte eingetragen und steht für ein hohes Hektolitergewicht bei niedrigem Ertrag. Weitere Eigenschaften sind ein hoher Proteingehalt und ein sehr hohes Tausendkorngewicht. Gegen Braunrost ist diese Sorte mittel bis stark anfällig. Die Wuchshöhe ist sehr lang und die Reife mittel bis spät (Saatbau Linz eGen, no date).

Beschreibende Sortenliste Getreide\_Biolandbau\_BSL18: Ebners Rotkorn:

Vesenertrag im Alpenvorland: 98%, Kernertrag im Alpenvorland 97%, Kernanteil: 72,3%, Hektolitergewicht: 75,4%, Rohprotein 17,4%, Fallzahl: 319 s (*Österreichische Beschreibende Sortenliste 2018 Landwirtschaftliche Pflanzenarten, 2018*).

### **3.2.3 Eingesetzte Maschinen und Geräte bei den unterschiedlichen Bodenbearbeitungssystemen**

#### **3.2.3.1 Pflug**

Die Bearbeitungstiefe bei den gepflügten Parzellen beträgt etwa 22 cm. Der eingesetzte Pflug ist ein Lemken Wendepflug mit Streifenkörper. Der eingesetzte Grubber ist so wie in der Grubber-Variante ein Gerät von Vogel & Noot mit 11 Zinken, einer Stabwalze und einer Bearbeitungstiefe von 18 cm.

Gesät wurde mit einer Reform Drillmaschine in Kombination mit einer Kreiselegge.

#### **3.2.3.2 Grubber**

Die Bearbeitungstiefe in den gegrubberten Varianten war etwa 18 cm, bei einem Abstand der Stiele von 25 cm. Das Gerät ist 2,7 m breit und arbeitet mit 11 Stielen. Das eingesetzte Gerät ist ein gebräuchlicher Grubber von Vogel & Noot mit 11 Zinken und einer Stabwalze.

Gesät wurde mit einer Reform Drillmaschine in Kombination mit einer Kreiselegge.

#### **3.2.3.3 Häufelpflug**

Der eingesetzte Häufelpflug ist ein Gerät von Julian Turiel.

Folgende Dammgrößen gab es im Versuchsjahr:

- 90er Dämme – 15 cm breite Dammkrone – 20-30 cm Höhe: 1,111 ha → + 11,1-23,4% mehr Oberfläche als bei flachen Systemen.
- 45er Dämme – 10 cm breite Dammkrone – 15 cm Höhe: 1,247 ha → + 24,7% mehr Oberfläche als bei flachen Systemen.

Die Bearbeitungstiefe beim Häufelpflug betrug etwa 10-25 cm bei einem Reihenabstand und somit Abstand der Werkzeuge von 45 cm beziehungsweise 90 cm. In diesem Versuch wurden die Dämme aufgehäufelt und der Reihenabstand zwischen 45 und 90 cm variiert. Es kam zu keinem kompletten Umhäufeln der Dämme. Der Häufelpflug wurde mit nur Grindeln, Grindeln mit Häufelkörpern (Abb. 4), oder Grindeln mit Drähten (Abb. 6) eingesetzt.

Gesät wurde mit der Sämaschine Exaktor der Firma Einböck für Sommerfuttersaps und mit der pneumatischen Sämaschine PS 500 APV (Abb. 5) – beide aufmontiert auf dem Häufelpflug.



Abbildung 4: Häufelpflug mit aufmontierten Häufelkörpern



Abbildung 5: Häufelpflug mit aufgebautem Säkasten



Abbildung 6: Häufelpflug mit aufmontierten Drähten

### 3.2.4 Bodenbearbeitungstermine

Die Aussaat des Dinkels auf allen Parzellen erfolgte am 13.10.2015 mit einer Saatstärke von 150 kg/ha.

#### Maßnahmen auf den vier Varianten (Tab. 2 und Tab. 3):

Tabelle 2: Bodenbearbeitungsmaßnahmen auf den Parzellen HP und HPD, gegliedert nach Arbeitsschritten

Datum	Häufelpflug – HP	Häufelpflug mit Drähten – HPD
07.08.2015	Ernte der Vorfrucht Ackerbohne	Ernte der Vorfrucht Ackerbohne
08.08.2015	Stroh häckseln	Stroh häckseln
08.08.2015	Häufelpflug: 45er Dämme nachziehen, nur Grindeln ohne Häufelkörper und ohne Drähte	Häufelpflug: 45er Dämme nachziehen, nur Grindeln ohne Häufelkörper und ohne Drähte
11.08.2015	Versuch ausmessen	Versuch ausmessen
12.08.2015	Häufelpflug: 90er Dämme vorziehen	Häufelpflug – mit Grindel, ohne Häufelkörper
14.08.2015	Aussaat ZF Sommerfutterraps (Reihenabstand 90 cm, Saatstärke 10 kg, wegen Trockenheit nicht aufgegangen) – 1 Grindel mit Draht im Damm, dazwischen Saatgut abgelegt, hinten Grindel mit Häufelkörper, ohne Draht	
03.09.2015		Häufelpflug mit Drähten (Dämme ziehen) – Grindel, Drähte, ohne Häufelkörper auf 45er Dämme
02.10.2015	Häufelpflug, 90 cm-Dämme zu 45 cm-Dämmen spalten – nur Grindel	Häufelpflug, 45 cm-Dämmen – nur Grindel, mit Drähten
13.10.2015	Aussaat Dinkel – ohne Häufelkörper, ohne Drähte	Aussaat Dinkel – ohne Häufelkörper, ohne Drähte

05.04.2016	Häufelpflug, Hacken – ohne Häufelkörper, mit Drähten	Häufelpflug, Hacken – ohne Häufelkörper, mit Drähten
10.07.2016	Ernte	Ernte
11.07.2016	Ernte	Ernte

Tabelle 3: Bodenbearbeitungsmaßnahmen auf den Parzellen GR und PF, gegliedert nach Arbeitsschritten

Datum	Grubber – GR	Pflug – PF
07.08.2015	Ernte der Vorfrucht Ackerbohne	Ernte der Vorfrucht Ackerbohne
08.08.2015	Stroh häckseln	Stroh häckseln
08.08.2015	Häufelpflug: 45er Dämme nachziehen	Häufelpflug: 45er Dämme nachziehen
11.08.2015	Versuch ausmessen	Versuch ausmessen
12.08.2015	Grubber	Grubber
03.09.2015	Grubber	Grubber
13.10.2015	Grubber, Kreiselegge	Pflug, Kreiselegge
13.10.2015	Kreiselegge	Kreiselegge
13.10.2015	Aussaat Dinkel	Aussaat Dinkel
10.07.2016	Ernte	Ernte
11.07.2016	Ernte	Ernte

### 3.2.5 Bodenprobenahme

Am Versuch wurden an 5 Terminen Bodenproben entnommen.

Die Bodenproben wurden an folgenden Terminen entnommen:

1. 18.08.2015
2. 12.10.2015
3. 09.12.2015
4. 09.03.2016
5. 10.05.2016

Die Bodenproben wurden von 0-45 cm Bodentiefen entnommen:

- 0-15 cm
- 15-30 cm
- 30-45 cm

Die übliche Tiefe von 90 cm konnte nicht beprobt werden, da der C-Horizont mit Schotter ab 45 cm Tiefe beginnt.

Es war eine Beprobung für alle zwei Monate geplant. Diese hat sich im Februar 2016 aber nach hinten verschoben, da zu dieser Zeit der Boden gefroren war. Nach Mai war keine Bodenprobennahme mehr möglich, da der Bestand bereits zu hoch war.

Die Bodenproben wurden mit einem Pürckhauer Bohrstock entnommen. Dabei wurden pro Parzelle 14 Einstiche entnommen, in die drei Bodentiefen unterteilt und in 3 Kübeln zu je einer Mischprobe vermengt. Die Proben wurden anschließend in etikettierten Säcken in Kühlboxen mit Kühlelementen aufbewahrt. Die Tiefkühlung erfolgte am Abend desselben Tages. (siehe auch Scheffer, Schachtschabel und Blume, 2010, 409).

Bei der Beprobung wurden von den kurzen Außenseiten mindestens 3 m Abstand gehalten, da die Fahrgeschwindigkeit und die Maschineneinstellungen bei der Bearbeitung nach dem Anfahren noch nicht konstant sind. Von den langen Außenseiten wurde mindestens 1 m Abstand gehalten, um die Randeinwirkung möglichst gering zu halten. An den sich überlappenden Parzellen wurde dieser Abstand auf 1,5 m erweitert.

Aufgrund der unerwartet frühen Ernte der Vorfrucht Ackerbohne und der nötigen Bodenbearbeitung im Anschluss konnte kein Blindversuch des Standortes entnommen werden.

### **3.2.6 Bestandesdichte**

Ermittlung Feldaufgang bei Dinkel: In jeder Parzelle wurden willkürlich drei Punkte ausgewählt. Von diesen Punkten aus wurden je auf einem Laufmeter die aufgegangenen Dinkelpflanzen gezählt. Über den Reihenabstand von 12 cm

(Pflug/Grubber) und 45 cm (Häufelpflug) kann die Keimdichte auf einen m<sup>2</sup> hochgerechnet werden. Die Bonituren im Herbst fanden an zwei Terminen statt, am 02.11.2015 und am 06.11.2015.

Die Bestandesdichte sollte der Keimdichte entsprechend im Frühjahr erneut bestimmt werden. Die dafür notwendigen Markierungsstäbe von der Keimdichtenbestimmung sind aber wahrscheinlich durch Wild umgefallen und waren somit nicht mehr aussagekräftig.

Die Bestockung kann durch das Verhältnis von Ährenzahl zu aufgegangenen Pflanzen bestimmt werden.

### **3.2.7 Bestandeshöhe**

Am 28.06.2016 wurde die durchschnittliche Bestandeshöhe der einzelnen Parzellen bestimmt. Dabei wurden jeweils 10 willkürlich ausgewählte Pflanzen abgemessen und der Durchschnitt bestimmt. Weiters wurde das Entwicklungsstadium des Bestandes ermittelt.

### **3.2.8 Braunrostbefall**

Der Dinkel war mit Braunrost (*Puccinia triticina* Eriks.) befallen. Eine diesbezügliche Bonitur fand am 25.06.2016 statt. Der Befall wurde in Prozent geschätzt, mithilfe eines Boniturschemas des Julius Kühn-Instituts (Julius Kühn-Institut, no date). Pro Parzelle wurden 20 Pflanzen auf den Braunrostbefall bewertet.

### 3.3 Ernte

Von jeder der 14 Parzellen wurde 1 m<sup>2</sup> in 3 Wiederholungen geerntet. Der Erste Erntedurchgang erfolgte am 10.7.2016. Hier wurde von jeder Parzelle der 1. m<sup>2</sup> geerntet. Am 11.07.2016 wurden der 2. und 3. m<sup>2</sup> jeder Parzelle geerntet. Am ersten Erntetermin waren 3 Personen beteiligt, am zweiten Erntetermin waren 5 Personen beteiligt.

Die Stroh- und Blattmasse wurde bei der Ernte separat von den Ähren in Säcke verpackt und anschließend am Dachboden trocken gelagert.

Bei der Ernte wurden die Ähren einzeln abgeschnitten und dabei gezählt. So konnte eine ungenaue Ährenanzahl durch gebrochene Ähren im Sack verhindert werden. Der Schnitt erfolgte ca. 0,5 cm unter dem Ährenansatz. Die abgeschnittenen Ähren wurden in einem Sack gesammelt und am Abend des Erntetages gewogen. Während der Ernte wurden die schon befüllten Säcke geöffnet am Versuchsstandort stehen gelassen, um eine möglichst gleichmäßige Abtrocknung zu den später geernteten Parzellen zu erzielen.

### 3.4 Probenaufbereitung

#### 3.4.1 Bodenproben

Die Bodenproben wurden nach ÖNORM L 1091: 1999 09 01 - Chemische Bodenuntersuchungen - Bestimmung von mineralischem Stickstoff - N<sub>min</sub>-Methode, aufbereitet.

Die Bodenproben wurden tiefgekühlt gelagert und anschließend im Labor zu Extrakten aufbereitet. Nach dem Auftauen wurden die Proben durch ein Sieb mit 4 mm großen Öffnungen gerieben und auf 100 g eingewogen. In Schott-Gläsern wurde eine 10 %ige Kalziumchlorid Lösung vorbereitet. Der Boden wurde in die

Schottflasche gefüllt, fest verschlossen und anschließend 30 Minuten geschüttelt, indem sie mit einem Überkopfschüttler gedreht wurde. Die so erhaltene Bodensuspension wurde in einen mit Filterpapier ausgelegten Trichter geleert und 2-3 Stunden belassen. Die so erhaltenen Bodenextrakte enthalten das gelöste Nitrat und Ammonium und sind bereit für die Analyse in der CFA.

Die Analyseergebnisse liefern Werte für  $\text{NH}_4^+$  sowie  $\text{NO}_x$ .  $\text{NO}_x$  liegt fast ausschließlich als Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) vor. Aus Gründen der Verständlichkeit wird im Nachfolgenden Nitrat und  $\text{NO}_3^-$  gleichbedeutend der Bezeichnung  $\text{NO}_x$  verwendet. Der Versuchsstandort ist gut wasserdurchlässig und somit nicht gefährdet, nennenswerte Nitritmengen zu enthalten.

Beim Einwiegen des Bodens wurde ein Teil des Bodens in separate Gläser eingewogen und im Trockenschrank für mindestens 4 Tage getrocknet. Durch die Gewichtsdiﬀerenz vor und nach dem Trocknen konnte der Wassergehalt des Bodens bestimmt werden.

### **3.4.2 Stickstoffbestimmung der Bodenproben**

Die Bodenproben wurden mittels Continuous Flow Analysis auf Nitrat und Ammonium untersucht. Dabei handelt es sich um ein nasschemisches Verfahren, bei dem es mittels eines Photometers zu einer Messung des absorbierten Lichtes kommt.

Für die Nitratanalyse wird Nitrat mithilfe eines Hydrazinsulfats und Kupfer(II) zu Nitrit reduziert. Der Vorgang passiert im alkalischen Milieu. Anschließend reagiert Nitrit mit Sulfanilamid und wird umgesetzt mit N-Naphthylethylendiamin. Der Vorgang passiert im sauren Milieu und lässt die Probe zu einem roten Diazofarbkomplex reagieren. Es kommt zu einer Extinktionszunahme zwischen 520 und 540 nm, die gemessen werden und somit der Nitratgehalt bestimmt werden kann.

Bei der Bestimmung von Ammonium wird ähnlich vorgegangen. Der Lösung werden Citrat und Tartrat als Komplexbildner zugesetzt, um ein Ausfallen der Hydroxide zu vermeiden. In alkalischer Lösung werden der Probe freies Chlor und Salicylat zugesetzt. Es entsteht ein blauer Indophenolfarbstoff. Bei 660 nm wird anschließend die Extinktionszunahme gemessen (Alliance Instruments, 2007).

### 3.4.3 Ertragsermittlung

#### 3.4.3.1 Kornertrag

Für die Ertragsermittlung wurde folgendermaßen vorgegangen:

Die Ähren wurden bei 80 °C im Trockenschrank für fünf Tage getrocknet und anschließend wurde das Ährengewicht erneut bestimmt. Durch die Differenz konnte der Feuchtegehalt der Ähren bestimmt werden.

Die Ähren wurden in einem Gefäß händisch gebrochen und vermischt. Von jeder Probe wurden in zwei Wiederholungen 6 g entnommen und gedroschen. Der Labordrescher der Firma Wintersteiger wurde sorgfältig eingestellt, sodass bei einem Dreschvorgang nur sehr wenige Körner geschält wurden. Nach wenigen Sekunden im Drescher wurde dieser abgestellt und das Dreschgut entnommen. Anschließend wurden händisch die schon entspelzten Körner und die leeren Spelzen aussortiert. Die übrig gebliebenen Vesen wurden erneut gedroschen. Dieser Vorgang wurde solange wiederholt, bis nur noch wenige Vesen übrig blieben, worauf diese händisch entspelzt wurden. Durch dieses Verfahren wurde der Dreschverlust auf ein Minimum beschränkt.

Danach wurden die Körner und die Spelzen gewogen und die Körner mit einer Samenzählmaschine zweimal ausgezählt. Durch prozentuelle Hochrechnung kann der Ertrag pro m<sup>2</sup> und pro Hektar sowie das Tausendkorngewicht berechnet werden.

In den Blatt- und Strohproben wurden vereinzelt Ähren gefunden, die bei der Ernte übersehen wurden. Ihr Gewicht wurde vom Blatt- und Strohgewicht abgezogen. Sie wurden ebenfalls im Trockenschrank getrocknet und ihr Gewicht bestimmt. Von ihnen gibt es keine Werte zum Gewicht unmittelbar nach der Ernte, deswegen dürfen sie nicht in die Berechnung des Feuchtegehalts miteinbezogen werden. Ihr Gewicht darf erst am Schluss zum Kornertrag gezählt werden, nachdem das Trockengewicht der anderen Ähren bestimmt wurde.

### 3.4.3.2 Strohertrag

Die luftgetrockneten Proben der Stroh- und Blattmasse wurden abgewogen und vermahlen.

### 3.4.3.3 C/N-Bestimmung der oberirdischen Biomasse

Die Kohlenstoff-Stickstoff-Analyse wurde nach folgendem Regelwerk vorgenommen: ÖNORM L1080 (Kohlenstoff) und ÖNORM L1091 (Stickstoff).

Das Korn, die Spelzen und Stroh- gemischt mit Blattmasse wurden separat auf ihr C/N-Verhältnis untersucht. Das verwendete Gerät war der TruSpec Macro, das den Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt als Gewichtsanteile in Prozent ermittelt.

Vor der Analyse wurden die Proben vermahlen. Die Stroh- und Blattmasse wurde mit einer herkömmlichen Getreidemühle auf eine Größe von 1 mm vermahlen. Dafür wurde eine Stichprobe der luftgetrockneten Biomasse ausgewählt, in etwa 4 cm große Stücke geschnitten und vermahlen. Nach jedem Mahlvorgang wurde die Mühle mit einem Kompressor und einem Pinsel gründlich gereinigt.

Die Korn- sowie die Spelzenproben wurden mit der gleichen Vorgehensweise vermahlen. Die Proben waren zuvor im Trockenschrank bei 80°C gelagert worden.

Die Analyse: Es werden je 0,15 g der vorher vermahlene Probe mit der Feinwaage eingewogen und in Zinnfolien verpackt. Jede Probe wird doppelt ausgewertet. Jede Analyse besteht aus drei Schritten: dem Reinigen, Verbrennen und Analysieren. Bei der Reinigung wird die Zinnkapsel eingeworfen und anschließend werden alle anwesenden Gase im Ladungskopf, Sammelbehälter und den Gasleitungen entfernt. Bei der anschließenden Verbrennung wird die Probe in einen 1000°C heißen Brennofen gebracht und mit Sauerstoff geflutet, um die Verbrennung vollständig ablaufen zu lassen. Die dabei entstandenen Gase werden in einem Sammelbehälter aufgefangen und weitergeleitet zu einem CO<sub>2</sub>-Infrarotdetektor. Danach gelangen die Gase zu einem Heliumträgerfluss und werden gemeinsam an heißes Kupfer herangeführt. Dadurch wird Sauerstoff von Stickstoff getrennt und von NO<sub>x</sub> zu NO<sub>2</sub>

umgewandelt. Im Anschluss wird das Gas durch Lecosorb und Anhydrone geleitet, um CO<sub>2</sub> und Wasser abzutrennen. Die finale Bestimmung des N-Gehaltes erfolgt durch eine Thermokonduktivitätszelle.

### 3.5 Statistische Datenanalyse

**Vorgehensweise:** im Statistikprogramm SPSS 24 wurden die erhobenen Daten analysiert.

Die Normalverteilung wurde anhand des Kolmogorov-Smirnov-Tests und des Shapiro-Wilk-Tests ermittelt. Bei widersprüchlichen Ergebnissen wurde die Entscheidung nach dem Shapiro-Wilk Test getroffen.

Normalverteilte Ergebnisse mit Varianzhomogenität wurden einer univariaten Varianzanalyse unterzogen und als Post-Hoc Test wurde der Tukeytest herangezogen. Nicht normalverteilte Ergebnisse und nicht varianzhomogene Daten wurden mit dem Kruskal-Wallis-Test analysiert.

#### Codierung in SPSS (Tab. 7):

Tabelle 4: Codierung der Parameter im Statistikprogramm SPSS

Termin		Bodenbearbeitung		Wiederholung	Tiefe	
18.08.2015	1	HP, Häufelpflug	1	1	0-15	1
12.10.2015	2	HPD, Häufelpflug mit Drähten	2	2	15-30	2
09.12.2015	3	GR, Grubber	3	3	30-45	3
09.03.2016	4	PF Pflug	4		Gesamt-Horizont	4
10.05.2016	5					
Ernte						
10.07.2016						
11.07.2016	6					

## 4 Ergebnisse

Die nachfolgenden Kapitel 4.1-4.3. erläutern die wichtigsten Ergebnisse des Versuchs in Tabellenform.

## 4.1 Nitratverlauf

Tabelle 5: Nitratwerte aller Bodenprobennahmen mit Mittelwerten und Standardabweichung

Nitratwerte (kg/ha)												
		MW	SD									
Termin	Tiefe (cm)	gesamt		HP		HPD		GR		PF		
<b>gesamte Beprobungstiefe</b>	18.08.2015	55,81	4,89	57,13	24,09	51,43	20,12	62,13	10,50	52,53	14,30	
	12.10.2015	115,43	14,82	135,43	35,74	117,57	13,57	106,57	11,86	102,15	7,07	
	09.12.2015	108,52	1,77	109,60	27,84	108,44	11,94	109,98	13,03	106,07	8,69	
	09.03.2016	18,37	5,95	23,88	4,26	23,01	5,02	12,06	10,64	14,54	7,23	
	10.05.2016	16,79	7,17	24,59	4,23	18,75	1,89	7,33	6,35	16,49	6,41	
	gesamt		62,98	44,13	70,13	50,51	63,84	46,72	59,62	49,35	58,36	44,44
<b>aufgeteilt nach Bodenhorizonten</b>	18.08.2015	0-15	30,69	1,03	31,87	10,38	29,65	10,38	31,21	6,34	30,05	5,84
		15-30	17,13	1,16	16,03	5,79	18,51	9,79	17,66	4,94	16,33	4,20
		30-45	7,98	4,28	9,23	8,34	3,27	3,27	13,26	0,65	6,15	5,34
	12.10.2015	0-15	34,47	5,67	42,50	3,95	34,42	6,32	30,28	5,75	30,66	7,12
		15-30	53,71	6,57	62,95	15,96	52,42	5,16	52,08	4,00	47,39	4,87
		30-45	27,26	3,59	29,98	15,85	30,73	9,97	24,21	6,18	24,11	11,45
	09.12.2015	0-15	19,80	3,15	24,35	10,28	18,93	2,86	18,79	1,19	17,13	0,94
		15-30	43,59	1,40	42,54	12,24	42,87	5,18	43,33	3,63	45,64	4,01
		30-45	45,13	2,52	42,72	8,58	46,65	6,07	47,87	9,77	43,30	5,67
	09.03.2016	0-15	9,23	2,31	9,82	1,71	10,82	1,65	5,82	5,09	10,44	0,77
		15-30	7,94	3,42	11,74	1,15	9,68	0,46	6,24	5,55	4,09	7,09
		30-45	1,21	1,40	2,33	4,03	2,51	4,34	0,00	0,00	0,00	0,00
	10.05.2016	0-15	9,90	1,88	11,68	0,36	9,77	0,81	7,33	6,35	10,83	1,95
		15-30	5,79	4,13	8,52	0,37	8,98	1,29	0,00	0,00	5,66	4,90
		30-45	1,10	2,20	4,40	3,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	alle Termine	0-15	20,82	11,03	24,04	13,76	20,72	11,05	18,69	12,10	19,82	9,98
		15-30	25,63	20,24	28,35	23,55	26,49	19,96	23,86	22,88	23,82	21,25
		30-45	16,54	17,84	17,73	17,76	16,63	20,94	17,07	19,98	14,71	18,79

Legende

Varianten: Bodenbearbeitungsverfahren

HP... Häufelpflug

HPD... Häufelpflug mit Drähnen

GR... Grubber

PF... Pflug

MW... Mittelwert

SD... Standardabweichung

## 4.2 Ammoniumverlauf

Tabelle 6: Ammoniumwerte aller Bodenprobennahmen mit Mittelwerten und Standardabweichung

Ammoniumwerte (kg/ha)												
		MW	SD									
Termin	Tiefe (cm)	gesamt		HP		HPD		GR		PF		
gesamte Beprobungstiefe	18.08.2015	0,70516889	0,24029782	0,44027856	0,38296988	0,99696011	0,40800207	0,78541554	1,36037963	0,59802135	1,03580337	
	12.10.2015	0,1761377	0,3522754	0,7045508	1,22031778	0	0	0	0	0	0	
	09.12.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	09.03.2016	0,28618686	0,40233542	0,85345174	0,86105241	0,29129569	0,50453894	0	0	0	0	
	10.05.2016	0,06111822	0,12223644	0	0	0	0	0	0	0,24447289	0,42343946	
	gesamt	0,24572233	0,34974309	0,39965622	0,39369768	0,25765116	0,4321059	0,15708311	0,35124851	0,16849885	0,26241057	
aufgeteilt nach Bodenhorizonten	18.08.2015	0-15	0,07027287	0,14054575	0	0	0	0	0	0	0,2810915	0,48686475
		15-30	0,33980455	0,31109462	0	0	0,75414749	0,73412626	0,28814085	0,4990746	0,31692986	0,54893862
		30-45	0,29509147	0,22492176	0,44027856	0,38296988	0,24281263	0,42056381	0,49727469	0,86130503	0	0
	12.10.2015	0-15	0,11652285	0,2330457	0,46609141	0,807294	0	0	0	0	0	0
		15-30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		30-45	0,05961485	0,11922969	0,23845939	0,41302378	0	0	0	0	0	0
	09.12.2015	0-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		15-30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		30-45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	09.03.2016	0-15	0,15048953	0,17395012	0,31066243	0,53808311	0,29129569	0,50453894	0	0	0	0
		15-30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		30-45	0,13569733	0,27139466	0,54278931	0,47069507	0	0	0	0	0	0
	10.05.2016	0-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		15-30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		30-45	0,06111822	0,12223644	0	0	0	0	0	0	0,24447289	0,42343946
	alle Termine	0-15	0,06745705	0,14264584	0,15535077	0,21970608	0,05825914	0,13027139	0	0	0,0562183	0,12570794
		15-30	0,06796091	0,18635484	0	0	0,1508295	0,33726501	0,05762817	0,12886051	0,06338597	0,14173534
		30-45	0,11030437	0,18750359	0,24430545	0,24844645	0,04856253	0,10858911	0,09945494	0,222388	0,04889458	0,1093316

Legende Varianten: Bodenbearbeitungsverfahren  
 HP... Häufelpflug  
 HPD... Häufelpflug mit Drähten  
 GR... Grubber  
 PF... Pflug

MW... Mittelwert  
 SD... Standardabweichung

## 4.3 Pflanzenparameter

Tabelle 7: Erhobene Pflanzenparameter mit Mittelwerten und Standardabweichung

Pflanzenparameter											
		MW	SD								
		gesamt		HP		HPD		GR		PF	
C-Gehalt im Stroh	%	45,15	0,48	45,21	0,40	45,19	0,08	44,95	0,80	45,26	0,59
N-Gehalt im Stroh	%	0,51	0,05	0,56	0,05	0,50	0,01	0,48	0,03	0,49	0,08
C/N im Stroh	%	90,17	8,93	80,88	5,98	90,52	1,33	94,50	4,37	94,79	13,87
C-Gehalt in Spelzen	%	43,38	0,26	43,57	0,35	43,36	0,15	43,14	0,22	43,45	0,14
N-Gehalt in Spelzen	%	0,53	0,05	0,52	0,04	0,54	0,02	0,50	0,03	0,55	0,10
C/N in Spelzen	%	82,86	7,41	83,87	6,86	80,63	2,89	85,77	5,11	81,18	13,95
C-Gehalt im Korn	%	44,54	0,28	44,53	0,27	44,36	0,09	44,58	0,37	44,69	0,37
N-Gehalt im Korn	%	2,37	0,05	2,40	0,04	2,38	0,04	2,36	0,07	2,34	0,04
C/N im Korn	%	18,79	0,39	18,55	0,32	18,66	0,31	18,86	0,40	19,09	0,47
Trockengewicht der Ähren	g/m <sup>2</sup>	315,04	37,92	311,61	44,80	296,60	15,79	320,03	45,85	331,92	50,56
Tausendkorngewicht	g	40,42	1,06	40,33	0,62	40,52	0,85	40,51	0,37	40,34	2,21
Spelzenanteil	%/Ähre	30,06	0,58	29,92	0,50	30,22	0,79	29,73	0,39	30,35	0,69
Kornanteil	%/Ähre	68,58	0,40	68,61	0,36	68,51	0,54	68,85	0,09	68,34	0,48
Biomasse Stroh und Blatt	t/ha	5,11	0,91	4,87	1,01	4,66	0,30	5,25	0,67	5,65	1,47
C-Fracht Stroh und Blatt	kg/ha	2310	426,32	2201	446,52	2109	135,52	2367	339,04	2561	699,32
N-Fracht Stroh und Blatt	kg/ha	26	6,61	27	6,54	23	1,40	25	4,42	28	12,42
Ertrag	t/ha	4,53	0,60	4,65	0,51	4,10	0,37	4,56	0,70	4,83	0,80
Ährenzahl	Ähren/m <sup>2</sup>	286,08	60,75	294,67	56,22	234,56	45,17	279,11	22,83	336,00	81,70
Pflanzenzahl 02.11.2015	Pflanzen/m <sup>2</sup>	347,00	104,79	255,56	57,74	265,31	44,17	399,54	48,04	467,59	65,50
Pflanzenzahl 06.11.2015	Pflanzen/m <sup>2</sup>	358,87	99,42	280,74	62,62	283,46	37,53	394,44	49,38	476,85	78,29
Braunrostbefall der Blätter	Flächen-%	4,33	1,96	4,10	2,19	5,00	3,37	4,44	1,77	3,77	0,75
Reifebewertung 28.06.2016	s. Legende	1,33	0,58	1,67	0,58	3,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,74
Dinkelhöhe 28.06.2016	cm	129,33	9,43	129,73	8,37	130,43	7,32	129,80	10,63	127,37	15,63
Windenhöhe 28.06.2016	cm	84,71	10,16	89,53	11,65	87,07	9,92	85,53	10,20	76,70	9,43

Legende

Varianten: Bodenbearbeitungsverfah

HP... Häufelpflug

HPD... Häufelpflug mit Drähren

GR... Grubber

PF... Pflug

MW... Mittelwert

SD... Standardabweichung

Reife am 28.06.2016

1 Milchreife

2 Milchreife-Teigreife

3 Teigreife

## 4.4 NO<sub>x</sub>-Verlauf in 3 Tiefen

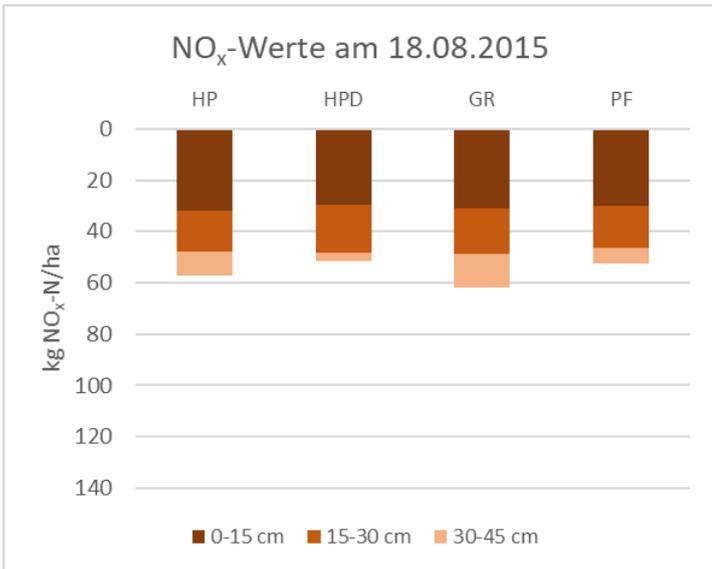


Abbildung 7: NO<sub>x</sub>-Stickstoff (kg/ha) in drei Bodentiefen am 18.08.2015 der vier Bodenbearbeitungssysteme

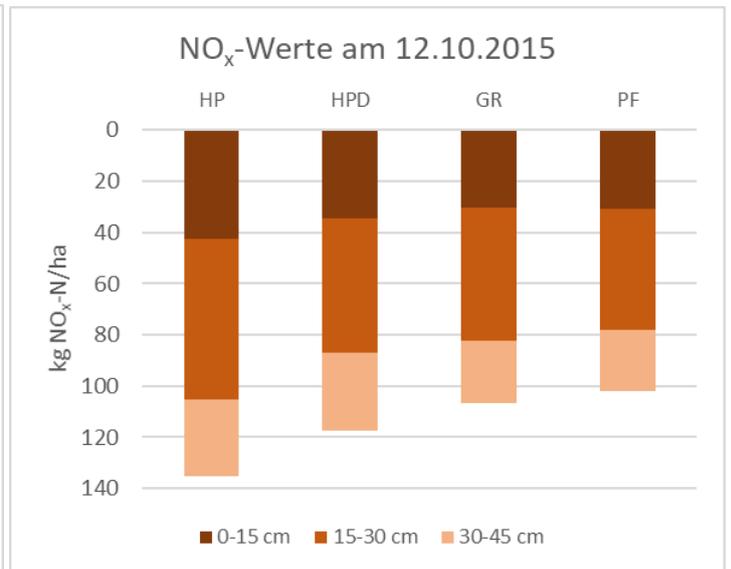


Abbildung 8: NO<sub>x</sub>-Stickstoff (kg/ha) in drei Bodentiefen am 12.10.2015 der vier Bodenbearbeitungssysteme

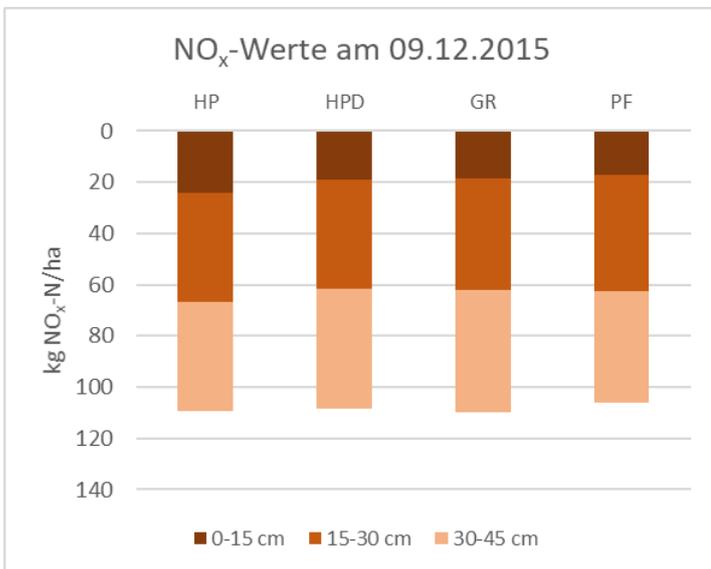


Abbildung 9: NO<sub>x</sub>-Stickstoff (kg/ha) in drei Bodentiefen am 09.12.2015 der vier Bodenbearbeitungssysteme

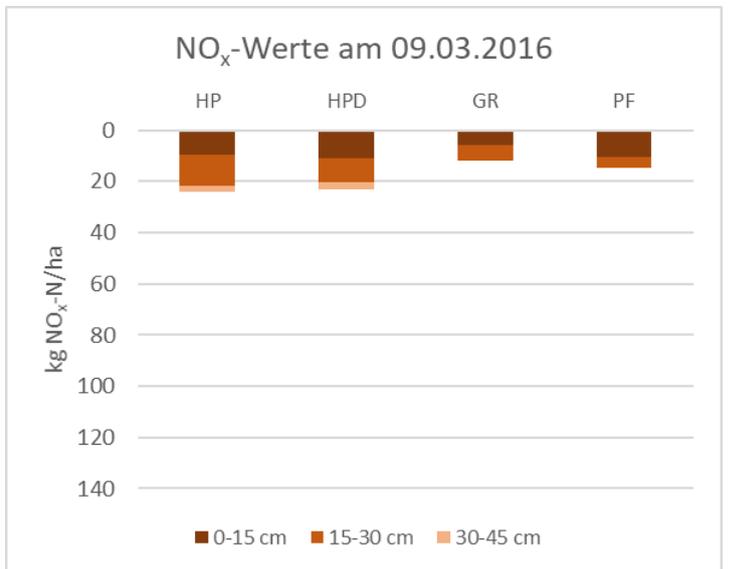


Abbildung 10: NO<sub>x</sub>-Stickstoff (kg/ha) in drei Bodentiefen am 09.03.2016 der vier Bodenbearbeitungssysteme

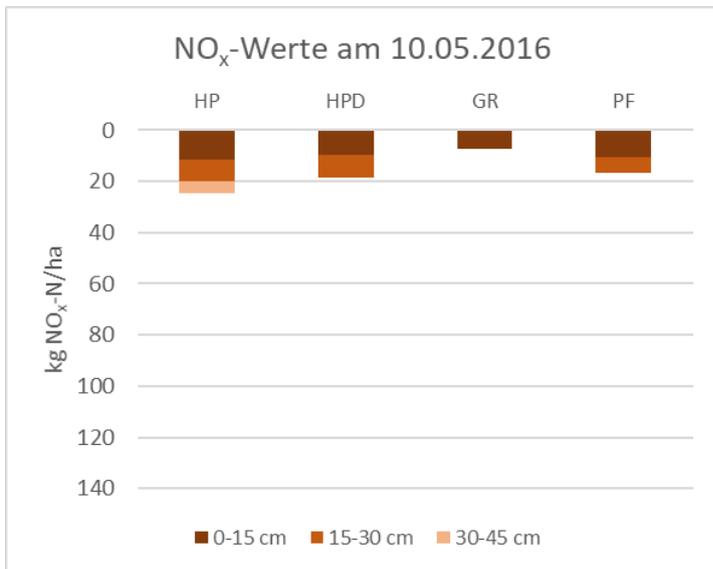


Abbildung 11: NO<sub>x</sub>-Stickstoff (kg/ha) in drei Bodentiefen am 10.05.2016 der vier Bodenbearbeitungssysteme

#### 4.5 NO<sub>x</sub>-Verlauf

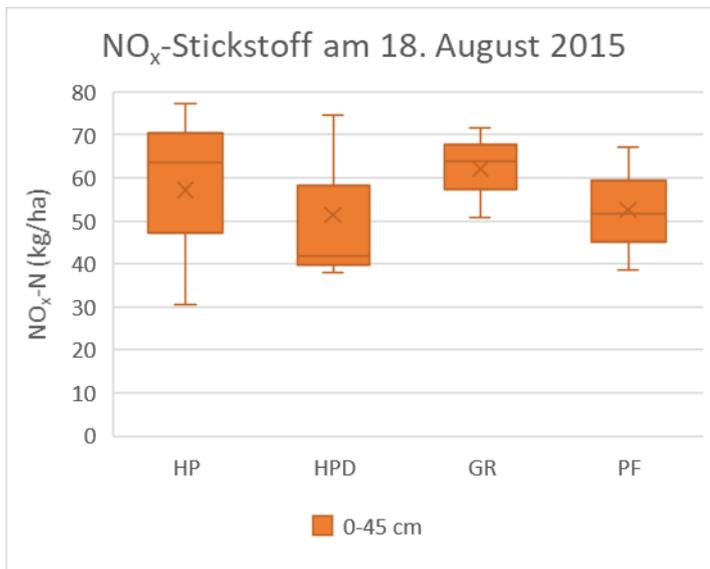


Abbildung 12: NO<sub>x</sub>-Stickstoff (kg/ha) in 0-45 cm Tiefe am 18.08.2015 der vier Bodenbearbeitungssysteme

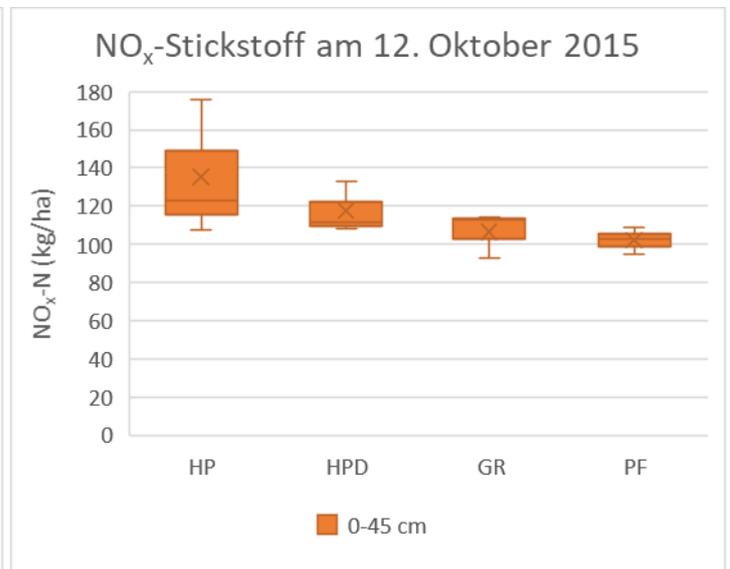


Abbildung 13: NO<sub>x</sub>-Stickstoff (kg/ha) in 0-45 cm Tiefe am 12.10.2015 der vier Bodenbearbeitungssysteme

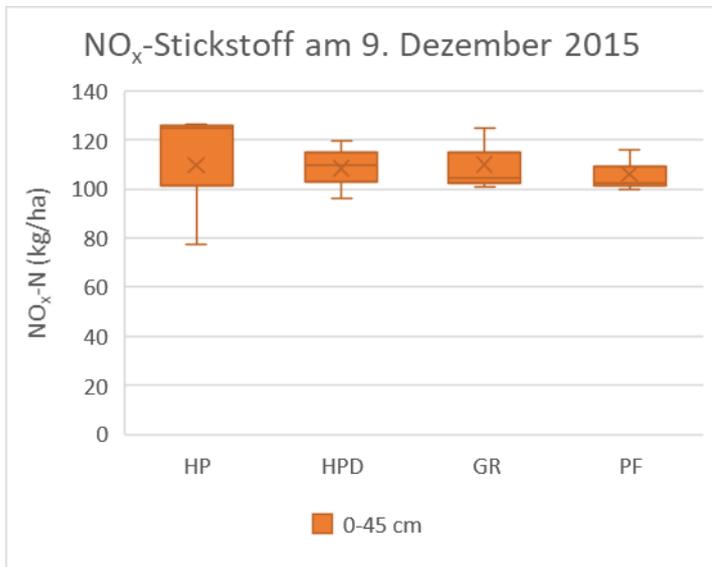


Abbildung 14: NO<sub>x</sub>-Stickstoff (kg/ha) in 0-45 cm Tiefe am 09.12.2015 der vier Bodenbearbeitungssysteme

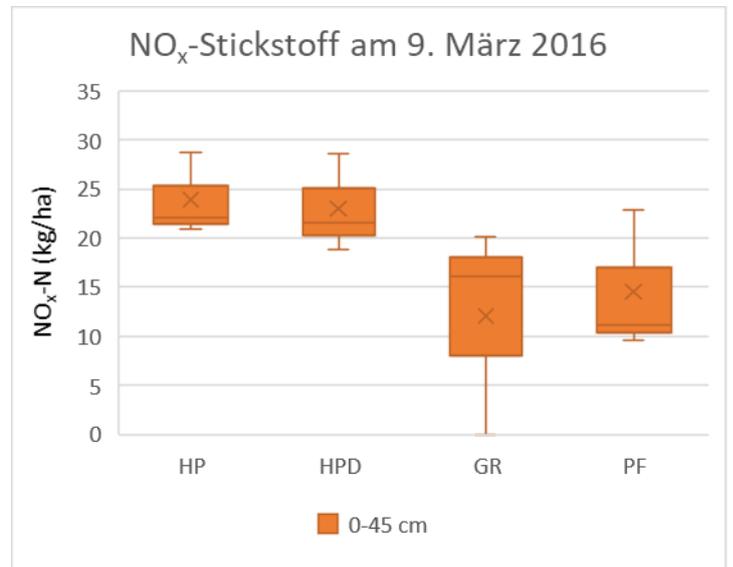


Abbildung 15: NO<sub>x</sub>-Stickstoff (kg/ha) in 0-45 cm Tiefe am 09.03.2016 der vier Bodenbearbeitungssysteme

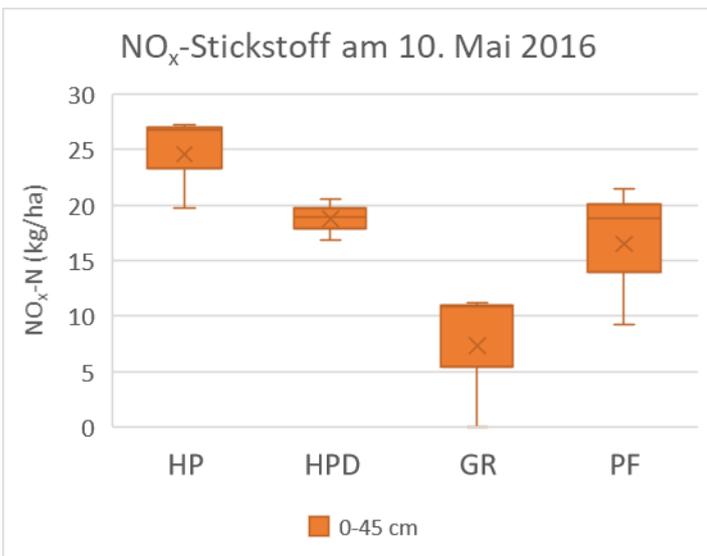


Abbildung 16: NO<sub>x</sub>-Stickstoff (kg/ha) in 0-45 cm Tiefe am 10.05.2016 der vier Bodenbearbeitungssysteme

## 4.6 Feldaufgang

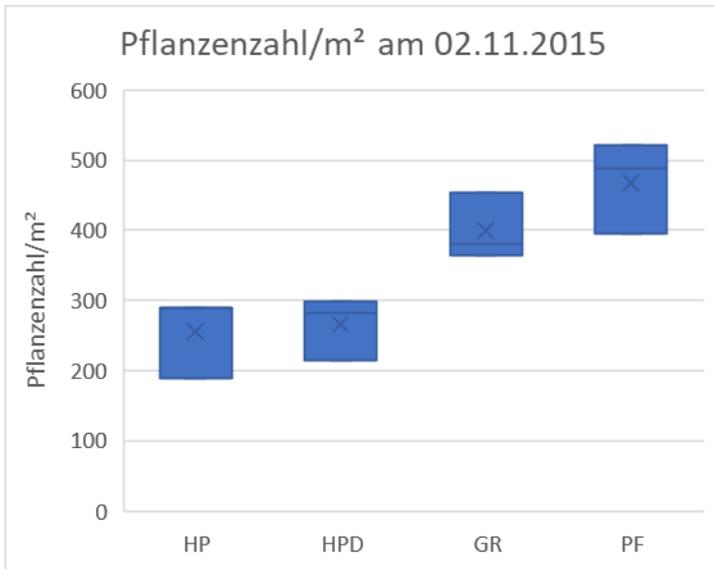


Abbildung 17: Pflanzenzahl/m<sup>2</sup> am 02.11.2015 der vier Bodenbearbeitungssysteme

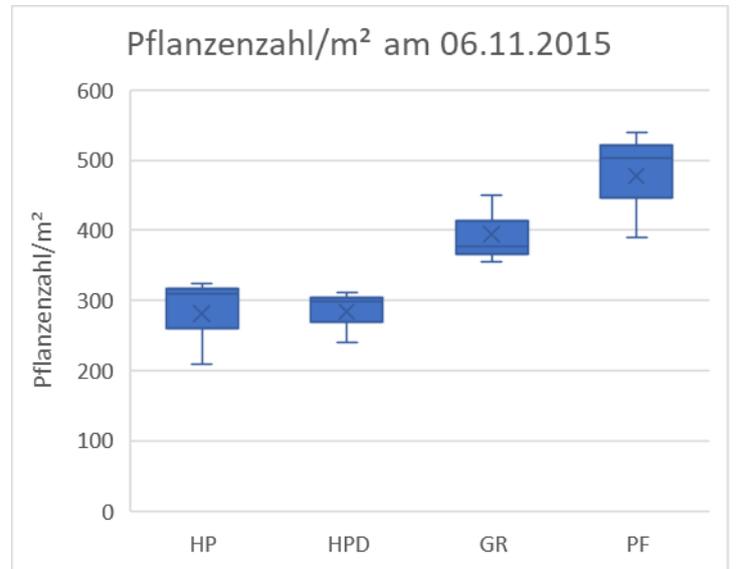


Abbildung 18: Pflanzenzahl/m<sup>2</sup> am 06.11.2015 der vier Bodenbearbeitungssysteme

## 4.7 Ernteparameter

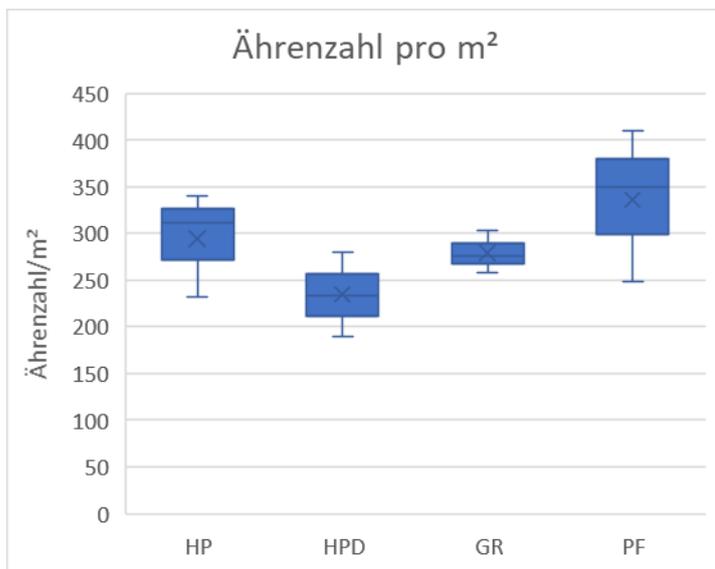


Abbildung 19: Ährenzahl/m<sup>2</sup> der vier Bodenbearbeitungssysteme

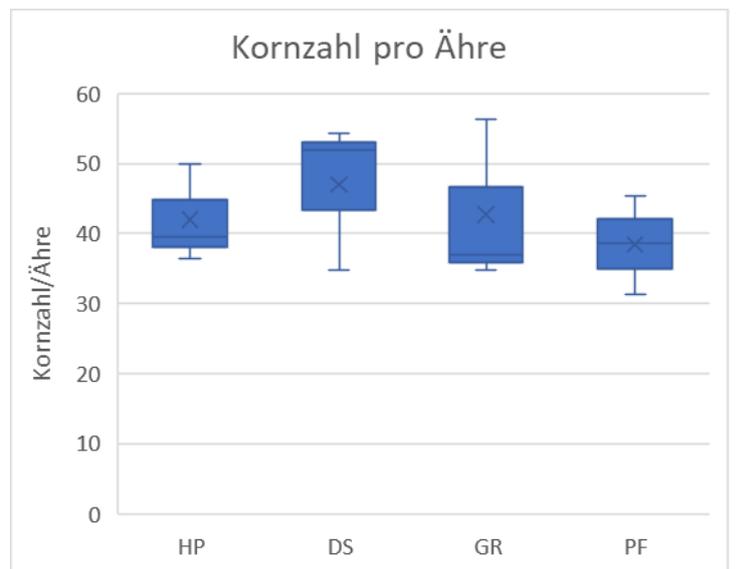


Abbildung 20: Kornzahl pro Ähre der vier Bodenbearbeitungssysteme

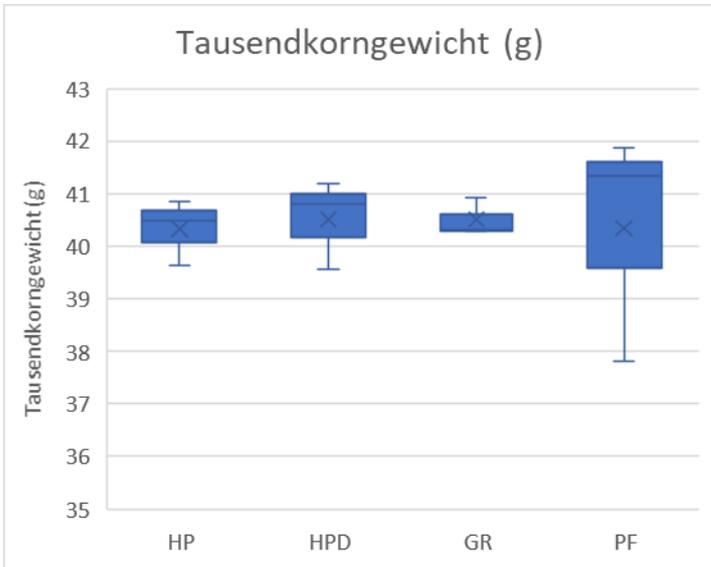


Abbildung 21: Tausendkorngewicht (g) der vier Bodenbearbeitungssysteme

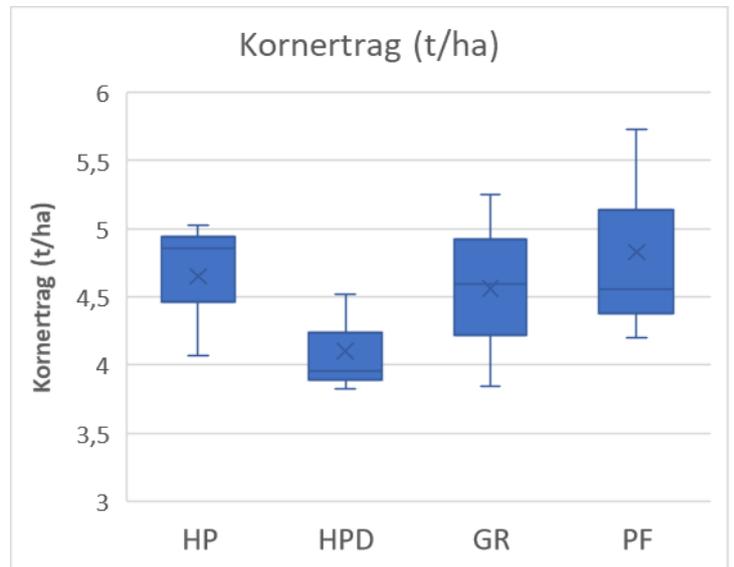


Abbildung 22: Kornertrag (t/ha) der vier Bodenbearbeitungssysteme

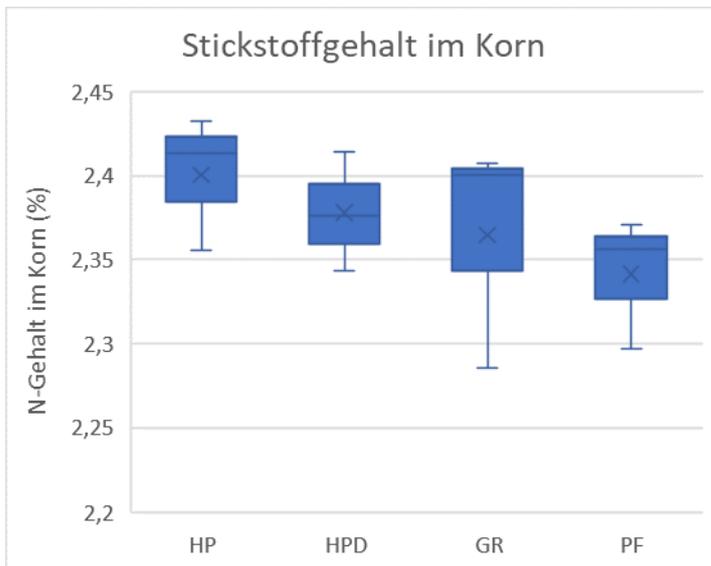


Abbildung 23: Stickstoffgehalt (%) im Korn der vier Bodenbearbeitungssysteme

## 4.8 Statistische Datenanalyse

### 4.8.1 Einfluss der Bodenbearbeitungssysteme auf NO<sub>x</sub> innerhalb der einzelnen Bodentiefen und Beprobungsterminen

Eine Überprüfung auf NH<sub>4</sub> wurde nicht vorgenommen, da nur sehr vereinzelt Werte vorkommen und Unterschiede nicht angenommen werden können.

Bei der Betrachtung der einzelnen Bodenbearbeitungssysteme auf Unterschiede bei getrennten Bodentiefen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede (Tab.8).

NO <sub>x</sub> -Werte - Analyse getrennt nach Terminen und Bodentiefen			
Termin	Bodentiefe (cm)	Normalverteilung nach Shapiro-Wilk	Signifikante Unterschiede
18.08.2015	0-15	Ja	nein
18.08.2015	15-30	ja	nein
18.08.2015	30-45	ja	nein
12.10.2015	0-15	ja	nein
12.10.2015	15-30	nein	nein
12.10.2015	30-45	ja	nein
09.12.2015	0-15	nein	nein
09.12.2015	15-30	nein	nein
09.12.2015	30-45	ja	nein
09.03.2016	0-15	nein	nein
09.03.2016	15-30	nein	nein
09.03.2016	30-45	nein	nein
10.05.2016	0-15	nein	nein
10.05.2016	15-30	nein	nein
10.05.2016	30-45	nein	nein

Tabelle 8: NO<sub>x</sub>-N-Werte: Analyse getrennt nach Terminen und Bodentiefen

## 4.8.2 Vergleich der NO<sub>x</sub>- und NH<sub>4</sub>-Werte auf Unterschiede zwischen den Terminen, ohne Horizontierung

### NO<sub>x</sub>-N

- Normalverteilung: keine Normalverteilung von NO<sub>x</sub> der Gesamt-Horizont-Werte.
- Termin: Signifikanter Unterschied im Gesamt-NO<sub>x</sub> zwischen Terminen 5 & 3, 5 & 2, 4 & 3 und 4 & 2 laut Kruskal-Wallis-Test (Abb. 24 und 25).

Stichprobe 1-Stichpr...	Test- statistik	Std. Fehler	Standard Test- statistik	Sig.	Angep. Sig.
5.4	2.417	7.130	339	.735	1.000
5.1	19.208	7.130	2.694	.007	.071
5.3	36.667	7.130	5.143	.000	.000
5.2	37.750	7.130	5.295	.000	.000
4.1	16.792	7.130	2.355	.019	.185
4.3	34.250	7.130	4.804	.000	.000
4.2	35.333	7.130	4.956	.000	.000
1.3	-17.458	7.130	-2.449	.014	.143
1.2	-18.542	7.130	-2.601	.009	.093
3.2	1.083	7.130	.152	.879	1.000

Jede Zeile testet die Nullhypothese, dass die Verteilungen von Stichprobe 1 und Stichprobe 2 gleich sind. Asymptotische Signifikanz (2-seitige Tests) werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05. Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst.

Abbildung 24: Unterschied der NO<sub>x</sub>-Werte (kg/ha) auf Unterschiede zwischen den fünf Terminen, Mittelwerte aus allen Behandlungen

Die NO<sub>x</sub>-N-Werte von Mai sind signifikant niedriger als die Nitratwerte von Oktober und Dezember. Die Nitratwerte von März sind signifikant niedriger als die Nitratwerte von Oktober und Dezember.

## Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben

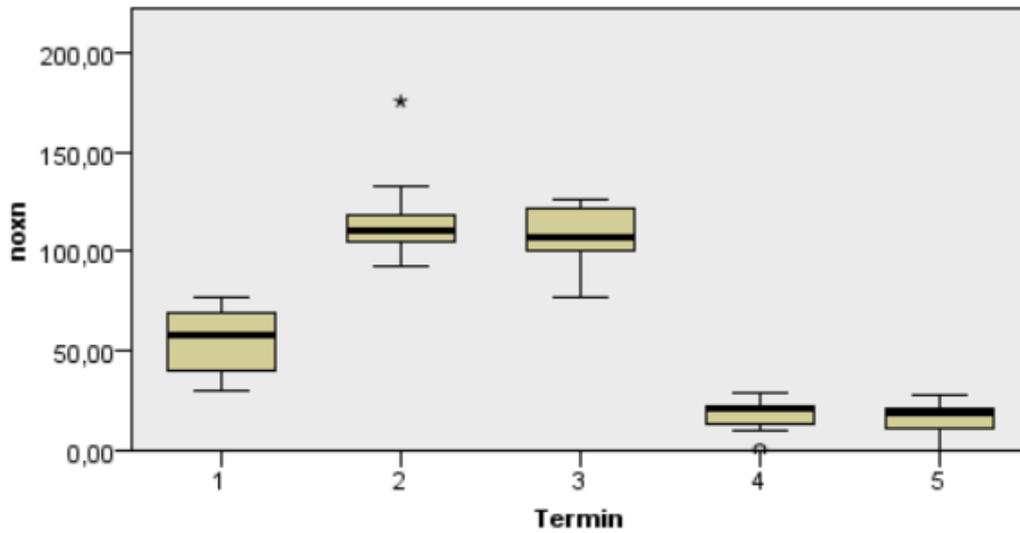


Abbildung 25: Unterschied der NO<sub>x</sub>-N-Werte (kg/ha) auf Unterschiede zwischen den fünf Terminen, Mittelwerte aus allen Behandlungen

## Ammonium

- Normalverteilung: keine Normalverteilung von NH<sub>4</sub> der Gesamt-Horizont-Werte.
- Termin: Signifikanter Unterschied im Gesamt-NH<sub>4</sub> zwischen Terminen 3 & 1, 5 & 1 und 2 & 1 laut Kruskal-Wallis-Test (Abb. 26 und 27)

Stichprobe 1-Stichpr...	Test-statistik	Std. Fehler	Standard Test-statistik	Sig.	Angep. Sig.
3.5	-2,292	4,981	-,460	,645	1,000
3.2	2,875	4,981	,577	,564	1,000
3.4	-7,708	4,981	-1,548	,122	1,000
3.1	17,125	4,981	3,438	,001	,006
5.2	,583	4,981	,117	,907	1,000
5.4	5,417	4,981	1,087	,277	1,000
5.1	14,833	4,981	2,978	,003	,029
2.4	-4,833	4,981	-,970	,332	1,000
2.1	14,250	4,981	2,861	,004	,042
4.1	9,417	4,981	1,891	,059	,587

Jede Zeile testet die Nullhypothese, dass die Verteilungen von Stichprobe 1 und Stichprobe 2 gleich sind.  
 Asymptotische Signifikanzen (2-seitige Tests) werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.  
 Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst.

Abbildung 26: Unterschied der Ammonium-Werte (kg/ha) auf Unterschiede zwischen den fünf Terminen, Mittelwerte aus allen Behandlungen

Im August 2015 und im März 2016 konnten nennenswerte Ammoniumwerte gemessen werden. Werte unter 1,5 kg NH<sub>4</sub>/ha sind jedoch vernachlässigbar betreffend der Pflanzenaufnahme. Der Märztermin konnte in 4 von 36 Proben Ammoniumwerte von jeweils unter 1 kg/ha aufweisen. Im August konnten 10 von 36 Proben eine Ammoniumwerte von jeweils unter 1,5 kg/ha aufweisen.

### Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben

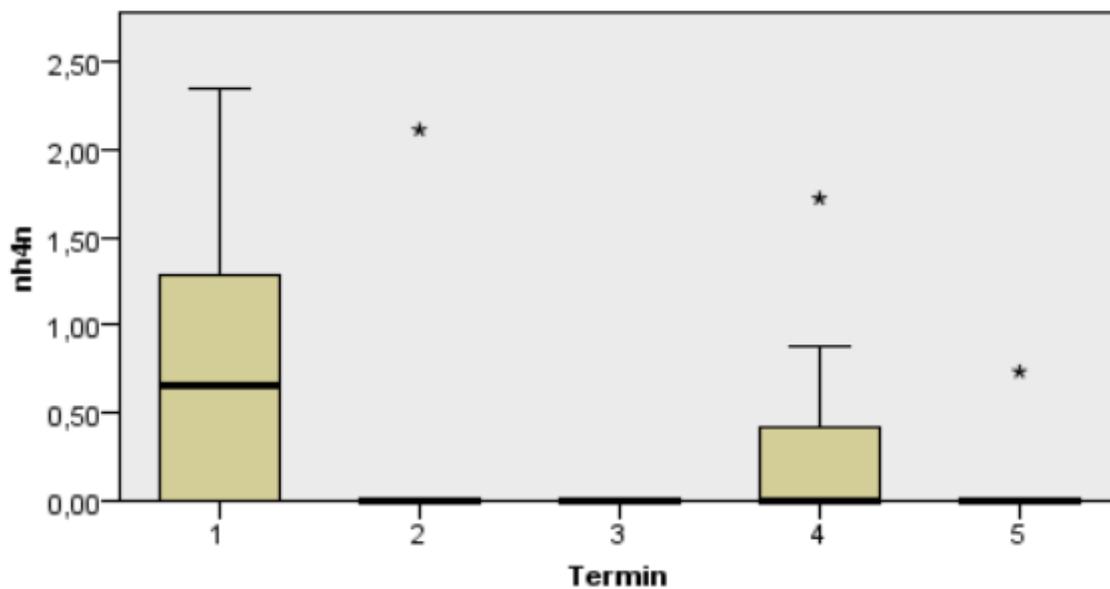


Abbildung 27: Unterschied der Ammonium-Werte (kg/ha) auf Unterschiede zwischen den fünf Terminen, Mittelwerte aus allen Behandlungen

### 4.8.3 Vergleich der NO<sub>x</sub>-Werte - und NH<sub>4</sub>-Werte auf Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungssystemen, ohne Horizontierung

#### NO<sub>x</sub>-N

- Normalverteilung: keine Normalverteilung von NO<sub>x</sub> der Gesamt-Horizont-Werte.

- Der Kruskal-Wallis-Test ergibt keine signifikanten Unterschiede der Bearbeitung bei den NO<sub>x</sub>-Werten ohne Horizontierung.

### Ammonium

- Normalverteilung: keine Normalverteilung von NH<sub>4</sub> der Gesamt-Horizont-Werte.
- Der Kruskal-Wallis-Test ergibt keine signifikanten Unterschiede der Bearbeitung bei den NH<sub>4</sub>-Werten ohne Horizontierung.

Bei der Beurteilung des Bodens von 0-45 cm Tiefe und aller Versuchsmonate wurde auf einen Unterschied zwischen den verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen statistisch getestet. Ein solcher Vergleich wird durch die Rangverteilung beim Kruskal-Wallis-Test trotz unterschiedlicher Nitratsniveaus beziehungsweise Ammoniumniveaus in den verschiedenen Monaten ermöglicht. Die verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme weisen keinen signifikanten Unterschied auf.

### 4.8.4 Vergleich der NO<sub>x</sub>- und NH<sub>4</sub>-Werte des Gesamthorizonts auf Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungssystemen innerhalb eines Termins (getrennte Terminbetrachtung)

Tabelle 9: NO<sub>x</sub>-Werte: Vergleich der NO<sub>x</sub>-N-Werte des -Gesamthorizontes auf Unterschiede zwischen den Bearbeitungen innerhalb eines Termins

NO <sub>x</sub> -N-Werte – Vergleich der NO <sub>x</sub> -Werte des Gesamthorizontes auf Unterschiede zwischen den Bearbeitungen innerhalb eines Termins				
Termin	Normalverteilung nach Shapiro-Wilk	Signifikante Unterschiede		
18.08.2015	ja	nein		
12.10.2015	nein	nein		
09.12.2015	ja	nein		
09.03.2016	ja	nein		
10.05.2016	ja	ja	zw. Bearbeitung 1&3	Homogene Untergruppen: 3a, 4ab, 2ab, 1b

Tabelle 10: Ammoniumwerte: Vergleich der NH<sub>4</sub>-N-Werte des Gesamthorizontes auf Unterschiede zwischen den Bearbeitungen innerhalb eines Termins

Ammoniumwerte – Vergleich der NH <sub>4</sub> -N-Werte des Gesamthorizontes auf Unterschiede zwischen den Bearbeitungen innerhalb eines Termins			
Termin	Normalverteilung nach Shapiro-Wilk	Signifikante Unterschiede	
18.08.2015	nein	nein	
12.10.2015	<i>nur ein Wert vorhanden</i>		
09.12.2015	<i>kein Wert</i>		
09.03.2016	nein	nein	
10.05.2016	nein	nein	

Darstellung der Nitrat- und Ammoniumwerte des Gesamthorizontes auf Unterschiede zwischen den Bearbeitungen innerhalb eines Termins (Abb. 28-36):

**Termin 1: 18.08.2015**

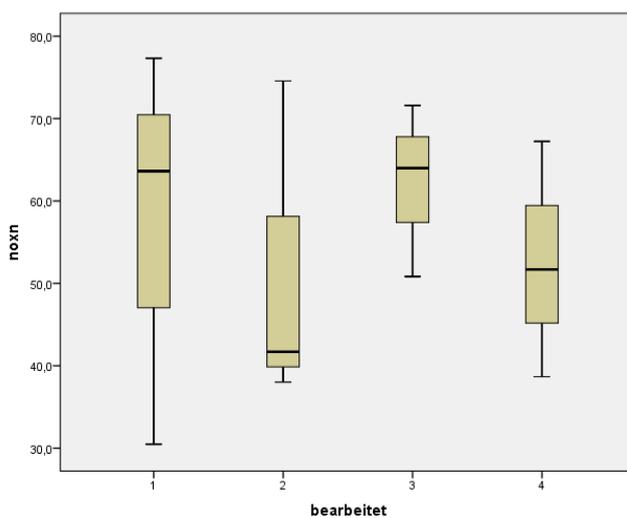


Abbildung 18: NO<sub>x</sub>-N-Werte der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme, 0-45 cm Tiefe, 18.08.2015

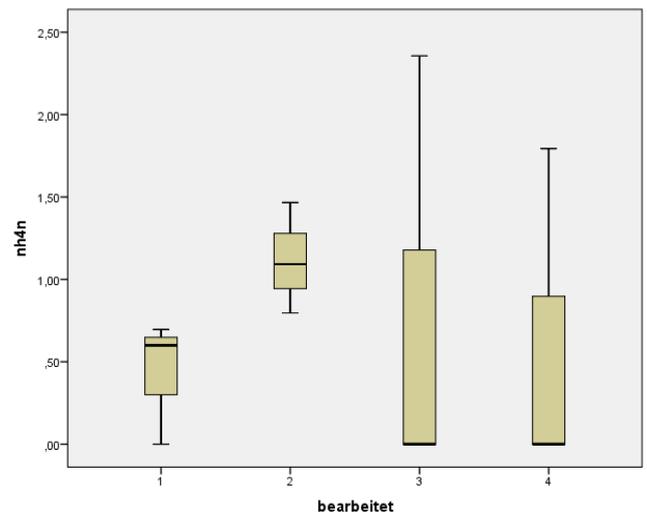


Abbildung 29: Ammoniumwert der verschiedenen Bearbeitungssysteme, 0-45 cm Tiefe, 18.08.2015

## Termin 2: 12.10.2015

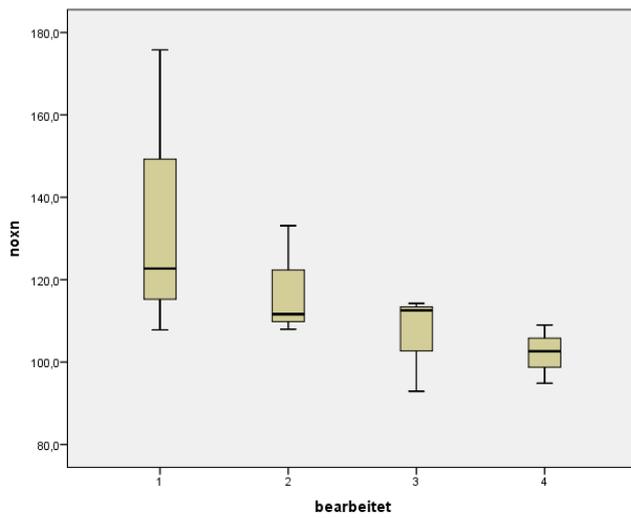


Abbildung 30: NO<sub>x</sub>-N-Werte der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme, 0-45 cm Tiefe, 12.10.2015

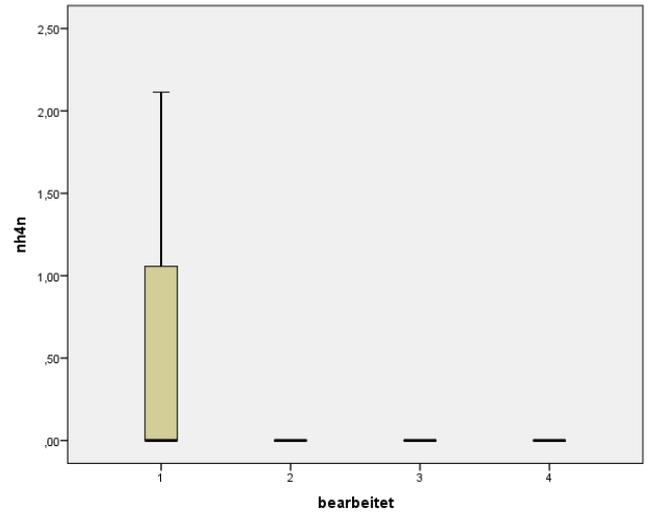


Abbildung 31: Ammoniumwert der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme, 0-45 cm Tiefe, 12.10.2015

## Termin 3: 09.12.2016

kein Wert für NH<sub>4</sub>-N

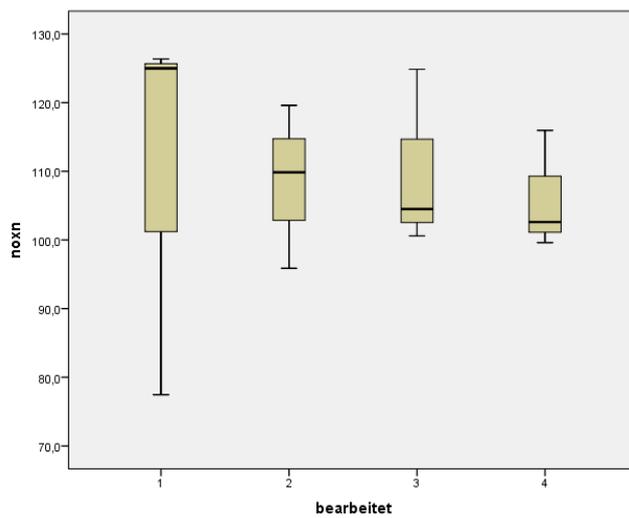


Abbildung 32: NO<sub>x</sub>-N-Werte der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme, 0-45 cm Tiefe, 09.12.2015



### Termin 4: 09.03.2016

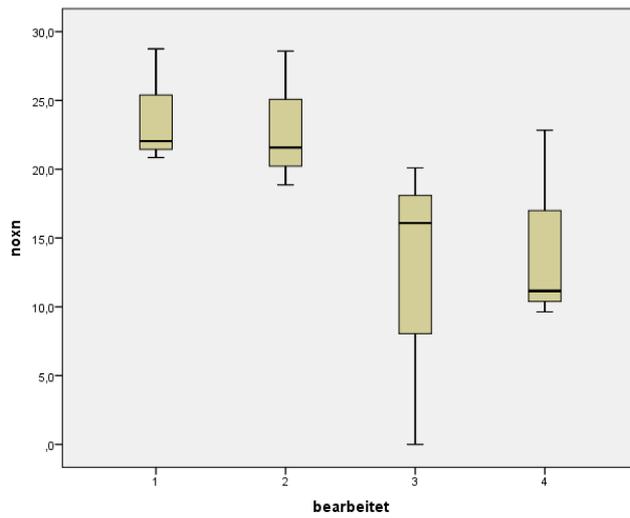


Abbildung 33: NO<sub>x</sub>-N-Werte der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme, 0-45 cm Tiefe, 09.03.2016

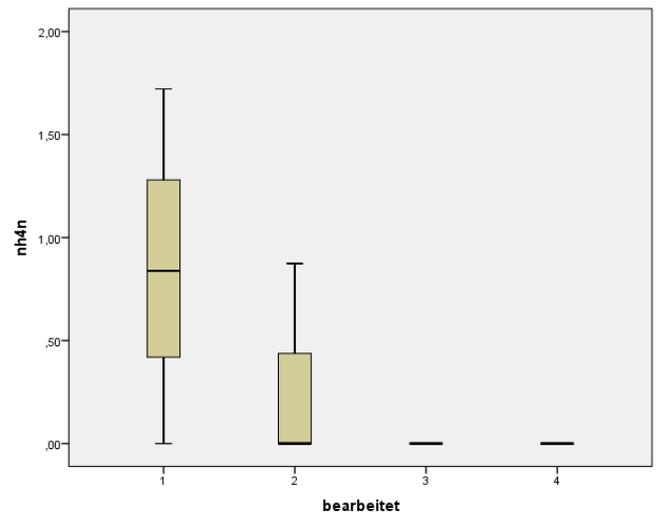


Abbildung 34: Ammoniumwert der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme, 0-45 cm Tiefe, 09.03.2016

### Termin 5: 10.05.2016

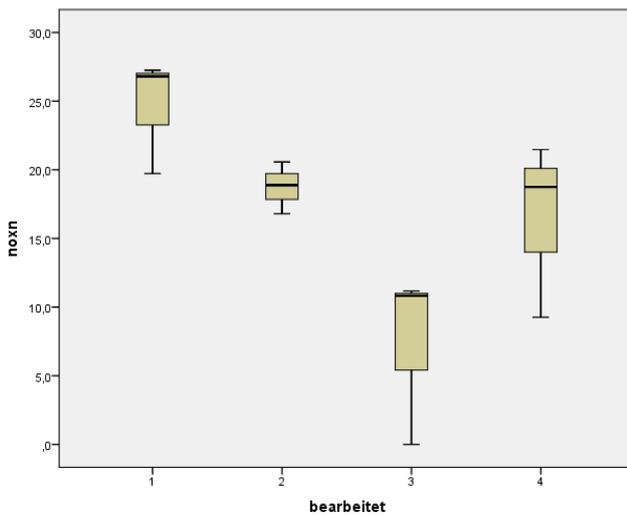


Abbildung 35: NO<sub>x</sub>-N-Werte der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme, 0-45 cm Tiefe, 10.05.2016

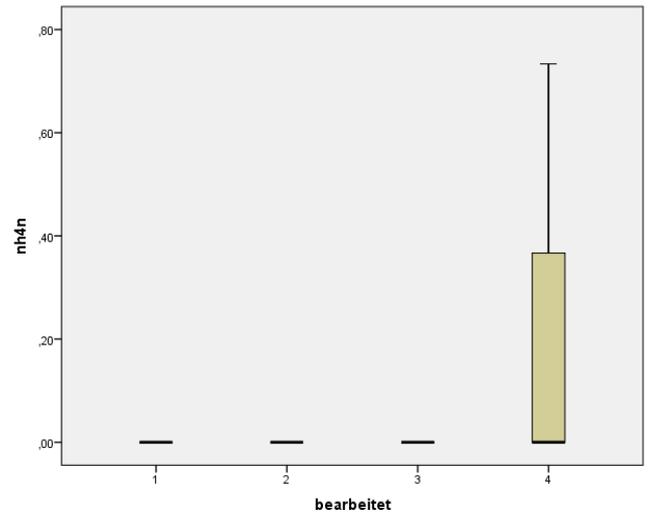


Abbildung 36: Ammoniumwert der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme, 0-45 cm Tiefe, 10.05.2016

### Termin 5

Homogene Untergruppen bei den NO<sub>x</sub>-Unterschieden der Bodenbearbeitungssysteme am 10.05.2016 (Tab 11):

Homogene Untergruppen, Termin 5, Horizont 0-45 cm			
<b>NO<sub>x</sub>-N</b>			
Tukey-HSD <sup>a,b</sup>			
bearbeitet	N	Untergruppe	
		1	2
3 Grubber	3	7,333	
4 Pflug	3	16,493	16,493
2 Häufelpflug mit Drähten	3	18,750	18,750
1 Häufelpflug	3		24,593
Sig.		0,094	0,279
Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt. Grundlage: beobachtete Mittelwerte. Der Fehlerterm ist Mittel der Quadrate(Fehler) = 25,720.			
a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 3,000			
b. Alpha = ,05			

Tabelle 11: Vergleich der NO<sub>x</sub>-Werte - auf Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungssystemen, ohne Horizontierung

Am 10.05.2016 kam es beim Vergleich der gesamten Horizonte zu signifikanten Unterschieden zwischen den Bearbeitungen Häufelpflug (1) und Grubber (3). Die Behandlung Häufelpflug erreichte höhere Nitratwerte als die Bearbeitung Grubber.

Homogene Untergruppen:

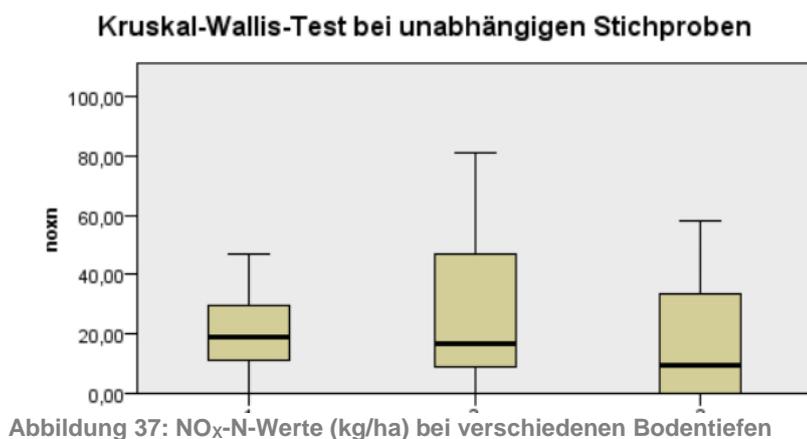
GR   PF   HPD   HP  
\_\_\_\_\_

#### 4.8.5 Test auf Unterschiede zwischen den Bodentiefen

Um zu testen, ob es Unterschiede zwischen den drei Bodentiefen gibt, wurden die Werte von allen Terminen einbezogen. Bei  $\text{NO}_x$ - und  $\text{NH}_4$ -Werten gibt es keine Normalverteilung, daher wurde jeweils der Kruskal-Wallis-Test angewandt.

##### 4.8.5.1 $\text{NO}_x$ nach Tiefen, alle Termine einbezogen

- Signifikante Unterschiede der  $\text{NO}_x$  Werte zwischen den Tiefen 1&3 (sig. 0,044) und 2&3 (sig.0,009) (Abb. 37).



Die Bodentiefe 3, 30-45 cm unterscheidet sich in ihren niedrigeren NOx-Werten signifikant von der Tiefe 2, 15-30 cm und der Tiefe 1, 0-15 cm.

homogene Untergruppen:

0-15 cm                      15-30 cm    30-45 cm

#### 4.8.5.2 NH<sub>4</sub> nach Tiefen, alle Termine einbezogen

- Normalverteilung: keine Normalverteilung von NH<sub>4</sub> der Gesamt-Horizont-Werte.
- Der Kruskal-Wallis-Test ergibt keine signifikanten Unterschiede der Tiefe bei den NH<sub>4</sub>-Werten ohne Horizontierung.

#### 4.8.6 Pflanzenparameter und Bodenfeuchte

**Normalverteilung und Varianzanalyse aller erhobenen Pflanzenparameter und Bodenfeuchtedaten an den 5 Beprobungsterminen (zeitgleich mit den Bodenprobenahmen) (Tab. 12):**

Tabelle 12: Ergebnisse der statistischen Analyse der erhobenen Pflanzenparameter und Bodenfeuchte-Daten

Bodenfeuchte	Nicht normalverteilt		Keine Signifikanz
Bodenfeuchte_1 (August)		Normalverteilt	Keine Signifikanz
Bodenfeuchte_2 (Oktober)		Normalverteilt	<b>Bearbeitung 1 unterscheidet sich signifikant zu Bearbeitung 2, 3 und 4. homogene</b>

			<b>Untergruppen: Bearbeitung 1a, 2b, 3b, 4b</b>
Bodenfeuchte_3 (Dezember)		Normalverteilt	Keine Signifikanz
Bodenfeuchte_4 (März)		Normalverteilt	Keine Signifikanz
Bodenfeuchte_5 (Mai)		Normalverteilt	Keine Varianzgleichheit, Bonferroni-Test, keine Signifikanz
Ertrag		Normalverteilt	Keine Signifikanz
C Stroh		Normalverteilt	Keine Signifikanz
N Stroh		Normalverteilt	Keine Signifikanz
C Spelzen		Normalverteilt	Keine Signifikanz
N Spelzen		Normalverteilt	Keine Signifikanz
C Korn		Normalverteilt	Keine Signifikanz
N Korn		Normalverteilt	Keine Signifikanz
TG Ähren		Normalverteilt	Keine Signifikanz
WG Ähren		Normalverteilt	Keine Signifikanz
TKG		Normalverteilt	Keine Signifikanz
Kornzahl/Ähre		Normalverteilt	Keine Signifikanz
Spelzenanteil		Normalverteilt	Keine Signifikanz
Kornanteil		Normalverteilt	Keine Signifikanz
BM Stroh und Blatt		Normalverteilt	Keine Signifikanz
Ährenzahl /m <sup>2</sup>		Normalverteilt	Keine Signifikanz
Pflanzenzahl 1		Normalverteilt	<b>Signifikante Unterschiede, zwischen Bearbeitung 1 &amp; 3, 1 &amp; 4 und 2 &amp; 4</b>
Pflanzenzahl 2		Normalverteilt	<b>Signifikante Unterschiede, zwischen Bearbeitung 1 &amp; 4 und 2 &amp; 4</b>
Braunrost		Normalverteilt	Keine Signifikanz
Reife	Nicht normalverteilt		Keine Signifikanz
Dinkelhöhe (cm)		Normalverteilt	Keine Signifikanz
Windenhöhe (cm)	Nicht normalverteilt	Normalverteilt	Keine Signifikanz
C/N_Stroh		Normalverteilt	Keine Signifikanz, Kruskal-Wallis-Test weil Varianzgleichheit nicht gegeben
C/N_Spelzen		Normalverteilt	Keine Signifikanz
C/N_Korn		Normalverteilt	Keine Signifikanz
C-Fracht Stroh und Blatt		Normalverteilt	Keine Signifikanz
N-Fracht Stroh und Blatt	Nicht normalverteilt		Keine Signifikanz

## 4.8.7 Bodenfeuchte im Oktober 2015

Die Bodenfeuchte\_2, Bodenfeuchte im Oktober 2015 weist signifikante Unterschiede ( $p < .05$ ) bei den Bodenbearbeitungssystemen auf. Hierbei unterscheidet sich die Variante HP, Häufelpflug signifikant von den drei anderen Varianten mit einer geringeren Bodenfeuchte.

Homogene Untergruppen:

HP    HPD   PF    GR

Statistische Analyse der Bodenfeuchtedaten der vier Bodenbearbeitungssysteme im Oktober 2015 (Tab. 13, Abb.38) mit homogenen Untergruppen (Tab. 14):

Tabelle 13: Statistische Analyse der Bodenfeuchtedaten der vier Bodenbearbeitungssysteme im Oktober 2015

### Multiple Comparisons

Abhängige Variable:

Tukey-HSD

(I)bearbeitet		Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
1	2	-1,1704*	0,34542	0,039	-2,2766	-0,0642
	3	-1,2854*	0,34542	0,024	-2,3916	-0,1792
	4	-1,1471*	0,34542	0,042	-2,2533	-0,0409
2	1	1,1704*	0,34542	0,039	0,0642	2,2766
	3	-0,1150	0,34542	0,986	-1,2212	0,9911
	4	0,0233	0,34542	1,000	-1,0829	1,1295
3	1	1,2854*	0,34542	0,024	0,1792	2,3916
	2	0,1150	0,34542	0,986	-0,9911	1,2212
	4	0,1383	0,34542	0,977	-0,9678	1,2445
4	1	1,1471*	0,34542	0,042	0,0409	2,2533
	2	-0,0233	0,34542	1,000	-1,1295	1,0829
	3	-0,1383	0,34542	0,977	-1,2445	0,9678

Grundlage: beobachtete Mittelwerte.

Der Fehlerterm ist Mittel der Quadrate(Fehler) = ,179.

\*. Die mittlere Differenz ist auf dem ,05-Niveau signifikant.

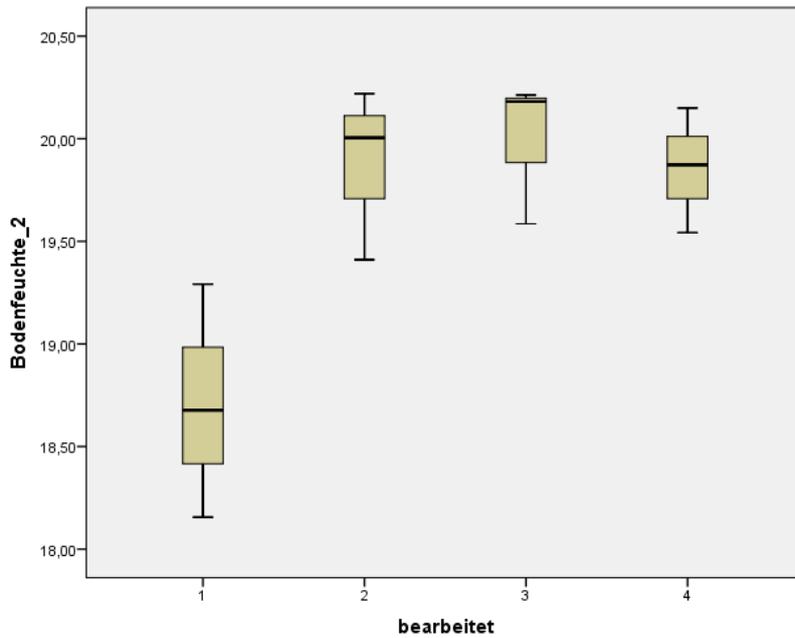


Abbildung 38: Unterschiede in der Bodenfeuchte (%) bei verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen, 12.10.2015

Tabelle 14: Paarweise Vergleiche der Bodenfeuchtedaten der vier Bodenbearbeitungssysteme im Oktober 2015

### Bodenfeuchte\_2

Tukey-HSD<sup>a,b</sup>

bearbeitet	N	Untergruppe	
		1	2
1	3	18,7080	
4	3		19,8551
2	3		19,8784
3	3		19,9934
Sig.		1,000	0,977

Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Grundlage: beobachtete Mittelwerte.

Der Fehlerterm ist Mittel der Quadrate(Fehler) = ,179.

a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 3,000

b. Alpha = ,05

## 4.8.8 Pflanzenzahl

Pflanzenzahl 1, am 02.11.2015, signifikante Unterschiede zwischen Bearbeitung 1 & 3, 1 & 4 und 2 & 4 (Abb. 39).

Pflanzenzahl 2, am 06.11.2015, signifikante Unterschiede zwischen Bearbeitung 1 & 4 und 2 & 4 (Abb. 40).

Die Pflanzenzahl pro m<sup>2</sup> Anfang November weist signifikante Unterschiede an beiden Boniturterminen auf. Hierbei weist die Variante 4, PF Pflug, die höchste Anzahl an Jungpflanzen auf. Die Varianten 1, HP Häufelpflug, und 2, HPD Häufelpflug mit Drähten, weisen die wenigsten Jungpflanzen/m<sup>2</sup> auf. Die Variante 3, Grubber, nimmt eine Mittelstellung ein.

Homogene Untergruppen

02.11.2015

06.11.2015

HPD HP GR PF

HPD HP GR PF

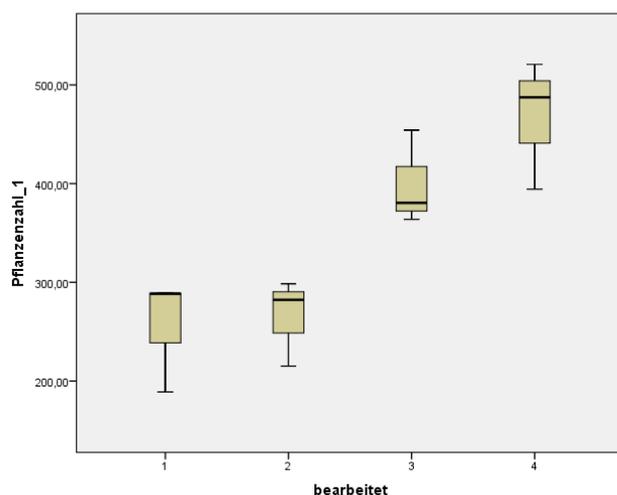


Abbildung 39: Unterschiede in der Pflanzenzahl bei verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen, 02.11.2015

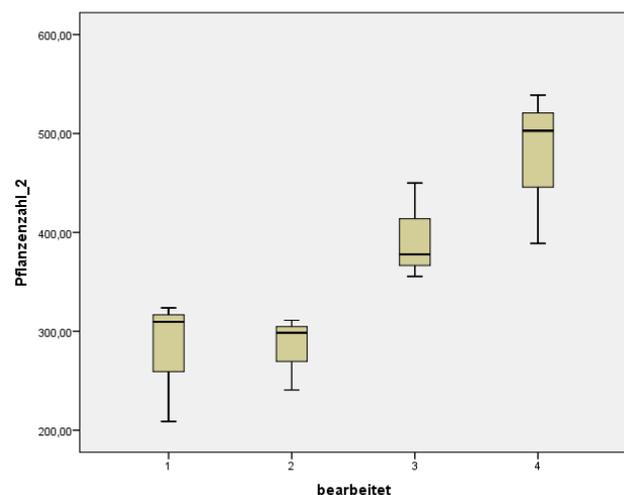


Abbildung 40: Unterschiede in der Pflanzenzahl bei verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen, 06.11.2015

## 4.8.9 Korrelationen > 0,5

Für die Überprüfung auf Korrelationen wurden die Nitratwerte von 0-45 cm Bodentiefe genommen und nicht in Horizonte unterteilt (Tab. 15):

Tabelle 15: Korrelationen und Boden- und Ertragsdaten

<b>Korrelationen der Boden- und Ertragsdaten</b>			
<b>Positive Korrelation</b>	<b>Unabhängige Parameter</b>	<b>Signifikanz</b>	<b>Korrelationskoeffizient (r)</b>
<b>August 2015 – Oktober 2015</b>			
Nox_1	Nox_2	0,011	0,699
<b>Oktober 2015 – Dezember 2015</b>			
Nox_2	Nox_3	0,033	0,615
Bodenfeuchte_2	Bodenfeuchte_3	0,026	0,636
<b>Oktober 2015 – Mai 2016</b>			
Bodenfeuchte_2	Bodenfeuchte_5	0,003	0,769
<b>März 2016 – Mai 2016</b>			
Noxn_4	Noxn_5	0,005	0,748
Noxn_4	Bodenfeuchte_5	0,048	-0,58
Bodenfeuchte_4	Bodenfeuchte_5	0,045	0,587

Oktober 2015 – März 2016			
Nh4n_2	Nh4n_4	0,028	0,631
Bodenfeuchte_2	Nh4n_4	0,045	-0,587
Bodenfeuchte_4	Bodenfeuchte_2	0,01	0,706

Dezember 2015 – März 2016			
Bodenfeuchte_3	NH4-N_4	0,004	-0,762
Bodenfeuchte_3	Bodenfeuchte_4	0,042	0,594

Ertrag			
TG_Ähren	BM_Stroh_Blatt	0	0,958
TG_Ähren	Dinkelhöhe_cm	0,011	0,699

Stickstoffgehalte			
N_Stroh	N_Spelzen	0,033	0,615
N_Stroh	Bodenbearbeitungen	0,047	-0,583
Nh4-N_4	Bodenbearbeitungen	0,041	-0,595

Kohlenstoffgehalte			
C_Stroh	C_Spelzen	0,007	0,727
C_Korn	C_Stroh	0,033	0,615
C_Stroh	NH4-N_1	0,033	0,616
C_Stroh	TG_Ähren	0,031	0,622
C_Stroh	Ährenzahl_m <sup>2</sup>	0,045	0,587

Bodenfeuchte_4	C_Stroh	0,042	0,594
Bodenfeuchte_4	C_Korn	0,014	0,685

Wasser-, Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte			
C_Spelzen	WG_Ähren	0,026	0,636
N_Stroh	WG_Ähren	0,003	0,783
Braunrost	NOx-N_3	0,000	0,928
N_Spelzen	NH4-N_1	0,005	0,747

Pflanzenhöhe, Biomasse			
N_Stroh	Dinkelhöhe_cm	0,031	0,622
N_Spelzen	Dinkelhöhe_cm	0,007	0,727
BM_Stroh_Blatt	Dinkelhöhe_cm	0,011	0,699
Dinkelhöhe_cm	TG_Ähren	0,011	0,699
Bodenfeuchte_3	Windenhöhe_cm	0,026	-0,636
BM_Stroh_Blatt	Ährenzahl_m²	0,002	0,790
Dinkelhöhe	TKG	0,028	-0,629
Dinkelhöhe	NH4-N_1	0,007	0,732
Spelzenanteil	Dinkelhöhe	0,039	-0,601
N_Korn	Windenhöhe_cm	0,036	0,608
Spelzenanteil	Windenhöhe_cm	0,006	-0,741
Kornanteil	Windenhöhe_cm	0,006	-0,741
Kornanteil	Windenhöhe_cm	0,005	0,748
NH4-N_4	Windenhöhe_cm	0,009	0,716

Pflanzenzahl			
Pflanzenzahl_1	Pflanzenzahl_2	0	0,979
Pflanzenzahl_1	Bodenbearbeitung	0,000	0,864
Pflanzenzahl_2	Bodenbearbeitung	0,001	0,842
Pflanzenzahl_1	NOx-N_4	0,015	-0,678
Pflanzenzahl_1	NOx-N_5	0,020	-0,657
Pflanzenzahl_2	NOx-N_4	0,011	-0,699
Pflanzenzahl_2	Bodenfeuchte_4	0,045	0,587
Pflanzenzahl_2	NOx-N_5	0,048	-0,580

Spelzen			
Spelzenanteil	Braunrost	0,000	0,760
Kornanteil	Spelzenanteil	0	-0,881
Spelzenanteil	NOx-N_3	0,005	0,748
Dinkelhöhe	Spelzenanteil	0,039	-0,601
Windenhöhe	Spelzenanteil	0,006	-0,741
NOx-N_1	N_Spelzen	0,005	0,747

Stickstoffgehalt – Bodenfeuchte			
Nox_1	Bodenfeuchte_1	0,007	-0,734
Nh4n_4	Bodenfeuchte_4	0,049	-0,578
Noxn_5	Bodenfeuchte_5	0,001	-0,818
Ähren			
Ährenzahl_m²	TG_Ähren	0,002	0,804
Ährenzahl_m²	BM_Stroh_Blatt	0,002	0,790
TG_Ähren	C_Stroh	0,031	0,622

Ertrag	Ährenzahl_m²	0,020	0,657
--------	--------------	-------	-------

Boden-Pflanzenparameter			
NH4-N_1	C_Stroh	0,033	0,616
Spelzenanteil	NOx-N_3	0,005	0,748
TKG	Bodenfeuchte_1	0,020	-0,657
Ährenzahl_m²	C_Stroh	0,045	0,587

Ertrag			
TKG	Dinkelhöhe	0,028	-0,629
C_Stroh	TG_Ähren	0,031	0,622
Ährenzahl_m²	C_Stroh	0,045	0,587
Windenhöhe	Kornanteil	0,005	0,748
Ährenzahl_m²	Ertrag	0,020	0,657

## 5 Diskussion

Ein Vergleich von Bodenbearbeitungssystemen, vor allem dem Dammkultursystem mit anderen, wird immer eine Momentaufnahme bleiben, die in der exakt gleichen Art und Weise nicht nachgeahmt werden kann. Grund dafür ist die flexible Anpassung an Witterungsverhältnisse, Vor- und Nachfrüchte, Bodenzustände und Bodenformen.

Das System der Dammkultur kann nicht genau in eines der vier von BISCHOFF (2018) definierten Bodenbearbeitungsverfahren eingeordnet werden, trifft aber am ehesten auf die Verfahren ohne ein Wenden des Bodens oder die Streifenbodenbearbeitung zu. Im System wird der Boden nicht gewendet, somit kann es als reduziertes System gesehen werden. Die Einordnung in ein reduziertes oder intensives Bodenbearbeitungsverfahren ist aufgrund der geringen vorliegenden Literatur schwierig. In Nordrhein-Westfalen zählt die Dammkultur beispielsweise als erosionsmindernde Bodenbearbeitung und bekommt so flächenbezogene Förderungen (Quintern, 2006). MÜLLER *et al.* (2009a) ordnet das Dammkultursystem nicht als reduziertes Bodenbearbeitungssystem ein, schreibt ihm aber weniger Intensität als dem konventionellen System mit Pflug zu. Auf lange Sicht ist das Dammkultursystem nachhaltiger, da es mehr Erosionsschutz bietet, bei geringen Ertragsunterschieden (Pikul *et al.*, 2001). Da intensivere Bodenbearbeitungssysteme tendenziell mehr Stickstoff freisetzen (Gruber *et al.*, 2007), kann hiermit die Intensität der Dammkultur diskutiert werden. An vier der fünf Bodenprobenahmeterminen unterschieden sich die NO<sub>x</sub>-Werte im Boden nicht. Es war generell ein hohes NO<sub>x</sub>-Niveau im Herbst und Winter auf der Fläche zu finden, sowohl beim reduzierten (GR) System, als auch beim intensiven System (PF). Ein Grund dafür könnte die hohe Anzahl der Bodenbearbeitungsdurchgänge gewesen sein, die aufgrund des dichten Bodens notwendig waren. Der signifikant höhere Nitratwert bei HP verglichen zu GR im Mai kann wahrscheinlich auf den zusätzlichen Hackvorgang im April zurückgeführt werden. Er wurde bewusst zum Stickstoffbedarf des Dinkels gesetzt und der Stickstoff konnte von den Pflanzen aufgenommen werden. Von einer Stickstoffauswaschung ist wegen des niedrigen NO<sub>x</sub>-Niveaus nicht auszugehen, wohl aber von einem Verlust an potenziell mineralisierbarem Stickstoff, durch die Umwandlung in NO<sub>x</sub>. Potenziell mineralisierbarer Stickstoff ist bei reduzierten Bearbeitungsverfahren (Direktsaat) höher als bei intensiveren Verfahren

(Beetpflug) (Salinas-Garcia *et al.*, 1997). Die Pflanzen der Varianten GR und PF hatten durch die höhere Pflanzenzahl wahrscheinlich schon im Herbst mehr Stickstoff aus dem Boden aufgenommen und mobilisiert (ist jedoch nicht an den Werten des NO<sub>x</sub> im Dezember erkennbar). Eine Einordnung des Systems Dammkultur in intensiv oder reduziert gestaltet sich aus diesem Versuch außerdem deswegen schwierig, da im Versuchsjahr kein Tiefenlockerer eingesetzt wurde.

Die Hypothese, dass mit der Intensität der Bodenbearbeitung die Nitratfreisetzung im Boden zunimmt, konnte somit weder bestätigt noch verworfen werden.

## 5.1 N<sub>min</sub>-Gehaltswerte in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme

Im diesem Versuch konnten die höchsten N<sub>min</sub>-Werte beim Anbau gemessen werden und zum **Zeitpunkt der Bestäubung** waren sie sehr gering (Tab. 4). In einem Versuch von SALINAS-GARCIA *et al.* (1997) lagen die niedrigsten anorganischen N-Konzentrationen zum Zeitpunkt der Ernte, gefolgt vom Anbau und die höchsten Werte konnten zur Bestäubung erreicht werden (sandig-toniger Lehm im Süden von Texas). Reduzierte Bodenbearbeitung führt zu einer verzögerten Mineralisation von Stickstoff (Emmerling und Hampl 2002 in: Schmidt, 2010b). Konservierende Bodenbearbeitung erreichte mehr anorganischen Stickstoff als die Bearbeitung mit dem Beetpflug (30 cm Bearbeitungstiefe), vor allem zur Zeit des Anbaus. (Salinas-Garcia *et al.*, 1997).

**Jahreszeitliche Schwankungen** des aktiven Stickstoffpools sind eng mit dem Input von Wurzelexudaten und der mikrobiellen Biomasse während der Saison und Pflanzenresten nach der Ernte verbunden; Anorganischer Stickstoff im Boden variiert stark im Laufe eines Jahres (Salinas-Garcia *et al.*, 1997). Die höchsten NO<sub>x</sub>-Werte wurden im Oktober 2015 und Dezember 2015 gemessen (Abb. 12-16). Sie unterschieden sich signifikant von den NO<sub>x</sub>-Werten im März 2016 und Mai 2016. Die

NO<sub>x</sub>-Werte im August 2015 nach der Ernte der Vorfrucht nahmen eine Mittelstellung ein. Im Oktober und Dezember lagen die NO<sub>x</sub>-Werte bei über 100 kg/ha in 0-45 cm Bodentiefe. Eine Auswaschungsgefahr nach unten sollte hier beachtet werden und es stellt sich die Frage, ob diese hohen Werte durch weniger Bodenbearbeitungsdurchgänge aller Varianten im Sommer und Herbst verhindert hätten werden können, oder durch die natürlichen jahreszeitlichen Schwankungen bedingt sind.

Im August, Oktober, Dezember und März ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungssystemen, wobei hier die kurze **Versuchsdauer** erwähnt werden muss. Die optimale Versuchsdauer bei verschiedenen Bearbeitungsmaßnahmen beträgt mehrere Jahre, da die Wirkung erst nach längerer Zeit erkennbar sein kann (Jacob, 1961). Das Feld wurde davor etwa 5 Jahre lang mit dem Dammkultursystem bewirtschaftet. Eine einmalige Überfahrt mit dem Pflug beziehungsweise eine Änderung von Häufelpflug auf Grubber und Kreiselegge konnte unter diesen Bedingungen innerhalb weniger Monate keine signifikanten Änderungen im N<sub>min</sub> im Boden hervorrufen.

Der Anbau auf Dämmen ermöglichte bei den Varianten HP und HPD einen Hackdurchgang am 05.04.2016. Am 10.05.2016 kam es zu signifikanten **Unterschieden im Nitratgehalt** zwischen der Variante HP (24,59 kg NO<sub>x</sub>-N/ha) und GR (7,33 kg NO<sub>x</sub>-N/ha) (Abb. 16, Tab. 9). Die Variante HP erreichte durchschnittlich um 17,26 kg mehr Nitrat-Stickstoff. Verglichen mit den anderen Monaten war das Nitratniveau im Boden mit durchschnittlich 16,79 kg NO<sub>x</sub>-N/ha im Mai am niedrigsten und signifikant unterschiedlich zu den Probenahmen im Oktober und Dezember. Diese höhere Nitratmenge kann einerseits auf den **Hackvorgang** zurückgeführt werden, eine weitere Möglichkeit ist die schnellere Erwärmung durch die größere Bodenoberfläche auf Dämmen (Müller, 2009). Mit einem Hackdurchgang sollen bis zu 20 kg Stickstoff freigesetzt werden können (Stielow, 2007). Mit der Erwärmung des Bodens kommt es auch zu einer gesteigerten Mineralisierung (Scheffer, Schachtschabel und Blume, 2010). Intensivere Bodenbearbeitung führt zu höherer Stickstoff-Mineralisierung (Gruber *et al.*, 2007). Reduzierte Bodenbearbeitung wiederum hat eine stark verringerte Stickstoffmineralisierung. Konträre Ergebnisse lieferte ein Versuch mit der Erkenntnis, dass ein reduziertes

Bodenbearbeitungssystem im Vergleich zu Pflugsystemen anorganischen Stickstoff und labile Stickstoffpools erhöht (Pflugtiefe 30 cm, vor allem im Februar zur Saat von Sommerweizen) (Salinas-Garcia et al., 1997). Beim Versuch von GRUBER et al. (2007) konnte die Variante Grubber im Herbst auf den verschiedenen Teilversuchen einmal signifikant niedrigere  $N_{\min}$ /ha-Ergebnisse und einmal keine signifikanten  $N_{\min}$ /ha-Unterschiede im Vergleich zur Variante Pflug im Herbst hervorrufen. In Summe konnten die  $N_{\min}$ -Werte/ha jeweils in 0-90 cm Tiefe mit der Grubbervariante leicht reduziert werden (Gruber et al., 2007).

Die Hypothese, dass die pfluglose Bodenbewirtschaftung eine regelmäßige Nitratfreisetzung als bei Bodenbearbeitung mit Pflug, wo es kurz nach der Bearbeitung zu hohen Nitratfreisetzungen kommt, bewirkt, muss somit widerlegt werden. Entscheidend ist hierbei auch immer die Menge und die Intensität an bewegtem Erdmaterial, wodurch die Bearbeitungstiefe und der Aufbau des Bodenbearbeitungsgeräts eine wichtige Rolle spielen.

Bei reduzierter Bodenbearbeitung in der biologischen Landwirtschaft besteht die Gefahr einer zu geringen Stickstoffnachlieferung, durch die verringerte Mineralisierung (Peigné et al., 2007). Bei Direktsaat und reduzierter Bodenbearbeitung kann es zu einem höheren Anteil an organischer Masse in den ersten 10 cm Tiefe kommen (Walther, 1986). Bei trockenen Bedingungen besteht die Gefahr einer zu geringen Nährstoffnachlieferung, wenn die potentiell mineralisierbaren Nährstoffe vor allem in den obersten Zentimetern liegen. Durch die Möglichkeit, auch bei relativ großen Pflanzen noch zu hacken, können im System der Dammkultur gezielt Bodenbearbeitungsvorgänge mit dem Stickstoffbedarf der Pflanzen kombiniert werden.

Um Böden langfristig produktiv zu halten, ist es wichtig, durch gezieltes Management Stickstoff und Kohlenstoff zu binden (Salinas-Garcia et al., 1997).

Um die **Bestockung** zu fördern, braucht die Pflanze im Entwicklungsstadium EC 21 vermehrt Stickstoffzufuhr. Dieses Stadium wird Anfang April erreicht (Reiner et al., 1992; Kübler, 1994). Die Hackmaßnahme Anfang April auf den Parzellen HP und HPD könnte so den notwendigen Stickstoff für die Bestockung bereitgestellt haben.

**Die Pflanzenzahl/m<sup>2</sup>** war an beiden Boniturterminen im November signifikant niedriger bei den Varianten HP und HPD im Vergleich zur Variante PF, die die

höchste Pflanzenanzahl aufweist (Abb. 17 und 18). Die Variante GR nimmt eine Mittelstellung ein, da sie nur am ersten Boniturtermin einen signifikanten Unterschied zur Variante HPD aufweist, jedoch nicht signifikant unterschiedlich zur Variante PF ist. Die Saatstärke aller Varianten war gleich. LIEBHARD (1995) stellte eine Abnahme der Jungpflanzen um 11% im pfluglosen System im Vergleich zum Pflugsystem fest. WALTHER (1986) hat mit abnehmender Intensität der Bodenbearbeitung auch eine Abnahme der Keimdichten festgestellt. Aus seiner Arbeit geht hervor, dass es sich um den Feldaufgang anstatt der Keimdichten handeln muss.

Die niedrigeren Pflanzenzahlen/m<sup>2</sup> der Varianten HP und HPD würden bei gleicher **Bestockung** zu einer verminderten Ährenzahl/m<sup>2</sup> bei der Ernte führen. Dieser Unterschied ist jedoch nicht gegeben, die Ährenzahlen/m<sup>2</sup> der vier Varianten unterscheiden sich nicht signifikant. Somit ist es wahrscheinlich, dass eine höhere Bestockung der Varianten HP und HPD zu einem Ausgleich geführt hat.

Im Oktober und Dezember lagen die NO<sub>x</sub>-Werte meist bei über 100 kg NO<sub>x</sub>-N/ha. Bei der darauffolgenden Beprobung im März lag das Nitratniveau zwischen 10 und 25 kg NO<sub>x</sub>-N/ha. Vor allem im Dezember war eine erhöhte Nitratkonzentration bei allen Varianten in 30-45 cm Bodentiefe zu erkennen, die im März nicht mehr zu erkennen war (Abb. 7-11). Somit ging viel **Stickstoff über den Winter mit dem Sickerwasser verloren**, da die Dinkelpflanzen zu diesem Zeitpunkt nicht so große Mengen an Stickstoff aufnehmen konnten. Erst mit dem Ende der Jungendentwicklung werden größere Mengen pflanzenverfügbarem Stickstoffs notwendig (Reiner *et al.*, 1992). Ein möglicher Zusammenhang besteht durch die hohe Anzahl an Bodenbearbeitungen vor dem Winter. Der Boden war sehr hart und wurde deswegen bei den Varianten GR und PF im Herbst fünf Mal bearbeitet und die Varianten HP und HPD wurden im Herbst vier Mal bearbeitet. Ziel eines langjährig eingesetzten Dammkultursystems ist ein lockerer Boden, der vor dem Begrünungsanbau nicht mehr durchfahren werden muss, sondern nur mehr eine einmalige Bearbeitung mit gleichzeitiger Begrünungssaat ermöglicht. Im Jahr 2015 waren vor dem Begrünungsanbau der Variante HP zwei Bearbeitungen notwendig, die in den darauffolgenden Jahren nicht mehr nötig waren (mündliche Information von Johannes Doppelbauer, Wels, 01.05.2019).

### 5.1.1 Ammonium

Die gemessenen Ammoniumwerte sind vernachlässigbar gering und aufgrund des durchlässigen Bodens herrschten auch keine anorganischen Bedingungen im Versuchsjahr 2015/16 vor (Tab. 5 und 10). Der Verteilung der einzelnen Ammoniumwerte wird hier nicht diskutiert, da die Werte extrem gering sind und keine regelmäßigen Strukturen aufweisen. Gut durchlüftete Böden in gemäßigt-humiden Klimaten weisen durch die schnell ablaufenden Nitrifikationsprozesse Ammonium in meist sehr geringen Mengen auf (Scheffer, Schachtschabel und Blume, 2010).

### 5.1.2 Bodenfeuchte

Die Werte der Bodenfeuchte (%) unterschieden sich an vier Beprobungsterminen zwischen den Bodenbearbeitungssystemen nicht, im Oktober gab es jedoch Unterschiede. Am 12.10.2015 wies die Variante HP eine signifikant niedrigere Bodenfeuchte auf als die Varianten HPD, GR, und PF. Am 07.10.2015 kam es zu starken Niederschlägen mit über 30 mm. Ein Grund für die schnellere Abtrocknung könnte die Form der Dämme sein, die durch die vergrößerte Oberfläche von etwa 9 % (Müller, 2009) schneller abtrocknen könnten. Im Dammkultursystem kann Wasser schneller abfließen, wenn es zu zwischenzeitlichen Überflutungen kommt, die Überlebensrate der Pflanzen ist höher, es kann zu schnellerem Pflanzenwachstum und zu höheren Erträgen dadurch kommen (Cox *et al.*, 1990). Eine Pflugfurche kann zu einer schnelleren Abtrocknung im Frühling als ohne Pflugeinsatz führen (Quintern, 2006). Das Dammkultursystem könnte diesbezüglich in Zukunft ein weiteres Werkzeug sein, um den Boden nach nassen Bedingungen schneller wieder befahrbar zu machen. Ein weiterer Vorteil von Dämmen den Wasserhaushalt betreffend konnte in diesem Versuch nicht bestätigt werden: Bei Trockenheit können im Damm gezielt Kapillaren unterbrochen werden und so Wasserverluste eingedämmt werden (Walther, 1986). Der Hackvorgang auf den Varianten HP und HPD im April führte bei der Bodenprobenahme im Mai zu keinen Veränderungen in der Bodenfeuchte, beziehungsweise waren eventuelle Unterschiede nach einem Monat nicht mehr ersichtlich.

Die Hypothese, dass bei Dammkultur der Boden im Frühling schneller abtrocknet wurde in diesem Versuch nicht bestätigt, jedoch ist der Boden nach starkem Niederschlag im Oktober bei der Variante HP-Dammkultur schneller abgetrocknet.

## 5.2 Pflanzenparameter und Ertragsparameter

Widersprüchlich zu anderen Ergebnissen ergab das Dammkultursystem keinen niedrigeren Kornertrag/ha (Müller, 2009). Bei MÜLLER (2009) war der Minderertrag von Weizen durch einen niedrigeren Kornertrag/Ähre bedingt. Ein Versuch auf Tschernosem zeigte höhere Maiserträge, aber keine unterschiedlichen Sojaerträge beim konventionellen Bodenbearbeitungssystem verglichen mit einem Dammkultursystem (Pikul et al., 2001). Die Kohlenstoff- und Stickstoffabfuhr zwischen HP, HPD, GR und PF war nicht signifikant unterschiedlich.

Der Häufelpflug soll auf lange Sicht Ertragsschwankungen durch Nässe und Trockenheit ausgleichen und zu stabilen Erträgen führen (HAASE et al. 2010). Reduzierte Bodenbearbeitung senkt in vielen Fällen den Ertrag, etwa um 11-18%, vor allem bei nicht wendender Bearbeitung mit wenig Tiefe kommt es zu weniger Ertrag (Walther, 1986; Schmidt, 2010a).

Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungssystemen hinsichtlich Ertrag, Braunrostbefall, Reife, Dinkelwuchshöhe, Wuchshöhe der Ackerwinde, Biomasse von Blatt und Stroh sowie den Ertragsparametern (Tab. 6). Folgende Ertragskennzahlen wurden erhoben: Tausendkorngewicht, Wassergehalt der Ähren, Trockengewicht der Ähren, Ährenzahl/m<sup>2</sup>, Kornzahl/Ähre, Stickstoff und Kohlenstoff im Korn (Abb. 19-23). Ebenso keine signifikanten Unterschiede ergaben die Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte sowie die C/N-Verhältnisse von Stroh, Spelzen und Körnern. Hier muss ebenso die kurze Versuchsdauer erwähnt werden. Eine Änderung der Bodenbearbeitungssysteme konnte innerhalb eines Jahres auf dieser seichtgründigen Braunerde keine Wirkung zeigen, trotz der signifikanten Unterschiede von NO<sub>x</sub> im Mai und der signifikanten Unterschiede in der Pflanzenzahl im Herbst.

Beim Vergleich von Grubber- und Pflugeinsatz im Herbst vor Winterweizen konnten bei GRUBER et al. (2007) keine signifikanten Unterschiede im Kornertrag/ha, Strohertrag/ha, Feldaufgang (%), Ährentragende Halme/m<sup>2</sup>, Körner/Ähre, TKG, Proteingehalt (%), N-Gehalt in der Pflanze (kg/ha) und Unkrautpflanzen/m<sup>2</sup> festgestellt werden (Gruber et al., 2007). MÜLLER (2009) konnte keine einheitlichen Unterschiede bei den Inhaltsstoffen der Ernte von Getreide zwischen konventionellem System und Dammkultursystem erkennen (Müller, 2009). Ein Versuch unter sehr ähnlichen klimatischen Bedingungen in Oberösterreich ergab signifikante, aber nur geringe Unterschiede zwischen reduziertem und konventionellem Bodenbearbeitungssystem, zugunsten eines kombinierten Systems mit abwechselnd Pflug und Grubber. Je seichter im Grubbersystem bearbeitet wurde, umso geringer war der Ertrag (Liebhard, 1995).

### 5.3 Korrelationen

Der Verlauf der Nitratwerte für August und Oktober ist ähnlich ( $r = 0,699$ ), die Werte korrelieren. Ebenso korrelieren die Nitratwerte von Oktober und Dezember ( $r = 0,615$ ). Der Nitratverlauf von März und Mai korreliert ebenso ( $r = 0,748$ ).

Die Werte der Bodenfeuchte korrelieren fast alle miteinander. Lediglich die Werte von Dezember und Mai korrelieren nicht. Die Bodenfeuchte von August 2015 korreliert mit keinen anderen Bodenfeuchten. Die korrelierten Daten erreichen nur Werte von  $r < 0,8$  – somit sind die Bodenfeuchteverteilungen über die einzelnen Varianten und Termine ähnlich, eine allgemeine Aussage darüber ist jedoch aufgrund der geringen Korrelation nicht möglich.

Zwischen Oktober und Dezember sowie zwischen März und Mai korrelieren sowohl die Nitrat- als auch die Bodenfeuchtwerte. Ein einheitlicher Verlauf im Herbst/Winter und ein einheitlicher Verlauf im Frühjahr kann somit angenommen werden. Die Korrelationen betragen aber jeweils unter 0,8 (Tab. 15).

Eine leichte Korrelation gibt es zwischen Ertrag und Ährenzahl ( $r=0,657$ ). Dieser geringe Wert zeigt, dass die Anzahl an Ähren nicht unbedingt entscheidend ist für

den Ertrag. Die Dinkelhöhe korreliert leicht negativ mit dem Tausendkorngewicht ( $r = -0,629$ ), somit tendieren niedrigere Pflanzen zu leicht schwereren Körnern.

Pflanzen mit viel Biomasse in Stroh und Blatt konnten auch eine hohe Ährenanzahl aufweisen ( $r = 0,790$ ). Dies zeigt eine gute Stickstoffversorgung in der vegetativen Phase für solche Parzellen auf.

Eine starke Korrelation herrscht zwischen Braunrostbefall und dem Nitratgehalt im Dezember ( $r = 0,928$ ). Möglicherweise hat der Braunrost vor allem sehr gut mit Stickstoff versorgte Pflanzen befallen. Ein ähnliches Ergebnis liefert ein Versuch mit Mehltau, bei dem mit steigendem Stickstoffangebot auch der Mehлтаubefall stieg (Putz und Hartl, 2003).

Je höher der Braunrostbefall war, umso höher war auch der Spelzenanteil ( $r = 0,760$ ) und somit der Kornanteil niedriger. Korn- und Spelzenanteil korrelieren stark miteinander,  $r = -0,881$ . Nachdem die beiden Anteile zusammen 100% ergeben sollen, zeigt dieser Wert den geringfügigen Verlust von Korn- und Spelzenmasse beim Ausdrusch. Wäre kein Verlust beim Ausdrusch vorgekommen, müssten die Werte mit 1 korrelieren.

Ammoniumgehalte im März ( $NH_4-N$ ) waren nur in 4 von 36 Proben nachzuweisen und selbst dann mit je unter 1 kg/ha. Auf diese Korrelationen wird nicht weiter eingegangen.

Eine aussagekräftige Korrelation ( $r = 0,958$ ) besteht zwischen dem Trockengewicht der Ähren und der Biomasse von Stroh und Blatt. Somit haben Pflanzen mit hohem Ährengewicht auch viel Biomasse gebildet. Gleichzeitig weisen Pflanzen mit einem hohen Ährengewicht eine größere Wuchshöhe auf, als Pflanzen mit leichteren Ähren ( $r = 0,699$ ).

Leichte Korrelationen konnte die Stickstoffverteilung in den einzelnen Pflanzenteilen aufweisen. Je mehr Stickstoff im Stroh zu finden war, umso mehr Stickstoff war in den Spelzen ( $r = 0,615$ ) zu finden. Dieser geringe Wert deutet auf kaum einen Zusammenhang hin. Zwischen dem Stickstoff im Korn, in den Spelzen oder im Stroh gibt es keine Korrelation, es kann davon ausgegangen werden, dass die Stickstoffeinlagerung im Korn nicht vom Stickstoffgehalt in den vegetativen Pflanzenteilen abhängt (unbeachtet der Wurzeln). Ähnlich verhält sich die Korrelation

zwischen Kohlenstoffgehalt in Stroh und Spelzen ( $r=0,727$ ) und in Korn und Stroh ( $r=0,615$ ). Der geringe Zusammenhang zwischen Stickstoff sowie Kohlenstoff in Spelzen und Stroh überrascht, da das Material ähnlich scheint. Einen geringen Zusammenhang gibt es zwischen dem Kohlenstoffgehalt im Stroh ( $r=0,594$ ) sowie dem Kohlenstoffgehalt im Korn ( $r=0,685$ ) mit der Bodenfeuchte im März. Möglicherweise konnte durch feuchtere Bedingungen mehr Photosynthese betrieben werden.

Bei der Betrachtung des Wassergehalts in den Ähren fällt auf, dass der Stickstoffgehalt im Stroh positiv mit dem Wassergehalt korreliert ( $r = 0,783$ ), der Kohlenstoffgehalt in den Spelzen ebenso ( $r=0,636$ ). Der Wassergehalt der Ähren korreliert ansonsten mit keinen anderen Werten und scheint somit relativ unabhängig aller gemessenen Parametern aufzutreten.

Ebenso korreliert die Biomasse von Stroh und Blatt mit der Dinkelhöhe ( $r = 0,699$ ), was logisch erscheint, da eine höhere Pflanze eher mehr Biomasse bildet. Die Korrelation zwischen Pflanzenhöhe und Trockengewicht der Ähre wurde weiter oben schon diskutiert.

Die beiden Pflanzenzählungen im November im Abstand von zwei Wochen korrelieren stark miteinander ( $r = 0,979$ ). Ebenso korrelieren die Pflanzenzahlen stark mit den Bodenbearbeitungssystemen ( $r=0,864$  und  $r=0,842$ ). Somit kann klar ein unterschiedlicher Feldaufgang bei den verschiedenen Anbauverfahren erkannt werden. Es gibt keine Korrelation zwischen der Ährenzahl und der Pflanzenzahl. Somit gibt es bei einer größeren Anzahl an Pflanzen nicht gleichzeitig mehr Ähren. Eine stärkere Bestockung von weniger dicht stehenden Pflanzen kann somit angenommen werden. Die Variante HP konnte die geringere Pflanzenzahl im Herbst durch eine höhere Bestockung ausgleichen, sodass zur Ernte kein Unterschied in der Ährenanzahl und den anderen Ernteparametern erkennbar war.

## 6 Schlussfolgerungen/ Conclusio

Die geringere Pflanzenanzahl der Variante Dammkultur im Herbst wurde durch eine höhere Bestockung im Frühjahr ausgeglichen. Dadurch kam es bei den vier Bodenbearbeitungssystemen im Ertrag und in anderen Ernteparametern zu keinen unterschiedlichen Ergebnissen.

Die vier Bodenbearbeitungsverfahren unterscheiden sich hinsichtlich der NO<sub>x</sub>-Menge im Boden nicht, mit Ausnahme eines Bodenprobenahmetermins. Am 10. Mai 2016 erzielte die Bearbeitung mit Häufelpflug im Dammkultursystem eine signifikant höhere NO<sub>x</sub>-Menge als die Bearbeitung mit Grubber im reduzierten System. Das NO<sub>x</sub>-Niveau im Boden im Mai war verglichen mit den anderen Monaten am niedrigsten.

Das Dammkultursystem ermöglicht durch den weiten Reihenabstand Anfang April einen Hackdurchgang, dadurch werden den Pflanzen höhere NO<sub>x</sub>-Mengen (kg/ha) zur Verfügung gestellt. Beim Probenahmetermin Mitte Mai wurden im Boden der Variante Häufelpflug signifikant höhere NO<sub>x</sub>-Werte gegenüber der Variante mit Grubber gemessen. Dies ergab zum Zeitpunkt des Schossens eine höhere Stickstoffversorgung.

Die Stickstoffdynamik beim System Dammkultur wirkt sich in diesem Versuch positiv aus, da zum Zeitpunkt des Schossens die benötigten hohen Nitratmengen zur Verfügung gestellt werden können.

Widersprüchlich zu anderen Ergebnissen ergab das Dammkultursystem keinen niedrigeren Kornertrag/ha (Müller, 2009). Bei MÜLLER (2009) war der Minderertrag durch einen niedrigeren Kornertrag/Ähre bedingt. Was jedoch nicht bestätigt werden konnte. Der Häufelpflug soll auf lange Sicht Ertragsschwankungen durch Nässe und Trockenheit ausgleichen und zu stabilen Erträgen führen (HAASE et al. 2010).

Im System Dammkultur wurden die Pflanzen im Reihenabstand von 45 cm angebaut, im konventionellen und reduzierten System in einem Abstand von 12 cm. Die Anzahl

der Jungpflanzen/m<sup>2</sup> war im Herbst signifikant unterschiedlich; die höchste Zahl gab es im Pflugsystem. Die Ährenzahl/m<sup>2</sup> wiederum war einheitlich hoch. Die höhere Pflanzenzahl im Herbst führte somit zu keiner höheren Ährenzahl/m<sup>2</sup>. Signifikant war eine stärkere Bestockung der Dinkelpflanzen im System Dammkultur (Variante HP).

Die vorliegenden Ergebnisse ergaben bei Dinkel auf der seichtgründigen Braunerde keine signifikanten Unterschiede betreffend den Ertrag, Braunrostbefall, die Dinkelwuchshöhe und die Ernteparameter Tausendkorngewicht, Wassergehalt der Ähren, Trockengewicht der Ähren, Ährenzahl/m<sup>2</sup>, Kornzahl/Ähre, C- und N-Gehalt (%) in Stroh, Spelzen und Korn sowie C- und N-Fracht.

Die Höhe der Eingriffsintensität ist bei den vier Bodenbearbeitungssystemen unterschiedlich hoch. Das System Dammkultur ist stark von der Art des Einsatzes abhängig und kann sich sowohl positiv als auch negativ im Vergleich zum Pflug auswirken.

## **7 Zusammenfassung**

Im Feldversuch konnte ein Vergleich der vier Bodenbearbeitungssysteme Dammkultur (HP), Dammkultur intensiv (HPD), reduziertes Bodenbearbeitungssystem (GR) und konventionelles Bodenbearbeitungssystem (PF) viele neue Erkenntnisse liefern.

Am Versuchsstandort in Wels-Stadlhof, Oberösterreich, wurde vor der Versuchsanlage etwa fünf Jahre lang mit Dammkultur gearbeitet. Am 12.10.2015 wurde nach der Vorfrucht Ackerbohne mit der unterschiedlichen Bodenbearbeitung begonnen und der Versuch dauerte bis zur Ernte des Dinkels Mitte Juli 2016. Der Bodentyp ist eine Lockersediment-Braunerde über Schotter (BFW, 2019) mit dem Beginn des Schotters in etwa 50 cm Tiefe. Mit einem jährlichen Niederschlag von 790 mm im 30-jährigen Mittel (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, no date b) stellt der Standort die Bedingungen der Welser Heide dar. Der Versuch wurde mit Dinkel (*Triticum spelta* L.), Sorte Ebners Rotkorn, als Hauptfrucht durchgeführt. Er wurde mit einer Saatstärke von 150 kg/ha angesät.

Die Variante PF, Pflug – konventionelle Bodenbearbeitung – wurde mit einem Wendepflug auf 22 cm Tiefe und einem Grubber auf 18 cm Tiefe bearbeitet. Die Variante GR, Grubber – reduzierte Bodenbearbeitung – wurde mit einem 11-zinkigem Grubber mit Stabwalze auf 18 cm Tiefe bearbeitet. Die Varianten HP, Häufelpflug – Dammkultur und HPD, Häufelpflug mit Drähten – Dammkultur intensiv – wurden mit dem Häufelpflug von Turiel auf 10-25 cm Bodentiefe bearbeitet. Der Reihenabstand bei Dinkel war 45 cm und vor der Saat wurden die Dämme auf 90 cm Reihenabstand umgehäufelt.

Die Varianten GR und PF wurden vor der Aussaat des Dinkels als Grundbodenbearbeitung und Bodenlockerung vier Mal bearbeitet und die Varianten HP und HPD wurden vor der Aussaat drei Mal bearbeitet. Die Varianten HP und HPD erhielten Anfang April eine weitere Bearbeitung im Zuge eines Hackvorgangs.

Der Boden wurde 5 Mal bis auf 45 cm Tiefe beprobt und dabei in drei Horizonte unterteilt. Die Bodenproben wurden nach der ÖNORM L 1091: 1999 09 01 auf  $\text{NO}_x$  und  $\text{NH}_4$ -Werte untersucht. Im November wurde die Pflanzenzahl/m<sup>2</sup> ermittelt. Die geernteten Pflanzen wurden mit einem Labordrescher ausgedroschen und unter anderem auf folgende Parameter untersucht: C- und N-Gehalt in Stroh, Spelzen und Korn, C/N in Stroh, Spelzen und Korn, Trockengewicht der Ähren, Tausendkorngewicht, Spelzenanteil, Kornanteil, Biomasse von Stroh und Blatt, C- und N-Fracht von Stroh, Ertrag, Ährenzahl/m<sup>2</sup> und Dinkelhöhe.

Bezüglich der  $\text{NO}_x$ - und  $\text{NH}_4$ -Werte unterschieden sich die vier Varianten im August, Oktober, Dezember und März nicht voneinander. Signifikante Unterschiede konnten am 10. Mai bezüglich des  $\text{NO}_x$ -Wertes zwischen den Varianten HP und GR gemessen werden. Der Monat Mai hatte das niedrigste  $\text{NO}_x$ -Niveau verglichen mit den anderen Terminen. Das Dammkultursystem ermöglicht durch den weiten Reihenabstand Anfang April einen Hackdurchgang, dadurch werden den Pflanzen höhere  $\text{NO}_x$ -Mengen (kg/ha) zur Verfügung gestellt (Stielow, 2007). So kam es zum Zeitpunkt des Schossens zu einer höheren Stickstoffversorgung. Ein weiterer Grund für die höheren  $\text{NO}_x$ -Mengen kann die schnellere Erwärmung im Frühjahr und dadurch eine früher einsetzende Mineralisierung sein (Müller, 2009; Scheffer, Schachtschabel und Blume, 2010). Die Stickstoffdynamik beim System Dammkultur wirkt sich in diesem Versuch positiv aus, da zum Zeitpunkt des Schossens die benötigten hohen Nitratmengen zur Verfügung gestellt werden können. Die Gefahr,

im Biolandbau zu wenig Stickstoff zu mineralisieren, könnte somit aus dem Weg geräumt werden und Stickstoff könnte gezielt freigesetzt und gebunden werden (Salinas-Garcia et al., 1997; Peigné et al., 2007).

Die beiden Boniturtermine im November ergaben signifikant niedrigere Pflanzenzahlen/m<sup>2</sup> bei HP und HPD im Vergleich zu PF trotz gleicher Saatstärke. Nachdem die Ährenzahl/m<sup>2</sup> bei der Ernte keine signifikanten Unterschiede ergab, kann dadurch auf eine höhere Bestockung der Varianten HP und HPD im Vergleich zu PF ausgegangen werden. Die Bestockung fand Anfang April statt, zur selben Zeit wie der Hackvorgang auf den Parzellen HP und HPD.

Über den Winter kam es zu einem NO<sub>x</sub>-Verlust in der untersten beprobten Bodenschicht. Es ist von einer Auswaschung mit dem Sickerwasser bei allen Varianten auszugehen, die unter Umständen an der hohen Anzahl an Bodenbearbeitungen im Herbst liegt.

Am 12. Oktober 2015 gab es bei der Beprobung Unterschiede in der Bodenfeuchte. Die Vermutung, dass Dämme unter anderem wegen Ihrer vergrößerten Oberfläche schneller abtrocknen, konnte so auch in diesem Versuch bestätigt werden (Cox et al., 1990; Müller, 2009), da die Variante HP den niedrigsten Wassergehalt im Boden enthielt.

Der Kornertrag ergab keine Unterschiede zwischen den Varianten HP, HPD, GR und PF, trotz der verminderten Pflanzenzahl/m<sup>2</sup> im Herbst. Folgende Ertragskennzahlen wurden erhoben: Tausendkorngewicht, Wassergehalt der Ähren, Trockengewicht der Ähren, Ährenzahl/m<sup>2</sup>, Kornzahl/Ähre, Stickstoff und Kohlenstoff im Korn. Ebenso keine signifikanten Unterschiede ergaben die Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte sowie die C/N-Verhältnisse von Stroh, Spelzen und Körnern. Keiner dieser Parameter ergab signifikante Unterschiede.

Die Höhe der Eingriffsintensität ist bei den vier Bodenbearbeitungssystemen unterschiedlich hoch. Eine Einordnung des Systems Dammkultur in ein reduziertes oder intensives System ist nach wie vor schwierig, da es einerseits zu keinem Wenden des Bodens, gleichzeitig aber zu relativ hohen NO<sub>x</sub>-Freisetzungen kommt, die wiederum aber bewusst an den Pflanzenbedarf angepasst werden können. Eine

Einordnung zwischen dem reduzierten und konventionellen System erscheint hier sinnvoll (Müller et al., 2009a). Das System Dammkultur ist stark von der Art des Einsatzes abhängig und kann sich sowohl positiv als auch negativ im Vergleich zum Pflug auswirken.

## 8 Literaturverzeichnis

Alliance Instruments (2007) *Der Continuous-Flow Analysator FLOWSYS*.

Berner, A. und Mäder, P. (2010) 'Reduzierte Bodenbearbeitung auf schweren Böden', in Schmidt, H. (ed.) *Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen Praxisbeispiele & Forschungsergebnisse*. 1. Aufl. Berlin: Köster, pp. 277–281.

BFW, B. A. für W. N. und L. (2019) *Digitale Bodenkarte von Österreich, 1km-Raster*. Available at: <https://bodenkarte.at/#/center/14.0437,48.1908/zoom/16> (Accessed: 6 April 2019).

Bischoff, J. (2018) *Praxishandbuch Bodenbearbeitung und Aussaat Grundlagen, Technik, Verfahren, Bewertung*. 1. Auflage. Edited by A. Grosa, J. Grube, und T. Meinel. Clenze: Agrimedia (Themenbibliothek Pflanzenproduktion).

Cox, W. J. et al. (1990) 'Growth development and yield of maize under three tillage systems in the northeastern U.S.A.', *Soil and Tillage Research*, 18(2), pp. 295–310. doi: [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(90\)90067-N](https://doi.org/10.1016/0167-1987(90)90067-N).

Diercks, R. (ed.) (1994) *Integrierter Landbau Systeme umweltbewußter Pflanzenproduktion ; Grundlagen, Praxiserfahrungen, Entwicklungen ; Ackerbau, Gemüse, Obst, Hopfen, Grünland*. 2., überar. München: BLV- Verl.-Ges.

Dittmann, B. und Zimmer, J. (2010) 'Versuche zu reduzierter Bodenbearbeitung im Ökolandbau: Ökologische Fruchtfolge Güterfelde', in Schmidt, H. (ed.) *Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen Praxisbeispiele & Forschungsergebnisse*. 1. Aufl. Berlin: Köster, pp. 227–231.

Gruber, S. et al. (2007) 'Einfluss von Intensität und Zeitpunkt der Bodenbearbeitung auf Ertragsbildung von Weizen und N-Dynamik in Wasserschutzgebieten', in Zikeli, S. (ed.) *Zwischen Tradition und Globalisierung Beiträge zur 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau ; Universität Hohenheim, 20. - 23. März 2007* 1(2007). 1. Aufl. Berlin: Köster, pp. 137–140.

Haase, T. et al. (2010) 'Reduzierte Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau - ein Langzeitversuch auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen', in Schmidt, H. (ed.) *Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen Praxisbeispiele & Forschungsergebnisse*. 1. Aufl. Berlin: Köster, pp. 237–241.

HAMPL, U. (2010) 'Projekt Ökologische Bodenbewirtschaftung - ein Forschungs- und Demonstrationsprojekt der Stiftung Ökologie & Landbau', in Schmidt, H. (ed.) *Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen Praxisbeispiele & Forschungsergebnisse*. 1. Aufl. Berlin: Köster, pp. 262–266.

Haußmann, W. et al. (1994) 'Ermittlung der Nitratfrachten repräsentativen Standorten dreier hessische Wasserschutzgebiete', in Zarges, H. (ed.) *Alternativen in der Flächennutzung, der Erzeugung und Verwertung landwirtschaftlicher Produkte: Nachwachsende Rohstoffe, Extensivierung, Stilllegung; Vorträge zum Generalthema des 106. VDLUFA-Kongresses vom 19. - 24.9.1994 in Jena und weitere Beiträge aus Darmstadt*: VDLUFA-Verlag.

Jacob, A. (1961) *Der Vegetationsversuch 3 Der Feldversuch und seine Technik / Artur Jacob ; Hans Rüter*. Edited by H. Rüter und W. U. Behrens. Radebeul [u.a.: Neumann (Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik 10).

Julius Kühn-Institut (no date) *Puccinica striiformis Westend*. Available at: <http://prozentualer-befall.jki.bund.de/boniturschema.php?show=8> (Accessed: 9 May 2019).

Kainz, M. (2010) 'Wirkungen differenzierter Bodenbearbeitungssysteme im Dauerversuch Scheyern', in Schmidt, H. (ed.) *Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen Praxisbeispiele & Forschungsergebnisse*. 1. Aufl. Berlin: Köster, pp. 272–276.

Koch, W. und Gaberle, K. (2010) 'Extensivierung der Grundbodenbearbeitung in einer auf Marktfruchtbau orientierten Vierfelder-Fruchtfolge', in Schmidt, H. (ed.) *Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen Praxisbeispiele & Forschungsergebnisse*. 1. Aufl. Berlin: Köster, pp. 232–236.

Kübler, E. (1994) *Weizenanbau 72 Tabellen*. Stuttgart: Ulmer.

Liebhard, P. (1994) 'Einfluß der Primärbodenbearbeitung auf Lagerungsdichte, Porenvolumen und Porengrößenverteilung von Ackerböden im oberösterreichischen Zentralraum'. Universität für Bodenkultur Wien, pp. 125–138.

Liebhard, P. (1995) 'Effekte langjähriger unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung auf ausgewählte Bodenkennzahlen und das Ertragsverhalten von Winterweizen (*Triticum aestivum* L.), Körnermais (*Zea mays* L.) und Zuckerrübe (*Beta vulgaris* L. ssp. var. *vulgaris altissima* Doell) i'. Wien, Univ. für Bodenkultur, Habil.-Schr., 1995.

López-Fando, C. und Pardo, M. T. (2009) 'Changes in soil chemical characteristics with different tillage practices in a semi-arid environment', *Soil and Tillage Research*, 104(2), pp. 278–284. doi: 10.1016/j.still.2009.03.005.

Lütke Entrup, N. und Oehmichen, J. (eds) (2000) *Lehrbuch des Pflanzenbaues / Hrsg.: Norbert Lütke Entrup ; Jobst Oehmichen*. Gelsenkirchen-Buer: Th. Mann.

Mudra, A. (1949) *Anleitungen zur Durchführung und Auswertung von Feldversuchen nach neueren Methoden*. Leipzig: Hirzel (Landwirtschaftliche Wissenschaft 4).

Müller, E. et al. (2009a) 'CO<sub>2</sub> evolution from a ridge tilled and a mouldboard ploughed Luvisol in the field', *Applied Soil Ecology*, 43(1), pp. 89–94. doi: 10.1016/j.apsoil.2009.06.005.

Müller, E. (2009) *Das Dammkultur-System nach Turiel*. Universität Kassel. Available at: <https://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=4K3CMb6YuxlC&oi=fnd&pg=PP1&dq=dammkultursystem&ots=T1NINyDQ9t&sig=dIH1QvjBsd0NGH2Qtu3M-B7koYY#v=onepage&q=dammkultursystem&f=false>.

Müller, E. et al. (2009b) 'Spatial patterns of soil biological and physical properties in a ridge tilled and a ploughed Luvisol', *Soil and Tillage Research*, 105(1), pp. 88–95. doi: 10.1016/j.still.2009.05.011.

Neugschwandtner, R. W. *et al.* (2014) 'Soil chemical properties as affected by tillage and crop rotation in a long-term field experiment', *Plant Soil Environment*, 60(2), pp. 57–62.

Neumayr, F. (1999) *Einfluß unterschiedlicher Bodenbearbeitungsverfahren auf die Stickstoffdynamik sowie auf Ertrag und Qualität bei Zuckerrübe (Beta vulgaris L. ssp. vulgaris var. altissima Doell) im pannonischen Produktionsraum*. Universität für Bodenkultur Wien.

Österreichische Beschreibende Sortenliste 2018 Landwirtschaftliche Pflanzenarten (2018). Available at: <http://www.ages.at/themen/landwirtschaft/sorte/>.

Paffrath, A. und Stumm, C. (2010) 'Systemvergleich wendende und nicht wendende Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau', in Schmidt, H. (ed.) *Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen Praxisbeispiele & Forschungsergebnisse*. 1. Aufl. Berlin: Köster, pp. 252–256.

Peigné, J. *et al.* (2007) 'Is conservation tillage suitable for organic farming? A review', *Soil Use and Management*, 23/2, pp. 129–144.

Pikul, J. L. *et al.* (2001) 'Crop yield and soil condition under ridge and chisel-plow tillage in the northern Corn Belt, USA', *Soil and Tillage Research*, 60(1), pp. 21–33. doi: [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(01\)00174-X](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00174-X).

Putz, B. und Hartl, W. (2003) 'Befall von Winterweizen und Winterroggen mit Mehltau (Erysiphe graminis) als Indikator für die Nachlieferung von Stickstoff aus Biotonnenkompost', in Freyer, B. (ed.) *Ökologischer Landbau der Zukunft: Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau; 24.-26. Februar 2003 in Wien*. Wien, pp. 561–562.

Quintern, M. (2006) 'Schichten erhalten mit Dammkultur', *Lebendige Erde*, January, pp. 15–17.

Reiner, L. *et al.* (1992) *Weizen aktuell*. 2., völlig. Edited by Ludwig Reiner. Frankfurt am Main: DLG-Verl.

Ruhr-Stickstoff Aktiengesellschaft Bochum (ed.) (1988) *Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau*. 11th edn. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag GmbH.

Saatbau Linz eGen (no date) *Ebners Rotkorn*. Available at: <https://www.saatbau.com/at/saatgut/wintergetreide/winterdinkel/ebners-rotkorn> (Accessed: 9 May 2019).

Salinas-Garcia, J. R. *et al.* (1997) 'Soil carbon and nitrogen dynamics as affected by long-term tillage and nitrogen fertilization', *Biology and Fertility of Soils*, 25(2), pp. 182–188. doi: 10.1007/s003740050301.

Scheffer, H.-P., Schachtschabel, F. und Blume, P. (2010) *Lehrbuch der Bodenkunde*. Heidelberg: Spektrum Akda. Verl. doi: 10.1007/978-3-8274-2251-4.

Scheller, E. (1994) 'Die Stickstoff-Versorgung der Pflanzen aus dem Stickstoff-Stoffwechsel des Bodens : ein Beitrag zu einer Pflanzenernährungslehre des organischen Landbaus /<br>Edwin Scheller'. Weikersheim: Margraf (Ökologie & Landwirtschaft 4).

Schmidt, H. (ed.) (2010a) *Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen Praxisbeispiele & Forschungsergebnisse*. 1. Aufl. Berlin: Köster (Wissenschaftliche Schriftenreihe ökologischer Landbau 6).

Schmidt, H. *et al.* (2010) 'Ökologischer Ackerbauversuch Gladbacherhof. Effekte unterschiedlicher Bodenbearbeitung', in Schmidt, H. (ed.) *Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen Praxisbeispiele & Forschungsergebnisse*. 1. Aufl. Berlin: Köster, pp. 257–261.

Schmidt, H. (2010b) 'Transfervorbereitende Evaluation und Kombination von Praxiserfahrungen und Schlussbericht', p. 217. doi: <http://forschung.oekolandbau.de> unter der BÖL-Bericht-ID 17200.

Stielow, G. (2007) 'Kulturen im Dammanbau', *Bio-Land Fachmagazin für den ökologischen Landbau ; Verbandsorgan des Bioland e.V. - Verband für Organisch-Biologischen Landbau*. Heiningen: Fördergemeinschaft, 08, pp. 30–31.

Turiel, J. (no date) *No Title*. Available at: <https://www.dammkultur.info/aufbau-geschichte> (Accessed: 9 May 2019).

Vakali, C., Zaller, J. G. und Köpke, U. (2011) 'Soil & Tillage Research Reduced tillage effects on soil properties and growth of cereals and associated weeds under organic farming', 111, pp. 133–141. doi: 10.1016/j.still.2010.09.003.

Waberer, A. (2011) 'Analyse der Ertragsunterschiede bei Winterweizen unter langjährig verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen'. Available at: [http://boku.summon.serialssolutions.com/2.0.0/link/0/eLvHCXMwIV1NSwMxEB1ke1EQFRW\\_ydXD1m6z20176y4tHrwoIR6XZHe2tkIW9qMFf4\\_\\_xD\\_mTFtEelLibTIheZBk3pB5AZDddsfdORN66KV0WGYyD3O6Mfy1kFXme91Q91WgOf0xDJ9eVDztPUfbsm4ujSHKWfAL4XZhtWMEHwggAfW2IGuqbmNMauB5wYhV1m1WMtOOX](http://boku.summon.serialssolutions.com/2.0.0/link/0/eLvHCXMwIV1NSwMxEB1ke1EQFRW_ydXD1m6z20176y4tHrwoIR6XZHe2tkIW9qMFf4__xD_mTFtEelLibTIheZBk3pB5AZDddsfdORN66KV0WGYyD3O6Mfy1kFXme91Q91WgOf0xDJ9eVDztPUfbsm4ujSHKWfAL4XZhtWMEHwggAfW2IGuqbmNMauB5wYhV1m1WMtOOX).

Walther, H. (1986) *Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren auf den Pflanzenbestand und einige Bodeneigenschaften*. Justus-Liebig-Universität Gießen.

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (no date a) *Klimamittel, Lufttemperatur*. Available at: [https://www.zamg.ac.at/cms/de/dokumente/klima/dok\\_ip-klimawandel/daten-download/klimamittel-niederschlag](https://www.zamg.ac.at/cms/de/dokumente/klima/dok_ip-klimawandel/daten-download/klimamittel-niederschlag) (Accessed: 2 September 2018).

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (no date b) *Klimamittel, Niederschlag*. Available at: [https://www.zamg.ac.at/cms/de/dokumente/klima/dok\\_ip-klimawandel/daten-download/klimamittel-niederschlag](https://www.zamg.ac.at/cms/de/dokumente/klima/dok_ip-klimawandel/daten-download/klimamittel-niederschlag) (Accessed: 2 September 2019).

Zillger, C. und Buchmann, I. (2009) 'Zwischenbericht: Wirkung des Häufelpfluges auf die N-Mineralisation im Boden', *Neue Technik für energiesparende Bodenbearbeitung und mechanische Unkrautbekämpfung im ökologischen Landbau*.

## 9 Anhang

### 9.1 Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Monatsmitteltemperatur Jänner 2015-Juli 2016 (°C)
- Abbildung 2: Monatlicher Niederschlag Jänner 2015-Juli 2016
- Abbildung 3: Versuchsplan, Skizze 2015
- Abbildung 4: Häufelpflug mit aufmontierten Häufelkörpern
- Abbildung 5: Häufelpflug mit aufgebautem Säkasten
- Abbildung 6: Häufelpflug mit aufmontierten Drähten
- Abbildung 7: NO<sub>x</sub>-Stickstoff (kg/ha) in drei Bodentiefen am 18.08.2015 der vier Bodenbearbeitungssysteme
- Abbildung 8: NO<sub>x</sub>-Stickstoff (kg/ha) in drei Bodentiefen am 12.10.2015 der vier Bodenbearbeitungssysteme
- Abbildung 9: NO<sub>x</sub>-Stickstoff (kg/ha) in drei Bodentiefen am 09.12.2015 der vier Bodenbearbeitungssysteme
- Abbildung 10: NO<sub>x</sub>-Stickstoff (kg/ha) in drei Bodentiefen am 09.03.2016 der vier Bodenbearbeitungssysteme
- Abbildung 11: NO<sub>x</sub>-Stickstoff (kg/ha) in drei Bodentiefen am 10.05.2016 der vier Bodenbearbeitungssysteme
- Abbildung 12: NO<sub>x</sub>-Stickstoff (kg/ha) in 0-45 cm Tiefe am 18.08.2015 der vier Bodenbearbeitungssysteme
- Abbildung 13: NO<sub>x</sub>-Stickstoff (kg/ha) in 0-45 cm Tiefe am 12.10.2015 der vier Bodenbearbeitungssysteme
- Abbildung 14: NO<sub>x</sub>-Stickstoff (kg/ha) in 0-45 cm Tiefe am 09.12.2015 der vier Bodenbearbeitungssysteme
- Abbildung 15: NO<sub>x</sub>-Stickstoff (kg/ha) in 0-45 cm Tiefe am 09.03.2016 der vier Bodenbearbeitungssysteme
- Abbildung 16: NO<sub>x</sub>-Stickstoff (kg/ha) in 0-45 cm Tiefe am 10.05.2016 der vier Bodenbearbeitungssysteme
- Abbildung 17: Pflanzenzahl/m<sup>2</sup> am 02.11.2015 der vier Bodenbearbeitungssysteme
- Abbildung 18: Pflanzenzahl/m<sup>2</sup> am 06.11.2015 der vier Bodenbearbeitungssysteme
- Abbildung 19: Ährenzahl/m<sup>2</sup> der vier Bodenbearbeitungssysteme
- Abbildung 20: Kornzahl pro Ähre der vier Bodenbearbeitungssysteme
- Abbildung 21: Tausendkorngewicht (g) der vier Bodenbearbeitungssysteme
- Abbildung 22: Kornertrag (t/ha) der vier Bodenbearbeitungssysteme
- Abbildung 23: Stickstoffgehalt (%) im Korn der vier Bodenbearbeitungssysteme
- Abbildung 24: Unterschied der NO<sub>x</sub>-Werte (kg/ha) auf Unterschiede zwischen den fünf Terminen, Mittelwerte aus allen Behandlungen
- Abbildung 25: Unterschied der NO<sub>x</sub>-N-Werte (kg/ha) auf Unterschiede zwischen den fünf Terminen, Mittelwerte aus allen Behandlungen
- Abbildung 26: Unterschied der Ammonium-Werte (kg/ha) auf Unterschiede zwischen den fünf Terminen, Mittelwerte aus allen Behandlungen
- Abbildung 27: Unterschied der Ammonium-Werte (kg/ha) auf Unterschiede zwischen den fünf Terminen, Mittelwerte aus allen Behandlungen
- Abbildung 28: NO<sub>x</sub>-N-Werte der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme, 0-45 cm Tiefe, 18.08.2015

Abbildung 29: Ammoniumwert der verschiedenen Bearbeitungssysteme, 0-45 cm Tiefe, 18.08.2015  
 Abbildung 30: NO<sub>x</sub>-N-Werte der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme, 0-45 cm Tiefe, 12.10.2015  
 Abbildung 31: Ammoniumwert der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme, 0-45 cm Tiefe, 12.10.2015  
 Abbildung 32: NO<sub>x</sub>-N-Werte der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme, 0-45 cm Tiefe, 09.12.2015  
 Abbildung 33: NO<sub>x</sub>-N-Werte der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme, 0-45 cm Tiefe, 09.03.2016  
 Abbildung 34: Ammoniumwert der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme, 0-45 cm Tiefe, 09.03.2016  
 Abbildung 35: NO<sub>x</sub>-N-Werte der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme, 0-45 cm Tiefe, 10.05.2016  
 Abbildung 36: Ammoniumwert der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme, 0-45 cm Tiefe, 10.05.2016  
 Abbildung 37: NO<sub>x</sub>-N-Werte (kg/ha) bei verschiedenen Bodentiefen  
 Abbildung 38: Unterschiede in der Bodenfeuchte (%) bei verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen, 12.10.2015  
 Abbildung 39: Unterschiede in der Pflanzenzahl bei verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen, 02.11.2015  
 Abbildung 40: Unterschiede in der Pflanzenzahl bei verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen, 06.11.2015

## 9.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mittlere monatliche Niederschlags- und Lufttemperaturwerte der Periode Jänner 2015-Juli 2016 .....	46
Tabelle 2: Bodenbearbeitungsmaßnahmen auf den Parzellen HP und HPD, gegliedert nach Arbeitsschritten .....	52
Tabelle 3: Bodenbearbeitungsmaßnahmen auf den Parzellen GR und PF, gegliedert nach Arbeitsschritten .....	53
Tabelle 4: Nitratwerte aller Bodenprobennahmen mit Mittelwerten und Standardabweichung .....	61
Tabelle 5: Ammoniumwerte aller Bodenprobennahmen mit Mittelwerten und Standardabweichung .....	62
Tabelle 6: Erhobene Pflanzenparameter mit Mittelwerten und Standardabweichung	63
Tabelle 7: Codierung der Parameter im Statistikprogramm SPSS .....	
Tabelle 8: NO <sub>x</sub> -N-Werte: Analyse getrennt nach Terminen und Bodentiefen .....	69
Tabelle 9: NO <sub>x</sub> -N-Werte: Vergleich der NO <sub>x</sub> -N-Werte des -Gesamthorizontes auf Unterschiede zwischen den Bearbeitungen innerhalb eines Termins .....	73
Tabelle 10: Ammoniumwerte: Vergleich der NH <sub>4</sub> -N-Werte des Gesamthorizontes auf Unterschiede zwischen den Bearbeitungen innerhalb eines Termins .....	74
Tabelle 11: Vergleich der NO <sub>x</sub> -N-Werte - auf Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungssystemen, ohne Horizontierung .....	77

Tabelle 12: Ergebnisse der statistischen Analyse der erhobenen Pflanzenparameter und Bodenfeuchte-Daten.....	79
Tabelle 13: Statistische Analyse der Bodenfeuchtedaten der vier Bodenbearbeitungssysteme im Oktober 2015.....	81
Tabelle 14: Paarweise Vergleiche der Bodenfeuchtedaten der vier Bodenbearbeitungssysteme im Oktober 2015.....	82
Tabelle 15: Korrelationen und Boden- und Ertragsdaten.....	84

## **10 Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt habe. Es wurden keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Formulierungen und Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Diese schriftliche Arbeit wurde noch an keiner Stelle vorgelegt.

Wien, im September 2019