



Universität für
Bodenkultur Wien



Department für
Nachhaltige Agrarsysteme

Institut für Ökologischen Landbau

Reduzierte Bodenbearbeitung im ökologischen Ackerbau

Stoppelhobeinsatz im Vergleich zum Grubber als Praxisfeldversuch

Masterarbeit

Universität für Bodenkultur Wien,

Juni 2018

Autor:

Jakob Leitner, BSc

Betreuer:

Gabriele Gollner, Univ.Ass. Mag.rer.nat. Dr.nat.techn.

Jürgen Kurt Friedel, Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Literaturübersicht	4
2.1. Bodenbearbeitung	4
2.1.1. Konventionelle Bodenbearbeitung.....	6
2.1.2. Konservierende Bodenbearbeitung	8
2.2. Beschreibung des Stoppelhobels	11
2.2.1. Technische Beschreibung	11
2.2.2. Bearbeitungsvorgang	15
2.3. Erfahrungen aus Praxis und Wissenschaft	18
3. Zielsetzung und Arbeitshypothesen.....	22
4. Experimenteller Teil – Material und Methoden.....	23
4.1. Versuchsstandort	23
4.2. Proben und Datenerhebung im Überblick	27
4.3. Probenahme und Datenerhebung für Bodenparameter	27
4.3.1. Korngrößenverteilung und Bodenart	27
4.3.2. Lagerungsdichte.....	28
4.3.3. Mineralisierter Stickstoff (N_{\min}).....	28
4.3.4. Gravimetrischer Bodenwassergehalt	31
4.3.5. N-Mineralisationspotential	31
4.3.6. Weitere Bodenanalysen (AGES)	32
4.3.7. Bodenprofilerhebungen (WPA)	32
4.4. Dinkel- und Beikrauterhebungen	34
4.5. Datenanalyse und Statistik	38
5. Ergebnisse	39
5.1. Temperatur und Niederschlagsmenge.....	39

5.2. Bodeneigenschaften	40
5.2.1. Korngrößenverteilung und Bodenart	40
5.2.2. Lagerungsdichte des Bodens	41
5.2.3. Humus-, C_{org} -, N_{ges} -, P-, K-Gehalt, sowie C/N-Verhältnis und pH-Wert im Boden.....	42
5.2.4. Mineralisierter Stickstoff im Boden (N_{min})	47
5.2.5. Stickstoff-Nachlieferungspotential	51
5.2.6. Durchwurzelungsgrad, Bodenstruktur und Bodenfeuchtigkeit	52
5.2.7. Versickerung im Boden	53
5.2.8. Eindringwiderstand.....	54
5.2.9. Gravimetrischer Wassergehalt im Boden	55
5.3. Entwicklung der Feldvegetation	57
5.3.1. Dinkeldeckungsgrad	57
5.3.2. Beikrautdeckungsgrad	57
5.3.3. Aufkommen von Ackerkratzdisteln (<i>Cirsium arvense</i>)	58
5.3.4. Beikrauttrockenmasse.....	61
5.4. Ertragsparameter	61
6. Diskussion	65
6.1. Bodeneigenschaften	65
6.2. Entwicklung des Dinkel- und Beikrautbestands	69
6.3. Ertrag	71
7. Schlussfolgerung	74
8. Quellenverzeichnis	75
9. Abbildungsverzeichnis	82
10. Tabellenverzeichnis	84

Danksagung

Ohne die Mithilfe der Menschen, die mich bei meiner Masterarbeit unterstützt haben, wäre vieles nicht möglich gewesen. Ich möchte mich ganz herzlich bei allen bedanken, die zu deren Entstehung, in welcher Form auch immer, beigetragen haben. Ich danke den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der BOKU, dem Landwirt Karl Ringl und seiner gastfreundlichen Familie, durch die die Anlage des Feldversuchs ermöglicht wurde, sowie den diversen Fachleuten, die mir mit ihrer Expertise stets geholfen haben. Großer Dank gilt Gabrielle Gollner und Jürgen Kurt Friedel, die mich mit vollem Einsatz über mehrere Monate bei meiner Arbeit bestens beraten, begleitet und betreut haben. Ganz besonders bedanke ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden, die mich nicht nur während der Abschlussphase, sondern über die Jahre meines Studiums hinweg immer unterstützt, bereichert und inspiriert haben. Danke euch allen für die großartige Unterstützung!

Zusammenfassung

In der ökologischen Landwirtschaft wird nach Alternativen zur konventionellen Bodenbearbeitung mit dem tief wendenden Pflug gesucht, um Maschinenkosten einzusparen und die Bodenökologie zu fördern. Der modifizierte Schälplflug oder Stoppelhobel kann durch seine flach wendende Arbeitsweise den Boden schonen und gleichzeitig mehrjährige Wurzelunkräuter durch ganzflächiges Abschneiden gut unterdrücken. Geringere Arbeitstiefen ermöglichen weniger Energieaufwand sowie höhere Arbeitsgeschwindigkeiten. Im Jahr 2016 wurde ein Praxis-Feldversuch auf einem ökologisch bewirtschafteten Betrieb im nördlichen Waldviertel angelegt. Dabei wurden Boden-, Vegetations- und Ertragsmerkmale zwischen zwei reduzierten Bodenbearbeitungs-Verfahren (Var. A: 3x Stoppelhobel flach; Var. B: 2x Grubber/1x Stoppelhobel tief) untersucht. Nach den Bodenbearbeitungsgängen wurde Dinkel auf den Versuchspartellen angebaut. Zwischen den beiden Varianten konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden, was für den Einsatz des Stoppelhobels spricht, da dasselbe Ergebnis mit geringeren Arbeitstiefen ökologisch vorteilhafter erzielt werden konnte. Der Dinkelkornenertrag lag mit 17,2 dt TM ha⁻¹ (Var. A) und 18,3 dt TM ha⁻¹ (Var. B) unter dem Ertragsniveau vergleichbarer Versuche aus anderen Jahren, wobei die trockenen Bedingungen im Jahr 2017 berücksichtigt werden müssen. Das Beikrautaufkommen war auf ähnlichem Niveau anderer vergleichbarer Untersuchungen. Die pflanzenverfügbaren Nährstoffe im Boden sowie der Humusgehalt lagen im mittleren bis gut versorgten Bereich. Da durch die Bodenbearbeitung mit dem Stoppelhobel zusätzliche Erkenntnisse über die Entwicklung des Bodens, der Kulturbestände und der Beikräuter gewonnen werden könnten, wäre eine Weiterführung des Praxisversuchs über mehrere Jahre absolut empfehlenswert.

Abstract

In organic farming, alternatives to the conventional soil tillage with the deep-inverting moldboard plow are necessary, to save machine costs and support soil ecology. The modified skim plough “Stoppelhobel” can protect the soil by its shallow inverting working method. At the same time perennial weeds can be suppressed by cutting them under the entire surface. Lower working depths allow less energy consumption and higher working speeds. In 2016, an on-farm field trial was carried out on an organically managed farm in the North of Lower Austria. Soil, vegetation and yield characteristics were examined between two reduced soil tillage methods (Var. A: 3x skim plough, Var. B: 2x cultivator / 1x skim plough). After the soil tillage, spelt was grown on the trial plots. No significant differences were found between the two variants. This shows the advantages of the skim plough since the same results can be achieved with a shallower working depth. The spelt grain yield of 17.2 dt DM ha⁻¹ (Var A) and 18.3 dt TM ha⁻¹ (Var B) was below the yield level of comparable trials from other years, but it must be considered that there were very dry conditions in 2017. The weed density was at a similar level of other comparable studies. The plant-available nutrients in the soil as well as the humus content were in the middle to well supplied range. Follow-up experiments over several years could provide more information about the development and impact of the skim plough on soil, crops and weeds.

1. Einleitung

Boden ist der belebte Teil der Erdkruste und erbringt viele essentielle Ökosystemleistungen, ohne die das terrestrische Leben nicht möglich wäre. Seine Lebensraum- und Regelungsfunktionen beinhalten Nährstoffkreisläufe die Pflanze, Tier und Mensch ernähren (Scheffer & Schachtschabel, 2010, p. 1ff).

Der Begriff Bodenfruchtbarkeit bezeichnet die Fähigkeit des Bodens den Pflanzen als Standort zu dienen. Auf Kulturböden ist die Bodenfruchtbarkeit somit das Potential Kultureerträge zu erbringen (Scheffer & Schachtschabel, 2010, p. 4).

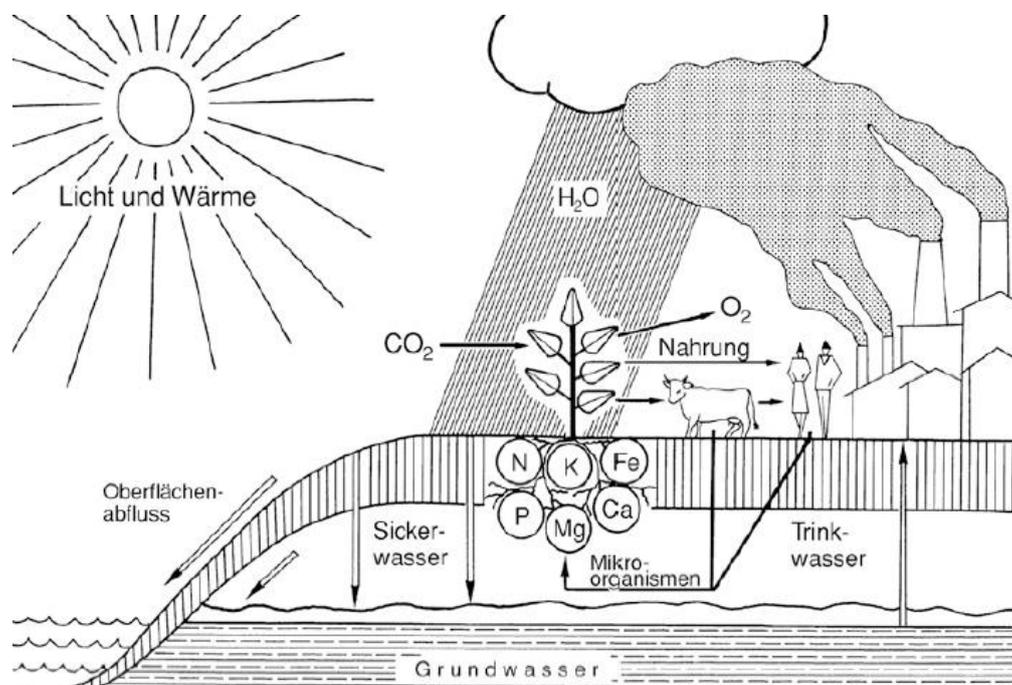


Abbildung 1: Stellung und Funktionen von Böden in der Ökosphäre (Scheffer & Schachtschabel, 2010, p 3)

Ziel der ökologischen Landwirtschaft ist es gesunde Nahrungsmittel im möglichst umweltschonendem Maße herzustellen. Dabei ist es besonders wichtig naturnah, standortangepasst und mit geschlossenen Stoffkreisläufen zu arbeiten. Somit sind artgerechte Tierhaltung, weitestgehender Verzicht auf chemisch synthetische

Pestizide und Mineraldünger, Erhaltung der Biodiversität und Steigerung der natürlichen Bodenfruchtbarkeit wichtige Grundsätze der ökologischen Landwirtschaft (Haiger et al., 1988, p. 23f).

Vielfältige und ausgeglichene Fruchtfolgen, möglichst ganzjährige Bepflanzung, Zuführung organischer Masse und eine schonende Bodenbearbeitung tragen maßgeblich positiv zur natürlichen Bodenfruchtbarkeit bei (Berner et al., 2012, p. 3ff; Diepenbrock et al., 2005, p. 126).

Da in der Praxis der ökologischen Landwirtschaft der Pflug sehr verbreitet ist, seine Wirkungen auf die Bodenökologie jedoch nicht optimal sind, (Armengot et al., 2014, p. 339; Hampl, 2005, p. 13), ist es sinnvoll, mögliche Alternativen zu erforschen und weiterzuentwickeln. Der Stoppelhobel ist ein stark modifizierter Beetpflug, der von der Firma Zobel aus Deutschland hergestellt wird. Arbeitstiefen von wenigstens 4 cm können erreicht werden, bei Arbeitsgeschwindigkeiten bis zu 15 km h⁻¹ (Heilmann, 2009).

Der Einsatz eines Stoppelhobels ist für die ökologische Landwirtschaft sehr interessant, weil der Boden schonend und reduziert bearbeitet werden kann. Durch seine flachen Arbeitstiefen sollen das Bodenleben und die Bodenstruktur im hohen Maße geschont werden, was unter anderem Regenwürmer in tieferen Bodenschichten und die Bodengare fördert. Im Gegensatz zu herkömmlichen Grubbern, unterschneidet der Stoppelhobel das Unkraut ganzflächig, was problematische mehrjährige Unkräuter wie die Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*) unterdrückt (Gruber & Claupein, 2009a, p. 109; Hunger, et al., 2001, p. 3).



Abbildung 2: Stoppelhobel von der Firma Zobel aus Deutschland. Links: Seitenansicht mit fünf Scharen (Heilmann, 2013); rechts: Ansicht auf Rückseite, Stoppelhobel vom Versuchsbetrieb Karl Ringl mit sieben Scharen.

2. Literaturübersicht

2.1. Bodenbearbeitung

Die Bodenbearbeitung dient der Erhaltung und der Verbesserung der Ertragsfähigkeit und erfolgt in der Regel mit Geräten und Werkzeugen, die tief wenden, mischen und lockern. Dabei wird, je nach Wirkung und Art der Verfahren, die mikrobielle Aktivität erhöht, welche Humus abbaut und Stickstoff mineralisiert (Kahnt, 1995, p. 8). Außerdem werden im Kulturbestand weniger erwünschte Beikräuter unterdrückt, sowie Erntereste und Dünger in den Boden eingearbeitet (Baeumer, 1992, p. 258; Hampl, et al., 1995, p. 17).

Die Bodenbearbeitung wird grundsätzlich in Stoppelbearbeitung, Grundbodenbearbeitung, Saatbettbereitung und Unterbodenlockerung unterteilt (Abbildung 3). Die Stoppelbearbeitung findet in der Regel nach der Ernte von Druschfrüchten in mittlerer Tiefe statt. Die Grundbodenbearbeitung (Primärbodenbearbeitung) wird konventionell auf voller Krumentiefe (mit dem Streichblechpflug) oder konservierend beziehungsweise reduziert (mitteltief bis krumentief) vor der Saatbettbereitung zur Hauptfrucht durchgeführt. Die Saatbettbereitung (Sekundärbearbeitung) dient dem Schaffen eines möglichst gut geeigneten Saatbettes in Ablagetiefe der geplanten Kultur, die Unterbodenlockerung wird als bodenverbessernde Maßnahme zum Aufbrechen von Verdichtungen unterhalb des Bearbeitungshorizonts eingesetzt. Letztere wird nur in längeren Abständen durchgeführt. Direktsaatsysteme erfahren außer einer Saatrille keine weitere Bodenbearbeitung (Abbildung 4) (Köller & Linke, 2001, p. 9; Schön, 1998, pp. 175, 207).

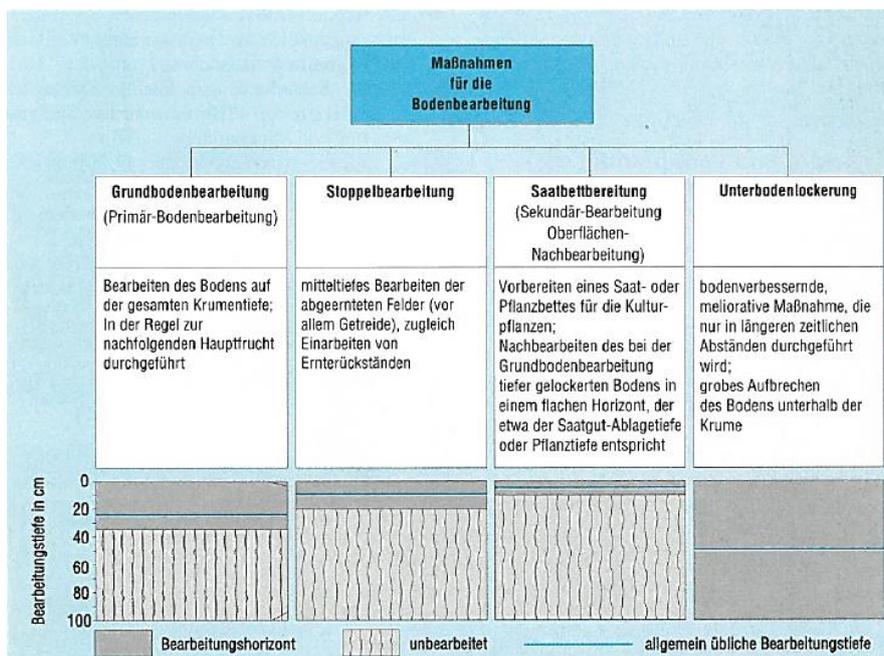


Abbildung 3: Maßnahmen der Bodenbearbeitung (Schön, 1998, p. 175)

Bodenbearbeitungs- u. Bestellverfahren	Arbeitsabschnitte			Arbeitsgänge
	Grundbodenbearbeitung	Saatbettbereitung	Saat	
Konventionelle Bodenbearbeitung mit Pflug		oder		getrennt
		oder		reduziert Saatbettbereitung u. Saat kombiniert
				reduziert alle Arbeitsgänge kombiniert
Konservierende Bodenbearbeitung ohne Pflug mit Lockerung	oder	oder		getrennt
	oder	oder		reduziert Saatbettbereitung u. Saat kombiniert
		oder		reduziert alle Arbeitsgänge kombiniert
ohne Lockerung		oder oder		reduziert Saatbettbereitung u. Saat kombiniert
Direktsaat keine Bodenbearbeitung				nur Saat

Abbildung 4: Einteilung von Bodenbearbeitungssysteme nach Bearbeitungsintensität (Köller & Linke, 2001, p. 9)

Bei konservierend arbeitenden Systemen werden Bearbeitungsintensität und Arbeitstiefe reduziert. Dabei wird der Fokus auf nicht wendende und flach lockernde Arbeitsgeräte gelegt. Der Begriff reduzierte Bodenbearbeitung wird in dieser Einteilung der konservierenden Bodenbearbeitung untergeordnet. Jedoch gibt es zwischen diesen Unterteilungen alle möglichen Übergänge, sodass diese nicht starr voneinander getrennt gesehen werden dürfen (Diepenbrock et al., 2005, p. 79; Köller & Linke, 2001, p. 10). So wird die Direktsaat auch manchmal den konservierenden Bodenbearbeitungssystemen zugeordnet (Berner et al., 2008, p. 1).

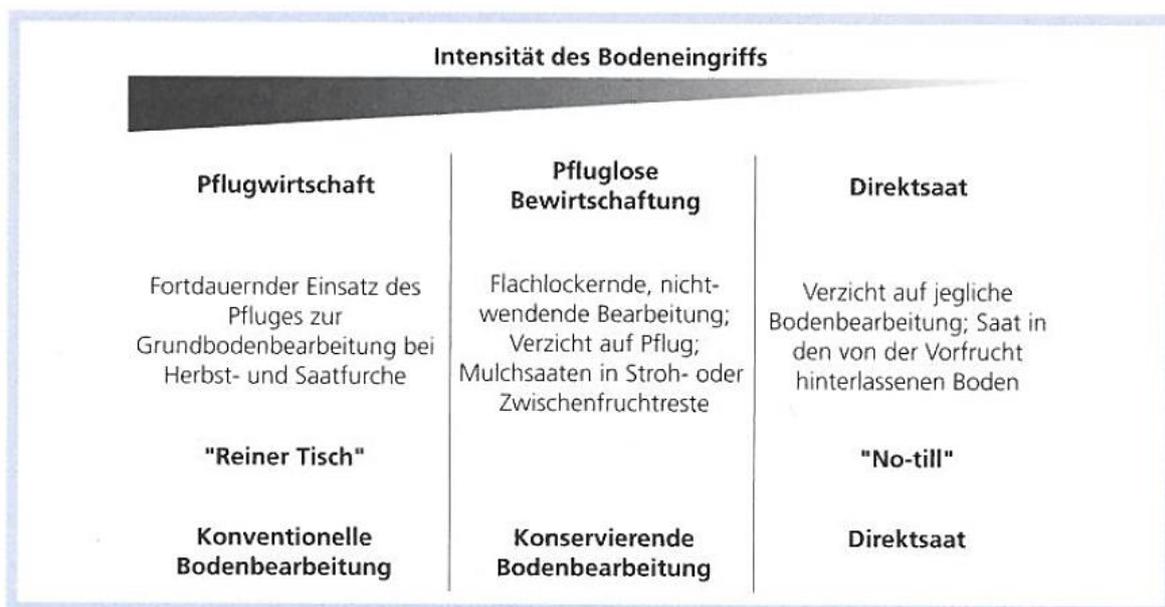


Abbildung 5: Bodenbearbeitungs- und Bestellsysteme (Diepenbrock et al., 2005, p. 78)

2.1.1. Konventionelle Bodenbearbeitung

Mehr als ein Jahrhundert hat der Pflug den Ackerbau in Mitteleuropa dominiert. Zwar gab es in den 60er und 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts bereits Ackerflächen, die weitestgehend pfluglos bewirtschaftet wurden, jedoch fand diese Arbeitstechnik aus Mangel an Akzeptanz seitens der Landwirte noch wenig Anklang. Die Situation änderte sich allerdings in den 90er Jahren als sich Wissenschaft und Beratung immer

mehr mit pflugloser Bodenbearbeitung befassten. Ursachen dafür waren die positiven Erfahrungen aus der Praxis, neue technische Errungenschaften, sowie der zunehmende ökonomische Druck auf die Landwirtschaft (Köller & Linke, 2001, p. 9).

Die konventionelle Bodenbearbeitung ist von der tiefen Wendung und Lockerung der gesamten Ackerkrume durch den Pflug gekennzeichnet. Dabei werden Pflanzenreste von Vor- und Nachfrüchten sowie Unkraut wirksam eingearbeitet, damit für die Saat der Folgekultur ein „reiner Tisch“ entsteht (Diepenbrock et al., 2005, p. 77; Köller & Linke, 2001, p. 43). Bei tiefem Wenden der Bodenschichten wird allerdings das Bodenleben gestört, das natürliche Bodengefüge beziehungsweise die natürliche Bodengare (Krümelung) muss sich dabei erst wieder neu aufbauen. Dies ist jedoch meistens in der kurzen Zeit einer landwirtschaftlichen Kulturfolge bis hin zur Krumentiefe nicht möglich. Hohe Traktorgewichte die sich während des Arbeitsganges in der Pflugsohle abstützen, führen zu Unterbodenverdichtungen, die durch Bodenbearbeitung kaum gelockert werden können (Hampl et al., 1995, p. 18f).

Durch tiefes Pflügen wird ungarer Boden an die Oberfläche geholt, wobei die Krümelnschicht aus dem Oberboden sowie bodenschützende Pflanzenrückstände vergraben werden. Dies führt zur Verschlämmung und kann durch sehr flaches Pflügen oder durch Verzicht des Pfluges vermieden werden (Kahnt, 1995, p. 46). Auch Sekera (2012, p. 90f) argumentiert, dass die lebendverbauten und gut durchwurzelteten Bodenschichten nicht durch die tiefe Wendung mit dem Pflug, mit ungarem Boden aus tieferen Schichten vertauscht werden dürfen, da dies an der Bodenoberfläche zu Verschlämmung führt, und die Pflanzenreste wegen des dadurch verursachten Sauerstoffmangels nicht abgebaut werden können.

Das Einarbeiten von Pflanzenresten wirkt sich negativ auf die Tätigkeit von tiefgrabenden Regenwürmern aus, da diese ihre Nahrung in Form von abgestorbener organischer Masse von der Oberfläche beziehen. Dieses Vorgehen wirkt sich auch allgemein negativ auf das Bodenleben aus (Kahnt, 1995, p. 8).

Winterannuelle herbstkeimende Beikräuter beziehungsweise deren Samen werden mit der Pflugfurche nur zum Teil dezimiert und laufen in Kulturen des Folgejahres erneut auf. Auch mehrjährige ausdauernde Wurzelunkräuter werden durch das

Pflügen nur tief vergraben, jedoch nicht wesentlich geschwächt. Spätestens im nächsten Jahr treiben sie wieder durch (Baeumer, 1992, p. 173).

Bei der Ackerkratzdistel liegen fleischige Wurzel ausläufer bevorzugt im verdichteten Pflughorizont (Abbildung 6), da diese sich dort trotz Verdichtung gut entwickeln und Wurzel seitenausläufer bilden können (Wehsarg, 1931, p. 61).

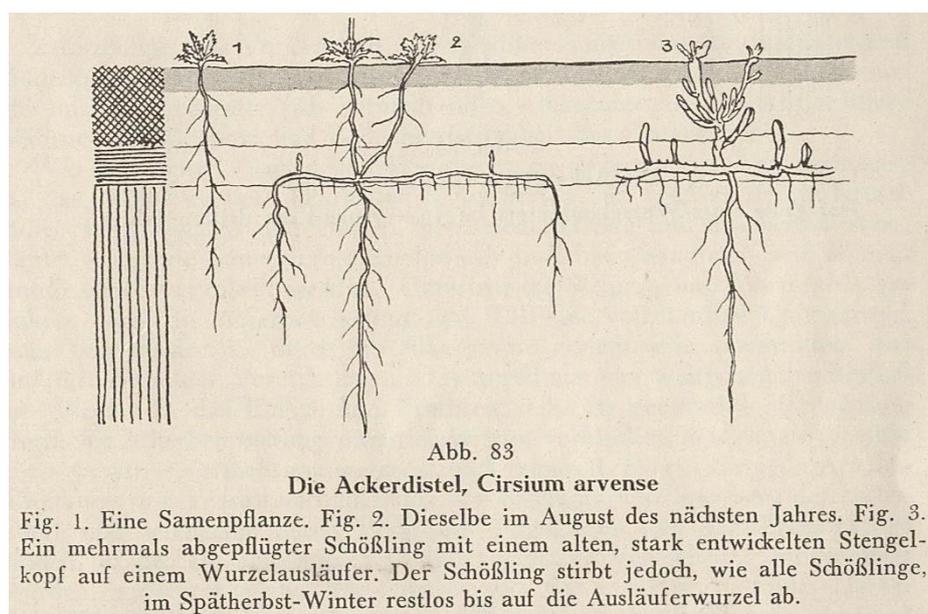


Abbildung 6: Entwicklung von Ackerkratzdistel im und um den Verdichtungshorizont des Bodens (Wehsarg, 1931, p. 61)

2.1.2. Konservierende Bodenbearbeitung

Bei konservierender Bodenbearbeitung wird der herkömmliche Pflug durch nicht wendende und flach lockernde Werkzeuge, wie Grubber und Scheibengeräte, ersetzt. Der Boden wird je nach Bearbeitungstiefe und Intensität durchmischt, wobei die Ernte- und Pflanzenreste mehr oder weniger an der Bodenoberfläche verbleiben (Köller & Linke, 2001, p. 43). Auch flach wendende Geräte mit 10 - 15 cm Bearbeitungstiefe, wie zum z.B. der Stoppelhobel, können einer ökologisch angepassten beziehungsweise konservierenden Bodenbearbeitung zugeordnet werden (Hampl et al., 1995, p. 30).

Ein weiteres zentrales Element der konservierenden Bodenbearbeitung ist der Zwischenfruchtanbau um eine möglichst lang andauernde Bodenbedeckung zu

gewährleisten. Weißer Senf (*Sinapsis alba*), Ölrettich (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) und Phacelia (*Phacelia tanacetifolia*) sind im Winter abfrierende Zwischenfrüchte, welche gängig angebaut werden.

Für die Einsaat in die mit Pflanzenresten vermischte oberste Bodenschicht, die Mulchschicht, gibt es speziell angepasste Sämaschinen, um eine störungsfreie Ablage zu gewährleisten (Diepenbrock et al., 2005, p. 79). Das Einmischen der Pflanzenreste wirkt als Erosionsschutz, eine eingeschränkte Lockerung verbessert die Aggregatstabilität sowie die Befahrbarkeit des Bodens und ist somit ein Bodenverdichtungsschutz. Außerdem spart ein verringerter Bearbeitungsaufwand dem Landwirt Kosten (Köller & Linke, 2001, p. 47).

Regenwürmer erbringen wichtige Ökosystemleistungen, wie das Graben von nährstoffreichen Gängen, welche die Bodeninfiltrationsrate von Wasser verbessern, die Aggregatstabilität erhöhen, sowie die Durchwurzelung erleichtern. Außerdem arbeiten sie Erntereste in den Boden ein. Regenwürmer kommen in gepflügten Agrarsystemen allerdings seltener vor als in konservierenden. Vor allem tiefgrabende Regenwürmer (*Lumbricus terrestris*) treten vermehrt auf, wenn Pflanzenreste an der Oberfläche belassen werden (Rasmussen, 1999, p. 11).

In einem Zehn-Jahresversuch von Peigné et al. (2018, p. 199f) zeigte sich in 0 - 15 cm Bodentiefe ein signifikant höherer Gehalt an organischem Kohlenstoff bei seicht arbeitender Bodenbearbeitung (5 - 7 cm Bearbeitungstiefe) im Vergleich zu tief wendender Bodenbearbeitung (30 cm Bearbeitungstiefe). In einem 10 Jahresvergleich in Rheinhessen war die mikrobielle Biomasse um 7 - 10 %, sowie die Aktivität der Mikroorganismen um 6 - 8 %, über die gesamte Ackerkrume in einer reduzierten Bodenbearbeitungsvariante gegenüber einer Konventionellen, erhöht. Auch die Abundanz der Regenwürmer sowie die Fraßaktivität der Mesofauna nahmen bei weniger Wendung des Bodens deutlich zu. Eine flach- bzw. nicht wendende Bodenbearbeitung ergab ebenfalls eine höhere Stabilität der Bodenaggregate (Krümelstabilität), was wahrscheinlich auf eine ausgeprägtere Lebendverbauung zurückzuführen war. Eine höhere Infiltrationsrate sprach ebenfalls für nicht wendende Bodenbearbeitung (Hampl, 2005, p. 14). Gronle & Böhm (2011, p. 72) beobachteten ebenfalls höhere Werte der Dehydrogenase-Aktivität in 0 - 20 cm Bodentiefe bei flach

wendender Bodenbearbeitung durch den Stoppelhobel im Vergleich zu tiefem Wenden, was auf einen erhöhten mikrobiellen Umsatz hinwies. Auch Schmidt (2010, p. 161) bestätigt in seinen Forschungsergebnissen eine Anreicherung von organischer Substanz und Nährstoffen in der Oberkrume bei Bodenbearbeitung ohne tiefes Wenden. Dabei wies die Oberkrume höhere Gehalte als die Unterkrume auf. Das Porenvolumen war ebenfalls in der Oberkrume erhöht. Die Differenzierung der Ober- und Unterkrume stellte sich auch bei seichter Bodenbearbeitung ohne tiefes Lockern ein. Auch Plümer (2005, p. 12) bestätigt Vorteile von reduzierter Bodenbearbeitung hinsichtlich Wurzelzahlen bei Getreide, Porenvolumen und Regenwurmtätigkeit.

Ein Langzeitversuch von Armengot et al. (2014, p. 342ff) in dem reduzierte (dabei kam auch der Stoppelhobel zum Einsatz) und konventionelle Bodenbearbeitung miteinander verglichen wurden, zeigte, dass das Aufkommen von Beikräutern insgesamt sowie von mehrjährigen Beikräutern wie der Ackerkratzdistel bei reduzierter Bearbeitung zwar höher war, die Kulturertäge davon allerdings nicht beeinflusst wurden. Der Beikrautanteil blieb dabei über zwei Fruchtfolgeperioden konstant auf einem Niveau. Auch Berner et al. (2008, p. 93ff) berichtet auf schweren Böden von steigenden C_{org} -Werten in 0 - 10 cm Bodentiefe (um 7 % auf $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ Boden innerhalb von 2,5 Jahren) durch reduzierte Bodenbearbeitungsverfahren im Vergleich zum konventionellen Verfahren, bei dem die Werte stagnierten. Die Erträge verschiedener Kulturen waren unterschiedlich hoch. So war Winterweizen 15 % unter, Sonnenblume und Dinkel 5 % und 8 % über dem Ertragsniveau der konventionellen Bodenbearbeitungsvariante. Diesbezüglich ergaben Beobachtungen von Peigné et al. (2018, p. 200) beim Ertrag von Winterweizen ebenfalls keine Unterschiede. Auch bei Emmerling (2007, p. 373ff) gab es durch reduzierte Bodenbearbeitung keine negativen Einflüsse auf die Ertragsbildung von Getreide. Die Lagerungsdichten in 0 - 15 cm Bodentiefe waren bei einer reduziert bearbeiteten Grünbrache zwar höher, die Aggregatstabilität jedoch auch, was mit höherem organisch gebundenen Kohlenstoff im Boden sowie höherer mikrobieller Aktivität zusammenhing.

2.2. Beschreibung des Stoppelhobels

Bevor Herbizide in der Landwirtschaft breiten Einsatz fanden, war der Schälplflug ein gängiges Stoppelbearbeitungsgerät. Danach verschwand dieser immer mehr von den Feldern und wurde auch teilweise durch den Grubber ersetzt. Für die konventionelle Landwirtschaft ist der Verzicht auf den Schälplflug kaum mit Nachteilen verbunden, da perennierende Beikrautarten leicht mit Herbiziden bekämpft werden können. In der ökologischen Landwirtschaft hingegen sind Ackerkratzdisteln (*Cirsium arvense*), Ampfer (*Rumex obtusifolius*) und Quecken (*Elymus repens*) oftmals eine ernstere Herausforderung.

Das Ziel in ökologisch bewirtschafteten Feldbeständen ist, Beikräuter nicht gänzlich zu bekämpfen, sondern diese in einem Maß zu tolerieren, dass angemessene Ertragsleistungen zulässt. Der modifizierte Schälplflug bzw. Stoppelhobel von der Firma Zobel aus Deutschland ist ein interessantes Bodenbearbeitungsgerät, da er mit seinen verkürzten Streichblechen flach wendet und ganzflächig abschneidet, und damit mehrjährige Beikrautarten gut unterdrücken kann (Böhler & Dierauer, 2007, p. 1; Gronle & Böhm, 2010, p. 17).

Eine effektive Stoppelbearbeitung ist gerade in der der ökologischen Landwirtschaft besonders wichtig um perennierende Wurzelunkräuter zu kontrollieren. Ein Beispiel aus der Praxis zeigte, dass sich der Stoppelhobel dafür sogar besser als der Grubber eignete (Pekrun et al., 2011, p. 110f).

2.2.1. Technische Beschreibung

Der Stoppelhobel ist mit 3 - 8 Scharen (105 - 280 cm) erhältlich und die Scharbreite beträgt 35 cm. In den 7 - 8 Schar-Ausführungen ist der Onland-Betrieb möglich. Die Firma Zobel stellt auch auf Bestellung Drehversionen her. Wegen den geringen Arbeitstiefen von 4 - 11 cm stellt der Stoppelhobel keine hohen Ansprüche an die Spaltfurche und den Zusammenschlag. Außerdem sind Arbeitsgeschwindigkeiten von 8 - 15 km h⁻¹ möglich.

Dieser Schälplflug ist mit zwei Stützrädern vorne und einem hinten, sowie aufgebauten Beschwerungsplatten ausgestattet. Ein fünfschariger Stoppelhobel hat ein Gewicht

von 750 kg und benötigt eine Zugkraft von 80 PS. Mit den gestützten Scharen kann das Gerät am Unterlenker mit Hydraulik-Schwimmstellung und mit dem Oberlenker im Langloch gut seicht im Boden geführt werden. Der Oberlenker wird somit nur zum Anheben des Gerätes benötigt (Böhler & Dierauer, 2007, p. 2; Heilmann, 2009; Peszt, 2015, p. 7).

Grundsätzlich kann man Pflüge ihrer Arbeitstiefe nach in Schäl-, Saat- und Tiefpflüge sowie nach der Richtung der Bodenwendung in Beet- und Kehrpflüge (Volldrehpflüge) unterteilen (Schön, 1998, p. 179).

Der Stoppelhobel ist seiner Arbeitstiefe nach den Schälpflügen zuzuordnen und ist standardmäßig als Beetpflugausführung erhältlich.

Das Arbeitsergebnis der Pflugarbeit hängt stark mit der Konsistenz des Bodens, beziehungsweise mit der Leichtigkeit der Zerteilung der Bodenaggregate zusammen. In Beachtung dessen gilt je schmaler die Pflugfurche bei gleichbleibender Arbeitstiefe, desto ebender die neue Ackeroberfläche (Baeumer, 1992, p. 286f).

Bei herkömmlichen Schälpflügen sind die Streichbleche zylindrisch ausgeprägt. Die Form von Schälpflugkörpern wird der Kulturform zugeordnet. Diese hat eine eher schüttende als wendende Arbeitsweise. Wenn das Bodenmaterial nicht ausreichend bröckelt, wird der Bodenbalken nur ungenügend gewendet und verbleibt in aufgerichteter, kreuz- und quergestellter Position. Diese Bauart wird daher vorwiegend auf leichten bis mittleren Böden eingesetzt. Die Konturen der Furchendämme sind schwach ausgeprägt, sodass eine eher ebene Arbeitsoberfläche entsteht. Wie in Abbildung 8 dargestellt, wird mit schraubig gestalteten Streichblechen die volle Ackerkrume unterpflügt, wodurch die Furchendämme stark ausgeprägt werden (Baeumer, 1992, p. 287; Schön, 1998, p. 180).

Bei Pflügen ist der Wendewinkel umso größer, je breiter der Pflugbalken im Verhältnis zur Pflugtiefe ist. Bei einem Breiten-Tiefenverhältnis von weniger als 1,27 (Wendewinkel 120°) wird die organische Masse der vorherigen Bodenoberfläche nicht mehr vollständig vom nachfolgenden Bodenbalken bedeckt. Eine schmalere, tiefere Furche ist nur möglich, wenn das Bodenmaterial ausreichend zerfällt, und die organische Substanz ausreichend zuschüttet. Bei fester Bodenkonsistenz ist ein Breiten-Tiefenverhältnis von 1,4 (135°) notwendig (Baeumer, 1992, p. 285).

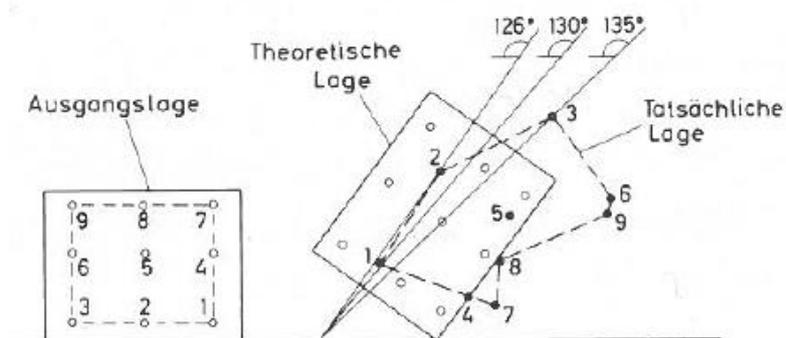


Abbildung 7: Verlagerung des Bodens durch die wendende Pflugarbeit aus Baeumer (1992, 286)

Der Stoppelhobel im Speziellen hat Wendescharen ohne Wechselspitzen, wodurch die gesamte Scharbreite gleichmäßig tief bearbeitet wird. Da die Scharen relativ dünn sind, bleiben diese auch scharf. Wenn die vordere Scharspitze vorangeschritten verschlissen ist, kann das Schar umgekehrt montiert werden, sodass die noch weniger beanspruchte hintere Scharspitze nach vorne kommt. Da der Untergriff der Wechselspitze somit fehlt, wird vor allem bei trockenen Bedingungen eine ausreichende Beschwerung benötigt. Die verkleinerten Streichbleche sind unterteilt, um den Kontakt mit dem Erdbalken möglichst kurz zu halten und Verschmierungen zu verringern. Daher ist aber auch eine entsprechende Geschwindigkeit von $7 - 8 \text{ km h}^{-1}$ nicht zu unterschreiten, sodass der Erdbalken gewendet werden kann. Es gibt auch die Möglichkeit Streichblechverlängerungen aus Rundstahl anzubringen, um eine Wendung des Erdbalkens zu unterstützen. Im Gegensatz zum Einmischen von Ernterückständen, wird der Einsatz der Verlängerungen bei der Verwendung als Saatpflug empfohlen, damit der Boden besser gewendet und geschüttet werden kann (Gronle & Böhm, 2010, p. 17; H. Heilmann, 2013; Peszt, 2015, p. 7). An dieser Stelle darf nicht unerwähnt bleiben, dass bei dem Stoppelhobel, der am Versuchsbetrieb eingesetzt wurde, weder Unterteilungen noch Verlängerungen an den Streichblechen montiert waren.

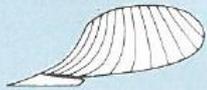
Körperform	Einsatzbereich (Bodenart)	Furchenbild und Dammform	mögliche Arbeitsgeschwindigkeit km/h	gute Wendung bei Verhältnis Breite (b) : Tiefe (t)
Kulturform 	Sand bis sandiger Lehm (auch für Schäl-pflug)	schüttend, eben	4-5	b mind. = t
Universalform 	sandiger bis schwerer Lehm	bröckelnd, deutliche Dämme	5-6	b mind. = t
Wendelform 	Lehm und Ton	rauh, leicht geformte Dämme	5-7	ca. 1,2:1
Schraubenform 	Grasland	steif, Dämme deutlich geformt	7-8	ca. 1,4:1



Abbildung 8: Oben: Übersicht von Pflugkörperformen und deren Einsatzbereiche (Schön, 1998, p. 180); Mitte links: Stoppelhobelschare (am Versuchsbetrieb); Mitte rechts: Schäl furche mit 7 cm Bearbeitungstiefe von Stoppelhobel (Schmidtke, 2014, p. 25); unten rechts: Stoppelhobelschare mit Unterteilung und Rundstahlverlängerung des Streichblechs; unten links: abschälen einer Kleegrasuntersaat (Peszt, 2015, p. 8f)

2.2.2. Bearbeitungsvorgang

Der Stoppelhobel eignet sich gut um reduzierte Grundbodenbearbeitung zu betreiben. Er wird, wie der Name schon nahelegt, zur Stoppelbearbeitung herangezogen, kann jedoch mit einem zweiten und eventuell dritten Arbeitsgang, gänzlich zur Grundbodenbearbeitung herangezogen werden (Heilmann, 2009, p. 1).

Anschließend an die Ernte erfolgt die Stoppelbearbeitung, je nach Bedingungen, mit 4 cm Arbeitstiefe als erster Arbeitsgang. Nach einer Antrocknungsphase wird mit einer Kreisel- oder Spatenrollegge der Boden zur Gareförderung geeeggt und nach 10 - 14 Tagen ein weiterer Arbeitsgang mit dem Stoppelhobel in 8 cm Tiefe vorgenommen.

Bei besonders hohem Unkrautdruck und schlechter Bodengare kommt der Stoppelhobel noch ein weiteres Mal zum Einsatz.

Ziel der Bearbeitung mit dem Stoppelhobel ist es eine Art dauerhaften fruchtbaren Krümelzustand des Bodens herzustellen, der sich durch das schonende Wirkungsprinzip über mehrere Jahre einstellt. Da der Boden weniger verdichtet wird, vermehren sich auch problematische Wurzelunkräuter weniger. Der Stoppelhobeleinsatz unterdrückt diese somit nicht nur unmittelbar bei der Bearbeitung, sondern schafft auch langfristig ungünstigere Wachstumsbedingungen für sie (Heilmann, 2009, p. 1). Heilmann (2014, p. 218f) berichtet, dass die Rhizome der Ackerkratzdistel unterhalb des garen Bearbeitungshorizontes (12 - 20 cm) des Stoppelhobels verblieben und somit in den Zustand der Rhizomdormanz überführt wurden.

Ausgehend von einer Arbeitsgeschwindigkeit von 12 km h^{-1} und einer Arbeitsbreite von 2,45 m (7 Scharen), ist eine theoretische Flächenleistung von $2,9 \text{ ha h}^{-1}$ (21 min h^{-1}) möglich, siehe Tabelle 1 (Traktorwendezeiten am Feldende nicht berücksichtigt). Ein Grubber mit 4,5 m Breite und $7,3 \text{ km/h}$ (20 cm Arbeitstiefe) könnte rechnerisch $3,3 \text{ ha/h}$ bewältigen.

Werte aus Tabelle 1 errechnen sich aus:

$\text{Arbeitsbreite [m]} * \text{Arbeitsgeschwindigkeit [km h}^{-1}] * 0,1 = \text{technische Flächenleistung [ha h}^{-1}]$ (Szalay et al., 2015, p. 42)

Tabelle 1: Theoretische Flächenleistungen des Stoppelhobels bei 2,45 m Arbeitsbreite

Arbeitsgeschwindigkeit [km h ⁻¹]	Flächenleistung [ha h ⁻¹]	Flächenleistung [min ha ⁻¹]
8	2,0	31
9	2,2	27
10	2,5	24
11	2,7	22
12	2,9	20
13	3,2	19
14	3,4	17
15	3,7	16

Der Stoppelhobel hat in einer Arbeitstiefe von 6 cm einen Zugkraftbedarf von ungefähr 6,5 kN m⁻¹ Arbeitsbreite, in 15 cm Tiefe 8,5 kN m⁻¹ Arbeitsbreite. Der Pflug dagegen benötigt in einer Arbeitstiefe von 15 cm schon eine Zugkraft von 15 kN m⁻¹ Arbeitsbreite. Auch ein Flügelschargrubber liegt über dem Niveau des Stoppelhobels (Abbildung 9).

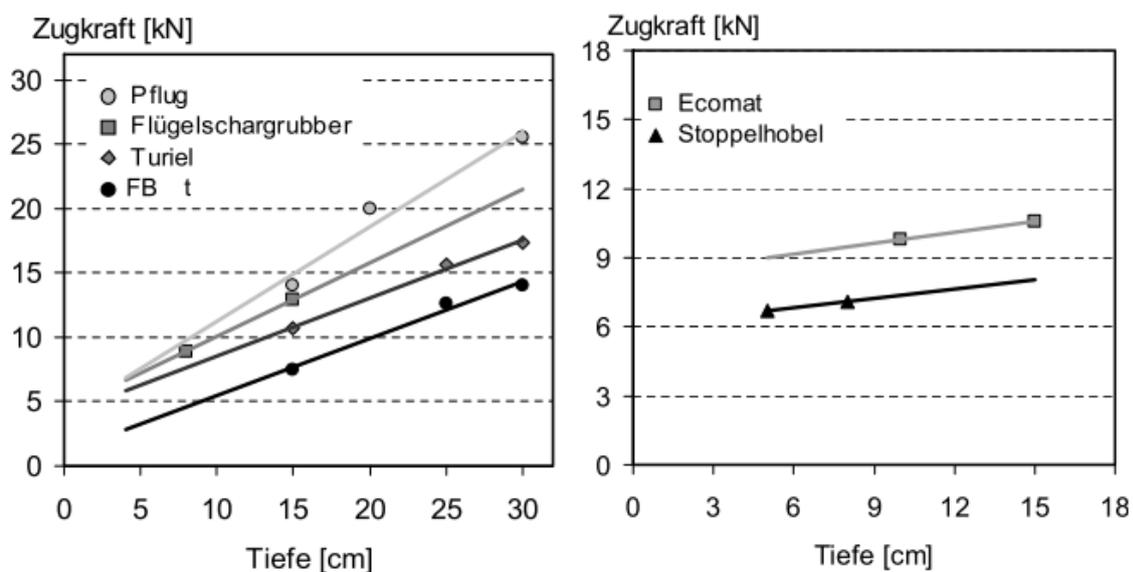


Abbildung 9: Zugkraftbedarf [kN] je Meter Arbeitsbreite bei verschiedenen Geräten und Arbeitstiefen mit linearen Trendlinien, Turiel = Dammkulturgerät, FB = Dammkulturgerät (Hersteller: Frost), Ecomat = Schältpflug. (Schmidt, 2010, p. 179)

Bei den Angaben zur Flächenleistung und zum Zugkraftbedarf müssen jedoch auch die Form der Arbeitsgeräte sowie die zu bewegende Bodenmasse bzw. die spezifische Bodenart mit in Betracht gezogen werden (Moitzi, 2006, p. 8).

In Tabelle 2 werden die beiden Varianten vom Versuch in Rappolz und eine konventionelle Bodenbearbeitungsvariante mit theoretischen Dieserverbrauchswerten des KTBL miteinander verglichen. Variante A hätte den geringsten, die konventionelle den höchsten Verbrauch. Variante A benötigt 54 %, Variante B 70 % des Dieserverbrauchs der konventionellen Variante.

Tabelle 2: geschätzte Dieserverbrauchswerte [l ha^{-1}] der Varianten. Pflugvariante wurde als zum Vergleich angenommen und beigefügt. Für Stoppelhobel wurde 2,45 m Arbeitsbreite (7 Scharen) und 102 kW Zugleistungsbedarf, für Grubber 4,5 m und ebenfalls 102 kW Zugleistungsbedarf angenommen (Hartung, n.d.).

	A	Diesel [l/ha]	B	Diesel [l/ha]	konventionelle Pflugvariante	Diesel [l/ha]
Stoppel- bearbeitung	Stoppelhobel flach	6,3	Stoppelgrubber	6,6	Stoppelgrubber	6,6
Grundboden- bearbeitung	Stoppelhobel flach	6,3	Grubber tief	11,1	Grubber tief	11,1
	Stoppelhobel mittel	7,6	Stoppelhobel tief	8,7	Pflug (1,75 m; 5 Schar, 102 kw)	19,8
Summe		20,2		26,4		37,5

2.3. Erfahrungen aus Praxis und Wissenschaft

In einem Versuch von Gronle & Böhm (2010) wurden eine Stoppelhobel- (2x Stoppelhobel und 1x Kreiselegge) und eine konventionelle Pflugbodenbearbeitungsvariante (1x Grubber und 1x Pflug) zu verschiedenen Sommerkulturen (Erbsenreinsaat, Erbsen-Hafergemenge und Haferreinsaat), hinsichtlich Beikrautdeckungsgrad, Beikrauttrockenmasse und Kornertrag, miteinander verglichen. Der Beikrautdeckungsgrad in der Erbsenreinsaat war bei der Stoppelhobelvariante signifikant höher im Vergleich zur Pflugvariante (23,1% zu 13,1%). Beim Erbsen-Hafergemenge und bei der Haferreinsaat war der Unterschied nicht signifikant. Die Wirkung der Bodenbearbeitung war also kulturspezifisch. Bezüglich Beikrauttrockenmasse und Ertrag gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen der Stoppelhobel- und der Pflugvariante. Andere Beobachtungen von Gronle & Böhm (2011, p. 39) zeigten ebenfalls keine Unterschiede beim Ertrag und Unkrautauflkommen zwischen der Bodenbearbeitung mit dem Stoppelhobel und einem herkömmlichen Pflug. Allerdings wird auch erwähnt, dass ein niedrigerer Unkrautdruck möglicherweise der in den Jahren zuvor praktizierten Pflugarbeit geschuldet sein könnte.

Um möglichen höheren Beikrautdruck beim Einsatz des Stoppelhobels gegenüber konventioneller Bodenbearbeitung auszugleichen, können Mischfrüchte angebaut werden. Dafür eignen sich Leguminosen-Getreidemischungen, wie Sommererbse-Hafer- oder Wintererbsen-Triticale-gemenge, welche sich in einer Stoppelhobelvariante gegenüber einer Grubber-Pflugvariante mit Erbsenreinsaat beim Beikrautauflaufen bewährten. Bei breitblättrigen Wintererbsensorten, die bessere Beikraut-Konkurrenzwirkungen als halbblattlose Erbsensorten haben, gibt es beim Beikrautauflaufen weder in Erbsen-Reinsaaten, noch in Gemengen, Unterschiede zwischen flach- und tief-wendender Bodenbearbeitung (Gronle & Böhm, 2012, p. 243).

Kahnt (2008, p. 69) berichtet, dass nach dreijährigem Schälplugeinsatz bei der Stoppelbearbeitung diverse Kulturbestände, wie Sommerweizen, Mais, Ackerbohnen und Erbsen, im Gegensatz zu Geräten wie dem Grubber und der Fräse, praktisch unkrautfrei waren. Durch flache Bodenwendung können zum Beispiel Rhizome der Quecke (*Elymus repens*) gut aus dem Boden herausgezogen werden, damit diese dann anschließend an der Oberfläche vertrocknen (Kahnt, 1995, p. 39).

Nach einem Erfahrungsbericht von Böhler & Dierauer (2007) sind Landwirte im Einjahres-Praxistest mit dem Stoppelhobel von seiner enormen Flächenleistung, von niedrigem Treibstoffverbrauch, vom ganzflächigen durchschneiden des Bodens und seiner einfachen Bedienungsweise positiv beeindruckt. Diese Vorteile wurden jedoch von der Topografie und den sonstigen Eigenschaften des Bodens unterschiedlich beeinflusst. Der von der Firma Zobel empfohlene Zugkraftbedarf von 80 PS auf leichten Böden und 90 - 110 PS auf schweren Böden bestätigte sich. Der Stoppelhobel arbeitete auf leichten Böden, ebenen Flächen und unter trockenen Bodenverhältnissen am besten. Arbeitsgeschwindigkeiten von 10 km h⁻¹ wurden dabei nicht überschritten, die Arbeitstiefen betragen in etwa 10 cm, 4 cm wurden nicht erreicht. Der Einsatz auf Hanglagen war nicht zufriedenstellend, da die Bearbeitung sehr unregelmäßig erfolgte, und auf heterogenen Böden schwankte die Bearbeitungstiefe.

Der Stoppelhobel kann jedoch laut Heilmann (2013) auch auf schweren Böden eingesetzt werden. Dies bestätigen auch Ergebnisse eines mehrjährigen Praxisversuches, bei dem zwei Betriebe auf schweren Böden den Stoppelhobel als Grundbearbeitungsgerät einsetzten. Es werden auch Treibstoff- und

Arbeitskosteneinsparungen gegenüber einer Pflugvariante angeführt, wenn auch im mittleren bis niedrigen Bereich (Schmidt, 2010). Hampl et al. (1995, 55) erwähnt, dass der Stoppelhobel auch auf schweren Böden einem Grubber meist überlegen war.

Ein einjähriger Versuch von Hunger et al. (2001) zeigte, dass Stoppelbearbeitung mit Stoppelhobel oder Grubber vor allem Wurzelunkräuter, wie zum Beispiel die Ackerkratzdistel, gut unterdrückt. Des Weiteren zeigte sich bei Stoppelhobeleinsatz eine Tendenz zu niedrigerem Samenunkraut- und Ausfallsfruchtaufkommen auf der Stoppel nach der Ernte verschiedener Kulturen. Die Kultureerträge unterschieden sich hinsichtlich Stoppelhobel- und Grubber-Stoppelbearbeitung nicht. Um mehr Information über den Stoppelhobel zu erhalten wurde vorgeschlagen den Pflug als Grundbodenbearbeitung im Versuch auszusparen, in längerfristigen Zeiträumen zu beobachten und den Stoppelhobel über die Stoppelbearbeitung hinaus zu verwenden (Gronle & Böhm, 2010, p. 21f). Von Gruber & Claupein 2009 (p. 109) wird sogar eine bessere Unterdrückung der Ackerkratzdistel von einem Stoppelhobel für die Stoppelbearbeitung im Vergleich zu einem Meißelpflug und einem Rotortiller bestätigt.

Von Pekrun et al. (2003, p. 6) wurde beobachtet, dass ohne Stoppelbearbeitung seichtes Pflügen (15 cm) hinsichtlich Ackerkratzdistelaufkommen tendenziell ungünstiger ist als tiefes Pflügen (25 cm), jedoch nicht signifikant, was für seichtes Pflügen spricht.

Versuche von Pekrun & Claupein (2001, 204ff) im Zeitraum 1998 - 2000 ergaben, dass die Stoppelbearbeitung mit dem Stoppelhobel signifikant weniger Aufgang von Ausfallgetreide verursachte, als eine Grubber- und eine Rotortillervariante. Auch beim Beikrautaufgang nach der Stoppelbearbeitung, in Kulturbeständen und bei den Kultureerträgen, gab es keine eindeutigen Unterschiede. In der Variante ohne Stoppelbearbeitung zeichnete sich allerdings eine Zunahme der mehrjährigen Beikräuter ab.

In weiteren Jahren dieses Versuches (2001 - 2002) zeigte sich, dass die Kultureerträge tendenziell durch die Stoppelbearbeitung gefördert (Tabelle 3), und das Aufkommen von perennierenden Beikräutern, wie der Ackerkratzdistel, unterdrückt wurde. Es wird argumentiert, dass die Wirkung des ganzflächigen Abschneidens der perennierenden

Beikrautarten durch Stoppelhobel, Flügelschargrubber oder Rotortiller ähnliche effektiv war. (Pekrun & Claupein, 2005, p. 286).

Tabelle 3: Ertrag [dt/ha] in Abhängigkeit von der Stoppelbearbeitung in den Jahren 1998 - 2002 (C Pekrun & Claupein, 2005, p. 288). Der Schälpflug war ein Stoppelhobel, Kontrolle = keine Stoppelbearbeitung. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen bei $p = 0,05 \%$, t-Test.

Kultur	Jahr	Grubber	Schäl- pflug	Rotortiller	Kontrolle	GD _{5%}
Sommer- gerste	1999	16.9 a	17.4 a	15.9 a	16.0 a	2.84
Acker- bohnen	2000	19.5 a	19.4 a	21.0 a	18.4 a	4.74
Dinkel	2001	12.7 a	13.7 a	14.0 a	11.5 a	4.75
Kartoffeln	2002	101.1 a	120.5 a	108.2 a	92.5 a	30.60
Winter- weizen	2003	24.7 b	25.3 ab	29.4 a	24.1 b	4.50

3. Zielsetzung und Arbeitshypothesen

Ziel der Arbeit ist es, in einem Praxis-Feldversuch auf einem ökologisch bewirtschafteten Betrieb die Auswirkungen von zwei verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren auf ausgewählte Merkmale zu testen. Daraus ergeben sich folgende Arbeitshypothesen:

H1: Durch eine flache Bodenbearbeitung mit dem Stoppelhobel ändern sich ausgewählte Bodeneigenschaften wie die Stickstoffmineralisierung und die Lagerungsdichte im Vergleich zu tiefer Bodenbearbeitung mit dem Grubber und dem Stoppelhobel nicht.

H2: Durch die flache Bodenbearbeitung mit dem Stoppelhobel ändert sich das Aufkommen von Beikräutern im Vergleich zu tiefer Bodenbearbeitung mit dem Grubber und dem Stoppelhobel nicht.

H3: Die flache Bodenbearbeitung mit dem Stoppelhobel hat im Vergleich zu tiefer Bodenbearbeitung mit dem Grubber und dem Stoppelhobel keine Auswirkungen auf den Dinkelertrag.

4. Experimenteller Teil – Material und Methoden

4.1. Versuchsstandort

Der Versuchsstandort liegt bei Rappolz im Waldviertel (Bezirk Waidhofen an der Thaya), auf einer Seehöhe von 500 Meter und weist einen durchschnittlichen Jahresniederschlag von 617 Millimeter und eine Jahresdurchschnittstemperatur von 8,4 °C Temperatur auf (Mittel von 1991 - 2010). Die Temperatur- und Niederschlagsdaten stammen von der, vom Versuchsstandort 10 km entfernten, Klimastation Weikertschlag.

Das Versuchsfeld besteht aus lehmigem Sand und hat den Bodentyp Braunerde (nach eBOD, digitale Bodenkarte) mit Tendenzen zur Vergleyung. Betrachtet man den Boden in 0 - 25 cm Tiefe, liegt der Humusgehalt bei 2,3 % (Gehaltsklasse C = mittel) der organische Kohlenstoffgehalt bei 1,4 %, der Gesamtstickstoffgehalt beträgt 0,13 % das C/N-Verhältnis 10:1 (optimal) und der pH-Wert 6,6 (neutral). Entsprechend derselben Bodentiefe beläuft sich der Phosphorgehalt mit 42,3 mg kg⁻¹ auf die Gehaltsklasse B (niedrig), und der Kaliumgehalt mit 180,3 mg kg⁻¹ auf die Gehaltsklasse D (hoch) (Baumgarten, 2017).

Im Herbst 2016 wurde auf einer Fläche des Betriebes Karl Ringl der Praxisfeldversuch angelegt. Karl Ringl bewirtschaftet seinen ca. 50 Hektar großen Betrieb seit 2009 ökologisch und hat seit 2013 den Stoppelhobel der Firma Zobel im Einsatz. Der Versuch ist Teil des Projektes „OG-BIOBO“, geleitet von Bio Austria und untersucht in Auftrag des Instituts für ökologische Landwirtschaft (IfÖL) an der Universität für Bodenkultur, Wien.

Die Versuchsfläche ist als Langzeitversuch konzipiert, um Entwicklungen über mehrere Jahre hinweg zu verfolgen. Die gesamte Bodenbearbeitung (Stoppel- und Grundbodenbearbeitung) der **Variante A** bestand in der dreimaligen Anwendung des Stoppelhobels, die der **Variante B** aus zweimaligem Grubbereinsatz gefolgt von einmaligem Stoppelhobeinsatz Die Variante A (flache Bodenbearbeitung) und B (tiefe Bodenbearbeitung) wurden vom Betriebsleiter so gewünscht, da die Versuchsfläche zu geologisch bedingter Dichtlagerung bzw. Sackung neigt. Dabei

sollten etwaige Unterschiede bezüglich Lockerung und N-Mineralisierung, sowie N-Nachlieferungspotential gezeigt werden.

Die Variante A (flache Bodenbearbeitung) und B (tiefe Bodenbearbeitung) wurden vom Betriebsleiter so gewünscht, da die Versuchsfläche zu geologisch bedingter Dichtlagerung bzw. Sackung neigt. Dabei sollten etwaige Unterschiede bezüglich Lockerung und N-Mineralisierung, sowie N-Nachlieferungspotential gezeigt werden.

Tabelle 4: Verfahrensübersicht der Varianten A und B

Varianten	Bearbeitungsgänge		
	Nach Ernte, Anfang August 2016	Ende August, Anfang September 2016	Ende September 2016
A Flach, Stoppelhobel	Stoppelhobel, Bearbeitungstiefe 5 cm, 12.08.	Stoppelhobel, 8 - 10 cm, 07.09.	Stoppelhobel, 10 - 15 cm, 27.09.
B Tief, Grubber + Stoppelhobel	Grubber, Bearbeitungstiefe 15 cm	Grubber, 25 cm, Zwischen 1. und 07.09.	Stoppelhobel, 15 - 17 cm

Die beim Versuch eingesetzten Geräte waren ein sieben-schariger Stoppelhobel mit 2,45 m Arbeitsbreite (Variante A und B) und ein Meißelschargrubber mit 5 m Arbeitsbreite (Variante B), siehe Abbildung 10.



Abbildung 10: Stoppelhobel von der Firma Zobel (links) und Meißelschargrubber von der Firma Köckerling (Mitte und rechts)

Es wurden acht Parzellen zu je $9 \times 50 \text{ m}^2$ angelegt, somit beläuft sich die beprobte Gesamtfläche auf insgesamt 3600 m^2 . Die zwei verschiedenen Varianten wurden mit je 4 Wiederholungen als zwei-stufige Blockanlage angelegt (Abbildung 11).

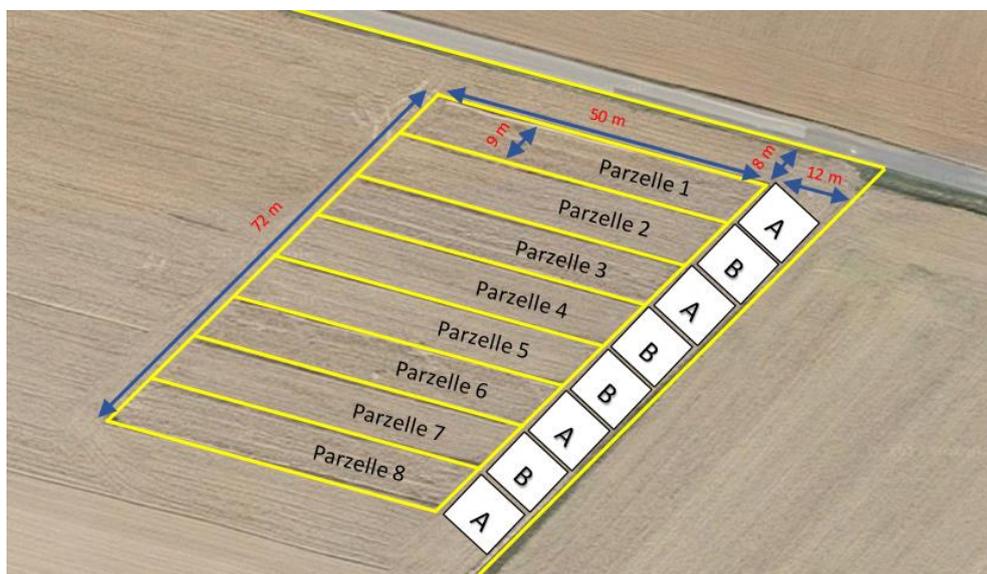


Abbildung 11: Versuchsfläche mit Versuchsparzellen, Rappolz

Am 14. Oktober 2016 wurde Dinkel der Sorte „Ebners Rotkorn“ auf der Versuchsfläche mittels pneumatischer Sämaschine kombiniert mit einer Kreiselegge angebaut. Die Saatstärke betrug 200 kg ha^{-1} (im Spelz), die Saattiefe 3,5 cm. Die Vorfrüchte waren

Luzernen-Rotkleeemenge 30:70 (ganzjährig, 2014 und 2015) und Triticale (2016). Im Bereich von Parzelle 1 wurde im Jahr 2015 Rindermist (25 t, mit ca. 2,5 m Breite) am Feld gelagert, der nach dem Luzernen-Rotkleeemenge ausgebracht wurde. Die Information, dass an dieser Stelle Mist gelagert wurde, war zum Zeitpunkt des Versuchsbeginnes noch nicht bekannt.

Tabelle 5: Zeitliche Abfolge der Versuchsarbeiten

Datum	Arbeitsvorgang
14.10.2016	Ansaat von Dinkel auf Versuchspartellen
24.10.2016	Erhebung der Korngrößenverteilung (Bodenbonitur)
25.10.2016	Graben von Bodenprofilen
27.10.2016	Begutachtung der Bodenprofile durch das WPA Ingenieurbüro sowie eigene Begutachtung von seichteren Bodenprofilen
25.11.2016	1. Ziehung von Bodenproben für Nmin-Bestimmung (sowie für andere wichtige Bodenparameter)
30.03.2017	2. Ziehung von Bodenproben für Nmin-Bestimmung
06.04.2017	Bodenprobennahme zur Bestimmung der Lagerungsdichte
13.04.2017	Erhebung von Distelaufkommen, Dinkel- und Unkrautbedeckungsgrad
27.04.2017	Erhebung von Distelaufkommen, Dinkel- und Unkrautbedeckungsgrad
15.05.2017	Erhebung von Distelaufkommen, Dinkel- und Unkrautbedeckungsgrad
25.05.2017	Erhebung von Distelaufkommen, Dinkel- und Unkrautbedeckungsgrad
13.06.2017	Erhebung von Distelaufkommen, Dinkel- und Unkrautbedeckungsgrad; 2. Begutachtung der Bodenprofile durch das WPA Ingenieurbüro
12.07.2017	Erhebung von Distelaufkommen, Dinkel- und Unkrautbedeckungsgrad, sowie händische Dinkelernte
13.07.2017	Wiegung und Trennung des Dinkels (ganze Pflanze) und des Unkrauts; Einwiegung und Trocknung des Unkrauts; 3. Ziehung von Bodenproben für Nmin-Bestimmung (und anderen wichtigen Bodenparameter)
14.07.2017	Auszählung ährentragender Halme/m ² und Messung der Bestandeshöhe des Erntegutes
06.09.2017	Dreschen von Dinkel
25.09.2017	Laborbestimmung von Nmin-Gehalten der Bodenproben (Dauer ca. 10 Tage)
15.11.2017	Händisches Reinigen von Dinkel von gröberem Strohrückständen
22.11.2017	Entspelzen von Dinkel
23.11.2017	Reinigung, Siebung und Wiegung des entspelzten Dinkels
27.11.2017	Einwaage und Trocknung von Dinkel
29.11.2017	Wiegung und Mahlen von trockenem Dinkel
Jänner 2018	Bestimmung von Korn- und Stroh-C/N-Verhältnis

4.2. Proben und Datenerhebung im Überblick

Am Beginn des Versuches wurde eine Rasterkartierung durchgeführt, um festzustellen wie homogen der Boden auf der gesamten Versuchsfläche ist.

Über das Versuchsjahr wurden an drei Terminen (25.11.2016, 30.03.2017 und 13.07.2017) Bodenproben zur Ermittlung des Bodenstickstoffgehaltes genommen. Mithilfe dieser Proben wurde im Labor der zum jeweiligen Termin mineralisierte Stickstoff (N_{\min}) sowie das noch im Boden vorhandene mineralisierbare Stickstoffnachlieferungspotential (dieses jedoch nur von zwei Terminen – Herbst 2016 und Frühjahr 2017) ermittelt. Es wurden teilweise auch noch weitere Untersuchungen der Proben von der AGES gemacht (Stickstoff- und Kohlenstoffgehalte vom 25.11.2016 und 30.03.2017, sowie Phosphor- und Kaliumgehalte nur vom 25.11.2017).

An zwei Terminen (25.10.2016 und 13.06.2017) wurden jeweils auf einer A- und einer B-Variante ein Bodenprofil für die Ermittlung der Durchwurzelungsintensität und der Bodenstruktur freigelegt (ca. 60 - 80 cm tief), sowie eine Messung der Wasserversickerung und des Eindringwiderstandes in den Boden vorgenommen.

Im Frühjahr wurden Bodenproben zur Ermittlung der Lagerungsdichte entnommen. Über die Vegetationsperiode hinweg wurden stetig Erhebungen zur Bestands- und Beikrautentwicklung durchgeführt.

Zur Dinkelreife wurden auf jeder Parzelle sechs einen Quadratmeter große Dinkelflächen inklusive Beikräuter aus dem Bestand herausgeschnitten um weitere Ertrags- und Beikrautmessungen durchzuführen.

4.3. Probenahme und Datenerhebung für Bodenparameter

4.3.1. Korngrößenverteilung und Bodenart

Am 24.10.2016 wurde zur Bestimmung von Bodenart und Korngrößenverteilung eine Rasterkartierung auf den Versuchsparzellen durchgeführt. Dabei wurde am Feld die Bodenart mit der Fingerprobe bestimmt (Bestimmung der Bodenart durch die Fingerprobe nach Blum et al. (1996)).

Hierfür trieb man Bohrstöcke in den Boden (20 Einstiche pro Parzelle), um Proben aus verschiedenen Tiefen zu erhalten.

Die Bestimmung der Korngrößenverteilung erfolgte nach den ÖNORMEN L 1061–1 [2002] und L 1061–2 [2002] (Cepuder et al., 2012, p. 17)

4.3.2. Lagerungsdichte

Am 6.4.2017 wurden Proben zur Bestimmung der Lagerungsdichte des Bodens aus den Tiefen 0 - 10 cm, 10 - 25 cm und 25 - 50 cm von den 8 Versuchspartzellen entnommen. Auf jeder Parzelle wurden 2 vorher vermessene Löcher gegraben um aus den verschiedenen Tiefen Proben zu erhalten. Die Löcher wurden auf jeder Parzelle gleich ausgemessen.

In jeden der verschiedenen Tiefenabschnitte wurde ein volumengenormter Stechzylinder geklopft, um eine Bodenprobe zu erhalten. Die Stechzylinder wurden am Feld versiegelt und ins IfÖL-Labor gebracht. Dort wurden die Bodenproben 2 Tage bei 105 °Celsius getrocknet. Die trockenen Proben wurden anschließend gewogen um die Lagerungsdichte [g cm^{-3}] zu erhalten.

4.3.3. Mineralisierter Stickstoff (N_{\min})

Im Herbst, im Frühjahr und im Sommer wurden Bodenproben für die N_{\min} -Bestimmung gezogen. Die Proben wurden mit einem Meißelhammer der Marke HILTI, der Bohrstöcke in den Boden treibt, aus dem Boden entnommen. Auf jeder Parzelle gab es 20 Einstiche (Abbildung 12), wobei jeder Einstich in drei verschiedene Tiefen separiert und homogenisiert (händisch durchmischt) wurde. Das in den Bohrstöcken gewonnene Bodenmaterial kam anschließend in kleine beschriftete Plastiksäcke, welche nach den Probenahmen in der Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf tiefgefroren wurden.

Beim Frühjahrstermin wurden die Bodentiefen 0 - 25 cm, 25 - 50 cm und 50 - 90 cm erprobt. Beim Herbst- und Sommertermin war es auf Grund von sehr niedriger Bodentemperatur bzw. zu großer Bodentrockenheit nicht möglich, tiefer als 50 cm in

den Boden einzudringen. So konnten es an diesen beiden Terminen nur die Tiefen 0 - 10 cm, 10 - 25 cm und 25 - 50 cm beprobt werden.



Abbildung 12: Meißelhammer Marke HILTI (links oben), Bohrstock mit Hebel zur Bergung des Bodenmaterials (rechts oben), Bohrstock mit Bodenmaterial (links unten), Trennung von Bodenmaterial aus Bohrkernen in drei Tiefenabschnitte (rechts unten)

Im Labor des IfÖL wurde die Bestimmung des im Boden mineralisierten Stickstoffes welcher aus Nitrat- und Ammoniumstickstoff besteht durchgeführt (ÖNORM L 1091) (Beckmann et al., 2002, p. 24; Diepenbrock et al., 2005, p. 161). Der Ammoniumstickstoff wurde mit der Indophenol-Methode 2, Nitratstickstoff mit der VCl_3 / Griess Methode bestimmt (Österreichisches Norminstitut, 1999).

Für Kulturpflanzen ist Stickstoff häufig der erstlimitierende Faktor. Stickstoff wird als wichtigstes Makronährelement von Pflanzen in der Form von Ammonium (NH_4^+) und Nitrat (NO_3^-) aufgenommen (Scheffer & Schachtschabel, 2010, p. 391; Schubert, 2011, p. 109f).

Probenvorbereitung:

Die in Plastiksäcke abgepackten und tiefgefrorenen Bodenproben wurden für die chemische Analyse aufgetaut. Anschließend mussten die feldfeuchten Bodenproben durch ein Sieb mit 5 mm Maschenweite gedrückt werden, um diese von Steinen und Wurzeln zu reinigen. Dann wurde eine händische Homogenisierung des Bodenmaterials durchgeführt.

Extraktion der Bodenproben:

Von jeder Bodenprobe wurde zwei Mal (Doppelbestimmung) etwa 50 Gramm feldfeuchter Boden in 500 ml Kunststoffschüttelflaschen eingewogen und mittels Dispenser 200 ml Extraktionslösung zugegeben. Zum Homogenisieren kamen die Kunststoffflaschen 30 Minuten in einen Überkopfschüttler mit 20 Umdrehungen pro Minute.

Nach Absetzen der Feststoffe in den Kunststoffschüttelflaschen, wurde der Extrakt durch Faltenfilter in 50 ml Kunststofffläschchen filtriert und bei -20 °C tiefgekühlt.

Sobald alle Bodenproben extrahiert vorlagen, pipettierte man sie in eine Mikrotiterplatte und versetzte sie mit verschiedenen Chemikalien (unterschiedliche Chemikalien für Ammonium- und Nitratbestimmung). Um den Ammoniumstickstoff zu messen wurden die Proben bei 25 °C 30 Minuten inkubiert und danach mit dem Spektralphotometer („Infinite M200Pro“ der Firma TECAN) mit 660 nm vermessen. Zur

Analyse von Nitratstickstoff wurden die Proben bei 37 °C ebenfalls 30 Minuten inkubiert, jedoch mit 540 nm im Spektralphotometer vermessen.

Berechnung des N_{min}-Gehaltes

Der mineralisierte Stickstoff wird in Kilogramm pro Hektar (kg ha⁻¹) angegeben. Wie oben erwähnt, setzt sich N_{min} aus dem Nitrat- und Ammoniumstickstoff (NO₃⁻-N und NH₄⁺-N) zusammen und wird daher addiert. Die Berechnungsformel von N_{min} setzt sich des Weiteren wie folgt zusammen:

$$\mathbf{N_{min} = [c (NH_4^+-N + NO_3^--N) * Gesamtvolumen des Extraktes] / TS * Tiefe * Bodendichte}$$

N_{min}: mineralisierter Stickstoff in Kilogramm pro Hektar [**kg ha⁻¹**]

c: im Labor gemessene Ammonium- und Nitratstickstoffkonzentration in Mikroliter pro Milliliter [**µg ml⁻¹**]

Gesamtvolumen des Extraktes: 200 ml Volumen der zugegebenen Extraktlösung [**ml**]

Tiefe: Bodenentnahmetiefe der jeweiligen Bodenprobe in Dezimeter [**dm**]

Bodendichte: Am Feld erhobene Lagerungsdichte verschiedener Tiefen (am 30.03.2017 erhoben) [**kg dm⁻³**]

4.3.4. Gravimetrischer Bodenwassergehalt

Der gravimetrische Bodenwassergehalt [%] wurde im Zuge der N_{min}-Bestimmung im Labor gemacht. Der Wassergehalt wurde durch eine Wiegung vor und nach dem Trocknen der Bodenproben errechnet.

4.3.5. N-Mineralisationspotential

Um das N-Mineralisationspotential bestimmen zu können, wurde Bodenmaterial von den N_{min}-Proben von den Erhebungsterminen am 25.11.2016 und 30.03.2017 verwendet. Im Labor des IfÖL wurden die Bodenproben auf das Stickstoff-

Nachlieferungspotential untersucht. Dabei wurde bei den Proben, das in einem anaeroben Brutversuch mineralisierte Ammonium bestimmt.

Die Umsetzung von organische in anorganische Stickstoffverbindungen wird als N-Mineralisation bezeichnet und von verschiedenen Mikroorganismen katalysiert. Der N-Mineralisationsprozess beginnt mit der Ammonifikation (NH_4^+ -Freisetzung). Die Bodenproben wurden 7 Tage bei 40 °C mit Deionat inkubiert. Unter den anaeroben Bedingungen wird die Nitrifikation gehemmt und NH_4^+ kann als einziges Produkt der ablaufenden N-Mineralisation bestimmt werden (Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft (BFL), 1999).

4.3.6. Weitere Bodenanalysen (AGES)

Wie oben beschrieben, wurden von der Probenahme im Herbst und im Frühjahr Bodenproben für weitere Analysen an die AGES geschickt. Dort wurde das Bodenmaterial von der Herbsterhebung (25. November 2016) hinsichtlich **pH-Wert** (ÖNORM EN 15933), **pflanzenverfügbare Anteile an Phosphor [mg kg^{-1}]** und **Kalium [mg kg^{-1}]** (im CAL-Extrakt, ÖNORM L 1087), **Humusgehalt [%]** und **organisch gebundener Kohlenstoff [%]** (Elementaranalyse nach trockener Verbrennung, ÖNORM L 1080), und **Stickstoffgehalt [%]** (ÖNORM EN 15936) **im Boden** untersucht.

Das Material von der Frühjahrserhebung (30. März 2017) wurde nur auf **organischen gebundenen Kohlenstoff [%]** und den **Stickstoffgehalt [%] im Boden** untersucht.

Aus den gewonnenen Daten wurde das **C/N-Verhältnis im Boden** errechnet. Mit den Erhebungen von 30.03.2017 wurde über die Lagerungsdichte des Bodens der Humusgehalt [t ha^{-1}], der organische Kohlenstoff [t ha^{-1}] und der Stickstoffgehalt [t ha^{-1}] im Boden ermittelt. (Baumgarten, 2017, p. 11f).

4.3.7. Bodenprofilerhebungen (WPA)

Im Herbst (27.10.2016) und im Sommer (13.06.2017) wurden auf den Parzellen 5 und 6 (eine B- und eine A-Variante) von der WPA (Beratende Ingenieure GmbH)

Erhebungen zur Ermittlung der **Bodenstruktur**, der **Bodenfeuchtigkeit**, der **Wasserversickerung im Boden**, des **Eindringwiderstandes im Boden**, sowie der **Durchwurzelungsintensität durchgeführt**. Dabei wurde an beiden Terminen jeweils eine Bodenprofilgrube mit ca. 80 cm Tiefe ausgehoben. Die Durchwurzelungsintensität, Bodenstruktur und -feuchtigkeit wurden vor Ort visuell von einem WPA-Mitarbeiter bestimmt. Die erhobenen Daten wurden danach von der WPA dem IfÖL übermittelt.

Die **Wasserversickerung** wurde mittels eines Doppelringinfiltrometers ermittelt. Diese wurde als k_f -Wert [m s^{-1} oder cm d^{-1}] beziehungsweise Durchlässigkeitsbeiwert oder hydraulische Leitfähigkeit (Eckhardt, 2014, p. 35) ausgedrückt. Um diesen zu erhalten, wurde der Doppelringinfiltrometer fortlaufend mit Wasser gefüllt. Der Wasserstand wurde kontinuierlich mit einem Zahlstab gemessen, um zu sehen, wie viel Wasser im Boden versickert. Dieser Vorgang wird so lange durchgeführt, bis die Versickerung (k_f -Wert) konstant ist, woraus sich die hydraulische Leitfähigkeit bei wassergesättigtem Boden ergibt.

$$k_f = Q / A$$

k_f : gesättigte hydraulische Leitfähigkeit [m s^{-1} oder cm d^{-1}]

Q: Durchfluss [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$]

A: Fläche [m^2]

Der **Eindringwiderstand** wurde mit einem Penetrometer gemessen. Hierbei wird der Druck [MPa] gemessen, der ausgeübt werden muss, um in den Boden [cm] einzudringen (Abbildung 13).



Abbildung 13: Bodenprofil (links), Doppelringinfiltrometer (rechts oben), Penetrometer (rechts unten)

4.4. Dinkel- und Beikrauterhebungen

Zur Dokumentation der Entwicklung der Kulturpflanze Dinkel sowie des Aufkommens von Beikräutern wurden auf der Versuchsfläche an sechs Terminen Bonituren durchgeführt. Beobachtet wurden der Deckungsgrad des Beikrautbestandes sowie die **Anzahl an Ackerkratzdisteln** (*Cirsium Arvense*). Des Weiteren wurde das Auftreten von anderen Beikrautarten, Auflaufschäden der Kulturpflanze, das Vorkommen von Gelbrost sowie mögliche Unregelmäßigkeiten im Bestand bedingt durch Fahrspuren (verursacht durch die Aussaat im Herbst) je nach Auffälligkeit und Ermessen notiert.

Auf jeder Parzelle gab es sechs Quadratmeterflächen zur fortlaufenden Beobachtung der oben genannten Merkmale. Diese Beobachtungsflächen hatten auf allen Parzellen die gleichen Maße (Abbildung 14).



Abbildung 14: 1 m² große Erhebungsflächen auf den Versuchspartellen

Zu den Boniturterminen wurde der **Dinkel- und Beikrautdeckungsgrad in Prozent der Gesamtfläche** mittels einer zehnstufigen Skala beurteilt (Dinkeldeckung + Unkrautdeckung + unbedeckte Fläche = 100 %). Die Disteln wurden nach Anzahl der Individuen erfasst.

Die Dinkelernte fand am 12. Juli 2017 statt. Von jeder der acht Versuchspartellen wurden auf 6 m² der gesamte Pflanzenbestand (Dinkel- und Beikrautfrischmasse) bodennah mit Scheren und Sichel abgeschnitten (dies waren jene Quadratmeterflächen, die auch für die Beobachtungen von Beikraut und Dinkel ausgesteckt worden waren). Am Feld wurde außerdem noch das **BBCH-Reifestadium** des Dinkelbestandes erhoben (Diepenbrock et al., 2005, p. 173f). Das frische Erntegut von allen 6 Quadratmetern wurde in beschrifteten Papiersäcken gesammelt und vor Ort gewogen (Abbildung 15).



Abbildung 15: Dinkelernte im Juli, Bestand wird bodennah abgeschnitten

Das Erntegut wurde anschließend zur BOKU-Versuchswirtschaft in Groß-Enzersdorf gebracht, um es weiter bearbeiten zu können. Die Beikrautfrischmasse wurde am darauffolgenden Tag (13.06.2017) vom Erntegut händisch getrennt und separat gewogen.

Die Beikrautfrischmasse wurde 48 Stunden bei 105 °C im Trockenschrank getrocknet und danach gewogen, um den **Beikraut-Trockenmassegehalt (100% TM) [g m⁻²]** festzustellen.

Am 14. Juli 2017 wurde das Dinkelerntegut hinsichtlich **ährentragender Halme pro Quadratmeter** (händische Zählung) sowie auf die **Bestandeshöhe [cm]** (Abmessung von zehn Stichproben von jedem beernteten Quadratmeter mit einem Meterstab oder Zollstock) untersucht. Das Erntegut kam anschließend schonend wieder zurück in die Säcke.

Im September wurde der Dinkel mit einem Parzellenmähdrescher im Stand gedroschen. Dabei wurde immer das gesamte Dinkelerntegut von einer Parzelle (6 m²) gedroschen und das daraus in Stroh und Korn (im Spelz) resultierende Material jeweils zu einer Probe zusammengefasst. Das Korn gab man in luftdurchlässige Stoffsäcke, das Stroh wieder in Papiersäcke.

Da passende Reinigungsmaschinen in der Versuchswirtschaft nicht verfügbar waren, wurde das Dinkelkorn im Spelz noch einmal händisch von gröberem Strohresten befreit (15.11.2017), sodass es in den darauffolgenden Tagen möglichst problemlos entspelzt werden konnte. Das Gewicht vom **Korn im Spelz [g m⁻²]** wurde nach der Separierung vom Reststroh erhoben.

Nachdem der Dinkel mittels Entspelzungsanlage in Groß-Enzersdorf entspelzt wurde (22.11.2017), brachte man das daraus resultierende Gemenge aus entspelztem Dinkel, Bruchkorn, Spelzen und Dinkel, der nicht entspelzt werden konnte, zum UFT der BOKU nach Tulln, um das Korn dort zu extrahieren (23.11.2017).

Am UFT in Tulln wurde das Gemenge gewogen und in einen Windsichter zur Reinigung der Spelzen gegeben. Das von den Spelzen befreite Gemenge wurde abermals gewogen und anschließend durch ein automatisches Sieb gelassen. Das Gemenge wurde in die Fraktionen gereinigte, entspelzte Dinkelkörner, in Bruchkörner

und nicht entspelzte Körner aufgespalten. Danach wurden noch einmal die **gereinigten, entspelzten Dinkelkörner** gewogen [**g m⁻²**].

Um die **Trockenmassegehalte [%]** des Erntematerial zu erhalten, wurden jeweils Korn und Stroh in einem Aluminiumschälchen eingewogen und 48 Stunden bei 105 °C getrocknet. Danach wurden die Schälchen erneut abgewogen, um die Trockenmassegehalte errechnen zu können. Die Trockenmassegehalte wurden mit dem Dinkelkorngewicht (gereinigte und entspelzte Körner) multipliziert und auf **dt TM ha⁻¹** umgerechnet. Die Trockenmassegehalte (100% TM) von Korn, Korn im Spelz und Stroh sind anschließend auf den Standardtrockenmassegehalt von 86 % umgerechnet worden.

C/N Verhältnis

Das Verfahren der Korn- und Strohtrockenmassegehaltsanalyse wurde auch bei der C- und N-Analyse durchgeführt, mit dem Unterschied, dass die Korn- und Strohproben in einer Plastikschaale gewogen wurden und die Trocknungstemperatur 60 °C betrug. Die Korn- und Strohproben wurden gemalen und an das UFT der BOKU in Tulln gebracht, da dort die nötigen Geräte für die weitere Aufbereitung vorhanden sind. Am UFT in Tulln wurden das Korn und das Stroh auf den **Stick- und Kohlenstoffgehalt [%]** mit einem LECO CN-2000 Analyser untersucht, um daraus das **C/N-Verhältnis** und den **Proteingehalt [%]** errechnen zu können. Dabei werden die Proben verbrannt um im frei werdenden Gas den Kohlenstoff- (mit Infrarotdetektoren) und den Stickstoffgehalt (Wärmeleitfähigkeitsdetektor) zu messen (Kowalenko, 2001, p. 2066f).

Dinkel-Proteingehalt = Kornstickstoffgehalt * 5,7 (AGES, 2017, p. 54)

4.5. Datenanalyse und Statistik

Für die statistische Analyse wurde das Computerprogramm SPSS Version 24 verwendet. Die Daten wurden mit einer zweifaktoriellen Varianzanalyse verarbeitet, um zu testen, ob es einen signifikanten Unterschied zwischen den Varianten A und B gibt (Faktor 1 bzw. fester Faktor), sowie um zu überprüfen, ob es signifikante Einflüsse auf diese Unterschiede durch die vier Blöcke der Varianten (Faktor 2 bzw. Zufallsfaktor) gibt. Ein signifikanter Einfluss durch die Blöcke bedeutet, dass es einen Einfluss des Bodens bzw. der Lage der Parzellen auf der Versuchsfläche auf das untersuchte Merkmal gegeben hat.

5. Ergebnisse

5.1. Temperatur und Niederschlagsmenge

Der Jahresniederschlag im Jahr 2016 und 2017 war im Vergleich mit dem langjährigen Mittel niedriger. Im Jahr 2017 lagen die Niederschläge bei 444 mm. Im Vergleich dazu lag der langjährige Durchschnitt von 1991 - 2010 bei 617 mm und im Jahr 2016 bei 498 mm.

Im Jahresvergleich regnete es 2017 um 54 mm weniger als 2016. Zu wichtigen Wachstumsphasen im Mai und Juni 2017 regnete es mit 10,7 und 35 mm, im Vergleich zum langjährigen Mittel mit 62,4 und 84,9 mm, besonders wenig (-82,9 % und -58,5 %).

Die Jahresdurchschnittstemperatur lag 2016 mit +0,5 °C und 2017 mit +0,6 °C über jener von 1991 - 2010. 2017 war die Temperatur in den Monaten Mai, Juni, Juli und August deutlich über dem langjährigen Mittel (+0,8 °C, +2,8 °C, +1,3 °C, +1,8 °C). 2017 gab es einen kälteren Winter, jedoch war es im Sommer wärmer (2017 zu 2016 Juni + 1,9 °C = +11 % und August +2,3 °C = +13 %), allerdings gab es im Durchschnitt nur vernachlässigbare Temperaturunterschiede (Abbildung 16).

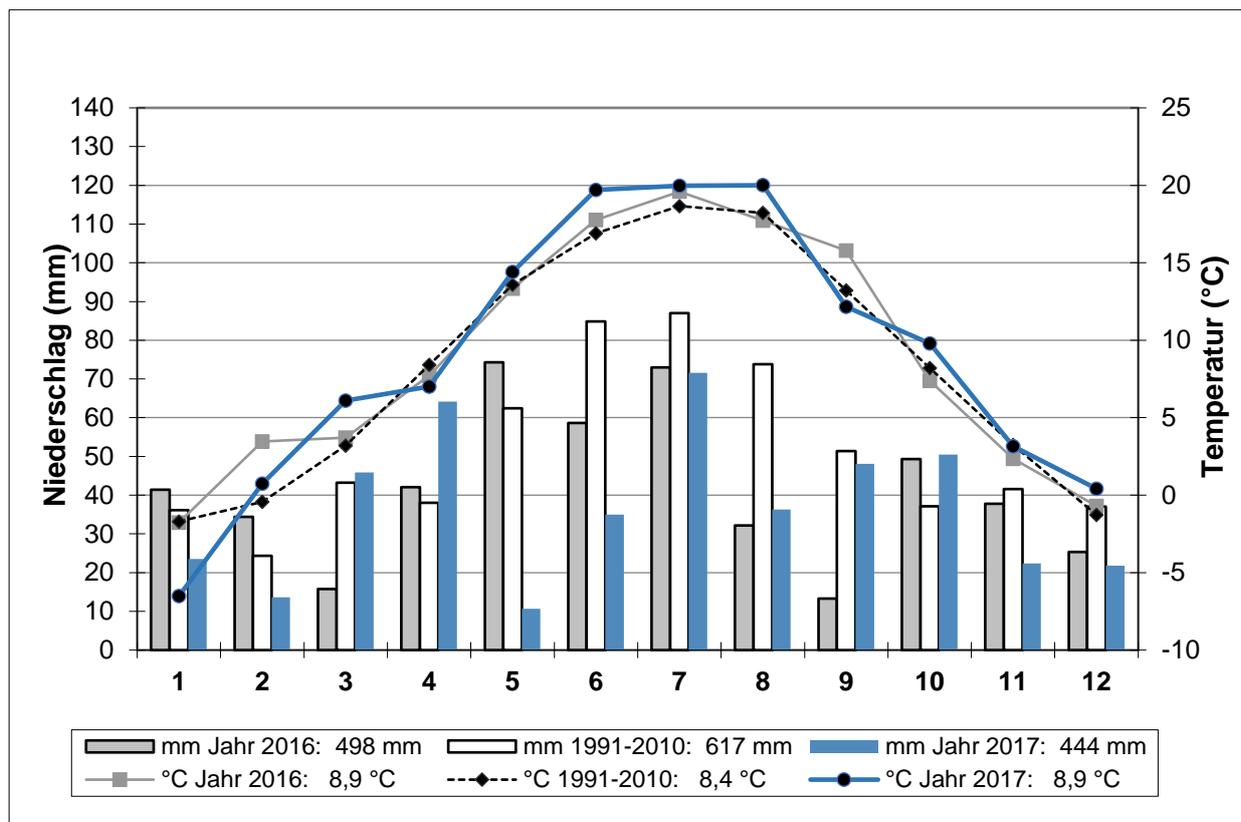


Abbildung 16: Wetterdaten aus den Jahren 2016, 2017 und 1991 - 2010 (langjähriger Durchschnitt) gemessen von der Klimastation Weikertschlag, 10 km entfernt vom Versuchsstandort in Rappolz.

5.2. Bodeneigenschaften

5.2.1. Korngrößenverteilung und Bodenart

Da der Tongehalt in allen drei Bodentiefen beider Varianten < 15% beträgt; handelt es sich in der Klassifikation der Bodenschwere laut Baumgarten (2017, p. 13) um leichten Boden (Tabelle 6).

Tabelle 6: Korngrößenverteilung und Bodenart.

Variante	Tiefe [cm]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Bodenart (Definition 1)	Bodenart (Definition 2)
A	0-10	45,10	45,98	8,92	lehmiger Sand (IS)	schluffiger Sand (Su4)
	10-25	45,09	45,48	9,44	lehmiger Sand (IS)	schluffiger Sand (Su4)
	25-50	48,07	38,90	13,01	lehmiger Sand (IS)	lehmiger Sand (SI4)
B	0-10	45,89	44,80	9,32	lehmiger Sand (IS)	schluffiger Sand (Su4)
	10-25	44,28	46,65	9,05	lehmiger Sand (IS)	schluffiger Sand (Su4)
	25-50	50,94	39,00	10,05	lehmiger Sand (IS)	lehmiger Sand (SI3)

Bodenartdefinition 1 aus Bodenzustandsinventur (Blum et al., 1996), Definition 2 aus Scheffer und Schachtschabel (Scheffer & Schachtschabel, 2010, p. 174)

5.2.2. Lagerungsdichte des Bodens

Die Lagerungsdichte wird mit zunehmender Bodentiefe höher (Tabelle 7). Laut Rampazzo (2015, p. 58) sind Lagerungsdichten in Böden zwischen $0,3 - 1,6 \text{ g cm}^{-3}$ typisch.

Tabelle 7: Lagerungsdichte des Bodens [g cm^{-3}], gemessen am 06.04.2017. MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung; n.s. = nicht signifikant; Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$.

Bodentiefe [cm]	Lagerungsdichte					
	A		B		Faktor	
	MW	SD	MW	SD	Variante	Block
0-10	1,32	0,09	1,34	0,06	n.s.	n.s.
10-25	1,46	0,02	1,50	0,06	n.s.	n.s.
25-50	1,59	0,06	1,62	0,04	n.s.	n.s.

5.2.3. Humus-, C_{org}-, N_{ges}-, P-, K-Gehalt, sowie C/N-Verhältnis und pH-Wert im Boden

Hinsichtlich Humusgehalt [% und t ha⁻¹], organisch gebundenen Kohlenstoffgehalt [% und t ha⁻¹], Gesamtstickstoffgehalt im Boden [% und t ha⁻¹] und dem C/N-Verhältnis aus allen drei Bodentiefen von beiden Erhebungsterminen konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen der Variante A und B festgestellt werden. Dies gilt auch für den pH-Wert, sowie für die pflanzenverfügbaren Phosphor- und Kaliumgehalte [mg kg⁻¹], welche nur am 25.11.2016 erhoben wurden (Tabelle 10 und Tabelle 11). Nur beim Gesamtstickstoffgehalt im Boden [t ha⁻¹], der aus allen drei Bodentiefen zusammengerechnet wurde, gab es am 30.03.2017 einen signifikanten Unterschied zwischen den Varianten.

In einigen Fällen wurde ein signifikanter Unterschied zwischen den Blöcken festgestellt, was einen größeren Einfluss durch einzelne oder mehrere Parzellen aufzeigt. Auch wenn Werte von einzelnen Parzellen erhöht waren, so waren dies keine Ausreißer.

Der Humusgehalt am 25.11.2016 und 30.03.2017 in 0 - 10 cm Bodentiefe betrug jeweils 2,7 % (A und B). Dies würde laut Baumgarten (2017, p. 14) der Gehaltsklasse C = Mittelhumos entsprechen. Die absoluten Humusgehalte in 0 - 50 cm Tiefe, zur Messung am 30.03.2017, liegen bei 96,4 t ha⁻¹ (A) und 101,9 t ha⁻¹ (B), dazu die absoluten C_{org}-Gehalte, bei 55,9 t ha⁻¹ (A) und 59 t ha⁻¹ (B), was einem Unterschied von 3,1 t ha⁻¹ entspricht.

Am 25.11.2016 gab es in der Bodentiefe 10 - 25 cm signifikante Unterschiede zwischen den Blöcken beim Humusgehalt (p = 0,002), und beim C_{org}-Gehalt in Prozent (p = 0,003). Tabelle 8 zeigt, dass die erhobenen Einzelwerte in dieser Tiefe auf den Parzellen 1-4 meist höher sind als jene der Parzellen 5 - 8.

Tabelle 8: Organische Kohlenstoff- und Humuswerte [%] vom 25.11.2016 der Bodentiefe 10 - 25 cm. MW = Mittelwert, Zahlen in Klammern = Standardabweichung.

Parzelle	Variante	Block	Humus [%]	Corg [%]
1	A	1	2,20	1,28
2	B	1	2,20	1,27
3	A	2	2,10	1,22
4	B	2	2,20	1,28
5	B	3	1,80	1,02
6	A	3	1,70	0,97
7	B	4	1,80	1,06
8	A	4	1,70	1,00
MW	A		1,9 (0,26)	1,1 (0,16)
	B		2,0 (0,23)	1,2 (0,14)

Die absoluten Gesamt-Stickstoffgehalte im Boden lagen in 0 - 50 cm Bodentiefe am 30.03.2017 bei 5805 kg ha⁻¹ (A) und 6258 kg ha⁻¹ (B) und waren mit 453 kg ha⁻¹ bei der Variante B signifikant höher ($p = 0,026$).

Das C/N-Verhältnis vom 25.11.2016 wies in der Bodentiefe 0 - 10 cm mit 10,1:1 (A) und 11:1 (B) und einem p-Wert von 0,071, eine Annäherung zu einem signifikanten Unterschied zwischen den Varianten auf. Die Boden-C/N-Verhältnisse beider Erhebungstermine können laut Baumgarten (2017, 16) als optimal eingestuft werden, um eine gute Mineralisation von Stickstoff aus der organischen Masse zu gewährleisten.

Beim pH-Wert (25.11.2016) gab es in der Tiefe 25 - 50 cm signifikante Unterschiede zwischen den Blöcken ($p = 0,026$), in den Tiefen 0 - 10 cm und 10 - 25 cm gab es dazu eine Annäherung zu einer Signifikanz ($p = 0,052$ und $p = 0,078$).

Die Phosphorgehalte [mg kg⁻¹] in 0 - 10 cm und 25 - 50 cm Bodentiefe unterschieden sich signifikant zwischen den Blöcken voneinander ($p = 0,041$ und $p = 0,025$), bei der Tiefe 10 - 25 cm gab es eine Annäherung zur Signifikanzgrenze ($p = 0,085$). Die Kaliumgehalte [mg kg⁻¹] weisen in allen drei Bodentiefen signifikante Unterschiede zwischen den Blöcken auf (0 - 10 cm: $p = 0,026$, 10 - 25 cm: $p = 0$, 25 - 50 cm: $p =$

0,02). Der pH-Wert, die Phosphor- und Kaliumgehalte aus verschiedenen Tiefen, sind bei den Parzellen 1 - 4 eher höher, als jene von 5 - 8 (Tabelle 9).

Tabelle 9: Erhobene Blockwerte ausgewählter pH-Wert, Phosphor- und Kaliummesstiefen mit signifikanten Unterschied zwischen den Blöcken (25.11.2016). MW = Mittelwert, Zahlen in Klammern = Standardabweichung

Parzelle	Variante	Block	Phosphor [mg/kg]		Kalium [mg/kg]			pH
			0-10 cm	25-50 cm	0-10 cm	10-25 cm	25-50 cm	
1	A	1	52	18	286	205	109	6,5
2	B	1	58	20	283	194	112	6,5
3	A	2	57	17	247	164	116	6,5
4	B	2	53	16	193	144	94	6,6
5	B	3	37	24	160	95	63	6
6	A	3	38	23	206	104	58	5,9
7	B	4	41	15	183	104	63	6,2
8	A	4	47	17	202	115	68	6,4
MW	A		49 (8,1)	19 (2,9)	235 (39,5)	147 (46,6)	88 (29)	6,3 (0,29)
	B		47 (9,9)	19 (4,1)	205 (54)	134 (45,2)	83 (24,2)	6,3 (0,28)

In 0 - 10 cm Tiefe betrug der Phosphorgehalt $48,5 \text{ mg kg}^{-1}$ (A) und $47,3 \text{ mg kg}^{-1}$ (B), in 10 - 25 cm $35,8 \text{ mg kg}^{-1}$ (A) und $37,8 \text{ mg kg}^{-1}$ (B). Der Kaliumgehalt dazu in 0 - 10 cm $235,3 \text{ mg kg}^{-1}$ (A) und $204,8 \text{ mg kg}^{-1}$ (B), in 10 - 25 cm 147 mg kg^{-1} (A) und $134,3 \text{ mg kg}^{-1}$ (B). Der Phosphorgehalt war in der Nährstoffverfügbarkeit in 0-10 cm der Gehaltsklasse C (ausreichend; $47 - 111 \text{ mg kg}^{-1}$), in 10-25 cm der Gehaltsklasse B (niedrig; $26 - 46 \text{ mg kg}^{-1}$) zuzuordnen, der Kaliumgehalt in 0 - 10 cm der Gehaltsklasse D (hoch; $179 - 291 \text{ mg kg}^{-1}$), in 10 - 25 cm Gehaltsklasse C (ausreichend; $88 - 178 \text{ mg kg}^{-1}$) (Baumgarten, 2017, p. 21).

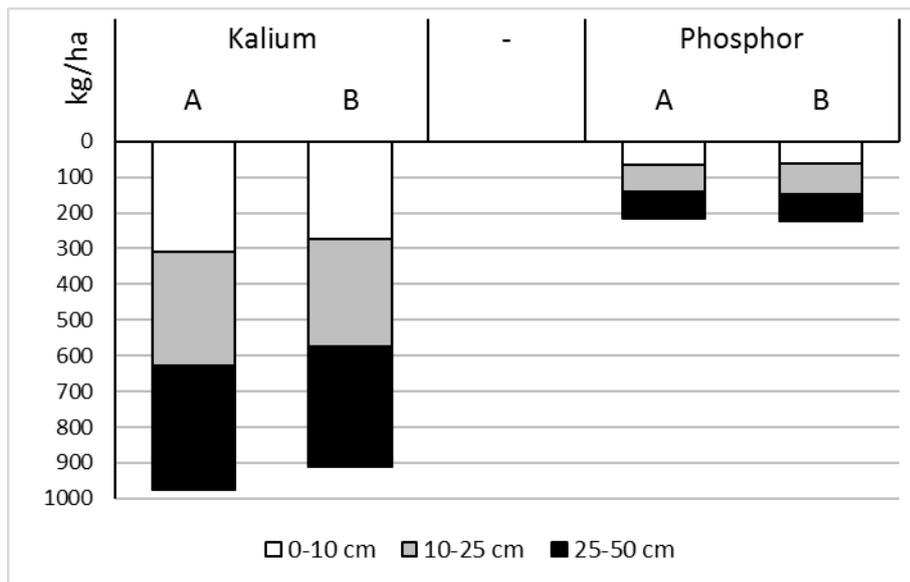


Abbildung 17: Pflanzenverfügbare Kalium- und Phosphorgehalte in kg ha^{-1} (25.11.2016).

Tabelle 10: Übersicht Mittelwerte der AGES-Bodenanalyse erhoben am 25.11.2016.

C_{org} = organisch gebundener Kohlenstoff, C/N-Verhältnis = Kohlenstoff-Stickstoffverhältnis. MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, Var. = fester Faktor Variante, Bl. = Zufallsfaktor Block, s.=signifikant, n.s. = nicht signifikant. Signifikanzniveau = 0,05.

Bodenparameter	Bodentiefe [cm]	25.11.2016					
		A		B		Faktor	
		MW	SD	MW	SD	Var.	Bl.
Humus [%]	0-10	2,7	0,31	2,7	0,15	n.s.	n.s.
	10-25	1,9	0,26	2,0	0,23	n.s.	s.
	25-50	0,5	0,05	0,5	0,06	n.s.	n.s.
Corg [%]	0-10	1,5	0,19	1,6	0,09	n.s.	n.s.
	10-25	1,1	0,16	1,2	0,14	n.s.	s.
	25-50	0,3	0,03	0,3	0,03	n.s.	n.s.
Stickstoff gesamt [%]	0-10	0,15	0,02	0,14	0,01	n.s.	n.s.
	10-25	0,10	0,01	0,12	0,02	n.s.	n.s.
	25-50	0,03	0,00	0,03	0,00	n.s.	n.s.
C/N	0-10	10,1:1	0,44	11:1	0,66	n.s.	n.s.
	10-25	10,8:1	1,78	10,1:1	0,60	n.s.	n.s.
	25-50	8,7:1	0,73	8,9:1	0,99	n.s.	n.s.
Phosphor [mg/kg]	0-10	48,5	8,10	47,3	9,88	n.s.	s.
	10-25	35,8	7,09	37,8	10,78	n.s.	n.s.
	25-50	18,8	2,87	18,8	4,11	n.s.	s.
Kalium [mg/kg]	0-10	235,3	39,47	204,8	53,97	n.s.	s.
	10-25	147,0	46,64	134,3	45,17	s.	s.
	25-50	87,8	29,01	83,0	24,23	n.s.	s.
pH-Wert	0-10	6,7	0,12	6,7	0,14	n.s.	n.s.
	10-25	6,6	0,26	6,6	0,24	n.s.	n.s.
	25-50	6,3	0,29	6,3	0,28	n.s.	s.

Tabelle 11: Übersicht Mittelwerte der AGES-Bodenanalyse erhoben am 30.03.2017.

C_{org} = organisch gebundener Kohlenstoff, C/N-Verhältnis = Kohlenstoff-Stickstoffverhältnis. MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, Var. = fester Faktor Variante, Bl. = Zufallsfaktor Block, s.=signifikant, n.s. = nicht signifikant. Signifikanzniveau = 0,05.

Bodenparameter	Bodentiefe [cm]	30.03.2017					
		A		B		Faktor:	
		MW	SD	MW	SD	Var.	Bl.
Humus [%]	0-10	2,7	0,25	2,7	0,00	n.s.	n.s.
	10-25	1,9	0,24	2,0	0,18	n.s.	n.s.
	25-50	0,5	0,05	0,5	0,05	n.s.	n.s.
Humus [t/ha]	0-10	35,9	2,44	37,6	1,44	n.s.	n.s.
	10-25	41,5	5,34	45,0	2,75	n.s.	n.s.
	25-50	18,9	2,59	19,2	2,33	n.s.	n.s.
Corg [%]	0-10	1,6	0,13	1,6	0,01	n.s.	n.s.
	10-25	1,1	0,15	1,2	0,09	n.s.	n.s.
	25-50	0,3	0,03	0,3	0,01	n.s.	n.s.
Corg [t/ha]	0-10	20,8	1,28	21,9	1,04	n.s.	n.s.
	10-25	23,8	3,21	26,1	1,21	n.s.	n.s.
	25-50	11,3	1,40	11,0	0,73	n.s.	n.s.
Stickstoff gesamt [%]	0-10	0,16	0,00	0,16	0,01	n.s.	n.s.
	10-25	0,11	0,01	0,12	0,01	n.s.	n.s.
	25-50	0,04	0,00	0,04	0,00	n.s.	n.s.
N gesamt [kg/ha]	0-10	2072	123	2172	202	n.s.	n.s.
	10-25	2340	317	2622	160	n.s.	n.s.
	25-50	1393	128	1464	68	n.s.	n.s.
C/N	0-10	10,1:1	0,56	10,1:1	0,49	n.s.	n.s.
	10-25	10,2:1	0,98	9,9:1	0,30	n.s.	n.s.
	25-50	8,1:1	0,35	7,6:1	0,83	n.s.	n.s.

5.2.4. Mineralisierter Stickstoff im Boden (N_{min})

Zum Probenahmetermin im März 2017 wurden andere Bodentiefen wie beim November- und Julitermin untersucht. Dies hatte damit zu tun, dass die Bedingungen am 25.11.2016 (Kälte) und Juli (Trockenheit) ein tieferes Eindringen in den Boden nicht zuließen, wie weiter oben bereits erwähnt. In Tabelle 13 wurden die N_{min}-Gehalte vom 30.03.2017 von 0 - 50 cm Bodentiefe berechnet, um zu den anderen beiden Terminen

vergleichbare Werte zu erhalten. Außerdem wurden vom 25.11.2016 und vom 30.03.2017 die ersten beiden Tiefen addiert (0 - 10 und 10 - 25 cm) um einen vergleichbaren Wert zur ersten Tiefe (0 - 25 cm) vom 30.03.2017 zu veranschaulichen.

Es gab am 25.11.2016 in allen drei Bodentiefen zwischen den Varianten keine signifikanten Unterschiede. Die Bodentiefe 10 - 25 cm wies bei den N_{\min} -Gehalten am 25.11.2016 einen signifikanten Unterschied zwischen den Blöcken ($p = 0,025$) auf, in der Bodentiefe 0 - 10 cm gab es eine Annäherung zu einer Signifikanz dazu ($p = 0,057$). Die höheren Gehalte finden sich eher bei den Parzellen 1 - 4 (Tabelle 12).

Tabelle 12: N_{\min} -Gehalte [kg ha^{-1}] vom 25.11.2016. MW = Mittelwert, Zahlen in Klammern = Standardabweichung.

Parzelle	Variante	Block	0-10 cm	10-25 cm
1	1	1	21,5	55,6
2	2	1	21,3	57,0
3	1	2	20,4	44,8
4	2	2	17,3	46,2
5	2	3	12,6	44,3
6	1	3	8,6	32,4
7	2	4	11,8	36,8
8	1	4	14,9	31,3
MW	A		16,4 (5,9)	41,0 (11,5)
	B		15,7 (4,4)	46,1 (8,4)

Insgesamt waren die N_{\min} -Gesamtgehalte in 0 - 50 cm Tiefe am 25.11.2016 für Variante A bei $81,8 \text{ kg ha}^{-1}$ und für Variante B bei $89,9 \text{ kg ha}^{-1}$, was in beiden Fällen eine gute Stickstoffversorgung für den Dinkelbestand bedeutet, da Dinkel laut Empfehlung 90 kg N ha^{-1} benötigt (Baumgarten, 2017, p. 39).

Es konnten am 30.03.2017 und 13.07.2017 keine signifikanten Unterschiede der N_{\min} -Gehalte zwischen den Varianten bei allen drei Bodentiefen festgestellt werden. Am 30.03.2017 waren die gesamten N_{\min} -Gehalte aus vergleichbarer Beprobungstiefe (0 - 50 cm) mit $69,6$ (A-Variante) und $69,9 \text{ kg N}_{\min} \text{ ha}^{-1}$ (B-Variante) niedriger als am 25.11.2016. In 25 - 50 cm Tiefe waren die Werte jedoch am 30.03.2017, vor allem bei

Variante A leicht höher als am 25.11.2016. Möglicherweise fand durch Auswaschung eine Verlagerung von den oberen in die unteren Bodenschichten statt. Die N_{\min} -Gehalte bis zur Bodentiefe von 0-90 cm betragen am 30.03.2017 87,4 (A) und 85,5 kg N_{\min} ha⁻¹ (B). Am 13.07.2017 betragen die Gehalte in 0 - 50 cm nur noch 10,4 (A) und 10,6 kg N_{\min} ha⁻¹.

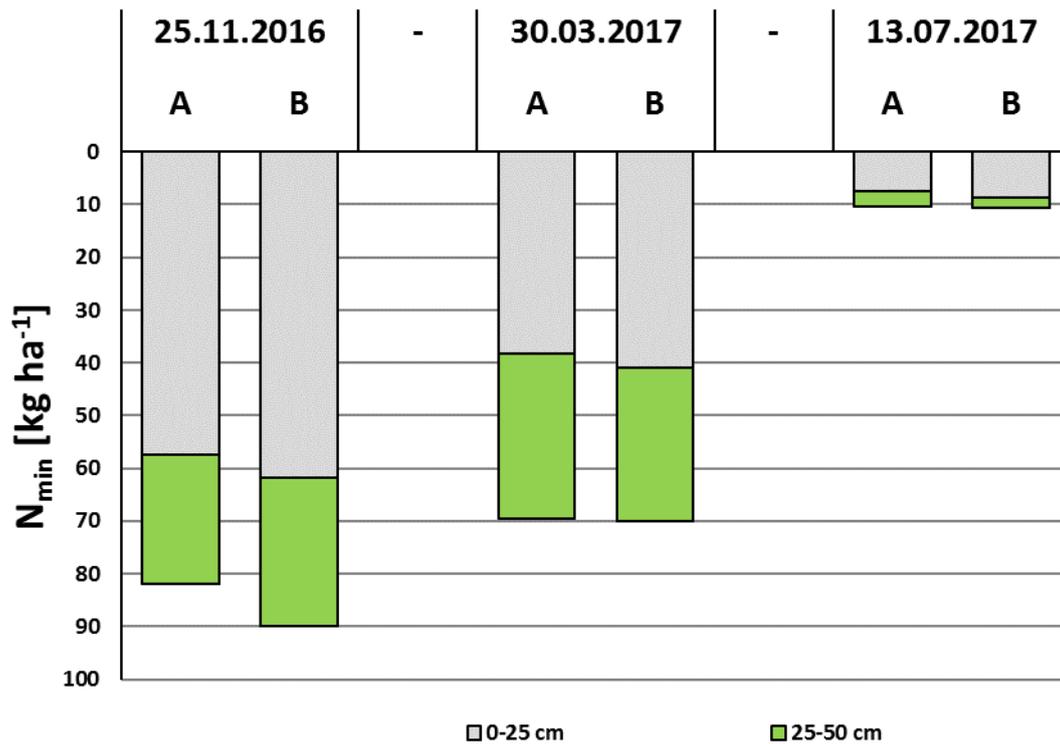


Abbildung 18: Mineralisierter Stickstoff (N_{\min})

Tabelle 13: Mineralisierter Stickstoff [kg N_{min} ha⁻¹]. Abkürzungen: MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, Var. = fester Faktor Variante, Bl. = Zufallsfaktor Block; s.= signifikant, n.s. = nicht signifikant; Signifikanzniveau = 0,05. Am 25.11.2016 und 13.07.2017 wurden Proben aus anderen Bodentiefen gezogen, als am 30.03.2017.

25.11.2016						
Boden- tiefe	A		B		Faktor	
	MW	SD	MW	SD	Var.	Block
0-10 cm	16,4	5,9	15,7	4,4	n.s.	n.s.
10-25 cm	41,0	11,5	46,1	8,4	n.s.	s.
25-50 cm	24,4	6,9	28,1	7,4	n.s.	n.s.
0-25 cm	57,4		61,8			
0-50 cm	81,8		89,9			
30.03.2017						
Boden- tiefe	A		B		Faktor	
	MW	SD	MW	SD	Var.	Block
0-25 cm	38,2	3,2	41,0	5,4	n.s.	n.s.
25-50 cm	31,4	0,8	29,0	3,5	n.s.	n.s.
50-90 cm	17,8	3,3	15,6	5,3	n.s.	n.s.
0-50 cm	69,6		70,0			
0-90 cm	87,4		85,5			
12.07.2017						
Boden- tiefe	A		B		Faktor	
	MW	SD	MW	SD	Var.	Block
0-10 cm	4,0	2,1	4,9	1,0	n.s.	n.s.
10-25 cm	3,6	1,3	3,8	0,7	n.s.	n.s.
25-50 cm	2,8	1,1	1,9	0,4	n.s.	n.s.
0-25 cm	7,6		8,7			
0-50 cm	10,4		10,6			

5.2.5. Stickstoff-Nachlieferungspotential

In den ersten 50 cm Bodentiefe gab es zur Messung am 30.03.2017 ein Stickstoff-Nachlieferungspotential von 156,6 (A) und 164,7 kg N ha⁻¹ (B). Es gab zwischen den Varianten keinen signifikanten Unterschied in allen drei gemessenen Bodentiefen (Tabelle 14).

Tabelle 14: Stickstoff Nachlieferungspotential [kg N_{min pot} ha⁻¹]. MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, n.s. = nicht signifikant, Signifikanzniveau = 0,05.

Bodentiefe	A		B		Faktor:	
	MW	SD	MW	SD	Variante	Block
0-25 cm	143,6	12,1	150,7	27,0	n.s.	n.s.
25-50 cm	13,0	2,9	14,1	3,0	n.s.	n.s.
50-90 cm	4,2	2,5	6,4	3,7	n.s.	n.s.
0-50 cm	156,6	-	164,7	-	-	-

5.2.6. Durchwurzelungsgrad, Bodenstruktur und Bodenfeuchtigkeit

Zwischen den Varianten wurden an beiden Erhebungsterminen (27.10.2016 und 13.06.2017) bei der Durchwurzelung, der Bodenstruktur und der Bodenfeuchtigkeit nur ganz leichte Unterschiede beobachtet (Tabelle 15).

Tabelle 15: Durchwurzelung, Bodenstruktur und Bodenfeuchte, von den Parzellen 5 (Var. B) und 6 (Var. A). Erhebungen wurden visuell von der WPA (Beratende Ingenieure GmbH) gemacht.

Datum	Variante	Bodentiefe in cm	Durchwurzel- ungsgrad	Bodenstruktur	Bodenfeuchte
27.10.2016	A	0 bis 10	mittel	krümelig	leicht feucht
		10 bis 20	mittel-schwach	kohärent	leicht feucht
		20 bis 30	keine	kohärent	trocken
		30 bis 40	keine	kohärent	trocken
		40 bis 50	keine	kohärent	trocken
		50 bis 60	keine	kohärent	trocken
		60 bis 80	keine	kohärent	trocken
	B	0 bis 10	stark	krümelig	feucht
		10 bis 20	stark-mittel	krümelig	feucht
		20 bis 30	schwach	krümelig	leicht feucht
		30 bis 40	keine	kohärent	trocken
		40 bis 50	keine	kohärent	trocken
		50 bis 60	keine	kohärent	trocken
		60 bis 80	keine	kohärent	trocken
13.06.2017	A	0 bis 10	mittel	krümelig	leicht feucht
		10 bis 20	mittel	krümelig	leicht feucht
		20 bis 30	schwach	krümelig	trocken
		30 bis 40	schwach-keine	krümelig	trocken
		40 bis 50	keine	krümelig	trocken
	B	0 bis 10	mittel	krümelig	trocken
		10 bis 20	mittel-schwach	krümelig	trocken
		20 bis 30	schwach-keine	krümelig	trocken
		30 bis 40	schwach-keine	krümelig	trocken
		40 bis 50	keine	krümelig	trocken
		50 bis 55	keine	krümelig	trocken

5.2.7. Versickerung im Boden

Bei der Oktobermessung (27.10.2016) versickerte das Wasser bei Variante B besser als bei Variante A. In den ersten Minuten ist die Versickerung bei Variante B in etwa fünf Mal so hoch wie bei Variante A (2880,00 cm d⁻¹ bei Messminute 1 im Vergleich zu 534,86 cm d⁻¹ bei Messminute 5). Die k_f -Werte der Variante B sind ab Messminute 5 zu verschiedenen Messzeiten durchgehend immer um etwa das Zwei- Dreifache höher als die der A Variante. Die endgültigen k_f -Werte im Oktober der Varianten betragen 14,4 cm d⁻¹ (A) und 432 cm d⁻¹ (B) bei 75 und 50 Messminuten. Die Versickerung der A Variante machte lediglich 3,33 % der B Variante aus, was auf eine Bodenverdichtung hinweisen könnte.

Zur Messung im Juni (13.06.2017) waren die k_f -Werte der A-Variante anfangs besser (zwischen 5. und 10. Messminute), danach fallen die Werte meistens unter die der B-Variante. Die endgültigen k_f -Werte im Juni liegen bei 144 cm d⁻¹ (A) und 230,4 cm d⁻¹ (B) bei 75 und 50 Messminuten. Im Verhältnis hatte die A Variante also einen k_f -Wert, der 62,5 % der Variante B ausmachte, was ein bedeutend höherer Wert im Vergleich zum November ist (Abbildung 19 und Tabelle 16).

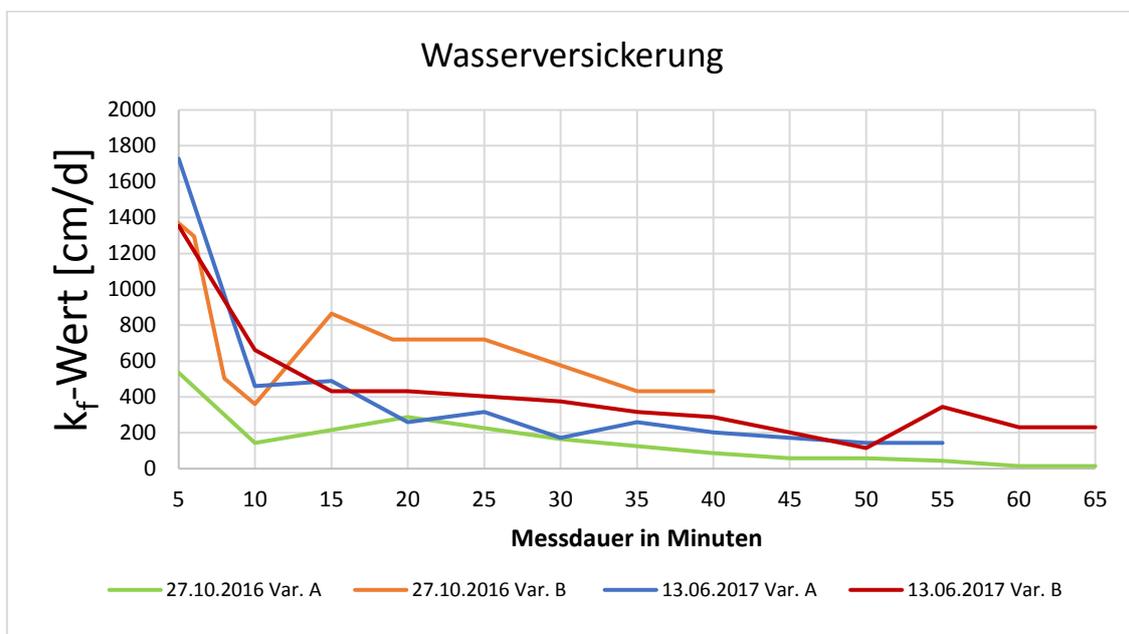


Abbildung 19: Wasserversickerung [cm d⁻¹], gemessen zu 2 Terminen (27.10.2016 und 13.06.2017).

Tabelle 16: k_f -Werte von den Parzellen 5 (Var. B) und 6 (Var. A). Daten stammen von der WPA.

	27.10.2016		13.06.2017	
	A	B	A	B
Messdauer	60 min	35 min	50 min	60 min
k_f -Wert [m/s]	0,0000017	0,00005	0,0000167	0,0000267
k_f -Wert [cm/d]	14	432	144	230

5.2.8. Eindringwiderstand

Am 27.10.2016 war der Eindringwiderstand bis 10 cm Bodentiefe bei beiden Varianten in etwa gleich (0,5 MPa). Ab zirka 10 cm war der Widerstand bei Variante A mit ungefähr 1,5 MPa deutlich höher. In 20 cm Tiefe endete die Messung, da ein weiteres Eindringen des Messgerätes nicht mehr möglich war (bei 20 cm wurden mehr als 2,5 MPa gemessen). Bei Variante B überschritt der Eindringwiderstand erst bei 20 cm 2 MPa und sank in 25 cm Tiefe dann wieder auf 1,5 MPa ab (siehe Abbildung 20). Die kalten und feuchten Bodenbedingungen erschwerten ein Eindringen in den Boden.

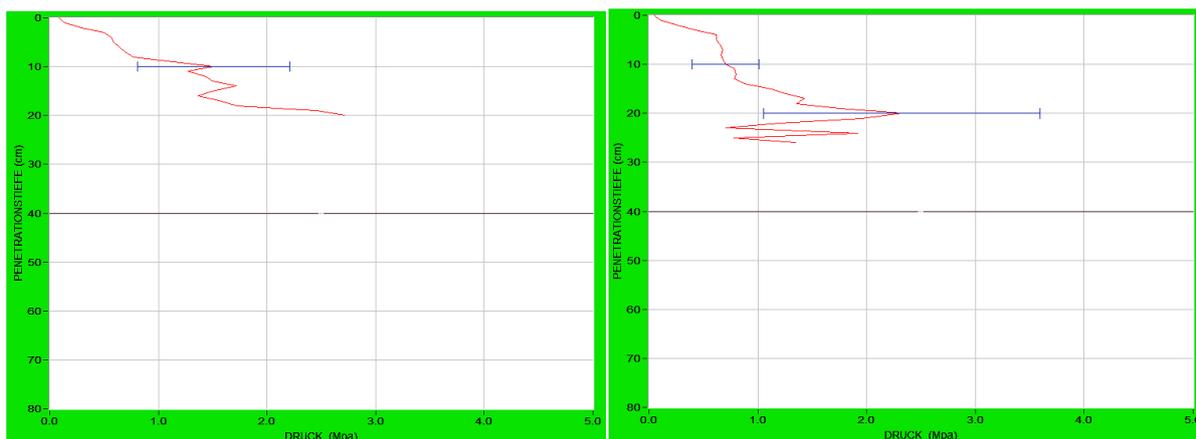


Abbildung 20: Eindringwiderstand [MPa] in der Var. A (links) und B (rechts), 27.10.2016

Bei der Messung am 13.06.2017 war der Eindringwiderstand in den ersten 10 cm bei beiden Varianten bei ca. 0,5 MPa und stieg dann bis knapp unter 3 MPa an. Unterhalb von 10 cm Bodentiefe stieg der Eindringwiderstand über 3 MPa an. Es gelang auch bei beiden Varianten lediglich bis zu 20 cm vorzudringen, wobei bei Variante A der ausgeübte Druck sich in 15 cm bei 2 MPa annähert, sowie bei 3,5 MPa in 20 cm Tiefe sein Maximum findet. In der Variante B blieb der Eindringwiderstand bis 20 cm im Bereich von 3 MPa (Abbildung 21). Im Vergleich zum Oktober war insgesamt mehr Druck notwendig, um in den Boden eindringen zu können. In Variante B konnte man im Juni weniger tief eindringen.

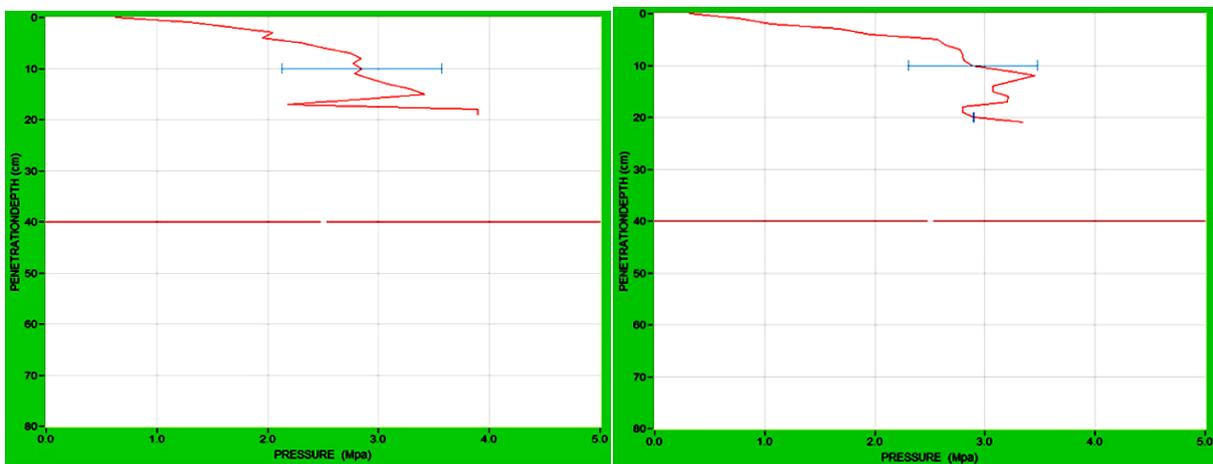


Abbildung 21: Eindringwiderstand [MPa] in der Var. A (links) und B (rechts), 13.06.2017

5.2.9. Gravimetrischer Wassergehalt im Boden

Der Wassergehalt im Boden ist zwischen den Varianten nahezu gleich. Dies gilt für alle drei Erhebungstermine (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17: Gravimetrischer Wassergehalt im Boden [%]. MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung

Datum	Bodentiefe [cm]	Variante A		Variante B	
		MW [%]	SD	MW [%]	SD
25.11.2016	0-10	23	0,63	22	1,26
	10-25	16	0,78	16	0,85
	25-50	11	0,81	11	0,35
30.03.2017	0-25	16	0,63	17	0,96
	25-50	13	0,31	13	0,43
	50-90	13	2,11	13	0,30
13.07.2017	0-10	6	1,09	7	0,06
	10-25	4	0,37	4	0,29
	25-50	5	0,90	4	0,68

5.3. Entwicklung der Feldvegetation

5.3.1. Dinkeldeckungsgrad

Es wurden beim Dinkeldeckungsgrad an allen sechs Erhebungsterminen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten festgestellt.

Die erste Erhebung der Dinkel-Bodenbedeckung wurde Mitte April zum Bestockungsstadium (BBCH 22) des Dinkels gemacht. Zu diesem Zeitpunkt lag, der Deckungsgrad lag bei 40 % (A) und 39 % (B). Bei der Untersuchung am 27. April 2017 (BBCH 28) war der Deckungsgrad bei der Variante A mit 42 % etwas niedriger, als bei Variante B mit 46 %. Bei diesem Erhebungstermin wurden Auswinterungsschäden festgestellt, die ca. 10 % der Dinkelblätter betroffen haben. Dieses Phänomen war allerdings bei der nächsten Erhebung am 15.05.2017 zum Schossen (BBCH 32) nicht mehr zu erkennen.

Der Dinkeldeckungsgrad war bei Variante B ab dem 2. Erhebungstermin (27.04.2017) immer etwas höher als bei Variante A. Der größte Abstand zwischen den Varianten am 13.06.2017, mit 55 % (A) und 66 % (B). Die Variante A holte allerdings zum letzten Erhebungstermin (Ernte, BBCH 88), am 12.07.2017 mit 60 % (A) zu 66 % (B). wieder etwas auf.

5.3.2. Beikrautdeckungsgrad

Sowohl beim Beikrautdeckungsgrad [%] als auch beim Aufkommen der Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*) [Sprosse m²] wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen der Variante A und B festgestellt.

Das Beikraut setzte sich neben der Ackerkratzdistel aus Kamille (*Matricaria chamomilla*), Kornblume (*Centaurea cyanus*), Persischer Ehrenpreis (*Veronica persica*), Vogelmiere (*Stellaria media*), Purpur-Taubnessel (*Lamium purpureum*), Ackerstiefmütterchen (*Viola arvensis*), Hirtentäschel (*Capsella bursa-pastoris*) und Löwenzahn (*Taraxacum officinale*) zusammen.

Am Beginn der Erhebung lagen beide Varianten bei ungefähr gleichem Deckungsgrad, allerdings war die B Variante in den fortlaufenden Beobachtungen auf tendenziell niedrigerem Niveau als die A Variante.

In Abbildung 22 ist zu sehen, dass die Beikrautdeckung zunächst zunahm, bei beiden Varianten bei einem Niveau von etwa 20 % stehen blieb und danach bis zur Dinkelernte (12.07.2017) wieder abfiel, obwohl keine mechanische Beikrautregulierung stattfand.

Bis 13.06.2017 (Variante A) beziehungsweise 25.05.2017 (Variante B) stieg der Beikrautdeckungsgrad zum jeweiligen Höchststand mit 23 % und 22 % an. Bis zur Ernte ging das Niveau wieder auf 13 % (A) und 8 % (B) zurück (12.07.2017), dieser Unterschied war der Signifikanzgrenze sehr nahe ($p = 0,05$).

5.3.3. Aufkommen von Ackerkratzdisteln (*Cirsium arvense*)

Am 30.03.2017 waren noch keine Ackerkratzdisteln sichtbar. Eine Woche später (06.04.2017) war allerdings das Aufkommen der ersten Sprösslinge mit bis zu 5 cm langen Blättern (teilweise sogar 9 cm) klar zu erkennen. Das Niveau des Sprossaufkommens während der Beobachtungsphase von Variante A blieb immer etwas über dem von Variante B. Beim letzten Erhebungstermin war der höhere Distelbesatz von Variante A beinahe signifikant ($p = 0,051$) (Tabelle 18).



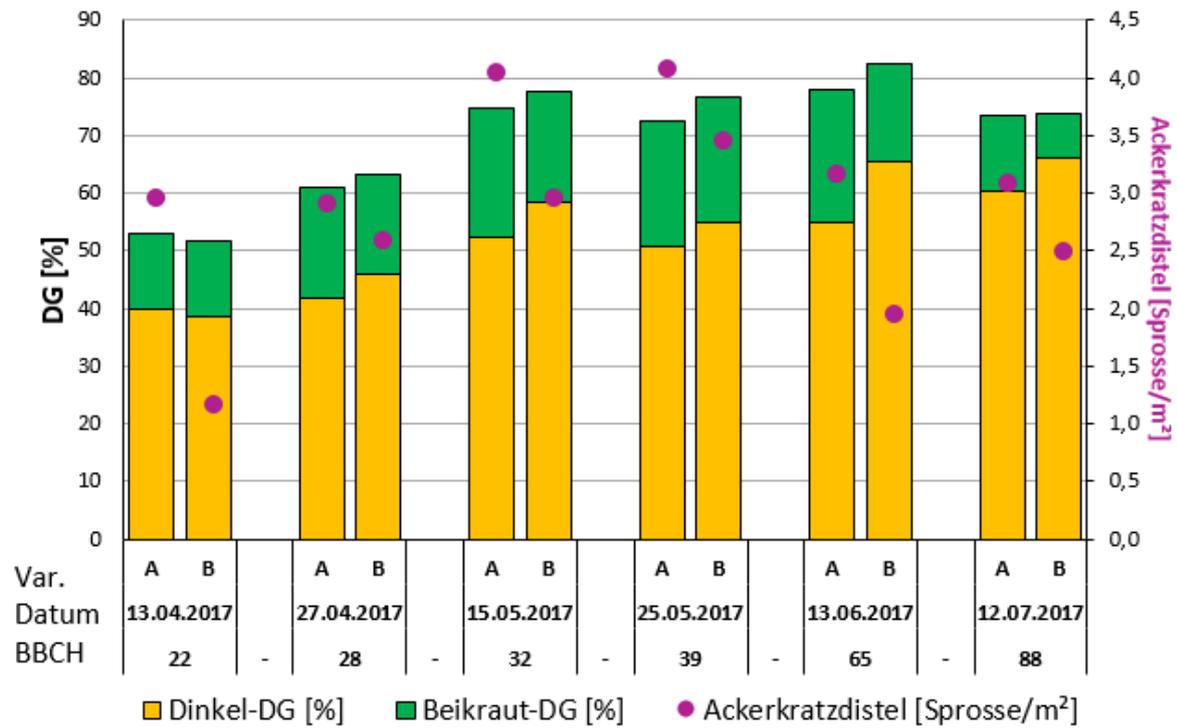


Abbildung 22: Dinkel- und Beikrautdeckungsgrad [%], sowie Aufkommen der Ackerkratzdistel aus den Felderhebungen 2017. BBCH-Stadien beziehen sich auf den Dinkel.

Tabelle 18: Entwicklung des Dinkel- und Beikrautdeckungsgrades und Auftreten der Ackerkratzdistel (*Cirsium a.*). BBCH-Stadien beziehen sich auf den Dinkel. MW = Mittelwert; Var. = fester Faktor Variante; n.s. = nicht signifikant; Signifikanzniveau = 0,05.

Erhebungszeitpunkt	BBCH-Stadium Dinkel	Dinkeldeckungsgrad [%]					
		A		B		Faktor	
		MW	SD	MW	SD	Var.	Block
13.04.2017	22	40	2,4	39	3,4	n.s.	n.s.
27.04.2017	28	42	2,3	46	5,0	n.s.	n.s.
15.05.2017	32	53	4,8	58	7,8	n.s.	n.s.
25.05.2017	39	51	2,9	55	3,0	n.s.	n.s.
13.06.2017	65	55	6,2	65	7,3	n.s.	n.s.
12.07.2017	88	60	4,4	66	9,3	n.s.	n.s.
Erhebungszeitpunkt	BBCH-Stadium Dinkel	Beikrautdeckungsgrad [%]					
		A		B		Faktor	
		MW	SD	MW	SD	Var.	Block
13.04.2017	22	13	2,5	13	3,7	n.s.	n.s.
27.04.2017	28	19	1,0	18	3,5	n.s.	n.s.
15.05.2017	32	22	5,3	19	2,9	n.s.	n.s.
25.05.2017	39	22	3,0	22	6,1	n.s.	n.s.
13.06.2017	65	23	4,2	17	5,7	n.s.	n.s.
12.07.2017	88	13	2,5	8	3,9	n.s.	n.s.
Erhebungszeitpunkt	BBCH-Stadium Dinkel	Cirsium a. Sprosse pro m ²					
		A		B		Faktor	
		MW	SD	MW	SD	Var.	Block
13.04.2017	22	3,0	1,7	1,2	0,1	n.s.	n.s.
27.04.2017	28	3,0	1,1	2,6	1,6	n.s.	n.s.
15.05.2017	32	4,1	1,5	3,0	1,7	n.s.	n.s.
25.05.2017	39	4,1	1,4	3,5	1,0	n.s.	n.s.
13.06.2017	65	3,2	1,6	2,0	0,6	n.s.	n.s.
12.07.2017	88	3,1	1,4	2,5	0,9	n.s.	n.s.

Legende:

Dinkel-BBCH Stadium	
BBCH 22	Bestockung (Spross + 1 Nebentrieb)
BBCH 28	Bestockung (8. Nebentrieb)
BBCH 32	Schossen (2.Knoten sichtbar)
BBCH 39	Schossen (Ligula Fahnenblatt gerade sichtbar)
BBCH 65	Vollblüte
BBCH 88	Gelbreife

5.3.4. Beikrautrockenmasse

Die Beikrautrockenmasse (100 % TM) betrug bei der Dinkelernte (12.07.2017) bei Variante A 6,6 dt TM ha⁻¹ und bei Variante B 5,4 dt TM ha⁻¹. Es gab zwischen den Varianten keine signifikanten Unterschiede (Abbildung 23).

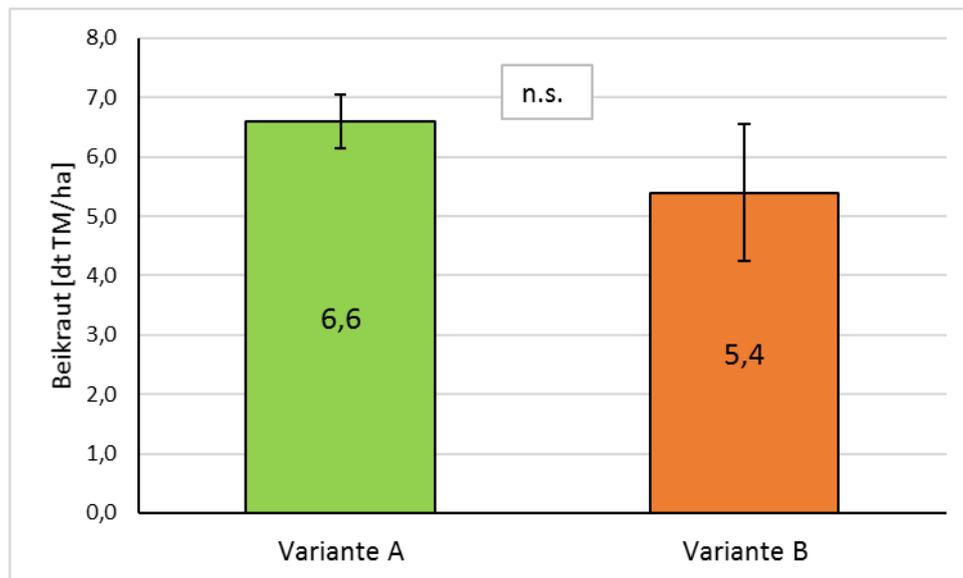


Abbildung 23: Beikrautrockenmasse (dt ha⁻¹) zum Dinkelerntetermin (12.07.2017).
Abkürzungen: n.s. = nicht signifikant; Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$. Fehlerbalken = Standardabweichung.

5.4. Ertragsparameter

Bei den Ertragsparametern wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Varianten festgestellt. Beim Kohlenstoffgehalt in Korn und Stroh [%] gab es signifikante Unterschiede zwischen den Blöcken ($p = 0,036$ und $p = 0,025$), wobei auf Parzelle 1 der Kohlenstoffgehalt im Korn am höchsten und auf Parzelle 7 am niedrigsten war. Auf Parzelle 3 gab es den höchsten, auf Parzelle 2 den niedrigsten Strohkohlenstoffgehalt (Tabelle 19).

Tabelle 19: Erhobene Werte einzelner Parzellen des Korn- und Strohkohlenstoffgehaltes [%]. Grün = höchster Wert; Rot = niedrigster Wert; Zahlen in Klammern = Standardabweichung. MW = Mittelwert; n.s. = nicht signifikant; s. = signifikant. Signifikanzniveau = 0,05.

Parz.	Variante	Block	Korn C [%]	Stroh C [%]
1	A	1	43,8	46,6
2	B	1	43,3	46,5
3	A	2	42,9	47,2
4	B	2	42,9	46,9
5	B	3	43,1	46,9
6	A	3	43,1	46,9
7	B	4	42,6	46,8
8	A	4	42,7	46,8
MW	A		43,1 (0,44)	46,9 (0,25)
	B		43,0 (0,30)	46,8 (0,19)
Faktor	Variante		n.s.	n.s.
	Block		s.	s.

Der entspelzte Dinkelkornenertrag belief sich auf 17,2 dt TM ha⁻¹ (A) und 18,3 dt TM ha⁻¹ (B), der Kornenertrag im Spelz auf 29,8 dt TM ha⁻¹ (A) und 33 dt TM ha⁻¹ (B). Der Kornanteil beträgt somit 58 % (A) und 55 % (B).

Das C/N-Verhältnis im Korn lag bei 16,5:1 (A) und 16,6:1 (B), der Korn-Stickstoffgehalt bei 2,6 % (A und B) und der Korn-Proteingehalt bei 14,9 % (A) und 14,8 % (B). Beim Kornstickstoffgehalt und beim Korn-Proteingehalt gab eine Annäherung zu einem Unterschied zwischen den Blöcken ($p = 0,071$ und $p = 0,068$).

Der Strohertrag betrug 65,7 dt TM ha⁻¹ (A) und 65,9 dt TM ha⁻¹ bei einem C/N-Verhältnis von 120,6:1 (A) und 113:1 (B). Siehe dazu Abbildung 24 und Tabelle 20.

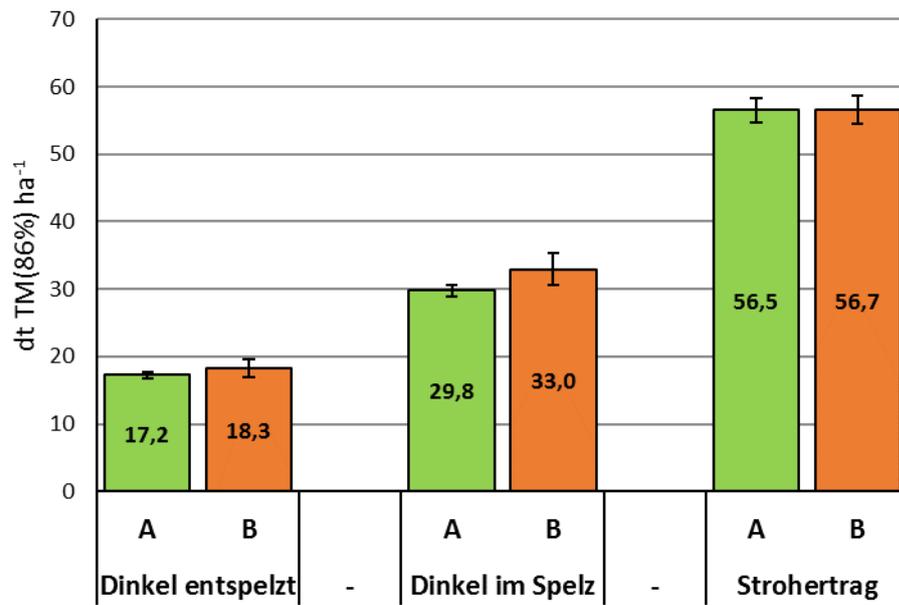


Abbildung 24: Trockenmasseerträge von Dinkel und Stroh. Fehlerbalken = Standardabweichung.

Tabelle 20: Dinkelertragsdaten. N = Stickstoff; C = Kohlenstoff; MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung; Var. = fester Faktor Variante, Block = Zufallsfaktor; s. = signifikant; n.s. = nicht signifikant; Signifikanzniveau = 0,05.

Ertragsparameter	A		B		Faktor:	
	MW	SD	MW	SD	Var.	Block
Korn entspelzt [dt 86 % TM/ha]	17,2	1,0	18,3	2,6	n.s.	n.s.
Korn im Spelz [dt 86 % TM/ha]	29,8	1,7	33,0	4,6	n.s.	n.s.
Korn N [%]	2,6	0,1	2,6	0,1	n.s.	n.s.
Korn C [%]	43,1	0,4	43,0	0,3	n.s.	s.
Korn C/N-Verhältnis	16,5:1	0,5	16,6:1	0,3	n.s.	n.s.
Korn Protein [%]	14,9	0,6	14,8	0,4	n.s.	n.s.
Stroh [dt TM/ha]	65,7	4,3	65,9	4,8	n.s.	n.s.
Stroh N [%]	0,4	0,1	0,4	0,0	n.s.	n.s.
Stroh C [%]	46,9	0,3	46,8	0,2	n.s.	s.
Stroh C/N-Verhältnis	121:1	17,2	113:1	9,7	n.s.	n.s.
Korn/Stroh-Verhältnis	0,26:1	-	0,28:1	-	n.s.	n.s.
Ährentragende Halme pro m ²	261	42,1	254	31,0	n.s.	n.s.
Dinkelbestandeshöhe zur Ernte [cm]	94	2,2	95	3,0	n.s.	n.s.
BBCH-Reifestadium zur Ernte	88	0,6	87	0,5	n.s.	n.s.

6. Diskussion

6.1. Bodeneigenschaften

Es gab bei den untersuchten Boden-Parametern Lagerungsdichte, pH-Wert, Humusgehalt, C_{org} , N_{gesamt} , C/N-Verhältnis, N_{min} , N-Nachlieferungspotential, sowie bei pflanzenverfügbarem Phosphor- und Kaliumgehalt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten A und B.

Auffällig ist, dass bei der Erhebung vom 25.11.2016 beim N_{min} -, Kalium-, Phosphor-, C_{org} - und Humusgehalten, sowie dem pH-Wert vor allem in der Tiefe 10 - 25 cm signifikante Unterschiede zwischen den Blöcken auftraten, wobei die Gehalte auf den Parzellen 1 - 4 eher höher waren. Dies könnte durch einen in den Vorjahren im Bereich von Parzelle 1 gelagerten Rindermist erklärbar sein. Dass hier Mist gelagert wurde, war zum Zeitpunkt des Versuchsbeginnes noch nicht bekannt, da sonst die Parzellen anders angelegt worden wären. Diese Unterschiede konnten allerdings bei der Erhebung am 30.03.2017 nicht mehr beobachtet werden. Die im Frühjahr einsetzende Vegetation könnte bereits Nährstoffe aus dem Boden gezogen haben und dadurch die Niveaus der einzelnen Parzellen wieder angeglichen haben, wobei im Dinkelbestand zu diesem Zeitpunkt keine Wachstumsunterschiede festgestellt werden konnten.

N_{min} in 0 - 50 cm wurde relativ gut während des Winters im Boden gespeichert, was wahrscheinlich an der kalten Witterung dieser Jahreszeit lag. Dabei wurde der N_{min} in 0 - 50 cm Tiefe mit 85,1% bei der A Variante im Herbst-Frühjahrsvergleich etwas besser gespeichert als bei Variante B mit 77,8%. Mit 66,5% (A) und 66,3% (B) verbliebenen mineralisierten Stickstoff im Herbst-Frühjahrsvergleich in der Tiefe 0-25 cm, sind die Gehalte verglichen mit der Tiefe 0 - 50 cm auffallend niedriger. Eine mögliche Begründung dafür wäre der einsetzende Entzug durch die Vegetation und den Dinkel (BBCH 22) in den oberen Bodenhorizonten.

Die N_{min} -Gehalte in 0 - 25 cm Tiefe von beiden Varianten waren einige Wochen nach der Dinkelsaat (25.11.2016) mit 57,4 kg ha⁻¹ (A) und 61,8 kg ha⁻¹ (B) auf höherem Niveau, als jene bei einer vergleichbaren Messung aus einem anderen Stoppelhobelversuch mit 18,5 kg N_{min} ha⁻¹ in 0 - 30 cm Tiefe (Gronle & Böhm, 2011, p. 71).

Der Boden war am 27.10.2016 in 0 - 30 cm nach visueller Beurteilung bei der Variante B etwas besser durchwurzelt, krümeliger und feuchter. Am 13.06.2017 reichte die Durchwurzelung bei beiden Varianten bis 40 cm Tiefe, die Bodenstruktur war durchwegs bis unter die Krume krümelig. Bei Variante A war der Boden bis 20 cm Bodentiefe leicht feucht, bei B jedoch durchgehend trocken. Variante A konnte in den oberen Schichten trotz der sehr trockenen Bedingungen das Wasser besser speichern. Allerdings zeigte der gravimetrische Wassergehalt im Boden (25.11.2016, 30.03.2017 und 13.07.2017) gar keine Unterschiede zwischen den Varianten. Trotz der bis 10 cm tieferen Bodenbearbeitung durch Variante B, konnte kein eindeutiges Unterscheidungsmuster erkannt werden.

Obwohl durch Variante B eine tiefere Lockerung erfolgte, ergab sich auch im Unterboden kein Unterschied in der Lagerungsdichte zwischen den Varianten. Die Lagerungsdichte wird mit zunehmender Bodentiefe höher. Dies zeigten auch andere Versuche mit reduzierter Bodenbearbeitung, während die Arbeit mit dem Pflug auf voller Krumentiefe keine ausgeprägte Tiefendifferenzierung ergab (Brock, Leithold, & Krawutschke, 2009, p. 46).

Die Wasserversickerung ist allerdings bei allen 2 Messterminen bei Variante B höher. Zum 25.11.2016 betrug die Versickerung der Variante A nur einen Bruchteil derer von der Variante B. Hier könnte sich die tiefere Lockerung des Grubbers mit 25 cm ausgewirkt haben. Am 13.06.2017 war die Versickerung zwar bei Variante B wieder deutlich höher, jedoch verbesserten sich die Werte auch bei Variante A wahrnehmbar. Die Werte von B verschlechterten sich, die von A verbesserten sich am 13.06.2017 im Vergleich zum 27.10.2016.

In Tabelle 21 sind durchschnittliche k_f -Werte für die erhobenen Lagerungsdichten und Bodenarten der beiden Varianten aufgelistet. Diese Werte können laut Literatur für gegebene Bodenverhältnisse erwartet werden, berücksichtigen jedoch nicht die Veränderungen durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen. Dies könnte auch eine Ursache dafür sein, dass sich die erhobenen k_f -Werte erheblich von den theoretisch angenommenen unterscheiden.

Die schlechtere Infiltration bei B könnte sich durch den trockeneren und härteren Zustand des Bodens bei der Erhebung erklären. Die verbesserte Infiltration bei A könnte an den leicht feuchteren Bedingungen in den oberen Schichten gelegen haben, sowie an einer möglicherweise besseren Bodengare.

Tabelle 21: Im Versuchsfeld erhobene k_f -Werte, verglichen mit theoretisch angenommenen k_f -Werten verschiedener Bodentiefen (Renger et al., 2008) mit dazu passender Bodenart nach Definition 2 aus Tabelle 6. Erhobene k_f -Werte können dabei keinen einzelnen Bodentiefen zugeordnet werden.

Bodentiefe [cm]	Variante A				Variante B			
	Bodenart	k_f Werte [cm d^{-1}]			Bodenart	k_f Werte [cm d^{-1}]		
		theoretische Werte	erhobene Werte			theoretische Werte	erhobene Werte	
			27.10.2016	13.06.2017			27.10.2016	13.06.2017
0-10	schluffiger Sand (Su4)	85	14	432	schluffiger Sand (Su4)	85	144	230
10-25	schluffiger Sand (Su4)	85			schluffiger Sand (Su4)	85		
25-50	lehmgiger Sand (Sl4)	50			lehmgiger Sand (Sl3)	70		

Beim Eindringwiderstand am 27.10.2016 unterschieden sich die beiden Varianten in 0 - 10 cm Tiefe kaum voneinander. Erst ab 10 cm zeigte sich, dass der Widerstand bei A höher wurde und die Messung bei 20 cm zum Erliegen kam (2,5 MPa). Bei Variante B gab es erhöhten Eindringwiderstand ab 20 cm (2 MPa), darunter fiel er aber wieder ab (1,5 MPa). Dies weist auf Verdichtungen der Variante A in schon seichten Tiefen wie bei B hin, wobei bei B der Boden unterhalb der Verdichtung wieder lockerer wurde. Dies könnte durch die tiefe Lockerung der Grubberarbeit (15 und 25 cm), sowie durch einen Verdichtungseffekt mit dem tief geführten Stoppelhobel (16 cm) als dritten Arbeitsgang bei Variante B erklärbar sein. Bei Variante A könnte, trotz seichter Führung, der Stoppelhobel den Boden verdichtet haben.

Untersuchungen durch Schmidt (2010, p. 12f Anhang) von Flächen die mit dem Stoppelhobel bearbeitet wurden zeigten in Tiefen von 0 - 20 cm ähnliche Eindringwiderstände. Allerdings war es möglich, bei konstantem Widerstand tiefer in

den Boden einzudringen. Es wurden laut Beschreibung keine Verdichtungen festgestellt.

Die Verdichtungen auf der Versuchsfläche könnten außerdem durch eine geologische Komponente zumindest mitverursacht worden sein, da es am Versuchsstandort in der Vergangenheit zu Erosionen und Abschwemmungen gekommen sein soll.

Am 13.06.2017 war der Eindringwiderstand wesentlich höher als am 27.10.2016, jedoch zwischen den Varianten sehr ähnlich. Ab 10 cm Tiefe stieg er sehr rasant an, und bei 20 cm war ein tieferes Eindringen nicht mehr möglich. Zum einen könnte es sein, dass durch die sehr trockenen Bedingungen der Unterschied zwischen den Varianten verfälscht wurde. Zum anderen könnten sich die Bodenbedingungen bei Variante A gegenüber B auch durch die biologische Garebildung verbessert haben. Dieser Schluss wird auch durch die oben genannten verbesserten Krümelungs- und Feuchtigkeitseigenschaften untermauert.

Hypothese 1: „Durch eine flache Bodenbearbeitung mit dem Stoppelhobel ändern sich ausgewählte Bodeneigenschaften wie die Stickstoffmineralisierung und die Lagerungsdichte im Vergleich zu tiefer Bodenbearbeitung mit dem Grubber und dem Stoppelhobel nicht.“

Bei der Durchwurzelung, Bodenstruktur- und feuchte wurden nur geringfügige Unterschiede zwischen den Varianten beobachtet. Die Wasserversickerung im Herbst (27.10.2016) war bei Variante A wesentlich schlechter als bei Variante B, allerdings näherten sich die Varianten bei der Sommermessung diesbezüglich einander an. Auch beim Eindringwiderstand im Herbst zeigten sich Unterschiede zum Nachteil der Variante A, die im Sommer nicht mehr beobachtet wurden. Bei allen anderen Bodenparametern konnten keine Unterschiede festgestellt werden. Allerdings sind Veränderungen im Boden im 1. Versuchsjahr weniger erwartbar, da Unterschiede im Boden erst mittel- und langfristig sichtbar werden.

Die Hypothese H1 wird somit angenommen.

6.2. Entwicklung des Dinkel- und Beikrautbestands

Die Variante B hatte beim Dinkeldeckungsgrad einen Vorsprung, der jedoch nicht signifikant war. Die tiefere Lockerung bei Variante B könnte für den Dinkel leicht bessere Wachstumsbedingungen ermöglicht haben wie z.B. eine höhere N-Mineralisierung, eine schnellere Bodenerwärmung und eine bessere Durchwurzelbarkeit. Jedoch konnten keine großen Unterschiede bezüglich der Durchwurzelung festgestellt werden.

Der Dinkeldeckungsgrad aus Versuchen in Lambach (Tabelle 22) war zum Ende der Bestockung und zum Beginn des Schossens (BBCH 22) mit 68 und 76 % wesentlich weiterentwickelter als die beiden Varianten in Rappolz (42 und 46% bei A, 53 und 58% bei B). Da im März und April 2017 im Vergleich zum langjährigen Mittel ausreichend und überdurchschnittlich Niederschlag vorhanden war, kann der Unterschied nicht durch Wassermangel erklärt werden. Möglicherweise liegt die Ursache im wärmeren Klima in der Region um Lambach mit 9,3 °C (Klimastation Kremsmünster, langjähriges Mittel 1991 - 2010, siehe "HISTALP-Historical Instrumental Climatological Surface Time Series Of The Greater Alpine Region," 2018) gegenüber 8,4 °C in Rappolz (Klimastation Weikertschlag) Da der Winter am Versuchsstandort sehr kalt war, könnte sich der Deckungsgrad des Dinkels verzögert haben. Allerdings darf dieser Unterschied nur mit Vorsicht interpretiert werden, da es erforderlich wäre, dass die verglichenen Deckungsgrade von ein und derselben Person geschätzt werden.

Der Beikrautdeckungsgrad war in der Variante A etwas höher, wenn auch nicht signifikant, als in Variante B. Zu Beginn der Erhebungen nahmen die Deckungsgrade bis in den Mai zu, blieben bis Juni auf einem Niveau und fielen dann wieder ab. Dies ist durch die anhaltende Trockenheit ab Mai erklärbar. Die sinkende Beikrautkonkurrenz im Dinkelbestand könnte auch erklären, dass der Dinkeldeckungsgrad bis kurz vor der Ernte in Variante A, im Vergleich zu Variante B leicht aufholte. Die Beikrautdeckungsgrade vom 13.06.2017 (BBCH 65) sind mit 23 % (A) und 17 % (B) leicht höher als jene in einer Haferkultur (BBCH 41) und einem Erbsen-Hafergemenge (BBCH 51 und 41) nach einer Stoppelhobelbodenbearbeitung in einem Versuch von Gronle & Böhm (2010, p. 18). Es könnte sein, dass der Hafer bzw. das Erbse-Hafergemenge das Beikraut besser unterdrückt als der Dinkel. Es

muss bei diesem Vergleich auch beachtet werden, dass die Erhebungen in einem Abstand von ca. zwei Wochen stattgefunden haben, da Hafer und Erbse Anfang Juni und der Dinkel in Rappolz Mitte Juni erhoben wurde.

Der Beikrautdeckungsgrad mit etwa 5 - 10 % eines Dinkelbestandes, kurz vor der Ernte von einem Feldversuch in Frick (Armengot et al., 2014, p. 343), bei dem unter anderem der Stoppelhobel zum Einsatz kam, ist gut mit jenem aus dem vorliegenden Versuch in Rappolz vergleichbar.

Bezüglich der Abundanz der Ackerkratzdistel (*Cirsium a.*) war Variante B immer unter dem Niveau von Variante A, wenngleich der Unterschied nicht signifikant war. Es kann allerdings unter diesen Versuchsbedingungen nicht mit Sicherheit abgeleitet werden, wie sich die Ackerkratzdisteln ohne den Einsatz des Stoppelhobels entwickelt hätten, da bei Variante B der Stoppelhobel, wenn auch mit tieferer Führung als bei Variante A (17 cm), im 3. Arbeitsgang ebenfalls eingesetzt wurde. Variante B hatte über die beobachtete Vegetationsdauer immer ein etwas niedrigeres Distelaufkommen als Variante A, bei der letzten Erhebung am 12.07.2017 gab es eine Nähe zu einem signifikanten Unterschied.

Bei einem Feldversuch von Gruber & Claupein (2009b, p. 108) wurde das Aufkommen von Ackerkratzdisteln über eine siebenjährige Fruchtfolge unter verschiedenen Grundbodenbearbeitungsverfahren, mit und ohne den Stoppelhobel als Stoppelbearbeitungsgerät, erhoben. Am besten konnte die Variante mit einem Zweischichtpflug in Kombination mit einem Stoppelhobel für die Stoppelbearbeitung das Ackerkratzdistelaufkommen unterdrücken.

Bei der Variante „flaches Pflügen + Stoppelhobel für die Stoppelbearbeitung“ betrug das Distelaufkommen im Triticalebestand ca. 5 und im Haferbestand ca. 3 Sprosse m^{-2} . Dies entspricht auch in etwa den Beobachtungen vom 25.05.2017 im Dinkelbestand am Versuchsfeld in Rappolz, mit den Höchstwerten von 4,1 (A) und 3,5 Sprossen m^{-2} (B). Um vorteilhafte Unterschiede des Stoppelhobels Ackerkratzdisteln zu unterdrücken feststellen zu können, wie Heilmann (2014, p. 219) berichtete, müssten Beobachtungen über mehrere Jahre gemacht werden.

Die Beikrauttrockenmasse unterschied sich mit 6,6 (B) und 5,4 dt TM ha⁻¹ (A) nicht signifikant zwischen den Varianten, und ist mit 6,8 dt TM ha⁻¹ bei der Erhebung einer reinen Stoppelhobelvariante (Hafer- und Erbsen) von Gronle & Böhm (2010, p. 19) vergleichbar.

Hypothese 2: „Durch die flache Bodenbearbeitung mit dem Stoppelhobel ändert sich das Aufkommen von Beikräutern im Vergleich zu tiefer Bodenbearbeitung mit dem Grubber und dem Stoppelhobel nicht.“

Die Stoppelhobelvariante A war, wenn auch nicht signifikant, beim Beikrautdeckungsgrad, Aufkommen von *Cirsium arvense* und bei der Beikrauttrockenmasse immer leicht über dem Niveau der Grubber/Stoppelhobelvariante B. Es darf allerdings nicht unbeachtet bleiben, dass sich Unterschiede bezüglich Beikräuter erst im 2. und 3. Versuchsjahr zeigen könnten.

Hypothese H2 wird somit angenommen.

6.3. Ertrag

Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten bei den Ertragsparametern. Bei Kornstickstoff- und Kornproteingehalt, sowie beim Korn- und Strohkohlenstoffgehalt gab es signifikante Unterschiede zwischen den Blöcken. Bei den drei erstgenannten Parametern waren die höchsten Werte auf Parzelle 1 und 2 zu finden. Dies könnte wieder ein Hinweis auf eine höhere Verfügbarkeit von Nährstoffen durch den in diesem Bereich in den Vorjahren (2015) gelagerten Miststreifens sein.

Die Dinkelerträge vom Versuchsfeld Rappolz (A und B) sind mit Dinkelerträgen aus anderen Versuchen (Tabelle 22) vergleichbar. Die durchschnittlichen Bio-Dinkelspelzerträge lagen 2017 in Niederösterreich bei 28,6 dt 85,5 % TM/ ha (Agrarmarkt Austria, 2017, p. 9). Die Kornerträge von Bio-Versuchen aus Sitzendorf (33,1 dt 85,5% TM/ ha) und vom österreichischen (Bio-)Durchschnitt (28,2 dt 85,5%

TM/ ha) liegen deutlich über dem Versuchsergebnis. In beiden Fällen ist der Kornanteil höher als im Versuch. Dies könnte an den relativ schlechten Wuchsbedingungen im Mai und Juni 2017 liegen. In der Kornfüllungsphase blieb der notwendige Niederschlag aus, um eine gute Kornbildung zu ermöglichen (Agrarmarkt Austria, 2017). Passend dazu zeigten Versuche von Shah & Paulsen (2003, p. 224) eine verkürzte Kornfüllungsphase unter Trockenstress bei Weizen. Eine durch Trockenheit während der Kornfüllungsphase verminderte Ertragsbildung, hängt vor allem mit einer gehemmten Stärkeeinlagerung im Korn zusammen (Farooq et al., 2009, p. 204). Der absolute Proteingehalt bleibt unter trockenen Bedingungen konstant und steigt somit prozentuell an (Zörb et al., 2017, p. 51). In der Region um Horn gab es in diesen Monaten laut Hagelversicherung (Agrar Markt Austria, 2018) ein Niederschlagsdefizit von -67 %, was auch zur Messung von der Klimastation in Weikertschlag passen würde (-70,7 %).

Der Dinkel-Proteingehalt liegt mit 14,9 (A) und 14,8 % (B) im vorliegenden Versuch, über dem Wert aus Rheinland-Pfalz (12,3 %) und unter dem österreichischen Gesamtdurchschnitt von 16,3 %. (Mittelwert von 2011 - 2015). Die Anzahl der ährentragenden Halme pro m² vom Versuchsfeld Rappolz entspricht ungefähr der Erhebung aus Trautenfels (Fischl et al., 2014, p. 11f), liegt jedoch unter jener von Rheinland-Pfalz. Die Dinkel-Bestandshöhe am Versuchsfeld in Rappolz war wesentlich niedriger, als jene aus vergleichbaren Erhebungen anderer Versuche (Tabelle 22).

Tabelle 22: Ertragsparameter der Dinkelsorte Ebners Rotkorn aus biologischer Wirtschaftsweise im Vergleich zu-Erhebungen vom FiBL (a) der AGES (b) und Erhebungen aus Rheinlandpfalz (c). Sitzendorf ist ca. 70 km von Rappolz entfernt entfernt. Die Durchschnitts-Angaben der AGES für Österreich beziehen nicht ausschließlich biologische Wirtschaftsweise. (AGES, 2017, p. 54f; Drangmeister, 2011, p. 6; Fischl et al., 2014, p. 11f)

	Rappolz		Lambach 2014	Trautenfels	Sitzendorf, NÖ,	Rheinland-Pfalz,	österr. Durchschnitt
	A	B	(a)	2014 (a)	2011-2013 (b)	Weierhof (c)	2011-2015 (b)
Kornertrag	17,2 dt 86% TM/ ha	18,3 dt 86% TM/ ha	-	31,4 dt/ha (feldfallend)	33,1 dt 85,5% TM/ha	-	36,2 dt 85,5% TM/ha
Spelzertrag	29,8 dt 86% TM/ ha	33 dt 86% TM/ ha	26,7 dt/ha (feldfallend)	45,2 dt/ha (feldfallend)	45,8 dt 85,5% TM/ha	32,1 dt 86% TM/ ha	50,2 dt 85,5% TM/ha
Kornanteil [%]	58	55	-	69,6	-	-	72,3
Proteingehalt [%]	14,9	14,8	-	-	-	12,3	16,3
Bestandeshöhe zur Ernte [cm]	94	95	138	153	-	143	-
Bestandesdichte [Ährentragende Halme/m ²]	261	254	-	276	-	289	-
Dinkeldeckungsgrad [%] Ende Bestockung	42	46	68	-	-	-	-
Dinkeldeckungsgrad [%] BBCH 22	53	58	76	-	-	-	-

Hypothese 3: „Die flache Bodenbearbeitung mit dem Stoppelhobel hat im Vergleich zu tiefer Bodenbearbeitung mit dem Grubber und dem Stoppelhobel keine Auswirkungen auf den Dinkelertrag.“

Der Kornertrag ist bei der Grubber-Stoppelhobelvariante B leicht erhöht, im Vergleich zu der Stoppelhobelvariante A. Der Unterschied ist jedoch nicht signifikant. Alle anderen untersuchten Ertragsparameter unterscheiden sich ebenfalls nicht signifikant zwischen den beiden Varianten.

Hypothese H3 wird somit angenommen.

7. Schlussfolgerung

Die reine Stoppelhobelvariante A hatte keine Nachteile gegenüber der Grubber/Stoppelhobelvariante B bezüglich Bodeneigenschaften, Vegetationsentwicklung und Ertragsbildung. Da dasselbe Ergebnis mit geringerer Arbeitstiefe erzielt werden konnte, war die reine Stoppelhobelvariante A in ökologischer Hinsicht vorteilhafter, als die Grubber/Stoppelhobelvariante B. Die Dinkel-Ertragsergebnisse sind unter Berücksichtigung der widrigen Witterungsbedingungen im Jahr 2017 mit jenen aus anderen Bio-Versuchen vergleichbar.

Da bei Variante B im 3. Bearbeitungsvorgang auch der Stoppelhobel eingesetzt wurde, wäre es für das Aufzeigen möglicher Unterschiede vorteilhafter, eine reine Stoppelhobelvariante mit einer Variante ohne Stoppelhobel zu vergleichen. Durch die vorliegenden Ergebnisse wurde gezeigt, dass auch eine Stoppelhobel/Grubber-Kombination eine erwägenswerte Option für eine reduzierte Bodenbearbeitung in der ökologischen Landwirtschaft darstellt.

Auch Stoppelhobelvarianten wie im Versuch von Gronle & Böhm (2010, p. 17), bei denen nur 2 statt 3 Bearbeitungsgänge mit dem Stoppelhobel gemacht wurden, könnten angedacht werden, um ein noch sparsameres Arbeiten zu testen. Weitere Vergleiche zu einer konventionellen Pflugvarianten könnten ebenfalls weitere aufschlussreiche Erkenntnisse zeigen.

Der Stoppelhobel ist ein praxistaugliches Bodenbearbeitungsgerät für ökologische Anbausysteme, ob einzeln oder als Kombinationen mit anderen Geräten. Um eindeutige Ergebnisse über eine längerfristige Wirkung des Stoppelhobels hinsichtlich der Bodeneigenschaften und der Entwicklung von Beikräutern zu erhalten, sind Versuche über mehrere Jahre notwendig.

8. Quellenverzeichnis

- AGES. (2017). *Österreichische Beschreibende Sortenliste 2017 Landwirtschaftliche Pflanzenarten*. (AGES, Ed.) (21/2017). Wien. Retrieved from <http://www.ages.at/themen/landwirtschaft/sorte/>
- Agrar Markt Austria. (2018). Getreideernte 2017: Trockenheit schmälert Erträge. Retrieved April 25, 2018, from <https://www.ama.at/Allgemein/Presse/2017/Getreideernte-2017-Trockenheit-schmaelert-Ertraege>
- Agrarmarkt Austria. (2017). Sommerertrags-Erhebung 2017. Retrieved April 12, 2018, from <https://www.ama.at/Marktinformationen/Getreide-und-Olsaaten/Produktion>
- Armengot, L., Berner, A., Blanco-Moreno, J. M., Mäder, P., & Sans, F. X. (2014). Long-term feasibility of reduced tillage in organic farming. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(1), 339–346. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0249-y>
- Baeumer, K. (1992). Allgemeiner Pflanzenbau: 87 Tabellen. Stuttgart: Ulmer.
- Baumgarten, A. (2017). *Richtlinien für die sachgerechte Düngung im Ackerbau und im Grünland* (7th ed.). Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt Und Wasserwirtschaft.
- Beckmann, U., Kolbe, H., Model, A., & Russow, R. (2002). Ackerbausysteme im ökologischen Landbau: Untersuchungen zur Nmin[N tief min]-, N2O[N tief 2 O]-N- und NH3[NH tief 3]-N-Dynamik sowie Rückschlüsse zur Anbau-Optimierung. Berlin: Erich Schmidt.
- Berner, A., Böhm, H., Brandhuber, R., Braun, J., Brede, U., Colling-von Roesgen, J.-L., Demmel, M., Dierauer, H., Doppler, G., Ewald, B., Fisel, T., Fließbach, A., et al. (2012). *Grundlagen zur Bodenfruchtbarkeit - Die Beziehung zum Boden Gestalten*. Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL). Retrieved from <https://shop.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1576-bodenfruchtbarkeit.pdf>
- Berner, A., Hildermann, I., Fließbach, A., Pfiffner, L., Niggli, U., & Mäder, P. (2008). Crop yield and soil fertility response to reduced tillage under organic management. *Soil & Tillage Research*, 101, 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.07.012>
- Blum, W. E. H., Spiegel, H., & Wenzel, W. W. (1996). *Bodenzustandsinventur. Konzeption, Durchführung und Bewertung* (2. Auflage). Wien: Bundesministerium

für Land- und Forstwirtschaft.

Böhler, D., & Dierauer, H. (2007). *Stoppelhobel-Erfahrungsbericht-2007*. Frick.

Brock, C., Leithold, G., & Krawutschke, M. (2009). Humusmenge in der Ackerkrume nach langjährig differenzierter Intensität der Grundbodenbearbeitung Methoden. In J. Mayer, T. Alföldi, F. Leiber, D. Dubois, P. Fried, F. Heckendorn, ... H. Willer (Eds.), *Werte - Wege - Wirkungen: Biolandbau im Spannungsfeld zwischen Ernährungssicherung, Markt und Klimawandel, Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau* (pp. 45–48). Zürich. Retrieved from http://orgprints.org/view/projects/int_conf_2009_wita.html

Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft (BFL). (1999). *N-Mineralisation in Böden - Bestimmung der N-Mineralisation in Böden im aneroben Brutversuch mittels UV-Vis Photometer*.

Cepuder, P., Kammerer, G., Nolz, R., & Klik, A. (2012). *Physical and Selected Chemical Methods of Soil Analysis (LV-Nr. 815 313)*. Wien: Universität für Bodenkultur Wien, Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft.

Diepenbrock, W., Ellmer, F., & Léon, J. (2005). *Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung*. Stuttgart (Hohenheim): utb.

Drangmeister, H. (2011). *Dinkelanbau, D2 Spezieller Pflanzenbau*. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucher- schutz.

Emmerling, C. (2007). Reduced and conservation tillage effects on soil ecological properties in an organic farming system. *Biological Agriculture and Horticulture*, 24(4), 363–377. <https://doi.org/10.1080/01448765.2007.9755033>

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Barsa, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects , mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(1), 185–212. <https://doi.org/10.1051/agro>

Fischl, M., Hein, W., Köstenbauer, H., Gadermaier, F., Kanzler, A., Oberforster, M., & Drexler, D. (2014). *Bioherbstanbau 2014, Teil Westösterreich, Informationen zu Sorten, Saatgut und Kulturführung*. (M. Fischl & A. Kranzler, Eds.). Wien: Ländliches Fortbildungsinstitut Österreich.

Gronle, A., & Böhm, H. (2010). Unkrautaufkommen und Ertragsleistung beim Anbau von Sommererbsen in Reinsaat und im Gemenge mit Hafer bei flach- und

- tiefwendender Bodenbearbeitung. In G. Rahmann (Ed.), *Ressortforschung für den Ökologischen Landbau 2010* (Sonderheft, pp. 15–24). Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/289126615_Unkrautaufkommen_und_Ertragsleistung_beim_Anbau_von_Sommererbsen_in_Reinsaat_und_im_Gemenge_mit_Hafer_bei_flach-_und_tiefwendender_Bodenbearbeitung_Weed_infestation_and_yield_performance_of_spring_pea
- Gronle, A., & Böhm, H. (2011). Mischfruchtanbau von Wintererbsen mit Raps oder Triticale bei. In G. Leithold, K. Becker, C. Brock, S. Fischinger, A. K. Spiegel, K. Spory, ... W. U. (Eds.), *Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau- Es geht ums Ganze: Forschen im Dialog von Wissenschaft und Praxis* (Vol. 1: Bo, pp. 36–39). Gießen: Verlag Dr. Köster, Berlin.
- Gronle, A., & Böhm, H. (2011). Vergleich von flach- und tiefwendender Bodenbearbeitung beim Anbau von Sommererbsen in Reinsaat und im Gemenge mit Hafer. In B. Märländer, O. Christen, K. Dittert, & H. Mühling (Eds.), *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* (23rd ed., pp. 71–72). Kiel: Verlag Liddy Halm, Göttingen. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/289126176_Vergleich_von_flach-_und_tiefwendender_Bodenbearbeitung_beim_Anbau_von_Sommererbsen_in_Reinsaat_und_im_Gemenge_mit_Hafer
- Gronle, A., & Böhm, H. (2012). Does a pea-cereal intercropping under shallow ploughing compensate for the higher weed growth compared to deep ploughing in organic farming? In H. Nordmeyer & L. Ulber (Eds.), *Conference on Weed Biology and Weed Control in Braunschweig* (25th ed., pp. 243–249). Braunschweig: Arno Brynda GmbH, Berlin. <https://doi.org/10.5073/jka.2012.434.030>
- Gruber, S., & Claupein, W. (2009a). Effect of tillage intensity on weed infestation in organic farming. *Soil and Tillage Research*, *105*(1), 104–111. <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.06.001>
- Gruber, S., & Claupein, W. (2009b). Soil & Tillage Research Effect of tillage intensity on weed infestation in organic farming, *105*, 104–111.

<https://doi.org/10.1016/j.still.2009.06.001>

- Haiger, A., Storhas, R., & Bartussek, H. (1988). *Naturgemäße Viehwirtschaft: Zucht, Fütterung, Haltung von Rind und Schwein*. Stuttgart: Ulmer.
- HAMPL, U. (2005). 10 Jahre differenzierte Grundbodenbearbeitung im Ökologischen Landbau – Methoden und Ergebnisse. In J. Heß & G. Rahmann (Eds.), *Ende der Nische - Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau* (pp. 13–14). Kassel: Kassel Univ. Press. Retrieved from <http://orgprints.org/4541/>
- HAMPL, U., Hoffmann, M., Kaiser-Heydenreich, B., Kress, W., & Markl, J. (1995). *Ökologische Bodenbearbeitung und Beikrautregulierung*. Bad Dürkheim: BTQ [u.a.].
- Hartung, E. (n.d.). KTBL-Dieselbedarf. Retrieved March 14, 2018, from <http://daten.ktbl.de/dieselbedarf/main.html#0>
- Heilmann, H. (2009). Kurzanweisung "Arbeitsweise mit dem Stoppelhobel" der Firma Zobel, Stahlbau Rot am See. Rot am See. Retrieved from <http://zobel-stahlbau.de/der-spezial-schaelpflug-stoppehobel/einstellung-wirkungsprinzip>
- Heilmann, H. (2013). Impulse für eine Landwirtschaft aufgrund einer Weiterentwicklung der geisteswissenschaftlichen Ansätze Rudolf Steiners im „Landwirtschaftlichen Kurs“. (Überarbeiteter Vortrag, Österreich 09. Juni 2013). Retrieved April 12, 2018, from <http://www.biodynamisch-lehren-forschen.at/index.php/vortragstexte/57-distelregulation-durch-garefoerderung-impulse-fuer-eine-landwirtschaft-aufgrund-einer-weiterentwicklung-der-geisteswissenschaftlichen-ansaezte-rudolf-steiners-im-landwirtschaftlichen-ku>
- Heilmann, H. (2014). Zur Ökophysiologie des Auftretens von *Cirsium arvense*. In 26. *Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung* (pp. 218–224). Braunschweig. <https://doi.org/10.5073/jka.2014.443.026>
- HISTALP-Historical Instrumental Climatological Surface Time Series Of The Greater Alpine Region. (2018). Retrieved April 27, 2018, from <http://www.zamg.ac.at/histalp/>
- Hunger, S., Claupein, W., & Pekrun, C. (2001). Der Stoppelhobel – Eine Alternative zu herkömmlichen Geräten der Stoppelbearbeitung im Ökologischen Landbau? In *Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau*. Freising/Weihenstephan.

- Kahnt, G. (1995). *Minimal-Bodenbearbeitung: 52 Tabellen*. Stuttgart: Ulmer.
- Kahnt, G. (2008). *Leguminosen im konventionellen und ökologischen Landbau*. Frankfurt am Main: DLG-Verl.
- Köller, K., & Linke, C. (2001). *Erfolgreicher Ackerbau ohne Pflug (2., neu üb)*. Frankfurt am Main: DLG-Verl.
- Kowalenko, C. G. (2001). Assessment of Leco CNS-2000 analyzer for simultaneously measuring total carbon, nitrogen, and sulphur in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32(13–14), 2065–2078. <https://doi.org/10.1081/CSS-120000269>
- Moitzi, G. (2006). Möglichkeiten zur Kraftstoffeinsparung. *Online Fachzeitschrift Des Bundesministeriums Für Land- Und Forstwirtschaft, Umwelt Und Wasserwirtschaft*, 2006, 1–16. Retrieved from www.boku.ac.at/fileadmin/data/H03000/H73000/H73300/PF...
- Österreichisches Norminstitut. (1999). *Chemische Bodenuntersuchung - Bestimmung von Mineralischem Stickstoff*. Wien: Österreichisches Norminstitut. Retrieved from www.on-norm.at
- Peigné, J., Vian, J. F., Payet, V., & Saby, N. P. A. (2018). Soil fertility after 10 years of conservation tillage in organic farming. *Soil and Tillage Research*, 175(September 2017), 194–204. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.09.008>
- Pekrun, C., & Claupein, W. (2001). Einfluß der Stoppelbearbeitung auf Ertragsbildung und Unkraut- aufkommen unter den Produktionsbedingungen des Ökologischen Landbaus unter besonderer Berücksichtigung der Wirkung des Stoppelhobels. In *Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau* (pp. 203–206). Freising-Weihenstephan: Reents, H. J.
- Pekrun, C., & Claupein, W. (2005). Bedeutung der Stoppelbearbeitung für die Unkrautkontrolle im Ökologischen Landbau. In J. Heß & G. Rahmann (Eds.), *Ende der Nische - Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau* (pp. 285–288). Kassel: Kassel Univ. Press.
- Pekrun, C., Häberle, A., & Claupein, W. (2003). Bedeutung von Grund- und Stoppelbearbeitung für die Kontrolle der Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*) im ökologischen Landbau. *Beiträge Zum Expertenkolloquium "Strategien Zur Regulierung von Wurzelunkräutern Im Ökologischen Landbau, Sonderheft*, 29–

34. Retrieved from <http://orgprints.org/id/eprint/8992>
- Pekrun, C., Pflaum, S., & Henne, U. (2011). Was ist über die Wirkung der Stoppelbearbeitung bekannt — wo fehlt es an Daten ? *Landtechnik*, 66, 108–112.
- Peszt, W. (2015). *Frühjahrsumbruch einer winterharten Begrünung mit dem Schälpflug*. Retrieved from <https://bgld.lko.at/ackerbau-wirtschaftsjahr-2014-15+2500+2220758>
- Plümer, T. (2005). 10 Jahre differenzierte Grundbodenbearbeitung im Ökologischen Landbau – Untersuchungen zur Wurzelndynamik. In J. Heß & G. Rahmann (Eds.), *Ende der Nische - Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau* (pp. 11–12). Kassel: kassel university press GmbH.
- Rampazzo, N. (2015). *SOIL PHYSICS and SOIL CHEMISTRY lecture Nr.VO 911.300*. Vienna: nstitute for Soil Research Department for Forest- and Soil Sciences BOKU.
- Rasmussen, K. J. (1999). Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review. *Soil and Tillage Research*, 53(1), 3–14. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00072-0](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00072-0)
- Renger, M. ., Bohne, K. ., Facklam, M. ., Harrach, T. ., Riek, W. ., Schäfer, W. ., ... Zacharias, S. (2008). Ergebnisse und Vorschläge der DBG-Arbeitsgruppe „Kennwerte des Bodengefüges“ zur Schätzung bodenphysikalischer Kennwerte. *Bodenökologie Und Bodengenese*, 51. Retrieved from https://www.boden.tu-berlin.de/fileadmin/fg77/_pdf/publikationen/bodenphysikalischeKennwerte.pdf
- Scheffer, F., & Schachtschabel, P. (2010). *Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde* (16. Auflag). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg.
- Schmidt, H. (2010). *Transfervorbereitende Evaluation und Kombination von Praxiserfahrungen und Schlussbericht*. Bad Dürkheim. <https://doi.org/http://forschung.oekolandbau.de> unter der BÖL-Bericht-ID 17200
- Schmidtke, K. (2014). *Ackerkratzdisteln erfolgreich im Öko-Landbau regulieren*. Schweinfurt: Initiative Grundwasserschutz durch Öko-Landbau.
- Schön, H. (1998). *Landtechnik - Bauwesen: Verfahrenstechnik - Arbeit - Gebäude - Umwelt*. München ; Wien [u.a.]: BLV [u.a.].
- Schubert, S. (2011). *Pflanzenernährung: Grundwissen Bachelor; 55 Tabellen*.

Stuttgart (Hohenheim): Ulmer.

- Sekera, M. (2012). *Gesunder und kranker Boden: ein praktischer Wegweiser zur Gesunderhaltung des Ackers*. Kevelaer: OLV Organischer Landbau-Verl., Lau.
- Shah, N. H., & Paulsen, G. M. (2003). Interaction of drought and high temperature on photosynthesis and grain-filling of wheat. *Plant and Soil*, 219–226.
- Szalay, T. ., Moitzi, G. ., Liebhard, P. ., & Weingartmann, H. (2015). Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf Kraftstoffverbrauch und Arbeitszeitbedarf für den Winterweizenanbau im semiariden Produktionsbetrieb. *Bodenkultur*, 66(1–2), 39–48.
- Wehsarg, O. (1931). *Ackerunkräuter: Anleitung für den praktischen Landwirt zum Erkennen und Bekämpfen der wichtigsten Unkräuter auf dem Acker*. Berlin: DLG.
- Zörb, C., Becker, E., Merkt, N., Kafka, S., Schmidt, S., & Schmidhalter, U. (2017). Shift of grain protein composition in bread wheat under summer drought events. *Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung Und Bodenkunde*, 180(1), 49–55. <https://doi.org/10.1002/jpln.201600367>

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Stellung und Funktionen von Böden in der Ökosphäre (Scheffer & Schachtschabel, 2010, p 3).....	1
Abbildung 2: Stoppelhobel von der Firma Zobel aus Deutschland. Links: Seitenansicht mit fünf Scharen (Heilmann, 2013); rechts: Ansicht auf Rückseite, Stoppelhobel vom Versuchsbetrieb Karl Ringl mit sieben Scharen.....	3
Abbildung 3: Maßnahmen der Bodenbearbeitung (Schön, 1998, p. 175).....	5
Abbildung 4: Einteilung von Bodenbearbeitungssysteme nach Bearbeitungsintensität (Köller & Linke, 2001, p. 9).....	5
Abbildung 5: Bodenbearbeitungs- und Bestellsysteme (Diepenbrock et al., 2005, p. 78).....	6
Abbildung 6: Entwicklung von Ackerkratzdistel im und um den Verdichtungshorizont des Bodens (Wehsarg, 1931, p. 61).....	8
Abbildung 7: Verlagerung des Bodens durch die wendende Pflugarbeit aus Baeumer (1992, 286).....	13
Abbildung 8: Oben: Übersicht von Pflugkörperformen und deren Einsatzbereiche (Schön, 1998, p. 180); Mitte links: Stoppelhobelschare (am Versuchsbetrieb); Mitte rechts: Schälfurche mit 7 cm Bearbeitungstiefe von Stoppelhobel (Schmidtke, 2014, p. 25); unten rechts: Stoppelhobelschare mit Unterteilung und Rundstahlverlängerung des Streichblechs; unten links: abschälen einer Klee grasuntersaat (Peszt, 2015, p. 8f).....	14
Abbildung 9: Zugkraftbedarf [kN] je Meter Arbeitsbreite bei verschiedenen Geräten und Arbeitstiefen mit linearen Trendlinien, Turiel = Dammkulturgerät, FB = Dammkulturgerät (Hersteller: Frost), Ecomat = Schälpflug. (Schmidt, 2010, p. 179).....	17
Abbildung 10: Stoppelhobel von der Firma Zobel (links) und Meißelschargrubber von der Firma Köckerling (Mitte und rechts).....	25

Abbildung 11: Versuchsfläche mit Versuchspartellen, Rappolz	25
Abbildung 12: Meißelhammer Marke HILTI (links oben), Bohrstock mit Hebel zur Bergung des Bodenmaterials (rechts oben), Bohrstock mit Bodenmaterial (links unten), Trennung von Bodenmaterial aus Bohrkernen in drei Tiefenabschnitte (rechts unten)	29
Abbildung 13: Bodenprofil (links), Doppelringinfiltrrometer (rechts oben), Penetrometer (rechts unten)	34
Abbildung 14: 1 m ² große Erhebungsflächen auf den Versuchspartellen	35
Abbildung 15: Dinkelernte im Juli, Bestand wird bodennah abgeschnitten	35
Abbildung 16: Wetterdaten aus den Jahren 2016, 2017 und 1991 - 2010 (langjähriger Durchschnitt) gemessen von der Klimastation Weikertschlag, 10 km entfernt vom Versuchsstandort in Rappolz.	40
Abbildung 17: Pflanzenverfügbare Kalium- und Phosphorgehalte in kg ha ⁻¹ (25.11.2016)	45
Abbildung 18: Mineralisierter Stickstoff (N _{min})	49
Abbildung 19: Wasserversickerung [cm d ⁻¹], gemessen zu 2 Terminen (27.10.2016 und 13.06.2017).	53
Abbildung 20: Eindringwiderstand [MPa] in der Var. A (links) und B (rechts), 27.10.2016	54
Abbildung 21: Eindringwiderstand [MPa] in der Var. A (links) und B (rechts), 13.06.2017	55
Abbildung 22: Dinkel- und Beikrautdeckungsgrad [%], sowie Aufkommen der Ackerkratzdistel aus den Felderhebungen 2017. BBCH-Stadien beziehen sich auf den Dinkel.	59
Abbildung 23: Beikrauttrockenmasse (dt ha ⁻¹) zum Dinkelerntetermin (12.07.2017). Abkürzungen: n.s. = nicht signifikant; Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$. Fehlerbalken = Standardabweichung.	61
Abbildung 24: Trockenmasseerträge von Dinkel und Stroh. Fehlerbalken = Standardabweichung	63

10. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Theoretische Flächenleistungen des Stoppelhobels bei 2,45 m Arbeitsbreite	16
Tabelle 2: geschätzte Dieserverbrauchswerte [l ha^{-1}] der Varianten. Pflugvariante wurde als zum Vergleich angenommen und beigefügt. Für Stoppelhobel wurde 2,45 m Arbeitsbreite (7 Scharen) und 102 kW Zugleistungsbedarf, für Grubber 4,5 m und ebenfalls 102 kW Zugleistungsbedarf angenommen (Hartung, n.d.).	18
Tabelle 3: Ertrag [dt/ha] in Abhängigkeit von der Stoppelbearbeitung in den Jahren 1998 - 2002 (C Pekrun & Claupein, 2005, p. 288). Der Schälplflug war ein Stoppelhobel, Kontrolle = keine Stoppelbearbeitung. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen bei $p = 0,05 \%$, t-Test.	21
Tabelle 4: Verfahrensübersicht der Varianten A und B.....	24
Tabelle 5: Zeitliche Abfolge der Versuchsarbeiten.....	26
Tabelle 6: Korngrößenverteilung und Bodenart.	41
Tabelle 7: Lagerungsdichte des Bodens [g cm^{-3}], gemessen am 06.04.2017. MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung; n.s. = nicht signifikant; Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$	41
Tabelle 8: Organische Kohlenstoff- und Humuswerte [%] vom 25.11.2016 der Bodentiefe 10 - 25 cm. MW = Mittelwert, Zahlen in Klammern = Standardabweichung.....	43
Tabelle 9: Erhobene Blockwerte ausgewählter pH-Wert, Phosphor- und Kaliummesstiefen mit signifikanten Unterschied zwischen den Blöcken (25.11.2016). MW = Mittelwert, Zahlen in Klammern = Standardabweichung.....	44
Tabelle 10: Übersicht Mittelwerte der AGES-Bodenanalyse erhoben am 25.11.2016. C_{org} = organisch gebundener Kohlenstoff, C/N-Verhältnis = Kohlenstoff-Stickstoffverhältnis. MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, Var. =	

fester Faktor Variante, Bl. = Zufallsfaktor Block, s.=signifikant, n.s. = nicht signifikant. Signifikanzniveau = 0,05..... 46

Tabelle 11: Übersicht Mittelwerte der AGES-Bodenanalyse erhoben am 30.03.2017.

C_{org} = organisch gebundener Kohlenstoff, C/N-Verhältnis = Kohlenstoff-Stickstoffverhältnis. MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, Var. = fester Faktor Variante, Bl. = Zufallsfaktor Block, s.=signifikant, n.s. = nicht signifikant. Signifikanzniveau = 0,05..... 47

Tabelle 12: N_{min} -Gehalte [$kg\ ha^{-1}$] vom 25.11.2016. MW = Mittelwert, Zahlen in Klammern = Standardabweichung. 48

Tabelle 13: Mineralisierter Stickstoff [$kg\ N_{min}\ ha^{-1}$]. Abkürzungen: MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, Var. = fester Faktor Variante, Bl. = Zufallsfaktor Block; s.= signifikant, n.s. = nicht signifikant; Signifikanzniveau = 0,05. Am 25.11.2016 und 13.07.2017 wurden Proben aus anderen Bodentiefen gezogen, als am 30.03.2017. 50

Tabelle 14: Stickstoff Nachlieferungspotential [$kg\ N_{min\ pot}\ ha^{-1}$]. MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, n.s. = nicht signifikant, Signifikanzniveau = 0,05. 51

Tabelle 15: Durchwurzelung, Bodenstruktur und Bodenfeuchte, von den Parzellen 5 (Var. B) und 6 (Var. A). Erhebungen wurden visuell von der WPA (Beratende Ingenieure GmbH) gemacht..... 52

Tabelle 16: k_f -Werte von den Parzellen 5 (Var. B) und 6 (Var. A). Daten stammen von der WPA..... 54

Tabelle 17: Gravimetrischer Wassergehalt im Boden [%]. MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung..... 56

Tabelle 18: Entwicklung des Dinkel- und Beikrautdeckungsgrades und Auftreten der Ackerkratzdistel (*Cirsium a.*). BBCH-Stadien beziehen sich auf den Dinkel. MW = Mittelwert; Var. = fester Faktor Variante; n.s. = nicht signifikant; Signifikanzniveau = 0,05..... 60

Tabelle 19: Erhobene Werte einzelner Parzellen des Korn- und Strohkohlenstoffgehaltes [%]. Grün = höchster Wert; Rot = niedrigster

Wert; Zahlen in Klammern = Standardabweichung. MW = Mittelwert; n.s. = nicht signifikant; s. = signifikant. Signifikanzniveau = 0,05. 62

Tabelle 20: Dinkelertragsdaten. N = Stickstoff; C = Kohlenstoff; MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung; Var. = fester Faktor Variante, Block = Zufallsfaktor; s. = signifikant; n.s. = nicht signifikant; Signifikanzniveau = 0,05. 64

Tabelle 21: Im Versuchsfeld erhobene k_f -Werte, verglichen mit theoretisch angenommenen k_f -Werten verschiedener Bodentiefen (Renger et al., 2008) mit dazu passender Bodenart nach Definition 2 aus Tabelle 6. Erhobene k_f -Werte können dabei keinen einzelnen Bodentiefen zugeordnet werden. 67

Tabelle 22: Ertragsparameter der Dinkelsorte Ebners Rotkorn aus biologischer Wirtschaftsweise im Vergleich zu-Erhebungen vom FiBL (a) der AGES (b) und Erhebungen aus Rheinlandpfalz (c). Sitzendorf ist ca. 70 km von Rappolz entfernt entfernt. Die Durchschnitts-Angaben der AGES für Österreich beziehen nicht ausschließlich biologische Wirtschaftsweise. (AGES, 2017, p. 54f; Drangmeister, 2011, p. 6; Fischl et al., 2014, p. 11f) 73