Universität für Bodenkultur Wien
Department für Nutzpflanzenwissenschaften
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung

Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf Pflanzenwachstum, Ertrag und Qualität sowie auf ausgewählte bodenphysikalische Kennzahlen bei Winterweizen (*Triticum aestivum* L.)



Masterarbeit

eingereicht von
Markus Weber

Betreuer:
Ao. Univ. Prof. Dipl. –Ing. Dr. Peter Liebhard
Dipl. –Ing Dr. Gernot Bodner

Wien, Mai 2013

Danksagung

Für die vielseitige Unterstützung und Hilfe bei meiner Diplom–Masterarbeit, möchte ich mich bei allen recht herzlich bedanken.

Besonders bei meinen Betreuern Herrn Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Peter Liebhard und Herrn Dipl. –Ing Dr. Gernot Bodner möchte ich mich für das mir entgegengebrachte Vertrauen und für die Betreuung während der Durchführung und Erstellung meiner Arbeit bedanken.

Bei Herrn Dipl. –Ing. Peter Scholl bedanke ich mich für die gründliche Einweisung in die Funktion und Handhabung des Tensionsinfiltrometers und der Messung des Wassergehalts der Bodenproben im Labor in der Muthgasse.

An der Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien in Groß Enzersdorf bedanke ich mich bei den Mitarbeitern für die Ernte und das Wiegen der Quadratmeterproben und der Hilfe während dem Mahlen von Korn und Stroh.

Ich möchte mich außerdem bei Herrn M.A. B.A. Craig Jackson und Frau Mag. Doris Kheim für die Unterstützung bei der Kohlenstoff-, Stickstoff- und Schwefelgehaltsmessung in der Abteilung Pflanzenbau in Tulln bedanken.

Der größte Dank gilt meinen Eltern, für ihre Geduld und ihr Verständnis während meiner Studienzeit und das sie es mir ermöglichten dieses Studium zu absolvieren. Sie förderten meine Entfaltung und ließen mich einen eigenständigen Weg gehen, wodurch es mir möglich war, eigene Erfahrungen zu sammeln.

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

1. Einleitung, Problemstellung und Zielsetzung 1

1.1. EINLEITUNG 1

1.2. PROBLEMSTELLUNG 1

1.3. ZIELSETZUNG 2

2. Literaturübersicht 3

2.1. WEIZEN (*TRITICUM AESTIVUM* L.) 3

2.2. DIE BEDEUTUNG DES WEIZENANBAU IN ÖSTERREICH 6

2.3. VERWERTUNG UND QUALITÄT DES WEIZEN 8

2.4. BODENBEARBEITUNG 12

3. Material und Methoden 16

3.1. MATERIAL 16

3.1.1. Standort *16*

3.1.1.1. Klima und Witterung 2012 17

3.1.1.2. Boden 20

3.1.2. Versuchsaufbau und Faktoren *20*

3.1.3. Bodenbearbeitungssysteme *22*

3.1.3.1. Konventionelle Bodenbearbeitung 23

3.1.3.2. Reduzierte Bodenbearbeitung 24

3.1.3.3. Minimale Bodenbearbeitung 24

3.1.3.4. Integriertes System (Liebhard 1994) 25

3.1.3.5. Direktsaat 25

3.1.4. Hauptfrucht und Vorfrucht *26*

3.2. METHODEN 27

3.2.1. Messung der stomatären Leitfähigkeit *27*

3.2.2. Ermittlung des Chlorophyllgehalt (Spadgrün) *28*

3.2.3. Bodenbedeckungsgrad *29*

3.2.4. Blattflächenindex *30*

Seite

3.2.5. Eindringwiderstand (Penetrometer) ... *32*
3.2.6. Tensionsinfiltrometer ... *35*
3.2.6.1. Aufbau ... 35
3.2.6.2. Messung ... 39
3.2.7. Ertragsparameter ... *41*
3.2.7.1. Kornertrag ... 41
3.2.7.2. Strohertrag ... 41
3.2.7.3. Ernteindex und Stickstoff – Ernteindex ... 42
3.2.8. Ausgewählte Qualitätsparameter ... *42*
3.3. STATISTISCHE AUSWERTUNGEN ... 44

4. Ergebnisse ... 45

4.1. BODENPHYSIKALISCHE PARAMETER ... 45
4.1.1. Eindringwiderstand ... *45*
4.1.2. Infiltration und Hydraulische Leitfähigkeit (K_h) ... *54*
4.2. WACHSTUMSVERLAUF DES WINTERWEIZENS ... 58
4.2.1. Aufgang ... *58*
4.2.2. Bedeckungsgrad ... *58*
4.2.3. Blattflächenindex (LAI) ... *61*
4.2.4. Chlorophyllgehalt und stomatäre Leitfähigkeit ... *63*
4.3. ERTRAG ... 65
4.3.1. Kornertrag ... *65*
4.3.2. Strohertrag ... *68*
4.3.3. Ernteindex und Stickstoff–Ernteindex ... *70*
4.4. AUSGEWÄHLTE QUALITÄTSKRITERIEN BEI WINTERWEIZEN ... 72
4.4.1. Hektolitergewicht und Tausendkorngewicht ... *72*
4.4.2. Kohlenstoff- , Stickstoff- und Schwefelgehaltswert im Weizenkorn ... *75*
4.4.3. Rohproteingehalt im Korn ... *76*
4.4.4. Kohlenstoff- , Stickstoff- und Schwefelgehaltswert im Stroh ... *77*

Seite

5. Diskussion 79

5.1. Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf bodenphysikalische Parameter 79

5.2. Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf den Wachstumsverlauf des Winterweizens 82

5.3. Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf das Ertragsverhalten des Winterweizens 86

5.4. Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf ausgewählte Qualitätskriterien 88

6. Zusammenfassung 91

7. Literaturverzeichnis 94

8. Abbildungsverzeichnis 99

9. Tabellenverzeichnis 102

Abstract

The human is only a guest on earth and is highly depended on the influences and impacts of nature and environment. Especially the crop production is affected by many various positive and negative effects every year. In addition, there are numerous other aspects like politics, society and commerce which have to be considered by farmers in order to make the best possible decisions for their farms and their existence. To produce environmentally friendly, save costs and still be able to provide optimum yields with a high quality, a reduction of the soil tillage or a change of the tillage system can be the first step into a cost-effective crop production. To investigate this possibility a long-term field trial with five different tillage systems and two different crop rotations was started in 1996. In 2012, soil parameters, the growth, yield and quality of winter wheat were measured and analyzed.

The highest grain and straw yield after the previous crop sugar beet was measured in the 'no-till system' and after the winter wheat as previous crop in the 'integrated system'. It was found out that the highest chlorophyll content of leaves was achieved with the 'no-till system', and the highest stomatal conductance of leaves was reached in the 'no-till system' after winter wheat and in the 'minimum tillage system' after sugar beet as previous crop. Concerning the results of the soil cover, the differences between crop rotations and the measurement times were highly significant. The results for the contents of carbon, nitrogen and sulfur in grain and in straw differed only slightly and were not affected by the tillage system in the year 2012. Generally the hectolitre weight, thousand corn weights and protein content in the wheat yield after the sugar beet were higher than after the winter wheat as previous crop.

As some effects are only apparent after years, it is advisable to create and evaluate long-term tillage experiments. Thereby it is possible to consider and analyze the influences and the impacts of annual weather conditions on the various parameters. For an objective assessment of a tillage system, it is ultimately useful to include the results from other cultures and years.

1. Einleitung, Problemstellung und Zielsetzung

1.1. Einleitung

Der Mensch ist auf der Erde nur Gast und abhängig von den Einflüssen und Geschehnissen der Natur und Umwelt. Die pflanzliche Produktion wird jährlich von positiven wie auch negativen Faktoren beeinflusst. Dazu kommen agrarpolitische Rahmenbedingungen, Vorgaben von der Gesellschaft, dem Handel und sonstigen Bereichen, welche die Entscheidungen für die Betriebsführung und dessen Existenz beeinflussen.

In Zeiten des negativen Klimawandels werden der Energieverbrauch und der damit verbundene Emissionsausstoß sowie die verschiedensten Systeme bei der Produktion von Nahrungsmitteln und deren Auswirkungen auf die Umwelt wie zum Beispiel Trockenperioden, Überflutungen oder Auswinterungen zunehmend kritischer bewertet. Für eine umweltverträglichere Pflanzenproduktion, bei gleichzeitigem Kosten sparen und Sichern von optimalen Erträge mit hoher Qualität, kann ein Wechsel bzw. eine Umstellung in der Bodenbearbeitung der erste Schritt sein. Eine aufwendige Technik und ein vernetztes Wissen sind dazu erforderlich.

1.2. Problemstellung

Durch die vielen Verfahrensschritte bei der konventionellen Bodenbearbeitung, die durch hohe Kosten und einen hohen Kraftstoffverbrauch gekennzeichnet ist, kann ein Wechsel zu reduzierten Bodenbearbeitungssystemen sinnvoll sein. Anhand von Ergebnissen aus Langzeitbodenbearbeitungsversuchen werden die Unterschiede zwischen den verschiedensten Bodenbearbeitungssystemen aufgezeigt.

1.3. Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist es, den Einfluss der unterschiedlichsten Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf ausgewählte Bodenparameter, das Pflanzenwachstum sowie den Ertrag und ausgewählte Qualitätsparameter bei einem Winterweizenbestand und der speziellen Jahreswitterung 2012 aufzuzeigen.

Die Beurteilung und Erhebung der Daten erfolgte am Langzeitversuch am Raasdorfer Schlag, betreut von der Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien in Groß Enzersdorf. Dieser Versuch ist repräsentativ für das bedeutendste ackerbauliche Produktionsgebiet Österreichs, das Marchfeld.

Verglichen wurden folgende fünf Bodenbearbeitungssysteme:

- Konventionelle Bodenbearbeitung (Pflug)
- Direktsaat
- Reduzierte Bodenbearbeitung
- Minimale Bodenbearbeitung (Bearbeitungstiefe bis ca. 10cm)
- Integriertes Bodenbearbeitungssystem

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme sowie die Einflüsse der Jahreswitterung auf den Winterweizen wurden durch folgende Parameter beurteilt:

- Eindringwiderstand
- Infiltration
- Bodenbedeckungsgrad
- Blattflächenindex
- Stomatäre Leitfähigkeit
- Chlorophyllgehalt
- Ertragsverhalten des Winterweizen
- Ausgewählte Qualitätsparameter (TKG, HL, RP, C, N, S)

2. Literaturübersicht

2.1. Weizen (*Triticum aestivum* L.)

Unter >>Weizen<< werden mehrere Triticum-Arten zusammengefasst, die in der Landwirtschaft produziert werden und weltweit eine hohe wirtschaftliche Bedeutung haben.
Die Gattung Triticum ist die wichtigste Getreideart für die Ernährung der Menschheit und gehört zu der Familie der Süßgräser, der Poaceae.

Die Getreidearten sind die kulturgeschichtlich ältesten Nutzpflanzen und jene, welche die größte Verbreitung und Bedeutung in der Landwirtschaft weltweit für die Ernährung haben.

Aufgrund von archäologischen Funden wird als Herkunfts- und Domestikationsgebiet von Weizen der vorderasiatische Raum angeführt. Die ältesten Hinweise und Funde gehen bis ca. 10.000 vor Christi zurück. Dieses Gebiet erstreckt sich von den Randgebieten des östlichen Mittelmeers (Jordanien, Israel, Libanon, Syrien) bis zum südöstlichen Teil der Türkei und weiter in südöstlicher Richtung bis zum Persischen Golf. Bezeichnet wird diese Region auch als der >>Fruchtbare Halbmond<< (GEISLER, 1988).

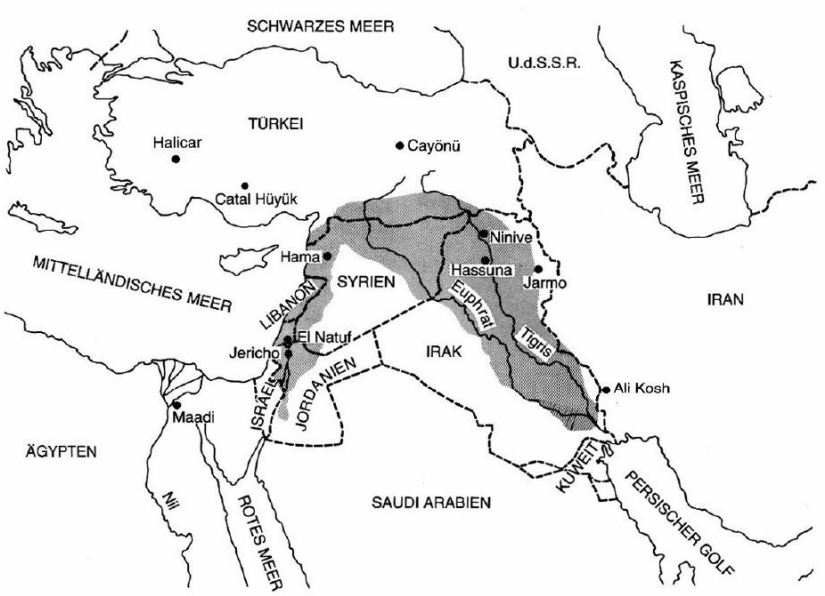


Abb. 1: >>Fruchtbarer Halbmond<< und Verbreitungsgebiete von Weizen-Wildarten nach GEISLER (1988)

Die Weizenarten werden nach ihrer Anzahl an Chromosomen in eine diploide, eine tetraploide und eine hexaploide Reihe unterteilt. In einer Weizenart sind vier verschiedene Sätze der 14 Chromosomen möglich, welche als A, B, D oder G Genom bezeichnet werden. Durch eine spontane Artkreuzung zwischen *Triticum monococcum* (Kulturform Einkorn) mit der Genombezeichnung AA und einer Aegilops – Art, möglicherweise *Aegilops speltoides,* mit der Genombezeichnung BB, entstand die tetraploide Weizenart *Triticum turgidum* mit dem Genom AABB. Diese tetraploide Art kreuzte sich mit einem Wildgras, welches im Vorderen Orient vorkommt, dem *Triticum tauschii* mit dem Genom DD, wodurch hexaploide Formen entstanden, im Besonderen *Triticum aestivum* L. mit den Genomen AABBDD (GOODING, 1997; DIEPENBROCK, 1999).

Weltweit herrscht unter den Weizenarten der Saatweizen (auch Brotweizen oder Weichweizen), *Triticum aestivum* L. mit rund 90 % der Weltproduktion vor. Die restlichen 10 % der Weizenfläche werden mit tetraploiden Formen, dem Durumweizen (*Triticum durum*), bestellt (BUERSTMAYR, 2010).

In der weltweiten Getreideanbaufläche im Zeitraum 2000 – 2010 nimmt Weizen mit 31,9 % den ersten Platz vor Reis mit 22,7 % und Mais mit einem Anteil von 22 % ein.

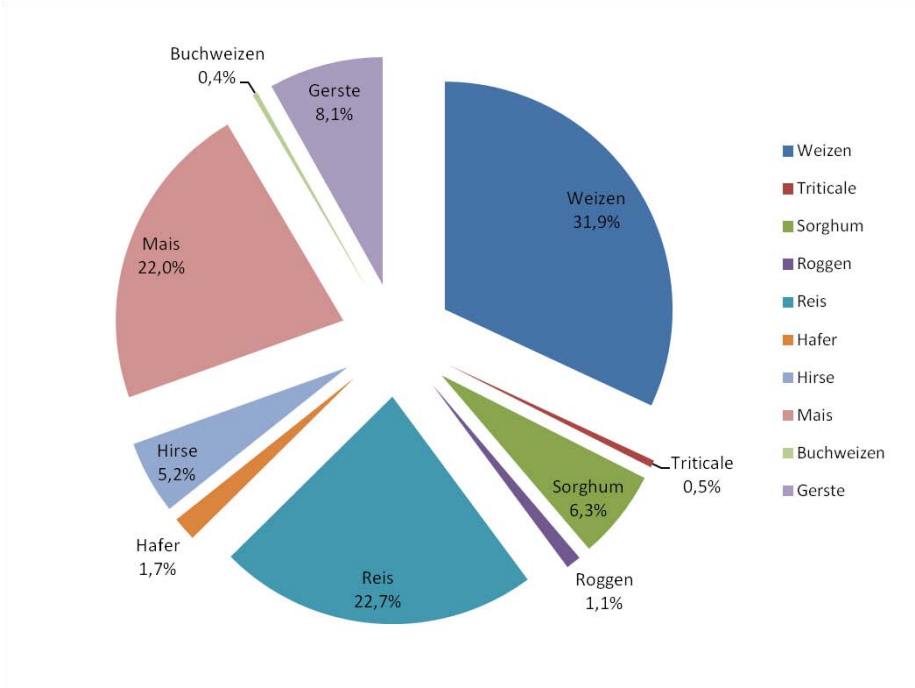


Abb. 2: Weltweite Getreideanbaufläche in % im Zeitraum 2000 – 2010 (FAO, 2012)

Der weltweit bedeutendste Weizenproduzent ist in Asien und im Jahr 2011 produzierte China 117,4 Mio. Tonnen. Diese Menge entsprach 16,68 % der gesamten weltweiten Weizenernte, welche 704,08 Mio. Tonnen betrug. An zweiter und dritter Stelle lagen 2011 Indien und Russland. Das erste Europäische Land liegt an fünfter Stelle und ist Frankreich mit einer Produktionsmenge von 38 Mio. Tonnen. Österreich lag im Vergleich zu den ersten Zehn der Welt an 40. Stelle mit rund 1,78 Mio. Tonnen und produzierte 0,25 % des weltweiten Weizens (FAO, 2012).

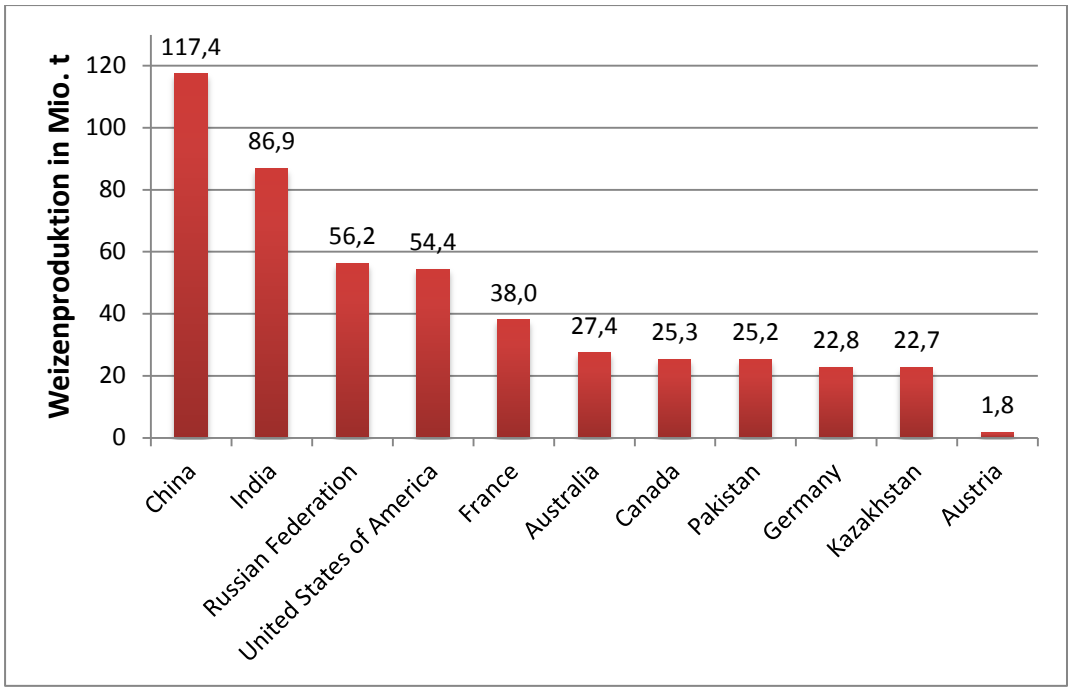


Abb. 3: Die weltweit größten Weizenproduzenten und Österreich 2011 (FAO, 2012)

In der Europäischen Union erzeugten im Jahr 2011 Frankreich, Deutschland und Großbritannien zusammen 54,3 % der Weizenernte. Frankreich ist mit 38,04 Mio. Tonnen (entspricht 27,2 %) die Nummer eins und ist weit vor Deutschland (mit mehr als 10 %). Die Österreichische Produktion hat einen Anteil von 1,27 % an den 140 Mio. Tonnen der EU.

2.2. Die Bedeutung des Weizenanbau in Österreich

In Österreich ist Weizen eine der wichtigsten Fruchtarten. Bei der Reihung der Feldfrüchte nach ihrer Anbaufläche im Jahr 2010 lag der Winterweichweizen an erster Stelle, gefolgt vom Körnermais.

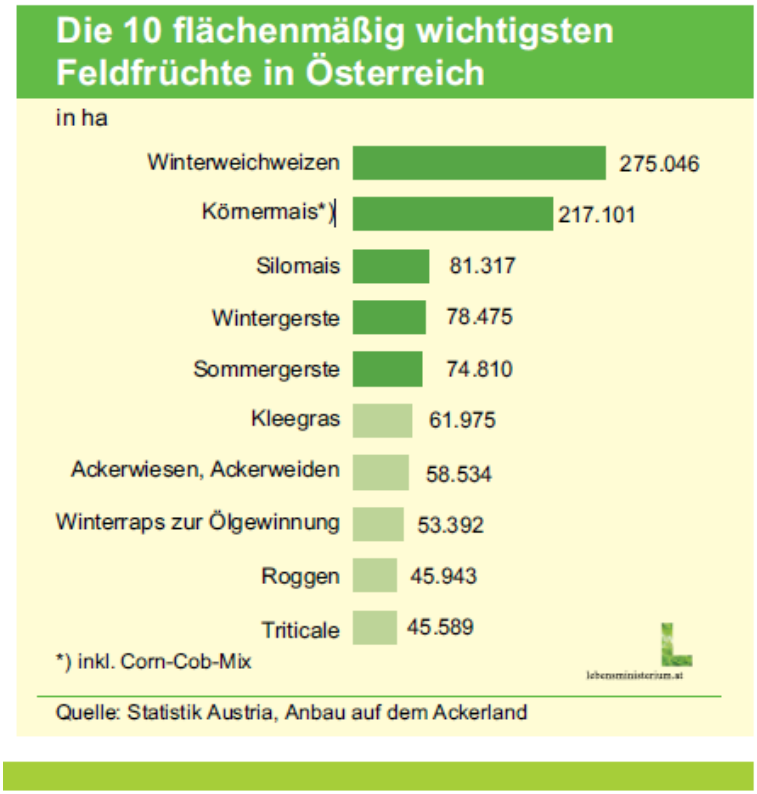


Abb. 4: Flächenmäßig wichtigsten Feldfrüchte in Österreich 2010 (Grüner Bericht, 2012)

Im Jahr 2011 wurde Weizen (Weichweizen, Dinkel und Hartweizen) auf einer Fläche von 304.334 ha angebaut, was einem Flächenzuwachs gegenüber dem Jahr 2010 von knapp 1.500 ha entspricht. Die Produktion konnte aufgrund der größeren Anbaufläche und der höheren Erträge (5,85 t/ha gegenüber 5,0 t/ha 2010) auf 1.781.837 t ausgeweitet werden (GRÜNER BERICHT 2012).

Das traditionelle österreichische Qualitätsweizenanbaugebiet erstreckt sich auf das mittlere und östliche Niederösterreich sowie das nördliche und mittlere Burgenland. Klimatisch wird diese Region als pannonisches Klimagebiet bezeichnet. Aufgrund langjähriger Beobachtungen ist bekannt, dass speziell im pannonischen Raum die höchsten Weizenqualitäten in Österreich produziert werden. Im westlichen Niederösterreich, in Oberösterreich und den übrigen Ackerbauregionen sind die Brotweizen Qualitätswerte geringer als im pannonischen Raum.

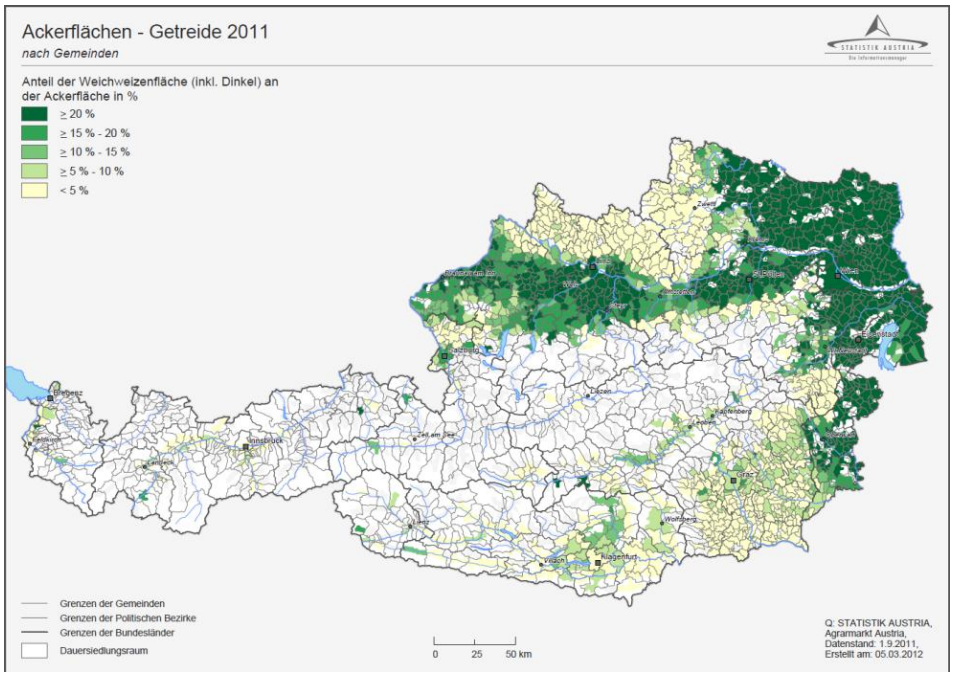


Abb. 5: Geografische Verteilung der Anbauflächen von Weizen in Österreich (Grüner Bericht, 2012)

Die Weichweizenanbaufläche stieg im Vergleich zu 2010 um 3.790 ha (+1,4%) auf 280.056 ha, womit ein Selbstversorgungsgrad von Weichweizen in Österreich von 104 % erreicht wurde. Hartweizen wurde 2011 auf einer Fläche von 15.315 ha angebaut, 2.188 ha weniger als im Vorjahr, was einem Minus von 12,5 % entspricht. Dennoch ist Österreich auch beim Hartweizen ein „Selbstversorger“ mit einem Selbstversorgunsgrad von 108 %. Der Pro-Kopf-Verbrauch von Weizen liegt in Österreich seit dem Wirtschaftsjahr 2009/10 bei rund 64 kg /Jahr (GRÜNER BERICHT, 2012).

Der Winterweizen ist die Getreideart mit dem höchsten Flächenanteil in allen Bundesländern, mit Ausnahme von Salzburg und der Steiermark. In diesen Ländern ist die Anbaufläche von Sommergerste und Körnermais höher. Dadurch ist ersichtlich, dass der Weizen verhältnismäßig hohe Ansprüche an den Standort stellt. Je nach Sorte, benötigt der Winterweizen bis zur Reife eine Wärmesumme von 2000 bis 2200 °C. Des Weiteren bevorzugt er neutrale bis alkalische Böden (pH 6,5 bis 7,5) (BERGER, 1994).

Winterweizen weist mit einem Transpirationskoeffizient von bis zu 500 Liter einen relativ hohen Wasserbedarf auf. Für die rund 300 Tage lang dauernde Vegetationszeit werden ca. 500 Liter

Wasser für die Produktion von einem Kilogramm Trockenmasse benötigt. Aufgrund der längeren Nachwinterentwicklungsperiode des Weizens, verbunden mit der relativ späten Kornausbildung im Vergleich zu anderen Getreidearten sowie der im Gegensatz zur Wintergerste geringeren Nutzung der im Boden gespeicherten Winterfeuchte, sind Niederschläge im Frühjahr und im Sommer wichtig (AUFHAMMER, 1998).

Auf fruchtbaren Ackerböden hat Winterweizen eine bevorzugte Stellung. Einerseits nützt er die Vorfruchtwirkungen optimal aus und anderseits ist es möglich, Winterweizen auch nach einer spät räumenden Vorfrucht, meist Blattfrüchten, wie auch im angeführten Versuch im Jahr 2011, auszusäen. Trotz des steigenden Ertrags- und Krankheitsrisikos, wird auf höherwertigen Standorten ein Anbau von Weizen nach Weizen immer häufiger.

2.3. Verwertung und Qualität des Weizen

Der hohe Stellenwert des Weizens liegt einerseits an seiner hohen Anpassungsfähigkeit in der Produktion an unterschiedliche Boden- und Klimaverhältnisse und anderseits an seiner vielfältigen Nutzungs- und Verwertungsmöglichkeit. Aus diesen Gründen wird Weizen in kalten (arktischen) und feuchten (humiden) Regionen, bis in das tropische Hochland am Äquator (z.B. in Ostafrika) und bis auf Meereshöhen von 4500 m in Tibet angebaut (REINER, 1992).

Der Anbau von Weichweizen dient weltweit hauptsächlich der Ernährung. Verantwortlich dafür ist neben seinem hohen Nährwert, vor allem die Fähigkeit des Weizenklebers, dass CO_2, welches beim Gären entsteht, festzuhalten. Dadurch ist die Produktion von Bäckereiwaren und vor allem Brot als Hauptnahrungsmittel der Welt möglich (PERNKOPF, 2000).
Eine weitere Verwendung findet der Weizen in der Fütterung, der Bier- und Branntweinherstellung sowie der Stärke- und Bioethanolerzeugung. Seit wenigen Jahren wird vor allem die Bioethanolerzeugung im Europäischen Raum immer bedeutender.

In Österreich wird etwas mehr als die Hälfte des Weizens, nach Daten der Agrarmarkt Austria, zur Ernährung verwendet. Seit dem Jahr 2008/2009 wird des Weiteren rund ein Drittel der Weichweizenmenge in der einzigen Bioethanolanlage in Österreich, der AGRANA im niederösterreichischen Pischelsdorf, verarbeitet. 14 % werden in der Fütterung eingesetzt und

der Rest wird als Saatgut bzw. die restliche Erntemenge in der Industrie verwertet. Eine detaillierte Verteilung über die letzten Jahre ist in der folgenden Tabelle ersichtlich.

Tabelle 1: Verwendung von Weichweizen in Österreich (AMA, 2013)

Werte in %	Weichweizen				
	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	Mittel
Ernährung	57,0	48,5	54,5	52,8	53,2
Bioethanol	27,1	34,5	29,0	28,3	29,7
Fütterung	12,6	13,3	13,9	15,8	13,9
Saatgut	2,0	2,6	2,1	2,6	2,3
Industrie	1,3	1,1	0,5	0,5	0,9

Weichweizen ist meistens mit seinem hohen Stärke- und geringen Rohfasergehalt ein sehr wertvolles Kraftfutter für alle Tiere und wird deshalb auch sehr gerne aufgrund seiner hohen Produktionsleistung direkt zur Verfütterung angebaut. Wertvoll beim Weizen ist vor allem seine besonders günstige Zusammensetzung der Nährstofffraktionen Rohfett, Rohfaser und N- freie Extraktstoffe. In Futterrationen wird er deshalb meist als Energielieferant eingesetzt (REINER, 1992).

Hartweizen ist vor allem innerhalb Europas auf wärmeren, insbesondere durch Sommertrockenheit gekennzeichneten Gebieten, zu finden. Das Hartweizen Anbaugebiet erstreckt sich vor allem über die Mittelmeerländer und die südosteuropäischen Staaten. In Österreich wird er im östlichen Weinviertel, im Marchfeld und im Wiener Becken angebaut.

Der Anbau dient primär der Erzeugung von Grieß und Teigwaren. Darum werden auch fast 90 % der Produktionsmenge in Österreich zur Herstellung von Lebensmitteln verwendet. Die Produktion als Futtermittel hat in Österreich bei Hartweizen mit nur 4 % keine nennenswerte Bedeutung. Die übrigen 8 % werden als Saatgut benötigt.

Tabelle 2: Verwendung von Hartweizen in Österreich (AMA, 2013)

Werte in %	Hartweizen				
	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	Mittel
Ernährung	88,7	86,1	88,5	88,9	88,1
Saatgut	6,8	8,3	8,6	8,3	8,0
Fütterung	4,5	5,6	2,9	2,8	4,0

Der Begriff Qualität und dessen Kriterien werden beim Weizen weniger nach der chemischen Zusammensetzung des Korns bzw. Mehls oder den ernährungsphysiologischen Eigenschaften, bestimmt, sondern wesentlich durch die Richtung der Weiterverarbeitung also durch die Verwendung des Ernteprodukts in der Müllerei, Bäckerei, Ethanol Herstellung, Fütterung und anderen Bereichen, festgelegt (GEISLER, 1988).

In der Müllerei sind die wesentlichen Anforderungen für Weichweizen die Mahlfähigkeit, die Backfähigkeit und der Aufmischwert. Dabei sind eine hohe Mehlausbeute bei einem geringen Energieaufwand sowie eine hohe Teigausbeute und eine gleichmäßige Verteilung der Poren am Gebäck das Ziel. Wichtige Parameter für diese Anforderungen sind die Kornform, Korngröße und die Kornhärte, der Aschgehalt sowie der Klebergehalt und die Kleberqualität. Der Aufmischwert ist für die Mühlen ein wichtiges Kriterium, welches ermöglicht, Weizensorten untereinander so zu mischen, dass das Endprodukt Mehl eine weitgehendste gleichbleibende Qualität aufweist (REINER, 1992).

Beim Hartweizen liegen aufgrund der speziellen Verwertung für die Grieß- und Teigwarenproduktion spezielle Qualitätsanforderungen vor. Entscheidend sind vor allem ein hohes Hektolitergewicht, glasige Körner, ein niedriger Aschegehalt, ein hoher Proteingehalt und wenn möglich keine missfarbigen Körner. Vor allem die Glasigkeit spielt eine wesentliche Rolle, da von ihr die Grießausbeute und die Reinheit der Grieße abhängt (GEISLER, 1988).

Ein Großteil der Untersuchungsmethoden zur Beurteilung der Backfähigkeit erfordert einen hohen Aufwand, Zeit und Kosten. Während der Ernte, speziell bei der Übernahme des Weizens durch den Händler vom Bauern, hat sich aus Zeitaufwandsgründen eine Reihe von indirekten Qualitätskriterien durchgesetzt. Die am einfachsten zu bestimmenden und festzustellenden

Parameter sind der Proteingehalt, der Sedimentationswert nach Zeleny, das Hektolitergewicht und die Fallzahl nach Hagberg. In Tabelle 3 sind die bedeutendsten Qualitätskriterien und Anforderungen für den Landwirt, um eine erfolgreiche Vermarktung von Winterweizen durchzuführen, zusammengefasst.

Tabelle 3: Bedeutende Qualitätskriterien in Europa bei Weizen (* EU, 2009; ** BGA, 2012; ** AGES, 2012)

	Intervention*		**Handel - Weichweizen****		
	Hartweizen	Weichweizen	Mahlweizen	Qualitätsweizen	Premiumweizen
Feuchtigkeit max.	14,5%	14,5%	14,5%	14,5%	14,5%
Besatz max.	12%	12%	7,5%	7,5%	7,5%
davon höchstens:					
Schmacht- u. Bruchkorn	6%	5%	3%	3%	3%
Kornbesatz	5%	7%	5%	5%	5%
Wanzenstich	-	-	1%	1%	0,5%
fusariumbefallene Körner	1,5%	-	0,5%	0,5%	0,5%
Schwarzbesatz davon Mutterkorn	0,05%	0,05%	1%	1%	1%
Auswuchs Basis max.	4%	4%	1%	1%	1%
kg/hl Basis min.	78	73	79	80	80
Fallzahl nach Hagberg min.	220 sek.	220 sek.	220 sek.	250 sek.	280 sek.
Sedimentationswert ml min.	-	22	35	45-50	45-50
Rohprotein min.	11,5%	10,5%	12,5%	14,0%	15,0%
Literatur:					

Für die Bioethanolproduktion sowie für die Verwertung von Weizen in der Brennerei sind ein hoher Stärkegehalt (65 – 70 %) sowie eine hohe Alkoholausbeute (35 – 40 l Weingeist je 100 kg Weizen) wichtig. Für die Brauerei ist das wichtigste Kriterium die Extraktausbeute. Gute Werte liegen hier um die 85 %. Um dies zu erreichen, sind Weizenpartien mit einem Rohproteingehalt um die 11 % optimal (REINER, 1992).

2.4. Bodenbearbeitung

Im weltweit verbreiteten, durch Fruchtfolge gekennzeichneten Ackerbau, werden Pflanzenbestände in meist sehr genau definierten Rhythmen durch Bestellung aufgebaut und am Ende der Vegetationsperiode geerntet. Die Aussaat und die Ernte der Pflanzenbestände bestimmen somit die Zielsetzung und den Zeitpunkt für die Bodenbearbeitung (SOMMER 1998).

Unter der Einwirkung und unter dem Schutz einer ständigen Vegetationsdecke ist unter optimalen Voraussetzungen für das Pflanzenwachstum in der Regel kein Eingriff in das Bodengefüge notwendig. Dieser Bodenzustand, wie er unter einer Grasnarbe zu finden ist, ist auch für eine erfolgreiche Pflanzenproduktion auf dem Acker ein erstrebenswertes Ziel. Die dennoch erforderliche Bodenbearbeitung der Felder hängt mit der Notwendigkeit zusammen, den von vielen äußeren Einflüssen gefährdeten Erfolg des Pflanzenbaues zu sichern. Unter gegebenenfalls ungünstigen Ausgangsbedingungen ist die natürliche Ertragsfähigkeit der Böden über dem ursprünglichen Niveau hinaus zu steigern.

Nach STEINEK (1984) hat die Bodenbearbeitung das Ziel, durch die Optimierung der biologischen, physikalischen und chemischen Fruchtbarkeitseigenschaften des Bodens jene Wachstumsbedingungen herzustellen, die zur Manifestation der verschiedenen Kulturpflanzen erforderlich sind.

Um diesen wünschenswerten Sollzustand des Bodens mit einfachen Methoden beschreiben zu können, werden sehr bald die Grenzen erreicht. Ein verlässliches und repräsentatives Ergebnis für einen Feldschlag ist mit einem hohen Aufwand verbunden. Aufgrund der möglichen unterschiedlichen Bodenverhältnissen eines Schlages muss nicht nur an vielen Orten eines Ackers gemessen, sondern auch noch in unterschiedlichen Bodentiefen beprobt werden. Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, dass der Gefügezustand, welcher durch die Bodenbearbeitung angestrebt wird, von Zielen abhängig bzw. bestimmt ist, welche erst in Tagen, Wochen oder sogar Monaten erreicht werden. Daraus ergibt sich, dass der angestrebte künftige Bodenzustand nur aus den bisherigen Erfahrungen des Landwirtes beschrieben werden kann (BAEUMER, 1992).

BAEUMER (1992) sowie SOMMER (1998) formulieren die Aufgaben der Bodenbearbeitung wie folgt:

- Herstellung eines physikalisch günstigen Bodengefüges in der Ackerkrume für die folgenden Kulturpflanzen sowie für die nachfolgende Bodenbearbeitung. Wichtig dabei ist die Bildung eines ungestörten Übergangs zum Unterboden um den Luft-, Wasser- und Wärmehaushalt positiv zu beeinflussen und die Bildung von Oberflächenwasser und in weiterer Folge eine mögliche Wassererosion zu verhindern.
- Bereitung eines Keim- und Saatbettes damit dem Saat- bzw. Pflanzgut der Zugang zu genügend Wasser, Wärme und Sauerstoff gewährleistet ist. Dabei wird der Oberboden vor allem gekrümelt, eingeebnet und wieder rückverfestigt.
- Untermischen von organsicher Masse sowie, Pflanzenschutz– und anderer Düngemittel in den Boden. Dafür werden meist lockernde, aber teilweise auch wendende Bodenbearbeitungsgeräte verwendet.
- Eine weitere Aufgabe ist die mechanische Bekämpfung von unerwünschten Wild- und Kulturpflanzen sofern die Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung nicht ausreichend waren.
- Die nachhaltige Verbesserung des Pflanzenstandortes durch Unterbodenlockerung, Aufbrechen von Ortstein oder gar durch einen Tiefumbruch.

Während einer Vegetationsperiode wird der Boden von einer Vielzahl an Maschinen überfahren, was indirekt auch einer Bodenbearbeitung entspricht. Das Befahren führt nämlich zu einer Rückverfestigung und somit genauso wie die Bearbeitung mit beispielsweise einem Grubber oder Pflug zu einem Eingriff in das Bodengefüge.

Die Bodenbearbeitung lässt sich nach ESTLER (1984) im Allgemeinen in drei Hauptbereiche unterteilen.

1. Die Grundbodenbearbeitung oder auch Primärbodenbearbeitung ist die Lockerung des Bodens bis zu einer Tiefe von maximal 40 cm. Ziel hierbei ist es, vor allem die entstandenen Verdichtungen durch das wiederholte Befahren mechanisch zu beseitigen. Des Weiteren werden dadurch auch Ernterückstände sowie andere organische Masse in die Ackerkrume eingemischt. Die Intensität und Tiefe der Lockerung richten sich meist nach den Boden- und

Klimabedingungen sowie der Folgefrucht. Überwiegend wird dazu noch der Scharpflug verwendet.

2. Die Saat- und Pflanzenbettbereitung, auch als Sekundärbodenbearbeitung bezeichnet, ist die Nachfolgebearbeitung nach der Grundbodenbearbeitung. Sie folgt dieser entweder unmittelbar oder nach einer längeren Pause. Diese Form der Bodenbearbeitung dient der Herstellung eines angepassten Saatbetts für die jeweilige anzubauende Frucht. Aufgabe von Geräten für die Saatbettbereitung ist es, den Boden oberflächennah zu zerkleinern, rück zu verfestigen und einzuebnen. Die Arbeitstiefe selbst richtet sich meist nach der Saatgut Ablagetiefe.

3. Nach der Ernte der Hauptfrucht erfolgt die Stoppelbearbeitung, welche den dritten Bereich bildet. Dabei werden der stehende Aufwuchs oder die Stoppel von den Wurzeln abgetrennt und gemeinsam mit den Ernterückständen in die oberste Ackerkrume teilweise oder vollständig untergemischt und der Boden gelockert. Von der Arbeitstiefe her bewegt man sich hier zwischen der Primär- und der Sekundärbodenbearbeitung. Des Weiteren fördert man dadurch das Auflaufen des Ausfallgetreides sowie der Samen von unerwünschten Pflanzen. Abgesehen von einem guten Misch- und Zerkleinerungseffekt erfordert die Praxis eine hohe Flächenleistung. Die Anforderungen an das Bodenbearbeitungsgerät selbst sind auch davon abhängig, ob das Stroh bei Getreide auf dem Feld verbleibt oder geräumt wird.

Bei einer Bewertung von Kosten zu Nutzen muss die Flächenleistung berücksichtigt werden. Hierfür haben sich vor allem gezogenen Geräte als wirtschaftlich erwiesen (BUCHNER, 1990). Durchgesetzt haben sich für diesen Bearbeitungsvorgang vor allem der Einsatz von Grubbern und Scheibeneggen.

Bedeutend ist auch noch die Untergrundlockerung, welche vor allem meliorativen Zwecken dient. Aufgrund von zunehmenden Schadverdichtungen unterhalb der gewöhnlichen Arbeitstiefe spielt die Lockerung im Unterboden eine immer wichtigere Rolle um optimale Bedingungen für den erfolgreichen Pflanzenbau zu schaffen.

Die Bodenbearbeitung umfasst ein sehr weites Verfahrensspektrum. Angefangen von der konventionellen Bestellung mit Pflug, Kreiselegge und Drillmaschine bis hin zu der Direktsaat,

welche auch in Europa immer größere Verbreitung findet. Es gibt eine Vielzahl an Abstufungen und Varianten, welche in der Praxis angewendet werden. Grundsätzlich wird zwischen konventioneller Bodenbearbeitung (mit Pflug), konservierender Bodenbearbeitung (ohne Pflug) und Direktsaat unterschieden. Unter Direktsaat ist die Aussaat ohne vorhergehende Bearbeitung des Bodens gemeint (RECKLEBEN, 2007).

Die konventionelle Bodenbearbeitung ist gekennzeichnet durch den Einsatz des Pfluges für die Grundbodenbearbeitung. Jahrzehntelange Erfahrungen, ein „reiner Tisch“ für eine störungsfreie Aussaat, das Beseitigen von Beikräutern und Ausfallgetreide sowie die vorhandenen Maschinen sind einige der wichtigsten Gründe für die weite Verbreitung dieses Verfahrens (BUCHNER, 1990).

Mögliche Nachteile für das Pflügen sind der hohe Energie- und Zeitaufwand, das Vergraben von organischer Masse, die erhöhte Erosionsgefahr sowie die Gefahr von Bodenverdichtungen im Pflugsohlenbereich.

Das Gegenstück zur konventionellen Bodenbearbeitung ist die Direktsaat. Bei diesem Verfahren verzichtet man vollständig auf eine Bodenbearbeitung und die Aussaat erfolgt in die Stoppel der Vorfrucht. Die wichtigsten Vorteile der Direktsaat sind die hohe Flächenleistung und der maximale Erosionsschutz. Außerdem ermöglicht es dieses Verfahren den Arbeitsaufwand zur Feldbestellung um bis zu 50 % und den Kraftstoffverbrauch auf etwa 30 % zu senken (SOMMER, 1998).

3. Material und Methoden

3.1. Material

3.1.1. Standort

Der Versuchsstandort liegt im Marchfeld, ca. 23 km östlich von Wien. Das Marchfeld, auch als „Kornkammer Österreichs“ bezeichnet, ist ca. 930 km² groß und ist die größte Ebene Österreichs. Es liegt nordöstlich der Bundeshauptstadt Wien und wird im Süden von der Donau, im Osten von der March, im Norden vom Hügelland und im Westen vom Bisambergzug begrenzt. Obwohl als „Kornkammer Österreichs“ bezeichnet, ist diese Region mit einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von 550 mm das trockenste Gebiet Österreichs.

Die Daten für die angeführte Arbeit wurden auf den Flächen des Langzeitversuchs der Versuchswirtschaft Groß Enzersdorf, welche zu der Universität für Bodenkultur Wien gehört, erhoben. Die Versuchsfläche liegt 3 km östlich von Raasdorf, auf einer Seehöhe von 156 m, auf ca. 48° 14‘ nördlicher Breite und 16° 35‘ östlicher Länge.



Abb. 6: Niederösterreichkarte mit Lage des Versuchsstandort (Quelle: "(c) Land Niederösterreich, NÖ Atlas")

3.1.1.1. Klima und Witterung 2012

Die Versuchsfläche sowie die Versuchswirtschaft Groß Enzersdorf liegen im sogenannten Pannonischen Klimaraum. Den Namen erhielt dieses Gebiet aufgrund der pannonischen Provinz des römischen Reiches, deren Ausdehnung ungefähr der Größe dieser Klimaregion entsprach. Geprägt ist diese Klimaregion vor allem durch sehr wenig Niederschlägen und sehr starken Unterschieden zwischen den Monaten Jänner und Juli. Des Weiteren sorgen Winde aufgrund der flachen und weit offenen Landschaft für Trockenheit im Sommer und relativ niedrige Temperaturen im Winter.

In Abbildung 7 sind die Wetterdaten, die Werte des langjährigen Mittels von der Messstelle der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) in Groß Enzersdorf sowie die Daten für den Zeitraum von August 2011 bis Dezember 2012, von der Wetterstation nahe der Versuchsfläche in Raasdorf der Versuchswirtschaft Groß Enzersdorf, dargestellt.

Im Jahr 2012 betrug der Jahresniederschlag auf der Versuchsfläche 415 mm, die mittlere Jahrestemperatur 10,9 °C und es gab eine durchschnittliche Luftfeuchtigkeit von 69,15 %. Der Vergleich der Jahresniederschlagsmenge 2012 von 415 mm mit dem langjährigen Mittel mit einer Niederschlagsmenge von 520 mm zeigt, dass das Jahr 2012 durch Trockenheit gekennzeichnet war. Im Oktober 2011, zum Zeitpunkt des Aufgangs und der Blattentwicklung des Winterweizens, waren die Bedingungen aufgrund von 33 mm Niederschlag noch günstig. Sehr auffallend ist der November 2011, mit nur 0,8 mm Niederschlag, wie in der Abbildung 7 erkennbar.

Außer im Jänner 2012, wo überdurchschnittlich hohe Niederschlagsmengen fielen, blieben die Niederschläge im Frühjahr bis zur Ernte unter den Durchschnittswerten. Die Durchschnittswerte des langjährigen Mittels sind im Diagramm durch die blauen Balken dargestellt. Während der Erntezeit im Juli wurde die größte Niederschlagsmenge pro Monat mit 87,8 mm gemessen. Den höchsten Tagesniederschlag gab es am 27. Oktober 2012, mit einer Menge von 17,2 mm.

Die Temperaturverläufe des Langjährigen Mittels auf der Versuchsfläche sind in der schwarzen und der roten Linie angeführt. Die mittlere Jahrestemperatur im Jahr 2012 lag um 1,1 °C höher als im Mittel der Jahre 1971 bis 2000, womit ein Wert von 10,9 °C erreicht wurde.
Während der Vegetationszeit der Hauptfrucht Winterweizen lag die Temperatur lediglich im November 2011 und im Februar 2012 unter dem langjährigen Mittel. Vor allem die ersten zwei Wochen im Februar 2012 waren durch tiefe Minusgrade geprägt, was gebietsweise in Österreich und auch Teilen Deutschlands zu sehr starken Auswinterungen führte. Der tiefste Temperaturwert wurde am 3. Februar 2012 mit -11,9 °C gemessen. Die Monate März bis September waren überdurchschnittlich warm und die höchste Tagestemperatur wurde am 01. Juli 2012 mit 28,9 °C gemessen (BOKU, 2012).

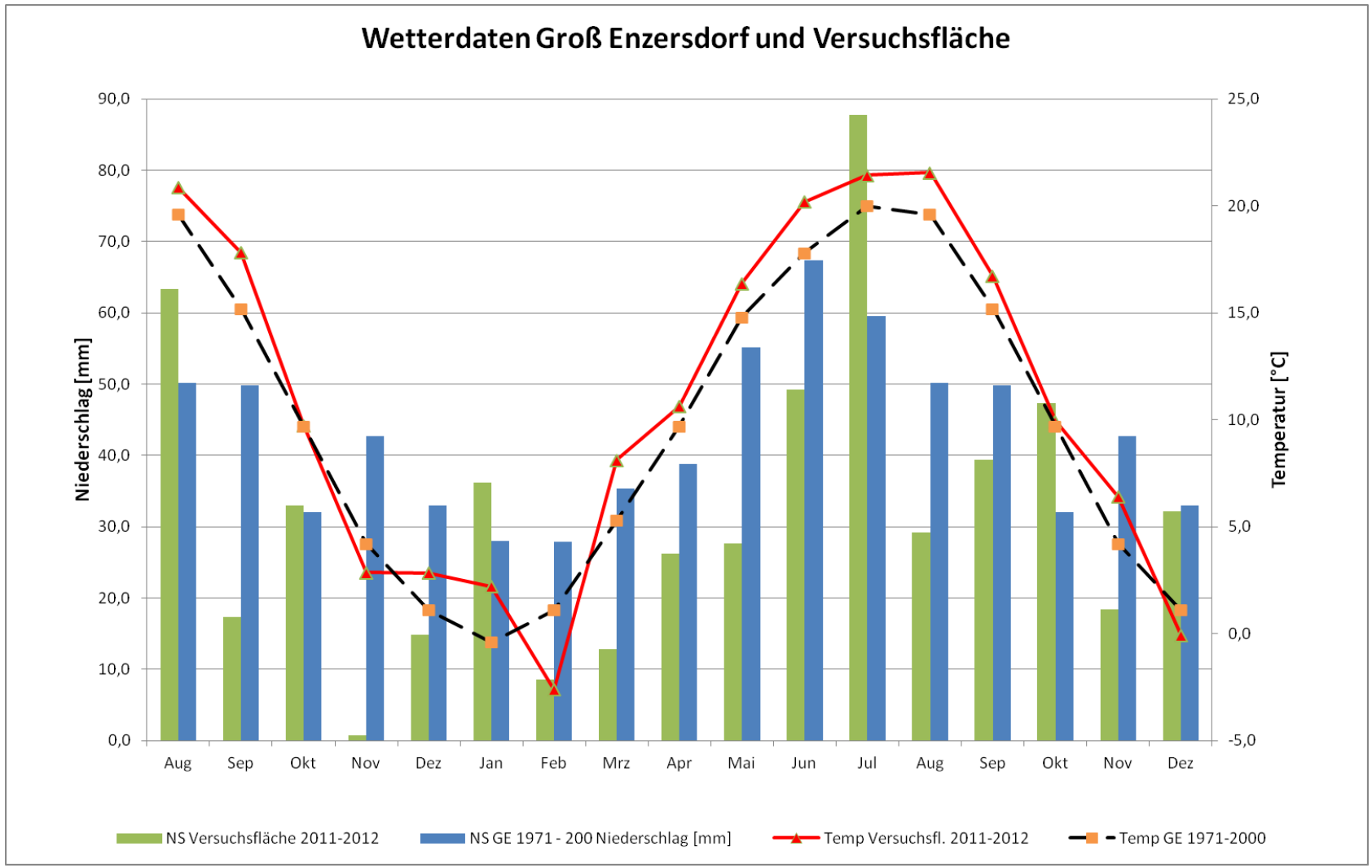


Abb. 7: Wetterdaten am Versuchsstandort Groß Enzersdorf 2012 im Vergleich zum langjährigen Mittel

3.1.1.2. Boden

Die Böden im Produktionsgebiet Marchfeld (ein Teil der Praterterrasse) und somit der Boden der Versuchsfläche sind überwiegend ein Tschernosem. Der Boden ist tiefgründig, mittelschwer und besteht aus sandigem Lehm. Zu erwähnen ist, dass die Tiefgründigkeit des Bodens aufgrund hoch anstehender Schotterlagen nicht über alle Parzellen einheitlich vorliegt. Der A – Horizont reicht von 0 – 25 cm, hat eine graubraune Farbe und weist einen Humusgehalt von 2,5 bis 4,8 % auf. Von der Bodenreaktion her liegen die Böden der Versuchsfläche leicht (Versorgungsstufe D) im alkalischen Bereich (pH 7,5 – 7,6), sie sind hoch mit Phosphor, Kalium und Magnesium versorgt.

3.1.2. Versuchsaufbau und Faktoren

Auf der Versuchsfläche im Bodenbearbeitungssystemvergleich in Raasdorf werden seit dem Jahre 1996, seit Bestehen des Langzeitversuches, Daten erhoben, gemessen und analysiert. Die Langzeitversuchsanlage ist eine Split-Plot-Anlage, welche aus zwei Faktoren und vier Wiederholungen besteht. Hauptfaktor sind die fünf unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme sowie die zwei unterschiedlichen Fruchtfolgen als Nebenfaktor.

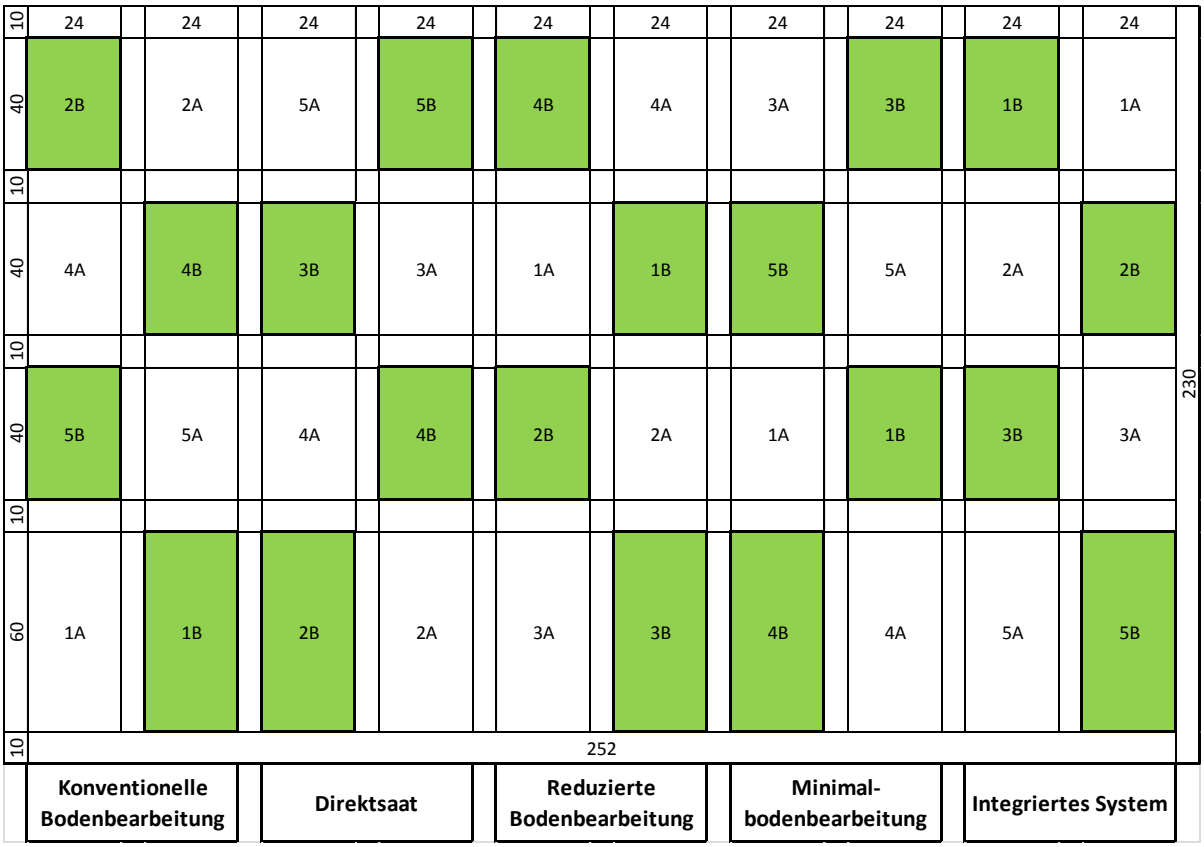


Abb. 8: Versuchsanlage(Skizze) Bodenbearbeitungssystemvergleich Raasdorf, Versuchswirtschaft Boku Wien

Wie in der Abbildung 8 erkennbar, besteht der Versuch aus insgesamt 40 Parzellen. Jede Wiederholung besteht aus 10 Parzellen. Des Weiteren entsprechen in jeder Wiederholung immer zwei Parzellen nebeneinander einem Bodenbearbeitungssystem, mit jeweils zwei verschiedenen Fruchtfolgen. Daraus ergibt sich das sowohl A als auch B die Kennzeichnung für die Fruchtfolge sowie die Nummern 1 – 5 die Bezeichnung für das jeweilige Bodenbearbeitungssystem sind. Die Parzellen der ersten Wiederholung sind mit 1440 m² größer. Die Parzellen in der zweiten bis zur vierten Wiederholung sind mit einer Größe von 960 m² etwas kleiner, was auf die um 20 m kürzere Parzellenlänge zurückführen ist. In dieser Diplomarbeit wurden überwiegend die ersten drei Wiederholungen des Langzeitversuchs bearbeitet.

In der folgenden Abbildung ist die Versuchsfläche anhand eines Satellitenbildes dargestellt. Darauf kann man sehr gut die unterschiedlichen Parzellenlängen sowie den unterschiedlichen Wachstumsverlauf des Winterweizens auf den 40 Parzellen erkennen. Die Satellitenaufnahme wurde am 28. April 2012, aus einer Sichthöhe von ca. 535 m, aufgenommen.



Abb. 9: Satellitenaufnahme des Langzeitversuch Raasdorf (Quelle: Google Maps)

3.1.3. Bodenbearbeitungssysteme

Bodenbearbeitungssysteme sind mehrere folgende Bodenbearbeitungsmaßnahmen welche aufeinander sowie auf andere Maßnahmen im Pflanzenbau abgestimmt sind. Weitere Maßnahmen können die Fruchtfolge, die Aussaatbedingungen, der Pflanzenschutz sowie Düngung und Ernte sein (FREDE, 1986).

Nach BAEUMER (1992) lassen sich die Bodenbearbeitungssysteme im Allgemeinen nach drei Gesichtspunkten ordnen:

a) Anzahl der Verfahrensschritte

   Hierbei unterteilt man die Bodenbearbeitung grundsätzlich in drei Schritte, nämlich die Stoppelbearbeitung nach der Ernte der Vorfrucht, die darauffolgende tiefgreifende-lockernde und meist auch wendende Grundbodenbearbeitung und abschließend eine flache Saatbeetbereitung.

b) Art und Intensität der Bearbeitung

Als wichtige Kriterien werden hierfür die lockernden und mischenden Eingriffe in Betracht gezogen. Um die Art der Bearbeitung zu charakterisieren, wird die vorhandene organische Masse an der Oberfläche verwendet. Dadurch kann festgestellt werden, wie viel Masse durch die Bodenbearbeitung in den Boden eingemischt wird. Die Variationsbreite reicht vom „reinen Tisch“, der vollständigen Einmischung durch den Pflug bis zum Belassen der ganzen organischen Masse an der Oberfläche, was den Mulchsaatverfahren bzw. dem Direktsaatverfahren entspricht. Die Intensität der Bearbeitung betrifft sowohl die Tiefe, die Flächenausdehnung aber auch die Häufigkeit der Bearbeitung.

c) Zweckbestimmung des Verfahrens

Bestimmte Ziele wurden als Kriterium benutzt. Soll zum Beispiel neben dem erfolgreichen Anbau einer Feldfrucht noch das Ziel einen wirkungsvollen Schutz gegen z.B. Wind- und Wassererosion erreicht werden, dann spricht man von der „konservierenden Bodenbearbeitung“.

3.1.3.1. Konventionelle Bodenbearbeitung

Bei der „Konventionellen Bodenbearbeitung“ oder auch als Lockerbodenwirtschaft bezeichnet, wird die Grundbodenbearbeitung vor jeder Hauptfrucht mit einer tiefgreifenden-lockerdenden und wendenden Bodenbearbeitung durch dem Pflug auf Krumentiefe durchgeführt. Dabei wird die aufliegende makroorganische Substanz völlig vergraben, welches im Sprachgebrauch auch als „reiner Tisch“ bekannt ist. Danach bleibt das Feldstück über Tage, Wochen oder Monate brach, bis kurz vor der Saat die Saatbeetbereitung auf der Tiefe der Saatgutablage erfolgt. Vorteile dieses Verfahrens sind die gute Lockerung, der reine Tisch und somit die nicht vorhandene organische Masse an der Oberfläche beim Anbau der Folgefrucht sowie die meist eintretende Frostgare. Nachteilig kann sich dieses Verfahren vor allem in sehr stark vom Wind beeinträchtigten Gebieten bezüglich der Winderosion auswirken. Ein weiterer Faktor ist auch die geringere Flächenleistung verbunden mit einem höheren Kraftstoffverbrauch und somit auch höheren Kosten. Auch eine höhere Wassererosion, das Bilden einer „Matratze“ von

organischer Masse im Boden, eine Überlockerung sowie die Bildung einer Pflugsohle und somit unerwünschten Verdichtungen bei zu feuchten Bedingungen zum Zeitpunkt der Bearbeitung können sich negativ auswirken.

3.1.3.2. Reduzierte Bodenbearbeitung

Die „Reduzierte Bodenbearbeitung“ zeichnet sich dadurch aus, dass der Pflug als Grundbodenbearbeitungsgerät durch einen Grubber ersetzt wird, welcher bis ca. 20 cm Bodentiefe eine flächendeckende wühlende Bodenbearbeitung durchführt. Dadurch wird die Bildung einer Pflugsohle verhindert und die wendende Bodenbearbeitung vermieden. Trotzdem kommt es zu einer optimalen Einmischung der Pflanzenreste sowie zu einer optimalen Lockerung. Zusätzlich zum Grubber kommt je nach Folgefrucht noch ein Tiefenlockerer zum Einsatz, der noch tiefer als der Grubber lockert und eventuell vorhandene Verdichtungen aufbricht. Durch diese intensive Mischung des Oberbodens wird der Großteil der organischen Masse in den Oberboden eingemischt. Vor der Aussaat erfolgt meist eine flache Saatbettbereitung mit gezogenen oder zapfwellengetriebenen rotierenden Geräten. Die Saat selbst erfolgt meist in Form einer Mulchsaat. Eine ähnliche Lockerungsintensität auf Krumentiefe bei einer höheren Flächenleistung im Vergleich zu Pflug sowie die bereits erwähnte gute Einarbeitung der organischen Masse sind die Vorteile für dieses Verfahren.

3.1.3.3. Minimale Bodenbearbeitung

Bei der „Minimalen Bodenbearbeitung“ wird vor jeder Hauptfrucht eine flächendeckende lockernde Bodenbearbeitung, aber nur sehr flach bis ca. 10 cm Bodentiefe, durchgeführt. Somit wird vollständig auf den Pflug bzw. auf einem Tiefenlockerer verzichtet. Die Saatbettbereitung und die Aussaat erfolgen wie bei der „Reduzierten Bodenbearbeitung“. Durch die geringere Bearbeitungstiefe ist der Anteil der organischen Masse an der Bodenoberfläche höher als bei der „Reduzierten Bodenbearbeitung“. Im Weiteren ist es aufgrund des Verzichts einer tiefen Bodenbearbeitung möglich, welche Leistung und dadurch Kosten fordert, die Gesamtkosten zu reduzieren. Der Bearbeitungszeitpunkt, bei dem die Felder befahren werden, ist meist kurz, da Verdichtungen durch das Befahren nur schwer wieder behoben werden können.

3.1.3.4. Integriertes System (Liebhard 1994)

Dieses System ist eine Vernetzung der „Konventionellen Bodenbearbeitung“ mit der „Reduzierten Bodenbearbeitung“. Dabei wird versucht, die Vorteile beider Systeme so weit wie möglich zu vereinen. Grundlegend erfolgt während einer gesamten Fruchtfolgerotation nur einmal eine wendende Bodenbearbeitung auf Krumentiefe (mit dem Pflug). Meist erfolgt diese vor Hackfrüchten, wie Kartoffel und Zuckerrübe oder bei Fruchtarten mit einem sehr starken Unkrautdruck. Bei allen anderen Fruchtarten, sowie auch bei den Zwischenfrüchten, erfolgt eine reduzierte Bodenbearbeitung mit einem Grubber, Tiefenlockerer oder einer Scheibenegge. Die Aussaat erfolgt, wenn möglich, in Form einer Mulchsaat.

3.1.3.5. Direktsaat

Bei der „Direktsaat“ im System entfällt die Bodenbearbeitung vollständig. Die gesamte organische Substanz verbleibt vollständig auf der Bodenoberfläche. Kurz vor der Aussaat ist meist eine chemische Unkrautbekämpfung mit einem Totalherbizid notwendig, um einen hohen Feldaufgang zu ermöglichen. Die Aussaat selbst erfolgt mit einer speziell für diese Verhältnisse ausgestatteten Sämaschine. Der Boden wird dabei von Scheiben oder Scharen nur innerhalb der Saatreihe geöffnet, wodurch das Saatgut in den Boden auf entsprechender Tiefe gelegt werden kann. Bei der Direktsaat wird auf jede Form der Bodenbearbeitung verzichtet. Dadurch ist es möglich, die Arbeits- und Maschinenkosten zu senken. Diverse Geräte wie der Pflug oder ein Grubber werden nicht mehr benötigt. Des Weiteren wirkt sich der Verzicht auf die Bodenbearbeitung positiv auf die Gefügestabilität und die Populationsdichte der Regenwürmer aus. Ein weiterer großer Vorteil, vor allem bei Hackfrüchten, ist eine mögliche ständige Bodenbedeckung mit organischer Masse und die dadurch verringerte Gefahr einer Erosion (Wasser und Wind). Zu großen Problemen können sich je nach Anbauregion und Fruchtfolge der Schädlings- sowie der Krankheitsdruck entwickeln. Um das Risiko eines totalen Ausfalls zu vermeiden, erfordert dieses System vor allem in den ersten Jahren ein hohes Maß an fachlichem Wissen. Nachteilig kann sich im Weiteren auch der hohe Aufwand an Pflanzenschutzmittel und eine höhere Nährstoffkonzentration an der Bodenoberfläche auswirken.

3.1.4. Hauptfrucht und Vorfrucht

Auf dem Bodenbearbeitungsversuch in Groß Enzersdorf standen im Jahr 2011 als Vorfrucht Zuckerrüben und Winterweizen. Auf den weißen Parzellen des Versuchsplans mit der Bezeichnung A (nach der Zahl) stand Winterweizen als Vorfrucht, während auf den hellgrünen Parzellen (mit dem B gekennzeichnet) die Zuckerrübe als Vorfrucht stand. Die Ernte der Zuckerrübe erfolgte von 17. bis 19. Oktober 2011.

Als Folge-Hauptfrucht wurde am 23. Oktober 2011 Winterweizen der Sorte Astardo gesät. Astardo ist eine Qualitätsweizensorte, welche sich im Mittelfeld aller Weizensorten, in der Österreichischen Beschreibenden Sortenliste, befindet. Die Saatstärke betrug 330 Körner/m².
Die Düngung des Weizenbestandes erfolgte zu drei Terminen und mit unterschiedlicher Stickstoff Aufwandsmenge, wie in Tabelle 4 angeführt.

Tabelle 4: Aufwandmengen und Zeitpunkt der N-Düngemittelausbringung, Versuchsfeld Bodenbearbeitungssystemvergleich (2012)

Zeitpunkt	Düngemittel kg/ha	Reinstickstoff kg/ha
20. März 2012	200 kg NAC	54
07. Mai 2012	200 kg NAC	54
04. Juni 2012	100 kg NAC	27

Im gesamten Pflanzenschutz erfolgte lediglich am 27. März 2012 eine Herbizidbehandlung. Als Herbizid wurde Aniten Duo, zur Bekämpfung von zweikeimblättrigen Unkräutern, mit einer Aufwandmenge von zwei Liter je Hektar eingesetzt.

3.2. Methoden

3.2.1. Messung der stomatären Leitfähigkeit

Zur Ermittlung der stomatären Leitfähigkeit bei Weizen, kam der Leaf Porometer Model SC1 der Firma Decagon Devices zum Einsatz. Um die Messungen bei optimalen Bedingungen durchführen zu können, aber dennoch genügend Daten zu erhalten, wurden die Messungen auf zwei Tage aufgeteilt. Die stomatäre Leitfähigkeit wurde am 18. Juni und am 19. Juni, jeweils an fünf Weizenpflanzen pro Parzelle, gemessen. In Summe wurden somit 10 Messungen pro Parzelle durchgeführt. Die Datenerfassung erfolgte in den Parzellen der ersten drei Wiederholungen.



Abb. 10: Leaf Porometer Model SC1 (Weber, 2012)

Vor Beginn der Messungen, muss das Messgerät kalibriert werden. Dieser Schritt ist wichtig, da das Messgerät um Messfehler zu verhindern, an die umgebene Luftfeuchtigkeit angepasst werden muss. Am günstigsten sind die Messungen bei Windstille, da es sonst zu verfälschten Ergebnissen kommen kann. Der Ablauf der Kalibration ist einfach aufgebaut, und den Anweisungen, am Display des Porometers ist zu folgen.

3.2.2. Ermittlung des Chlorophyllgehalt (Spadgrün)

Der Chlorophyllgehalt einer Pflanze ist ein wichtiger Indikator für die Pflanzengesundheit und die damit nachfolgende Ertragsleistung.

Die Messung wurde am 12. Juni 2012 auf drei Wiederholungen durchgeführt. Pro Parzelle wurden 20 verschiedene Weizenpflanzen herangezogen, welche über die gesamte Fläche der Parzelle verteilt waren. Die Messung erfolgte mit dem Spad 502 Plus der Firma Konica Minolta. Durch den einfachen Aufbau des Geräts und ebenso deren Handhabung ist es möglich, in kürzester Zeit den Chlorophyllgehalt von Pflanzenblättern zu bestimmen (ohne diese zu beschädigen). Dabei bestimmt der Spad 502 Plus die Menge des vorhandenen Chlorophylls durch Messung der Absorption des Blattes im roten und nahen infraroten Bereich. In Anlehnung an das Lambert-Beer'sche Gesetz kann dadurch auf die Chlorophyllkonzentration im Blatt geschlossen werden.

Für die Messung wird an der ausgewählten Pflanze das Fahnenblatt genommen und dieses vor dem Rezeptor gehalten. Anschließend wird der Messkopf des Spad 502 Plus durch nach unten drücken geschlossen und die Messung startet. Nach ein paar Sekunden erhält man als Ergebnis, einen „Spadwert" welcher proportional zu der zum Zeitpunkt der Messung vorhandenen Menge an Chlorophyll im Blatt steht.



Abb. 11: Spad 502 Plus im Einsatz (Weber, 2012)

3.2.3. Bodenbedeckungsgrad

Der Bodenbedeckungsgrad stellt das Verhältnis der von Pflanzen überdeckten Fläche zur Bestandsgrundfläche dar. Er variiert zwischen null und eins (KNORR, 2000).
In dieser Arbeit wird er als prozentualer Bedeckungsgrad, also der Anteil der Bestandsgrundfläche, der lückenlos durch photosynthetisch aktives Material überdeckt ist erfasst und liegt zwischen null und 100 %.

Um den prozentuellen Bodenbedeckungsgrad zu ermitteln, werden Bilder der zu untersuchenden Fläche benötigt, welche anschließend am Computer mithilfe eines Bildbearbeitungsprogramms ausgewertet werden.

Der Bedeckungsgrad wurde in den ersten zwei Wiederholungen am 26. April, 15. Mai und am 06. Juni 2012 gemessen. Dafür wurden pro Parzelle und Zeitpunkt drei Fotos, aus einer Höhe von ca. 80 cm aufgenommen. Um einen repräsentativen Wert der Bedeckung zu erhalten ist es notwendig, einen Winkel von 90° soweit wie möglich einzuhalten. Des Weiteren ist es wichtig darauf zu achten, keine selbst erzeugten Schatten zu fotografieren, da diese später bei der Auswertung den Bedeckungsgrad verfälschen.



Abb. 12: Bodenbedeckung bei „Reduzierte Bodenbearbeitung" (1. Wdhg.) zu den drei Zeitpunkten (Weber, 2012)

Für die Ermittlung der Bodenbedeckung anhand der Bilder wurde das Bildbearbeitungsprogram SigmaScan Pro 5 eingesetzt. Nach dem Feststellen der Gesamtpixelanzahl eines Digitalfotos ist als weiter Schritt das Festlegen der Farbgrenzen erforderlich. Dabei unterscheidet man anhand eines repräsentativen Bildes des jeweiligen Zeitpunkts zwischen Grün, was der Pflanze und Braun, was dem Boden entspricht. Anschließend färbt das Programm alles innerhalb dieser

Farbgrenze, jene Fläche, was der Pflanze entspricht und berechnet anhand der Gesamtpixelanzahl den Anteil in Prozent und gibt diesen in einer Excel Datei wieder.

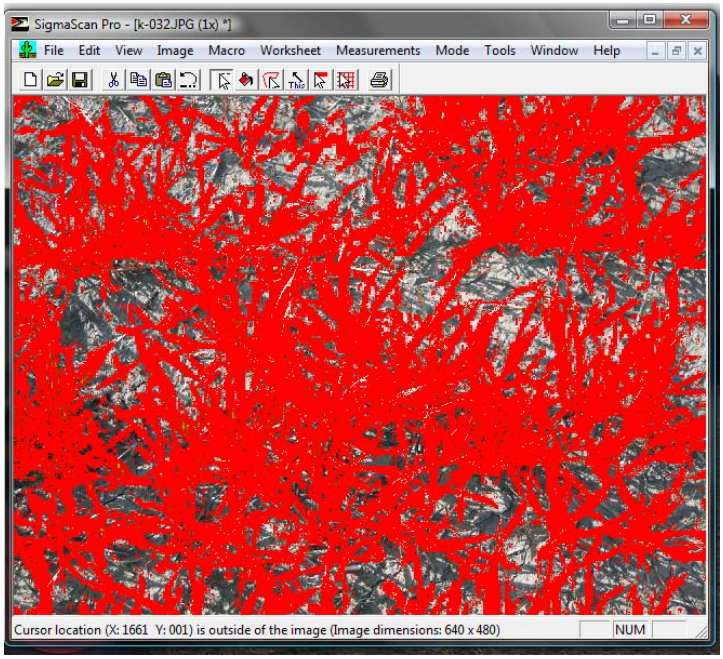


Abb. 13: Beispiel des Bedeckungsgrad laut SigmaScan Pro 5

3.2.4. Blattflächenindex

Der Blattflächenindex (LAI = Leaf Area Index) beschreibt das Verhältnis der gesamten Blattoberfläche eines Bestandes zur jeweiligen Bodengrundfläche. Er erlaubt Rückschlüsse auf die photosynthetische Aktivität und damit auf die Produktivität der Vegetation (DUCHEMIN et al. 2006).

Gibt es keine Bedeckung mit Blätter, dann beträgt der LAI = 0. Entspricht die Blattoberfläche der horizontalen Bodenfläche, so beträgt der LAI eins. Ist die Blattfläche doppelt so groß beträgt der LAI zwei usw. Der maximale LAI beträgt 16 und wird in den immergrünen Wäldern der Westküste der USA erreicht. Ab einem LAI > 1 sind nicht mehr alle Blätter von oben zu sehen.



Abb. 14: LAI - 2000 Datenlogger und Sensor (Weber, Juni 2012)

Die Messung wurde am 20. Juni 2012 in den ersten drei Wiederholungen durchgeführt. Verwendet wurde dabei der LAI – 2000 Plant Canopy Analyzer der Firma LI – COR Biosciences mit Sitz in Nebraska, USA. Dieses Gerät ermittelt die durch die Pflanzendecke durchdringende diffuse Strahlung mit einer „Fischaugen–Linse“, in dem der Lichteinfall auf einen Detektor projiziert wird. Dieser Detektor besteht aus fünf separaten Silicium – Detektoren, welche in konzentrischen Ringen angeordnet sind und jeder einen unterschiedlichen Winkelbereich erkennt. Anschließend berechnet und speichert der LAI-2000 diverse Parameter in dem Datenlogger. Die besten Bedingungen für die Messungen mit dem LAI- 2000 herrschen bei einem gleichmäßig bedeckten Himmel oder bei Sonnenuntergang bzw. Sonnenaufgang (LI-COR, 1992).

Um bei jeder Messung soweit wie möglich einheitliche Bedingungen zu erreichen, wurde der Blickwinkel der Linse mit einer 315° Kappe abgedeckt und zusätzlich über die Messstelle ein schwarzer Regenschirm, welcher zu dem Equipment zählt, gehalten. Pro Parzelle wurde an drei repräsentativen Plätzen eine Messung durchgeführt. Nach einer Kalibrierung des Sensors bei jeder der drei Messstellen oberhalb des Bestandes, wurde eine Messung an acht verschiedenen Punkten im Bestand durchgeführt. Die daraus resultierenden drei LAI – Werte von 24 Messungen bildeten schließlich die Grundlage für den Mittelwert jeder Parzelle.

3.2.5. Eindringwiderstand (Penetrometer)

Mit Hilfe eines Penetrometer ist es möglich, den Eindringwiderstand und somit die Tragkraft eines Bodens zu messen. Der Eindringwiderstand des Bodens ist der Widerstand des Bodens gegen Penetrationskräfte. Dieser Wiederstand wird in Kraft pro Oberflächeneinheit gemessen und in [N/m²] oder in [MPa] ausgedrückt.

Der Eindringwiderstand ist von der Lagerungsdichte, dem Wassergehalt des Bodens und anderen Faktoren abhängig. Es können daher Zusammenhänge mit verschiedenen bodenphysikalischen Eigenschaften (Wasser- und Gashaushalt usw.) hergestellt und daraus Auswirkungen auf das Wurzelwachstum, das Bodenleben und die Bodenfruchtbarkeit abgeleitet werden (EITZINGER, 1988).

Das Penetrometer besteht im Grunde genommen aus einem Messgerät, einer Sondierstange und einem Sondierkonus. Bei einer Messung wird eine kegelförmige Metallspitze, welche als Konus dient, im rechten Winkel in den Boden gedrückt.



Abb. 15: eingesetzter Penetrometer (Weber, 2012)

Um die Messungen durchzuführen, wurde der Penetrologger, ein Penetrometer der Firma Eijekelkamp Agrisearch Equipment, verwendet.

Das Messgerät selbst hat ein Gewicht von 3,4 kg und besitzt zwei Handgriffe, welche es erleichtern den Konus kontinuierlich bis zur vollen Tiefe in den Boden zu drücken. Die gesamte Ausrüstung ist in einem Aluminiumkoffer verpackt und hat ein Gewicht von 15,5 kg. Betrieben wird das Messgerät von fünf AA NiMH 2700 wieder aufladbaren Batterien.

In Abhängigkeit der gewünschten Tiefe und dem zu erwartenden Eindringwiderstand werden die zweiteilige Sondierstange und der kegelförmige Konus an das Messgerät geschraubt. Zur Verfügung stehen vier verschiedene Konusse, welche sich in der Bodenfläche und im Solldurchmesser unterscheiden. Durch die Auswahl eines zu großen Konus kann die maximale Penetrationskraft des Penetrologger überschritten werden. Ein zu kleiner Konus hingegen führt zu ungenauen Messungen, da in diesem Fall eine zu geringe Kraft gemessen wird (EIJKELKAMP, 2007).

Tabelle 5: Konusgrößen des Penetrometer (EIJKELKAMP, 2007)



Nr.	Bodenfläche (cm^2)	Solldurchmesser (mm)	Rückweisungs-durchmesser (mm)
1	1	11,28	11,00
2	2	15,95	15,55
3	3,33	20,60	20,08
4	5	25,23	24,59

Die Tiefenauflösung beträgt 1 cm, das heißt der Eindringwiderstand wird bei jedem Zentimeter Tiefe gemessen. Die maximale Messtiefe beträgt 80 cm. Zur Messung der Eindringtiefe dient ein Ultraschallsensor. Damit dieser ordnungsgemäß funktioniert, ist es notwendig, die Tiefenbezugsplatte durch die der Konus in den Boden einsticht, horizontal auf den Boden zu setzen. Die von dem Sensor ausgesendeten Ultraschallsignale werden an der Tiefenbezugsplatte reflektiert und kehren von dort aus zum Sensor zurück. Des Weiteren darf der Neigungswinkel des Penetrologger keinesfalls um mehr als 3,5° von der Vertikalen abweichen, da dies ansonsten zu Messfehler führen kann.

Um diese Menge an Daten verwerten zu können, verfügt der Penetrologger über einen Speicher, wo 1500 Messungen Platz finden. Dadurch wird es ermöglicht, umfassende Messreihen durchzuführen und zu einem späteren Zeitpunkt auszuwerten. Mit einem mitgelieferten Verbindungskabel und einem Computerprogramm ist es anschließend möglich, die gewonnenen Daten auf einen Computer zu transferieren und auszuwerten.

Durchführung und Auswertung:

Die Messung erfolgte am 15. Juni 2012 um 08.30 Uhr und endete um 17.30 Uhr. Zu Beginn mussten zunächst die Einstellungen des Penetrologgers für die Feldmessungen durchgeführt werden. Dazu ist es notwendig ein Projekt zu definieren. Dafür müssen folgende Parameter im Messgerät programmiert werden:

- Projektbezeichnung
- Benutzername
- Plotbezeichnung
- Konustyp
- Penetrationsgeschwindigkeit
- Anzahl der Plots
- Zahl der Sondierungen pro Plot (max. 20)

Die Eindringwiderstandsmessungen wurden auf drei Wiederholungen à 10 Parzellen und somit auf gesamt 30 Parzellen durchgeführt. Als Anzahl der Plots wurde dadurch 30 gewählt. Pro Parzellen, sprich pro Plot, wurden 20 Einstiche (Sondierungen) durchgeführt. Die Einstiche erfolgten jeweils in der Mitte der Parzelle in einer Reihe mit einem Abstand von rund einem Meter. Des Weiteren erfolgten die Messungen ausschließlich im Bestand, wodurch Verdichtungen speziell auf Fahrgassen nicht gemessen wurden. Als passenden Konus, wurde ein Konus mit einer Oberfläche von 1 cm^2 und einer Spitze von 60° gewählt, da dieser im Regelfall für bodenkundliche Feldmessungen verwendet wird. Die Penetrationsgeschwindigkeit betrug 3 cm/s und die Messtiefe lag bei 40 cm.

Zum Auslesen der Daten wurde der Penetrologger an einen Computer angeschlossen. Anschließend wurden die Daten im Eijekelkamp Penetroviewer 5.08 wiedergegeben und mit Hilfe des Programmes Microsoft Excel 2007 ausgewertet.

3.2.6. Tensionsinfiltrometer

Mit Hilfe des Tensionsinfiltrometer ist es möglich, die Infiltration, sprich die Bewegung des Wassers in einen Boden, relativ schnell, genau und leicht zu ermitteln. Das Tensionsinfiltrometer wird primär als Hilfsmittel zur Quantifizierung und Charakterisierung der Bodenstruktur mittels z.B.: in-situ Messung der Infiltrationsrate und der hydraulischen Leitfähigkeit genutzt.

EITZINGER (1991) schreibt, dass die Infiltration selbst in der Natur eine Folge von Niederschlag, Beregnung und Überstauung ist und wird als Infiltrationsrate wiedergegeben. Dieser Wert gibt jene Wassermenge an, welche in einer bestimmten Zeiteinheit versickert ist. Des Weiteren ist der Verlauf der Infiltration stark abhängig vom Porenanteil und deren Verteilung, der Bodenart und dem Bodengefüge sowie dem Bodenwassergehalt zu Beginn der Infiltration.

Mit dem Tensionsinfiltrometer wird Wasser unter einem stetigen Wasserpotential, einer ungesättigten Infiltrationsoberfläche zugeführt. Dabei startet der Wasserfluss mit einer Initialphase und endet in einem stetigen Fluss. Während der Übergangsphase wächst die Befeuchtungszone kontinuierlich in ihrer Größe, Tiefe und dem Ausmaß an.

3.2.6.1. Aufbau

Der korrekte Aufbau des Tensionsinfiltrometer für eine Messung ist zwar nicht sehr kompliziert, allerdings ist genügend Zeit erforderlich, um Fehler zu vermeiden.
Das Infiltrometer besteht im Wesentlichen aus zwei zylindrischen Röhren, welche sich in Höhe und im Durchmesser unterscheiden. Diese werden vor einer Messung mit Wasser gefüllt. Um die gewünschte Saugspannung einzustellen, werden zuerst beide Röhren mit einem Pfropfen Luftdicht verschlossen. Danach wird mit Hilfe des Röhrchens, welches in der dünneren Röhre in der Höhe verstellbar ist (siehe Abb. 16), die Saugspannung eingestellt. Damit der Wasserstand während der Messung sowie die Saugspannung ablesbar sind, ist an beiden Röhrenzylinder eine Skala angebracht. Außerdem sind sie wie in der Abbildung 16 zu erkennen ist, mit einer dünnen Leitung miteinander verbunden. Diese ist notwendig, damit die Luft, welche während der Messung eindringt, zwischen den Röhren wechseln kann (SCHOLL, 2009).

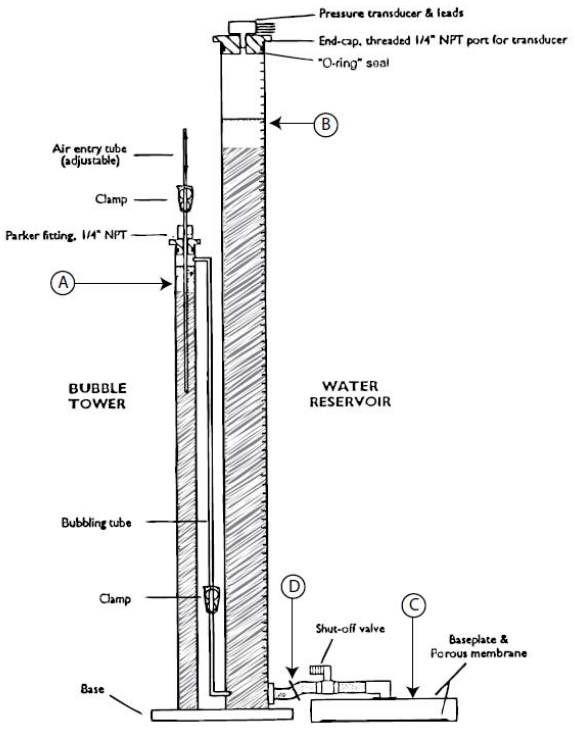


Abb. 16: Konstruktion des Tensionsinfiltrometer (nach EIJKELKAMP 2010)

Der größere Zylinder hat am Fuße eine Öffnung und ist mit einem Schlauch mit einer runden Platte verbunden. Um ein einfacheres Aufstellen des Infiltrometer zu ermöglichen, befindet sich am Verbindungsschlauch ein Ventil, wodurch der Wasserfluss unterbrochen werden kann. Zusätzlich wird dieses auch zum Starten und Beenden einer Messung benötigt. Auf der Unterseite der Platte befindet sich eine wasserdurchlässige, poröse Membran, welche den Kontakt zur Bodenoberfläche herstellt. Diese Membran ist sehr dünn und leicht zu beschädigen, zum Beispiel durch Getreidestoppeln was zu einer Verfälschung der Ergebnisse führt. Aufgrund des hohen Anschaffungspreises einer Membran, ist beim Aufbau und der Platzierung des Infiltrometer und der Membranplatte Vorsicht geboten. Die Membran sollte auch regelmäßig nach jeder Messung auf Schäden überprüft werden.

Nach dem Zusammenbau und dem Füllen des Infiltrometers wird die Membranplatte in ein Gefäß mit Wasser gelegt, damit die Membran keine Schäden nimmt und sich mit Wasser sättigen kann. Anschließend wird nach einer geeigneten Stelle für die Messung gesucht. Dabei ist es wichtig, eine Stelle zu finden, welche vollkommen „unberührt“, das heißt frei von optisch erkennbaren Verdichtungen ist. Solche Anzeichen, wie zum Beispiel Menschen- oder Tiertritte

sowie Fahrspuren verfälschen das Ergebnis stark. Auch während den Vorbereitungen an einer Messstelle sollte die Membranplatte im Wasser liegen, damit diese geschützt bleibt.



Abb. 17: Tensionsinfiltrometer vor einer Messung (Weber, 6.Juli 2012)

Nach Auffinden einer geeigneten Messstelle wird mit dem eigentlichen Aufbau begonnen. Als erstes wird die gewünschte Messstelle vorbereitet. Dazu ist es notwendig, auf einer Fläche, welche rund ein Drittel größer als der Grundriss der Membranplatte ist, den Pflanzenbestand sowie oberirdische Pflanzenreste vorsichtig zu entfernen. Am einfachsten erfolgt dies mit Hilfe einer Schere. Anschließend wird mit einer kleinen ca. 5 cm breiten Spachtel, die oberste Bodenschicht vorsichtig abgetragen. Neu erscheinende Wurzeln, Pflanzenreste oder Stoppeln werden wiederum mit der Schere entfernt. Ziel ist es, eine waagrechte Oberfläche, frei von Fremdkörpern wie Steine und organischer Masse zu erhalten. Ist dies erreicht, ist der zeitintensivste Teil der Vorbereitungen geschafft. In weiterer Folge wird parallel zu der Messfläche eine weitere ebene Fläche auf selben Niveau für das Messgerät den zwei Röhren, erstellt. Diese Fläche muss nicht so hochwertig vorbereitet werden, es ist aber darauf zu achten, dass man die zuvor bereitete Messfläche nicht beschädigt oder gar zerstört.

Als nächster Schritt wird auf der Messfläche eine weitere Membran aufgelegt. Diese ist eine alte und leicht beschädigte Membran, welche nicht mehr für die Membranplatte verwendbar

ist. Dadurch wird einem möglichen Verschluss der Grobporen des Bodens durch die nachfolgenden Schritte entgegengewirkt. Auf die Membran wird in weiterer Folge ein Metallring aufgelegt, dessen Radius genau dem der Membranplatte entspricht. Um eventuell vorhandene Bodenunebenheiten an der Messfläche auszugleichen, wird dieser Ring mit einem sehr feinen, gewaschenen und genormten Quarzsand der Größe 0,08 – 0,2 mm aufgefüllt. Dadurch ist es möglich, einen optimalen Kontakt zwischen der nachfolgenden Membranplatte und der Bodenoberfläche zu gewährleisten. Um das Eindringen von Luft zu Beginn der Messung zu verhindern, sollte der Quarzsand aus einiger Entfernung mit Wasser, aus einer Sprühflasche, benetzt werden.



Abb. 18: Quarzsand 0,08 - 0,2 mm (Links) und Messstelle mit aufgetragenen Sand (Rechts)

Nach der Fertigstellung der Messstelle wird das Tensionsinfiltrometer vorbereitet. Nach dem Auffüllen der beiden Röhren wird die kleinere verschlossen. In weiterer Folge legt man die Membranplatte ganz unter Wasser, damit die Luft vollständig aus der Platte entweicht. Anschließend wird das Ventil des Verbindungsschlauches geöffnet und unter Wasser während des anhaltenden Wasseraustritts wieder an die Membranplatte angekoppelt. Ist dies ohne einen weiteren Lufteintritt in die Apparatur erreicht, wird das Ventil wieder geschlossen und der Tensionsinfiltrometer ist somit entlüftet. Nachfolgend wird das Wasserreservoir wieder aufgefüllt und mit dem dazugehörigen Pfropfen luftdicht verschlossen.

Das Tensionsinfiltrometer wird an die Messstelle gebracht. Nach dem Abstellen der eigentlichen Apparatur auf den vorgesehenen Platz, folgt nun die genaue und korrekte Ausrichtung der Membranplatte auf der vorbereiteten Sandfläche. Dabei wird die

Membranplatte unter Ausübung eines leichten Druckes (am besten mit beiden Händen) an die Oberfläche gedrückt, um das Entstehen von Luftblasen zwischen der Membran und dem Sand zu verhindern. Ist das erreicht, kann das Infiltrometer ausgerichtet werden. Hierbei muss vor allem darauf geachtet werden, dass der Schlauchanschluss des Wasserreservoirs auf einer Höhe mit dem Anschlussstück der Membranplatte liegt, ansonsten wird die Messung verfälscht. Des Weiteren sollten die Säulen waagrecht stehen, was durch das Justieren des Dreifußes und den Einsatz einer Wasserwaage keine Schwierigkeiten bereitet. Der Verbindungschlauch selbst kann so verlaufen wie es sich ergibt, lediglich die Anschlussstücke müssen auf einer einheitlichen Höhe liegen. Somit ist der Aufbau des Tensionsinfiltrometer abgeschlossen und die Messung kann beginnen.

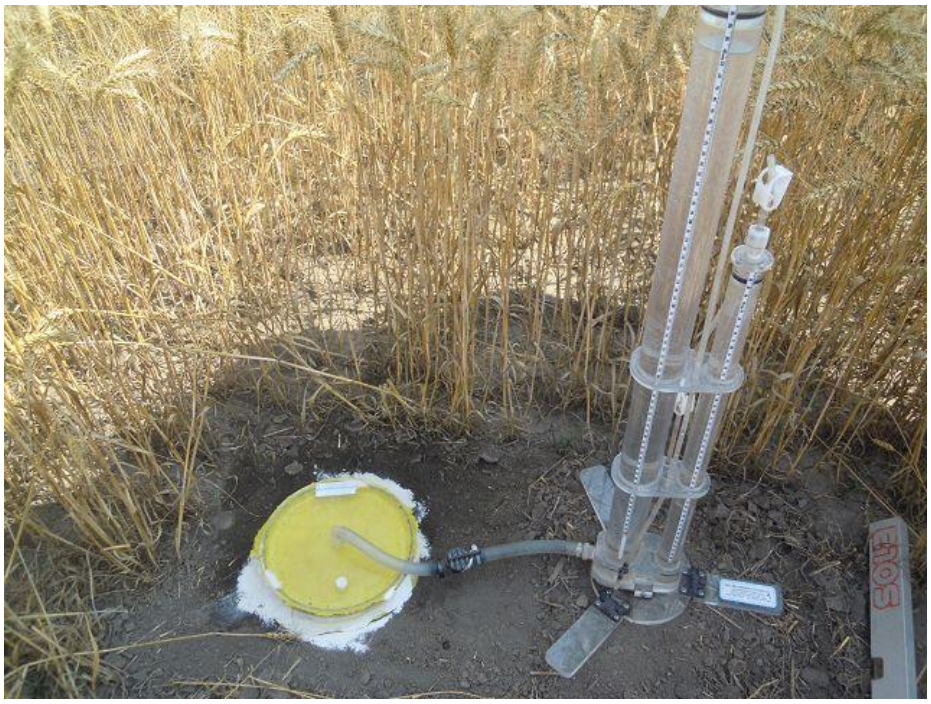


Abb. 19: Tensionsinfiltrometer zu Beginn der Messung (Weber, Juli 2012)

3.2.6.2. Messung

Zu Beginn jeder Messung muss an dem Tensionsinfiltrometer die gewünschte Saugspannung eingestellt werden. Dazu wird, wie bereits angeführt, das Röhrchen in der zweiten kleineren Röhre in der Höhe verschoben. Im Zuge dieser Arbeit wurde mit einer Saugspannung von -10 cm, -4 cm, -1 cm und 0 cm gemessen. Die Messung wird somit vom ungesättigten in Richtung

des gesättigten Bereichs durchgeführt und mit einer Anfangssaugspannung von -10 cm begonnen.

Die genaue Tiefe, auf welche das Röhrchen genau bewegt werden muss, ergibt sich nach SCHOLL (2009) wie folgt:

Aktueller Wasserstand im kleineren Rohr
+ die gewünschte Saugspannung
+ 4 cm (gerätetypisch, Sockelhöhe)
= Eintauchtiefe des Luftröhrchens

Nach dem Einstellen der Saugspannung wird eine Stoppuhr vorbereitet und auf dem Protokollzettel wird der Wasserstand zum Zeitpunkt Null notiert. Anschließend wird die Stoppuhr gestartet und gleichzeitig das Ventil geöffnet, um die Messung zu starten. Zu Beginn jeder neuen Spannungsstufe werden die Wasserstände, jeweils im 15 Sekunden Intervall, festgehalten. Je nach Schnelligkeit der Infiltration und der damit verbundenen Änderung der Wassersäule wird das Intervall an eine bestmögliche Ablesebarkeit der Werte angepasst. Pendelt sich nach einiger Zeit die Infiltrationsrate ein, bei gleich bleibendem Zeitintervall auch eine gleichbleibende Infiltrationsrate, kann mit der nächsten Saugspannungsstufe fortgefahren werden. Es ist zu beachten, dass die erwünschte Saugspannung erneut eingestellt werden muss. Während dem Wechsel der Saugspannung muss die Stoppuhr angehalten werden. Bei Erreichung einer Saugspannung von 0 cm (eine stetige Infiltrationsrate) wird die Messung beendet.

Zusätzlich zu jeder Messung werden abschließend Bodenproben mit zwei Stechzylinder entnommen, zur Ermittlung des Trocken- und Feuchtgewichtes des Bodens. Dabei wird der Stechzylinder für das Feuchtgewicht mittig in die zuvor infiltrierte Messstelle eingeschlagen. Als Fläche für das Trockengewicht wird die Standfläche der Apparatur herangezogen, da diese ja ebenfalls eben und an der Oberfläche frei von organischen Resten ist. Die Zylinder selbst sollten mit wenigen Hieben und ohne zu verkanten in den Boden getrieben werden. Anschließend werden die Stechzylinder mittels einer Spachtel unterfahren und aus dem Boden gehoben. Mit Hilfe eines scharfen Messers, bevorzugt eines Stanley-Messers, wird vorsichtig die an beiden Enden überstehende Erde entfernt. Schlussendlich wird der Inhalt der Stechzylinder in Papier- und Plastiktüten gegeben, diese beschriftet und am Ende des zweiten Tages im Labor gewogen. Bei sehr hohen Lufttemperaturen, wie es auch an den Tagen der Messungen der Fall war, ist es

notwendig, die Proben mindestens bis zum Wiegen kühl aufzubewahren. Nach Rückwiegen der getrockneten Proben und Eingabe in den PC erfolgte die Auswertung der gesammelten Messdaten unter Zuhilfenahme des Programms Microsoft Excel.

3.2.7. Ertragsparameter

3.2.7.1. Kornertrag

Zur Ermittlung des Kornertrages des Winterweizens, wurde pro Parzelle eine Fläche von einem Quadratmeter am 05. Juli 2012 manuell geerntet. Die Kornproben wurden anschließend in der Versuchswirtschaft Groß Enzersdorf gedroschen und das Korngewicht ermittelt. Die Parzellenernte erfolgte einige Tage später mit einem Wintersteiger Parzellenmähdrescher. Aus der Druschprobe wurden das Tausendkorngewicht und das Hektolitergewicht ermittelt.

3.2.7.2. Strohertrag

Von den am 05. Juli 2012 geernteten Quadratmeterproben wurde die geerntet Biomasse zur Ermittlung des Strohertrages gewogen. Ein Teil der Rückstellproben des Strohs wurde am 23. Oktober 2012 fein zermahlen, um nachfolgend mit dem LECO im Labor in Tulln den Kohlenstoff-, Stickstoff- und Schwefelgehalt im Stroh zu ermitteln.



Abb. 20: gemahlene Strohprobe und Strohmühle in Groß Enzersdorf (Weber, 2012)

3.2.7.3. Ernteindex und Stickstoff – Ernteindex

Der Ernteindex beschreibt den Anteil des Korns am Gesamtaufwuchs. Mit Hilfe dieser beiden Ernteindexe ist es möglich, eine Information über die Verteilung der gebildeten Trockenmassen und der aufgenommen Stickstoffmengen des Bestandes zu erhalten. Wie auch in dieser Arbeit, werden meistens nur die Korn- und Strohmassen eingesetzt, da die Erfassung des Bestandsabfalls sowie der Wurzel- und Stoppelmaßen mit einem hohen Aufwand verbunden ist. Berechnet wurden beide Indexe gemittelt für alle fünf Bodenbearbeitungssysteme beider Vorfrüchte.

3.2.8. Ausgewählte Qualitätsparameter

Neben dem Tausendkorngewicht und dem Hektolitergewicht, welche am ganzen Korn gemessen wurden, erfolgte auch im Korn die Ermittlung des Kohlenstoff-, Stickstoff- und Schwefelgehalts, wofür am 9. Jänner 2013 mit Hilfe zweier kleiner Kaffeemühlen ein Teil der Kornproben fein zermahlen wurde.



Abb. 21: Kaffeemühle mit Weizenkörnern (links) u. gemahlenen Körner (rechts); (Weber, Jänner 2013)

Am 13. und 14. Februar 2013 wurden die Proben für die Analyse im Labor in Tulln vorbereitet. Nach vier Stunden im Trocknungsschrank bei 100 °C wurden aus den einzelnen Proben zweimal eine Menge von 40 mg +/- zwei mg luftdicht in einer 35*35 mm großen Zinnfolie verschlossen.

Um das zu ermöglichen, wird vor dem Wiegen aus dem Blatt ein „Schälchen“ geformt, welches nach dem Wiegen und dem Zusammenfalten mit Hilfe einer zylindrischen Presse luftdicht verschlossen wird. Diese kreisrunden gepressten Plättchen werden anschließend für die Analyse im LECO verbrannt.



Abb. 22: Zinnfolie 35*35mm (Links),geformte „Schälchen“ und Presse(Mitte), Waage mit40,4 mg Einwaage (Rechts)

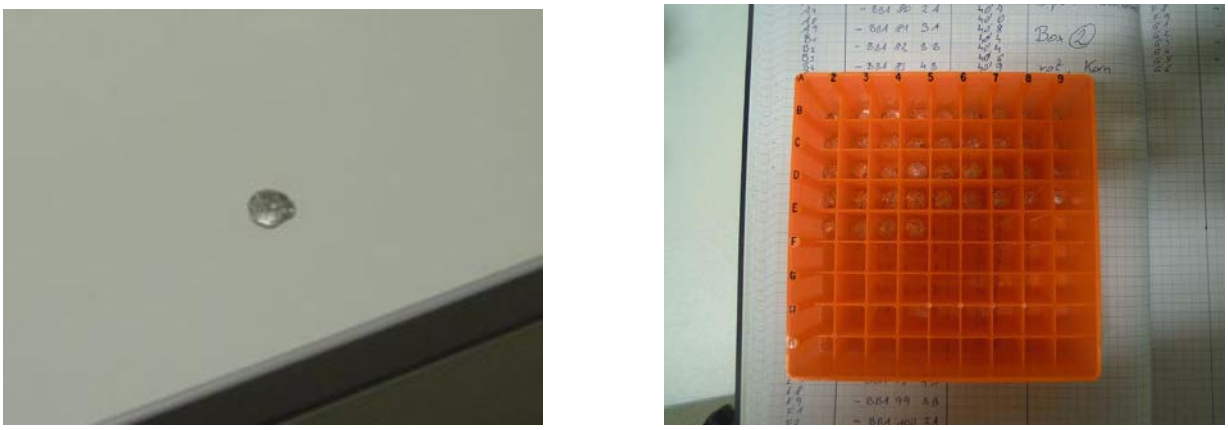


Abb. 23: Luftdicht verschlossenes Plättchen (Links) und Positionsbox mit „Einwaagebuch“ im Hintergrund (Rechts)

3.3. Statistische Auswertungen

Die Daten wurden mittels einer Varianzanalyse beurteilt. Als Ausgangshypothese H_0 wurde angenommen, dass die Bodenbearbeitungsvariante keinen Einfluss auf die einzelnen jeweiligen gemessenen Parameter hat. Des Weiteren wurde untersucht, ob die Vorfrucht einen Einfluss auf die jeweiligen Parameter bei den Bodenbearbeitungssystemen ausübt.
Als Prozedur wurde ein lineares Modell (GLM) verwendet.

Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei der Varianzanalyse wurde wie folgt gekennzeichnet:

***	hoch signifikant bei ≤ 0,1 % Irrtumswahrscheinlichkeit
**	signifikant bei ≤ 1 % Irrtumswahrscheinlichkeit
*	signifikant bei ≤ 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit
n.s.	nicht signifikant (d.h. die Differenzen beruhen auf Zufall)

Zur Überprüfung der Differenzen zwischen den Mittelwerten diente als Teststatistik der t – Test, ausgewählt wurde der LSD - Test.

Die statistischen Auswertungen erfolgten mit dem Statistikprogramm „SAS“, Version 9.2. Die Eingabe der Ergebnisse für die Erstellung der einzelnen Diagramme und Tabellen erfolgte mit dem Tabellenkalkulationsprogramm „Microsoft Excel 2007“.

4. Ergebnisse

4.1. Bodenphysikalische Parameter

4.1.1. Eindringwiderstand

Die Eindringwiderstandsmessung erfolgte am 15. Juni 2012. In den Abbildungen 24 und 25 werden die Eindringwiderstände in MPascal/cm² bei den jeweiligen Bodenbearbeitungssystemen, getrennt nach den Vorfrüchten, im Bereich von 0 bis 39 cm Bodentiefe dargestellt. Die Linien ergaben sich aus den Mittelwerten aller Messungen, aus jeweils 20 Einstichen pro Parzelle mal drei Wiederholungen.

Mit Hilfe der Messdaten und der statistischen Auswertung ist ersichtlich, dass zwischen den Bodenbearbeitungssystemen, als auch den Messtiefen sowie den Wechselbeziehungen zwischen den Bearbeitungssystemen(BB) mal Messtiefe (T) und FF*BB*T, hoch signifikante Unterschiede vorliegen.

Tabelle 6: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf den Eindringwiderstand in MPascal/cm²

Effekt	Zähler Freiheitsgrade	Nenner Freiheitsgrade	F-Statistik	Pr > F	
FF	1	2	0.20	0.7018	n.s.
BB	4	16	9.92	0.0003	***
FF*BB	4	16	6.58	0.0025	**
T	6	108	698.46	<.0001	***
FF*T	6	108	1.29	0.2699	n.s.
BB*T	24	108	28.86	<.0001	***
FF*BB*T	24	108	2.81	0.0001	***
WH	2	2	1.54	0.3936	n.s.
WH*T	12	108	0.94	0.5107	n.s.

In der Bodentiefe von 0 bis 11 cm wies bei der Vorfrucht Winterweizen die „Direktsaat“ den höchsten Eindringwiderstand auf. Alle übrigen Varianten zeigten bis zu dieser Bodentiefe einen ähnlichen Verlauf des Eindringwiderstandes. Im Bereich von 11 bis ca. 27 cm Bodentiefe waren die Eindringwiderstände bei der „Minimalbodenbearbeitung“ und beim „Integrierten System“ am höchsten. Bei der „Konventionellen Bodenbearbeitung“ stieg der Verlauf bei einer Tiefe von 18 cm stark an, nähert sich ab einer Tiefe von 27 cm der „Integrierten“ und der „Minimalbodenbearbeitung“ und überstieg diese bei einer Tiefe von 32 cm. Dieser Kurvenverlauf ist auf eine Verdichtung unter der Bearbeitungsgrenze (Pflugsohle bei etwa18 cm Bodentiefe) zurückzuführen.

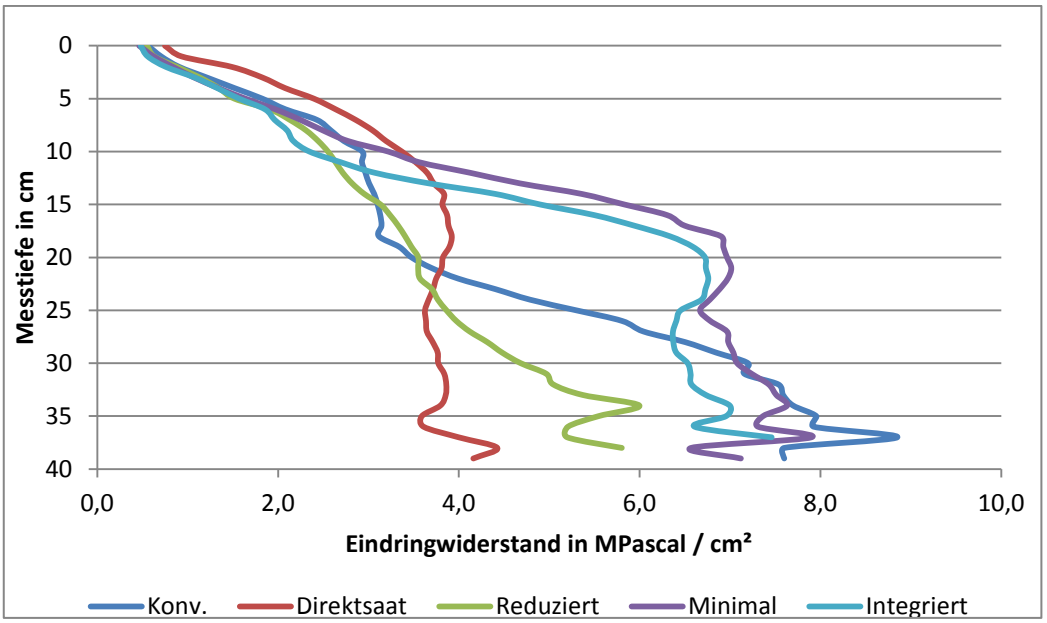


Abb. 24: Eindringwiderstand in MPascal/cm² in Abhängigkeit der Bodentiefe und der Bodenbearbeitungssysteme nach Winterweizen, 2012

Bei der „Reduzierten Bodenbearbeitung“ ergab sich im Verhältnis zu den anderen Varianten ab 7 bis 9 cm Tiefe ein fast linearer Verlauf der Widerstandsline. Den größten Widerstand erreichte die Linie bei einer Tiefe von 34 cm mit fast sechs MPascal/cm². Den geringsten Eindringwiderstand lieferte die Direktsaat ab einer Tiefe von ca. 22 cm.

Auch bei der Vorfrucht Zuckerrübe verhielten sich die Eindringwiderstände in den ersten 10 cm bei fast allen Systemen identisch. Der Eindringwiderstand der „Minimalbodenbearbeitung“ und des „Integrierten Systems“ verliefen ebenfalls nach Zuckerrübe in ähnlichen Kurvenbahnen.

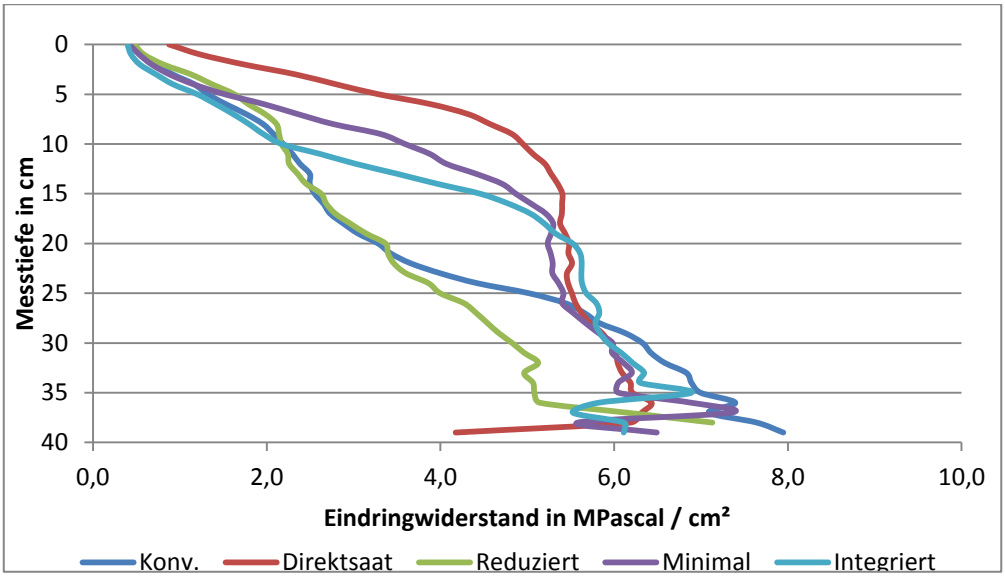


Abb. 25: Eindringwiderstand in MPascal/cm² in Abhängigkeit der Bodentiefe und der Bodenbearbeitungssysteme nach Zuckerrübe, 2012

Die „Direktsaat“ wies im Oberboden einen höheren Eindringwiderstand auf und näherte sich ab einer Tiefe von 20 cm den übrigen. Des Weiteren war bei der „Reduzierten Bodenbearbeitung“ wieder eine fast lineare Kurve erkennbar, welche bis zu einer Tiefe von 20 cm jener Kurve der „Konventionellen Bodenbearbeitung“ gleich auf lag. Bei dieser Tiefe ergab der konventionelle Kurvenverlauf wieder einen Anstieg (aufgrund der Pflugsohle) und überstieg bei ca. 27 cm Bodentiefe alle anderen Varianten.

Im Gegensatz zu den Abbildungen 24 und 25, zeigen die folgenden Abbildungen die Mittelwertlinien der Messungen der einzelnen Parzellen und Wiederholungen des jeweiligen Bodenbearbeitungssystems. Es sind die unterschiedlichen typischen Kurvenverläufe der verschiedenen Bearbeitungssysteme deutlich zu erkennen.

- **Eindringwiderstand bei Konventioneller Bodenbearbeitung**

Bei der „Konventionellen Bodenbearbeitung“ lag generell ein lockerer Oberboden mit geringen Eindringwiderständen vor. Bei einer Bodentiefe ab ca. 20 cm stieg der Eindringwiderstand aufgrund der Bearbeitungsgrenze und der vorliegenden Verdichtung (z.B.: Pflugsohle) stark an. Die Kurven der einzelnen Wiederholungen weisen unabhängig der unterschiedlichen Vorfrüchte einen ähnlichen Verlauf auf. Aus unbekannter Ursache sind lediglich die Eindringwiderstände in der dritten Wiederholung nach Winterweizen höher als alle übrigen.

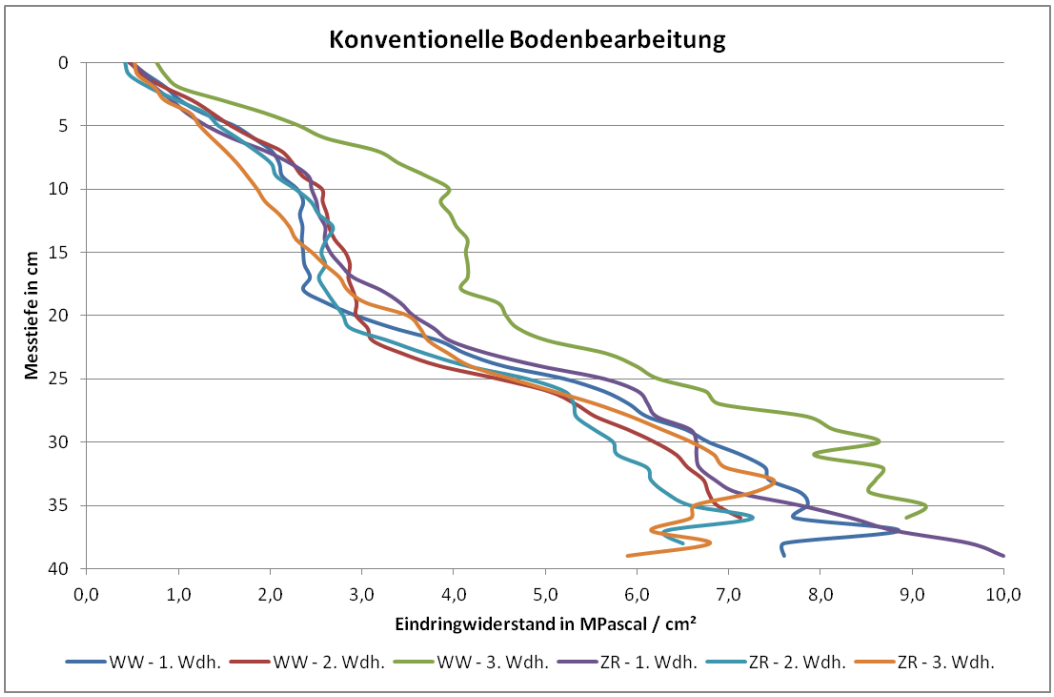


Abb. 26: Eindringwiderstand in MPascal/cm² in Abhängigkeit der Vorfrucht und der Wiederholung bei der „Konventionellen Bodenbearbeitung“, 2012

➢ Eindringwiderstand bei Direktsaat

Bei der „Direktsaat“ war der hohe Eindringwiderstand in der Oberkrume stark auffällig. Bis zu einer Tiefe von ca. 10 cm stieg der Widerstand stetig an und erreichte sechs MPascal/cm². Im unteren Bodenbereich stieg der Druck kaum noch an, wodurch die „Direktsaat“ anhand des Kurvenverlaufs deutlich von der „Konventionellen Bodenbearbeitung zu unterscheiden ist.

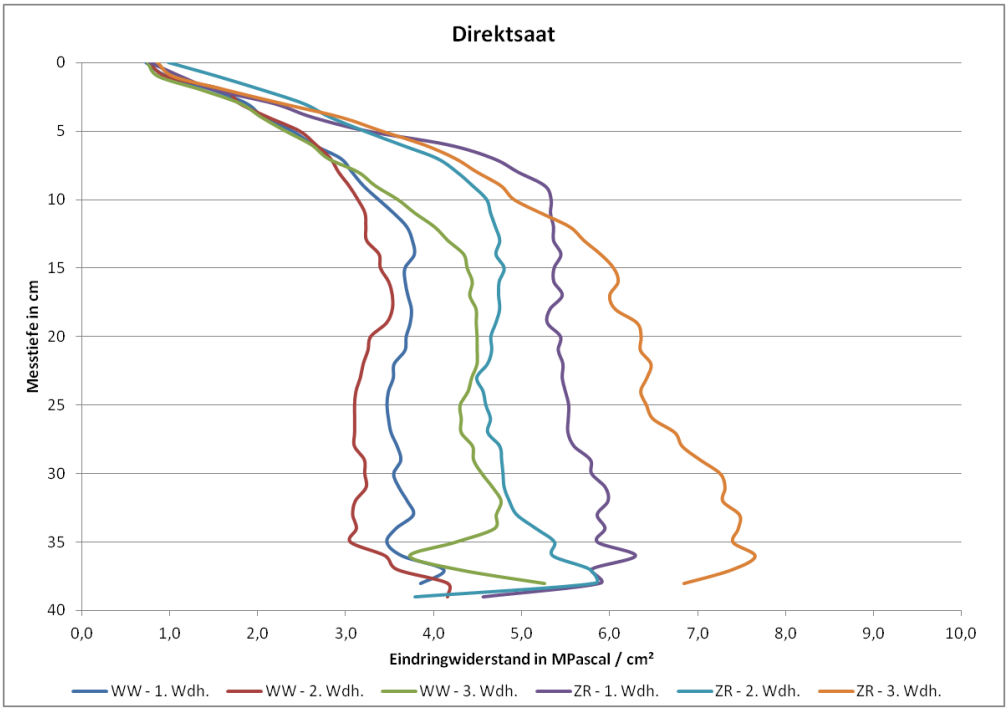


Abb. 27: Eindringwiderstand in MPascal/cm² in Abhängigkeit der Vorfrucht und der Wiederholung bei der „Direktsaat“, 2012

Aus der Abbildung ist erkennbar, dass nach Zuckerrüben ein höherer Eindringwiderstand vorlag, was auf die Ernte bei der Zuckerrübe zurückzuführen ist.

➢ Eindringwiderstand bei Reduzierter Bodenbearbeitung

Der Verlauf des Eindringwiderstandes war bei der „Reduzierten Bodenbearbeitung“ in allen Wiederholungen ausgeglichen. Auffallend bei diesem System war der fast lineare Kurvenverlauf bei beiden Vorfrüchten und der, im Vergleich zu anderen Systemen, geringere Krafteinsatz zum Erreichen der gewünschten Tiefe. Ausschlaggebend für diese geringeren Widerstände waren vor allem die ständige Bearbeitung und damit Lockerung des Oberbodens mit dem Grubber und die Unterbodenlockerung mit dem Tiefengrubber.

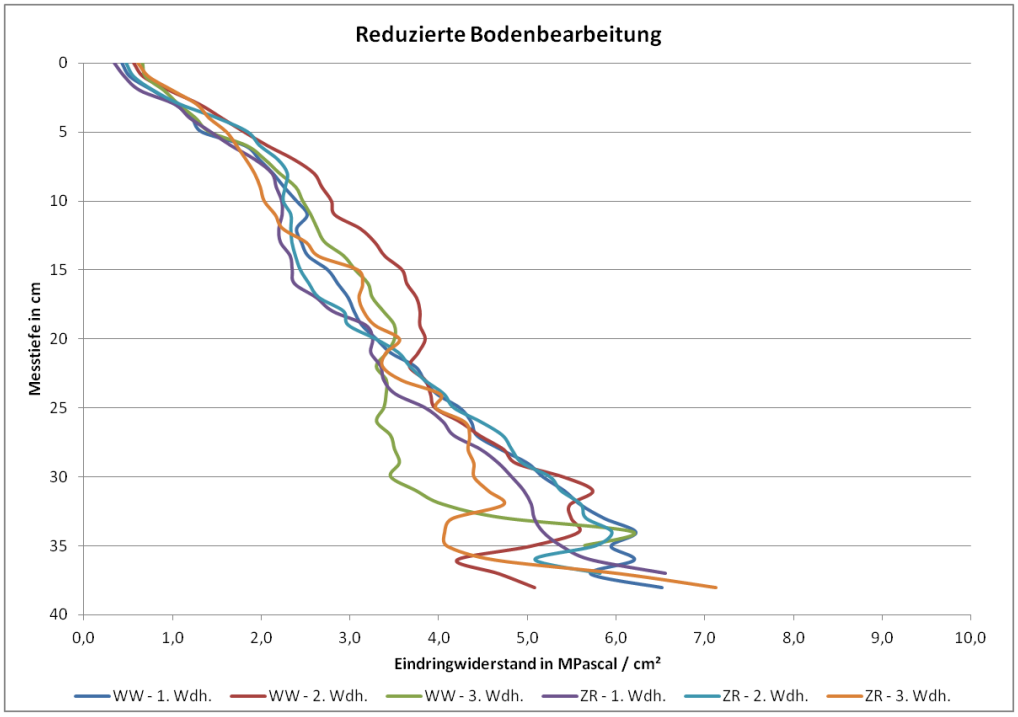


Abb. 28: Eindringwiderstand in MPascal/cm² in Abhängigkeit der Vorfrucht und der Wiederholung bei der „Reduzierten Bodenbearbeitung“, 2012

➢ Eindringwiderstand bei Minimalbodenbearbeitung

Ähnlich wie bei der „Direktsaat“ verhielt sich der Eindringwiderstand bei der „Minimalbodenbearbeitung“. Bei diesem System gab es ebenfalls hohe Eindringwiderstände im Oberboden, da die Bearbeitungstiefe des Grubbers sehr flach war. Im Vergleich mit der „Direktsaat“, wurde bei diesem System ein hoher Eindringwiderstand bis zu einer Bodentiefe von 15 cm gemessen. Ab dieser Tiefe stieg der Druck nur mehr geringfügig an und lag im Bereich der weiteren Bearbeitungssysteme.

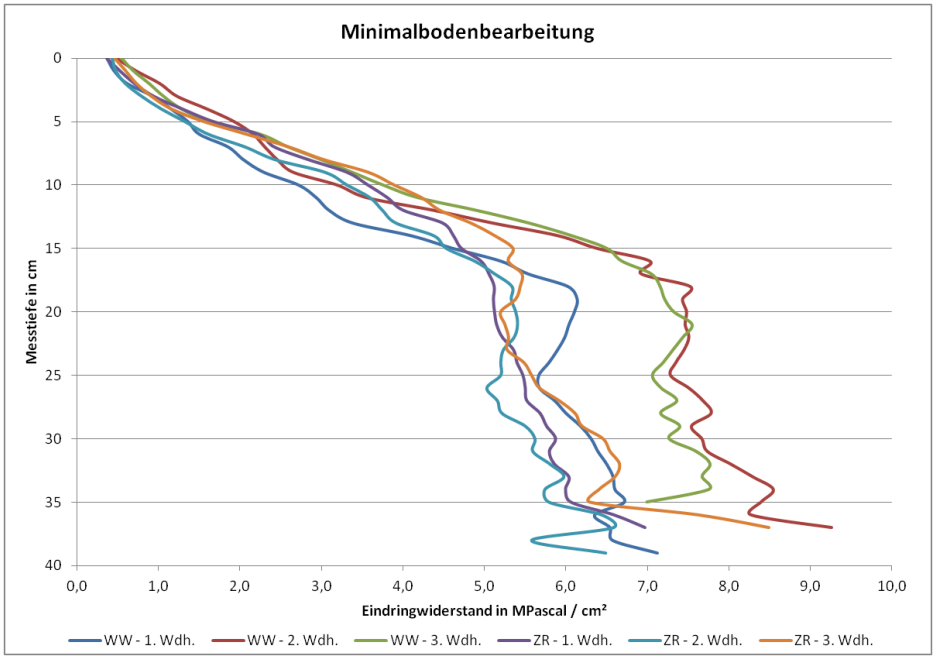


Abb. 29: Eindringwiderstand in MPascal/cm² in Abhängigkeit der Vorfrucht und der Wiederholung bei der „Minimalbodenbearbeitung“, 2012

- **Eindringwiderstand bei der Integrierten Bodenbearbeitung**

Bei dem „Integrierten System“ war ein locker Oberboden und damit verbunden ein geringer Eindringwiderstand durch den Pflugeinsatz markant. Auch die Pflugsohle zwischen 15 und 20 cm Bodentiefe war ein markantes Merkmal und führte zu einem Druckanstieg aufgrund der aus dem Pflugeinsatz resultierenden Verdichtungen. Allerdings war dieser Anstieg nicht so stark ausgeprägt im Vergleich zur „Konventionellen Bodenbearbeitung“, da bei diesem System meist der Grubber zum Einsatz kam bzw. der Pflug nur vor der Hauptfrucht, dadurch werden die Verdichtungen in dieser Tiefe gelockert.

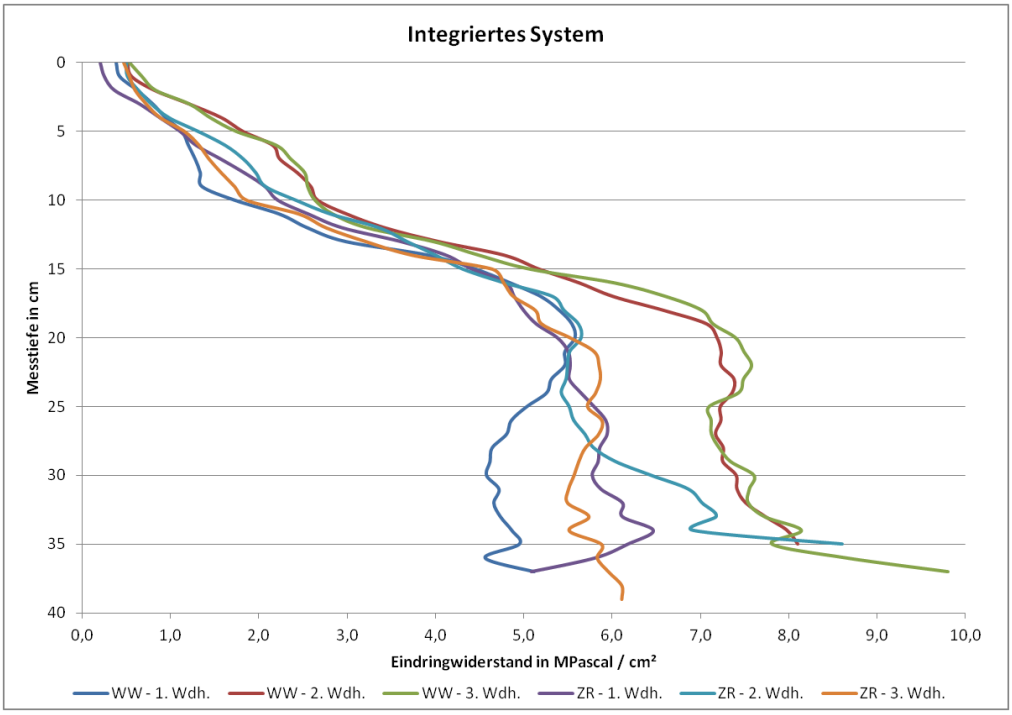


Abb. 30: Eindringwiderstand in MPascal/cm² in Abhängigkeit der Vorfrucht und der Wiederholung bei dem „Integriertem System“, 2012

Für die statistische Auswertung des Eindringwiderstandes wurden die Bodentiefen mittels Varianzanalyse und LSD Test auf signifikante Unterschiede untersucht. Es wurden je Variante die Mittelwerte der gesamten Messungen aller Wiederholungen gebildet. Die Ergebnisse für drei ausgewählte Bodentiefen sind in Tabelle 7 angeführt. Nach der Vorfrucht Zuckerrübe wurde in der Bodentiefe von 0 bis 25 cm ein signifikanter Unterschied zwischen den Bodenbearbeitungssystemen festgestellt. Im Vergleich dazu, wurde nach Winterweizen bis zu einer Tiefe von 35 cm ein signifikanter Unterschied ermittelt, mit Ausnahme zwischen 6 und 10 cm.

Bei der „Direktsaat“ wurden die höchsten Eindringwiderstände bei beiden Vorfrüchten erwartungsgemäß in der Tiefe von 6 bis 10 cm gemessen (2,655 MPascal/cm² nach WW und 4,510 MPascal/cm² nach ZR). Die Standardabweichungen reichten in dieser Tiefe von 0,964 MPascal/cm² bei der „Konventionellen Bodenbearbeitung“ nach Zuckerrübe bis zu 1,676 MPascal/cm² bei der „Direktsaat“ nach der Vorfrucht Winterweizen.

Hoch signifikante Unterschiede im Eindringwiderstand ergaben sich in einer Tiefe von 16 bis 20 cm bei beiden Vorfrüchten. Die höchsten Widerstände wurden in dieser Tiefe bei der „Minimalbodenbearbeitung“ und bei dem „Integrierten System“ sowie nach Zuckerrübe auch bei der „Direktsaat“ gemessen. Die übrigen Systeme lagen bei der jeweiligen Vorfrucht deutlich unter den Höchstwerten.

In der letzten Spalte der Tabelle sind die Mittelwerte und die Standardabweichung im Bereich zwischen 26 und 30 cm Bodentiefe dargestellt. Nach Winterweizen waren die Unterschiede signifikant, wobei die „Minimalbodenbearbeitung“ den höchsten Eindringwiderstand mit 6,969 MPascal/cm² aufweist. Den zweithöchsten Wert erreichte die „Konventionelle Bodenbearbeitung“ gefolgt vom „Integriertem System“. Bei den Messungen nach der Vorfrucht Zuckerrübe wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt, allerdings unterscheidet sich die „Reduzierte Bodenbearbeitung“ gegenüber den anderen Systemen.

Tabelle 7: Varianzanalyse bezüglich des Eindringwiderstands in MPascal/cm² bei drei unterschiedlichen Bodentiefen in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem und der Vorfrucht, 2012

Bodenbearbeitungs-system	Eindringwiderstand 6 bis 10 cm [MPascal/cm²]		Eindringwiderstand 16 bis 20 cm [MPascal/cm²]		Eindringwiderstand 26 bis 30 cm [MPascal/cm²]	
nach WW:	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ
Konv.	2,550 AB	1,401	3,241 B	1,742	6,479 A	1,925
Direktsaat	2,655 A	1,676	3,879 B	1,298	3,706 B	1,264
Reduziert	2,269 B	1,069	3,399 B	1,525	4,314 B	1,855
Minimal	2,541 AB	1,429	6,719 A	1,637	6,969 A	1,483
Integriert	2,086 B	1,007	6,217 A	1,724	6,417 A	1,315
Signifikanz	**n.s.**		***		*	
nach ZR:						
Konv.	1,904 C	0,964	2,910 B	1,632	5,965 A	1,781
Direktsaat	4,510 A	1,412	5,419 A	1,456	5,741 A	1,559
Reduziert	2,039 C	0,989	3,961 B	1,876	4,544 B	1,811
Minimal	2,799 B	1,489	5,213 A	1,485	5,681 A	1,315
Integriert	1,791 C	1,088	5,172 A	1,611	5,835 A	1,555
Signifikanz	***		***		**n.s.**	

4.1.2. Infiltration und Hydraulische Leitfähigkeit (K_h)

Die Infiltrationsmessungen wurden am 6. und am 7. Juli 2012 unter relativ trockenen Bedingungen und bei Lufttemperaturen von ca. 30° C bei einer Saugspannung von „10, 4, 1, 0“ Zentimeter auf der ersten Wiederholung durchgeführt. Da eine Messung mit dem Tensionsinfiltrometer sehr zeitintensiv ist, wurden an jedem Tag die Daten von fünf Parzellen erfasst. Aufgrund der sehr geringen Bemessungsfläche durch den Tensionsinfiltrometer und der möglichen wechselnden Bedingungen im Boden pro Parzelle ist die Reproduzierbarkeit der Daten in Jahren mit einem anderen Witterungsverlauf nicht gegeben. Die folgenden Abbildungen zeigen die gemittelten Ergebnisse der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme bei einmaliger Messung am 6. und 7. Juli 2012.

Bis zu einer Saugspannung von > 4 cm verhielten sich die Infiltrationsraten bei allen Bodenbearbeitungsvarianten relativ einheitlich. Der stärkste Anstieg wurde bei dem „Integriertem System“ gemessen, und weißt bei einer Saugspannung von 0 cm die höchste Infiltrationsrate mit 4,277 ml s^{-1} auf. Im Weiteren ist erkennbar, dass die Variante „Direktsaat“ bis zu einer Saugspannung von 1 cm die geringste Infiltrationsrate auswies, sie wurde

nachfolgend von der „Konventionellen Bodenbearbeitung“ überlagert und endete mit 1,115 ml s^{-1}. Bei einer Saugspannung von 0 cm wiesen die übrigen Systeme folgende Infiltrationsraten auf: „Minimalbodenbearbeitung“ 2,307 ml s^{-1}, „Reduzierte Bodenbearbeitung“ 1,711 ml s^{-1} und die „Konventionelle Bodenbearbeitung“ mit 0,635 ml s^{-1}.

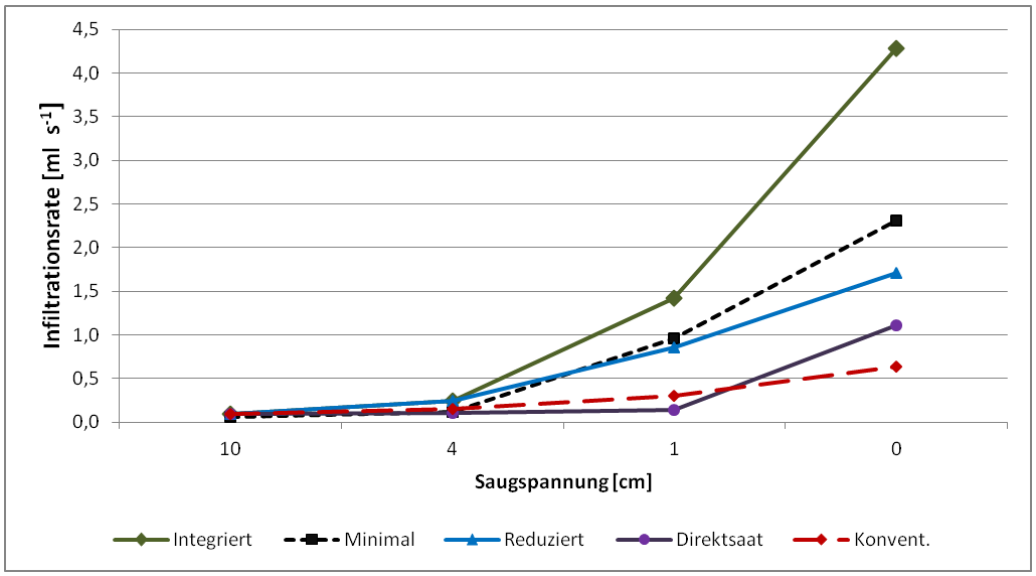


Abb. 31: Infiltrationsrate in ml s^{-1} bei der Saugspannung von Zehn, Vier, Eins und Null cm in Abhängigkeit der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme, 2012

Zur weiteren Berechnung der hydraulischen Leitfähigkeit waren die Bodenwassergehalte vor und nach der Infiltration notwendig, wodurch je Parzelle zwei Bodenproben mit einem Stechzylinder entnommen wurden. Die Gewichte der Stechzylinderproben sowie der Wassergehalt sind in der Tabelle 8 angeführt.

Tabelle 8: Gewichte der Stechzylinderprobe in g und deren aktueller Wassergehalt am 6. und 7. Juli 2012 nach der Infiltrationsmessung, erste Wiederholung, 2012

Parzelle	FM in g	TM in g	Wassergehalt in %	Parzelle	FM in g	TM in g	Wassergehalt in %
5 B, TR	261,64	230,73	11,82	3 A, TR	251,85	224,28	10,95
5 B, FE	322,92	261,83	18,92	3 A, FE	317,14	240,59	24,14
5 A, TR	246,83	223,58	9,42	2 A, TR	299,41	266,07	11,14
5 A, FE	306,86	234,65	23,53	2 A, FE	331,04	280,15	15,37
4 A, TR	250,68	224,75	10,34	2 B, TR	279,59	253,46	9,35
4 A, FE	295,63	237,39	19,70	2 B, FE	322,32	281,25	12,74
4 B, TR	252,82	223,84	11,46	1 B, TR	286,05	256,61	10,29
4 B, FE	311,20	238,73	23,29	1 B, FE	333,04	272,12	18,29
3 B, TR	261,82	234,19	10,55	1 A, TR	269,86	244,03	9,57
3 B, FE	277,13	240,02	13,39	1 A, FE	297,00	249,23	16,09

Die hydraulische Leitfähigkeit ist ein Maß für die Fähigkeit des Bodens, eine bestimmte Menge Wasser bei gegebenem Druckgefälle zu transportieren. Sie ist eine Materialeigenschaft des Bodens und wird durch die Porengrößenverteilung und die Kontinuität der Bodenporen bestimmt. Der K_h – Wert ist somit keine konstante Größe und abhängig vom Bodenkörper ebenfalls veränderbar. Daher können K_h – Werte auf einer Fläche und in der Tiefe so wie die Infiltrationsrate sehr stark variieren. Die nachfolgende Abbildung beinhaltet die Ergebnisse des Leitfähigkeitskoeffizienten K_h aus der Messung mit dem Tensionsinfiltrometer.

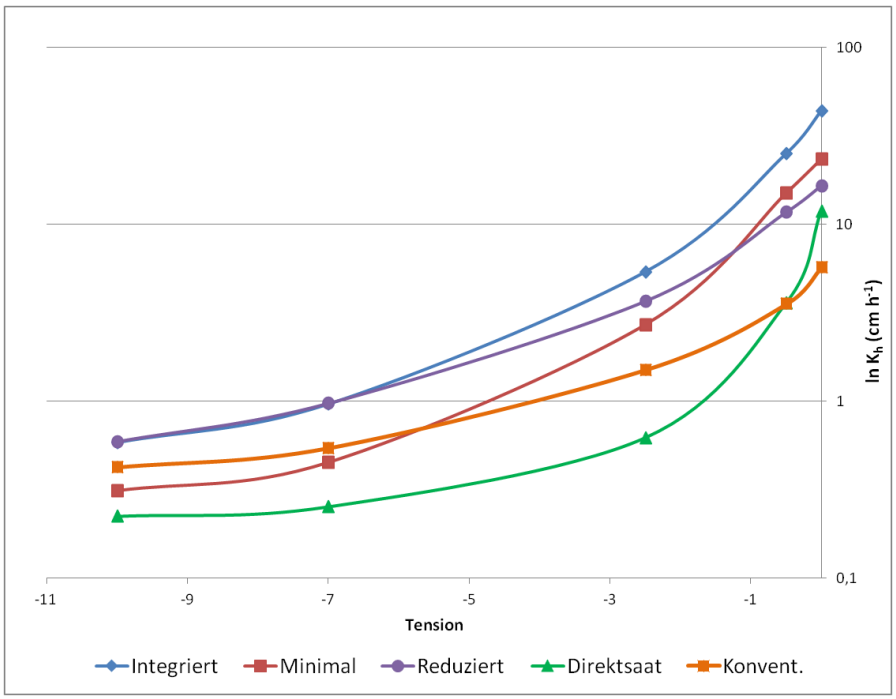


Abb. 32: Leitfähigkeitskoeffizient in ln K_h cm h^{-1} bei angelegter Tension (h), Juli 2012

Wie aus der Abbildung 32 erkennbar, hat die Bodenbearbeitungsvariante einen Einfluss auf den Leitfähigkeitskoeffizienten des Bodens. Lediglich im wassergesättigten Bodenzustand, also bei einer vorhandenen Tension = 0, liegen die Leitfähigkeiten näher beisammen.

Unter der Tension h = -10 cm wiesen die „Reduzierte Bodenbearbeitung“ ($10^{0,588}$ cm $h^{-1)}$ und das „Integrierte System“ ($10^{0,585}$ cm h^{-1}) beinahe identische Kurven und damit die höchste Leitfähigkeit K_{-10} auf, gefolgt von der „Konventionellen Bodenbearbeitung“ ($10^{0,421}$ cm h^{-1}), der „Minimalbodenbearbeitung“ ($10^{0,312}$ cm h^{-1}) und der „Direktsaat mit einem K_{-10} von $10^{0,222}$ cm h^{-1}. Bei h = -7 begannen sich die Linien der „Reduzierten Bodenbearbeitung“ ($K_{-7} = 10^{0,969}$ cm h^{-1}) und des „Integrierten Systems ($K_{-7} = 10^{0,965}$ cm h^{-1}) zu kreuzen. Des Weiteren kreuzen sich zwischen h = -7 und h = -2,5 die Linien der „Konventionellen Bodenbearbeitung“ ($K_{-7} = 10^{0,541}$ cm h^{-1}) und der „Minimalbodenbearbeitung“ ($K_{-7} = 10^{0,450}$ cm h^{-1}). Anschließend stieg die Leitfähigkeit der Variante „Minimalbodenbearbeitung“ ($K_{-2,5} = 10^{2,705}$ cm h^{-1}) weiter und begann bei h = -2,5 die Linie der „Reduzierten Bodenbearbeitung“ ($K_{-2,5} = 10^{3,672}$ cm h^{-1}) zu kreuzen. Unter der Bedingung h = -0,5 hatten diese zwei Varianten ihre Positionen (Minimal. $K_{-0,5} = 10^{14,979}$ cm h^{-1}, Reduziert. $K_{-0,5} = 10^{11,711}$ cm h^{-1}) schließlich getauscht. Des Weiteren überstieg die „Direktsaat“ zwischen h = -2,5 und h = -0,5 die „Konventionelle Bodenbearbeitung“, was letztendlich zu folgender Endposition unter h = 0 führt: „Konventionelle Bodenbearbeitung“ $K_0 = 10^{5,719}$ cm h^{-1}, „Direktsaat“ $K_0 = 10^{11,850}$ cm h^{-1}, „Reduzierte Bodenbearbeitung“ $K_0 = 10^{16,562}$ cm h^{-1}, „Minimalbodenbearbeitung“ $K_0 = 10^{23,378}$ cm h^{-1} und das „Integrierte System“ mit $K_0 = 10^{43,873}$ cm h^{-1}.

Aus der Abbildung 32 ist außerdem erkennbar, dass die „Direktsaat“ fast über die ganze Tension hinweg die geringste hydraulische Leitfähigkeit aufweist. Vor allem im Saugspannungsbereich von -10 cm bis -0,5 cm ist dies sichtbar. Allerdings glich sie bei den höheren Saugspannungen dies aus und überstieg zum Zeitpunkt der Messungen sogar den Kurvenverlauf der „Konventionellen Bodenbearbeitung“. Hinsichtlich der hydraulischen Leitfähigkeit K_h geht aus der oben angeführten Abbildung das „Integrierte System“ als vorteilhaft hervor, da es vor allem in dem Saugspannungsbereich von 0 bis -7 cm teilweise hoch über den anderen Varianten lag.

4.2. Wachstumsverlauf des Winterweizens

4.2.1. Aufgang

Nach einem relativ trockenen Winter nach der Aussaat und einen verhältnismäßig sehr kalten Februar waren unter den verschiedenen Bearbeitungssystemen und den Vorfrüchten Zuckerrübe und Winterweizen große Unterschiede am Aufgang bzw. der anschließenden Bestockung im Frühjahr zu erkennen.

Anhand drei ausgewählter Bearbeitungssysteme sind in der Abbildung 33 diese Unterschiede gut erkennbar. Jeweils zwei Bilder gehören zu einem Bodenbearbeitungssystem, wobei das linke Bild jeweils den Bestand nach der Vorfrucht Winterweizen zeigt. Deutlich erkennbar ist vor allem der Vegetationsunterschied bei allen Systemen zwischen den Vorfrüchten. Die Bestände waren nach der Zuckerrübe meistens „schütter“ und wiesen eine geringere Bestockung auf. Dies ist auch anhand der Ergebnisse des Blattflächenindex (Kap. 4.2.3), des Bedeckungsgrades (Kap. 4.2.2) und des Strohertrags (Kap. 4.3.2) deutlich sichtbar. Im Weiteren sind auch schwache bis starke Unterschiede bei gleicher Vorfrucht zwischen den Bearbeitungssystemen erkennbar.



Abb. 33: Weizenbestand am 26. April 2012 der Bodenbearbeitungssysteme „Integriertes System“, „Direktsaat“ und „Reduzierte Bodenbearbeitung“ nach den Vorfrüchten Winterweizen (linkes Bild) und Zuckerrübe (rechtes Bild), 2012

4.2.2. Bedeckungsgrad

Für den Bodenbedeckungsgrad in Prozent wurden an drei Terminen von den ersten zwei Wiederholungen pro Parzelle Bilder von einem Quadratmeter gemacht und anschließend am Computer ausgewertet. Im Bedeckungsgrad ergaben sich hoch signifikante Unterschiede

zwischen den Fruchtfolgen (FF) und den Messterminen (T). Auch die Unterschiede bei den Wechselbeziehungen Fruchtfolge mal Bodenbearbeitungssystem (FF * BB) und Fruchtfolge mal Bemessungszeitpunkt (FF * T) waren signifikant.

Tabelle 9: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf den Bedeckungsgrad in % des Winterweizens

Effekt	Zähler Freiheitsgrade	Nenner Freiheitsgrade	F-Statistik	Pr > F	
FF	1	20.5	372.10	<.0001	***
BB	4	20.5	1.47	0.2485	n.s.
FF*BB	4	20.5	4.21	0.0120	*
T	2	15	32.90	<.0001	***
FF*T	2	15	5.91	0.0128	*
BB*T	8	16.4	0.62	0.7465	n.s.
FF*BB*T	8	16.4	0.53	0.8148	n.s.
WH	1	20.5	1.68	0.2094	n.s.
WH*T	2	15	1.31	0.2993	n.s.

Die mittlere Bodenbedeckung am 26. April 2012 unterschied sich stärker nach der Vorfrucht als innerhalb der Bearbeitungssysteme. Nach Winterweizen hatte die „Minimalbodenbearbeitung“ mit 57,90 % den höchsten Bedeckungsgrad, gefolgt von dem „Integrierten System“ und der „Minimalbodenbearbeitung“. Die „Direktsaat“ wies zu diesem Zeitpunkt die geringste Bodenbedeckung auf, sie lag allerdings nach der Vorfrucht Zuckerrübe mit 24,08 % knapp an der Spitze.

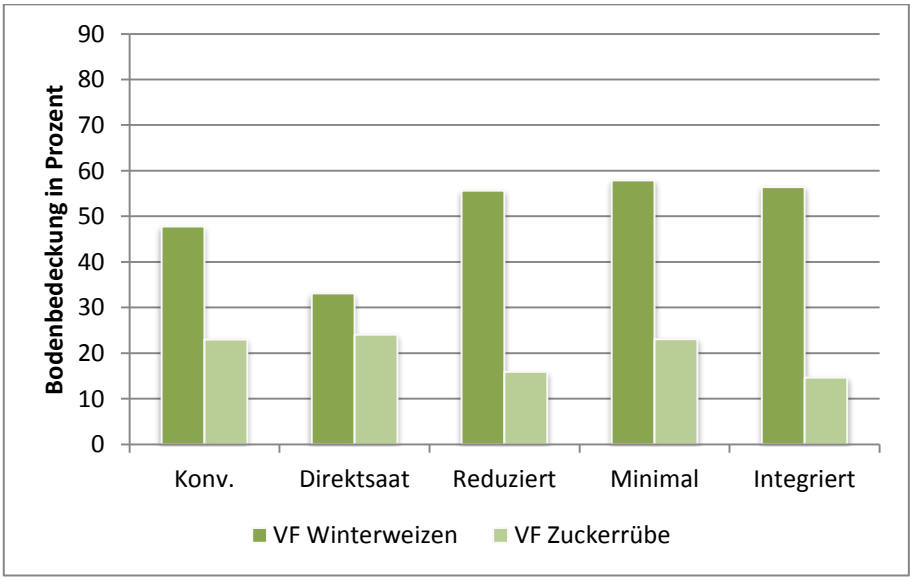


Abb. 34: Bodenbedeckung in % in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht, 26. April 2012

Einen Monat später, am 15. Mai 2012 war der Bodenbedeckungsgrad schon ausgeglichener. Die Bodenbearbeitungssysteme „Minimalbodenbearbeitung“ und „Integriertes System“ nach Winterweizen tauschten die Plätze und wiesen eine Bodenbedeckung von 87 % auf. Auffallend war die deutliche Zunahme der Bodenbedeckung bei der Variante „Direktsaat“ und der Unterschied zum Höchstwert betrug nur mehr ca. 10 %. Nach der Vorfrucht Zuckerrübe erhöhte die „Direktsaat“ den Vorsprung und wies einen Bedeckungsgrad von 45,38 % auf. Die „Reduzierte Bodenbearbeitung“ lag mit 29,38 % weiterhin hinter den übrigen drei Systemen am Schluss. Allerdings waren die Zuwächse bei der Bodenbedeckung nach der Zuckerrübe bei allen Systemen um einiges geringer als jene nach Winterweizen.

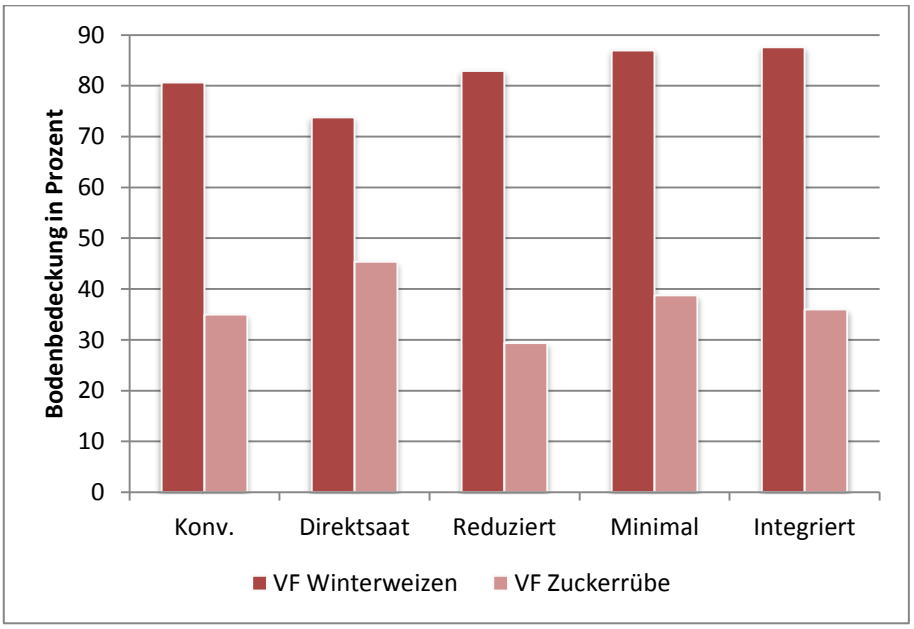


Abb. 35: Bodenbedeckung in % in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht, 15. Mai 2012

Die letzte Messung der Bodenbedeckung erfolgte am 06. Juni 2012, 49 Tage nach der ersten Aufnahme. Hervorstechend war der Rückgang des Bodenbedeckungsgrades, rund drei Wochen nach der zweiten Aufnahme. Erkennbar ist, dass die „Direktsaat“ (74,91 %) nach Winterweizen als einzige Variante den Bodenbedeckungsgrad erhöhte und sich dadurch fast auf die Ebene mit allen übrigen Systemen befand.

Den höchsten Bedeckungsgrad nach der Vorfrucht Winterweizen erreichte die „Minimale Bodenbearbeitung“. Nach Vorfrucht Zuckerrübe änderte sich die Reihenfolge der

unterschiedlichen Systeme nicht nennenswert und die „Direktsaat“ wies mit 38,45 % weiter hin den höchsten Bedeckungsgrad auf. Der Rückgang des Bedeckungsgrades vom 15. Mai auf den 06. Juni. 2012 betrug zwischen 1,42 % (Integriert n. ZR) und 13,38 % (Konv. n. ZR) mit Ausnahme wie bereits erwähnt bei der „Direktsaat“ (nach Winterweizen mit einer Zunahme von 1,12 %).

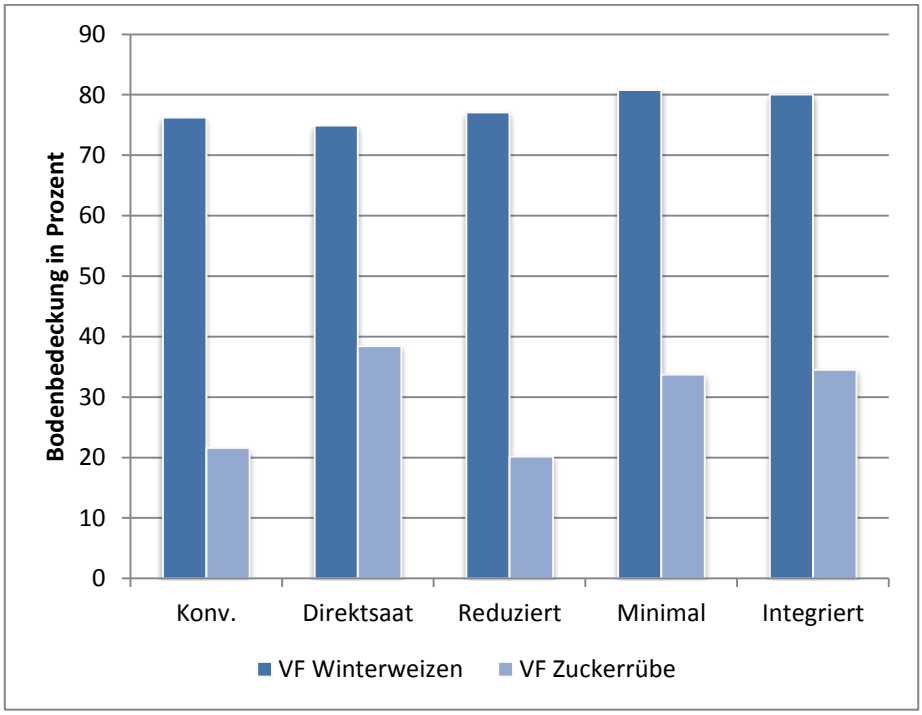


Abb. 36: Bodenbedeckung in % in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht, 06. Juni 2012

4.2.3. Blattflächenindex (LAI)

Die Blattflächenindex Messung am 20.Juni 2012 ergab statistisch hoch signifikante Unterschiede in den Beständen zwischen den zwei Vorfrüchten Winterweizen und Zuckerrübe.

Die Unterschiede zwischen den Bearbeitungssystemen waren nicht signifikant und sind daher zufällig. Auch innerhalb der drei gemessenen Wiederholungen und der Wechselwirkung ergaben sich keine signifikanten Unterschiede.

Tabelle 10: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf den Blattflächenindex

Effekt	Zähler Freiheitsgrade	Nenner Freiheitsgrade	F-Statistik	Pr > F	
FF	1	18	78.76	<.0001	***
BB	4	18	0.83	0.5255	n.s.
FF*BB	4	18	0.33	0.8569	n.s.
WH	2	18	0.58	0.5674	n.s.

Die bereits in den Monaten April, Mai und Juni mit freiem Auge erkennbaren Unterschiede in der Bestandesdichte zwischen den Vorfrüchten wurden durch die LAI - Messung bestätigt.

Abbildung 37 zeigt die mittleren Blattflächenindexe und deren Standardabweichungen bei den jeweiligen Bodenbearbeitungsvarianten und Vorfrüchten. Der Winterweizenbestand wies nach der Vorfrucht Winterweizen im Vergleich zur Vorfrucht Zuckerrübe am 20. Juni 2012 auf allen fünf Bodenbearbeitungsvarianten einen fast doppelt so hohen Blattflächenindex auf und damit verbunden eine fast doppelt so hohe Blattoberfläche.

Die „Integrierte Variante“ erreichte mit einem LAI von 2,05 den höchsten Wert bei einer Standardabweichung von 0,220. Die Varianten „Konventionell“, „Minimal“ und die „Direktsaat“ erreichten nach der Vorfrucht Winterweizen einen LAI im Bereich von 1,89 bis 1,94. Die „Reduzierte Bodenbearbeitung“ lag mit ihrem geringeren Blattflächenindex bei beiden Vorfrüchten an letzter Stelle.

Nach der Vorfrucht Zuckerrübe wies die „Direktsaat“ die höchsten LAI Werte mit 1,05 auf, dicht gefolgt von der „Minimalbodenbearbeitung“ (mit 1,01). Die „Integrierte Variante“ war etwa gleichauf mit der „Konventionellen Bodenbearbeitung“.

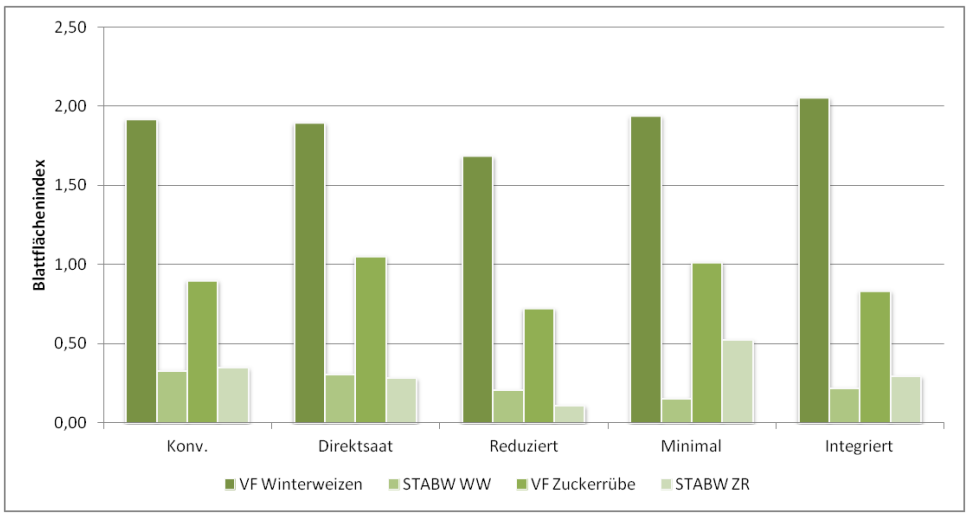


Abb. 37: Blattflächenindex in Abhängigkeit der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht, 2012

4.2.4. Chlorophyllgehalt und stomatäre Leitfähigkeit

Bei der Messung des **Chlorophyllgehalts** (Spadwert) der Weizenblätter wurden hoch signifikante Unterschiede zwischen den zwei Vorfrüchten sowie signifikante Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Bodenbearbeitungssystemen ermittelt.

Tabelle 11: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf den Chlorophyllgehalt

Effekt	Zähler Freiheitsgrade	Nenner Freiheitsgrade	F-Statistik	Pr > F	
FF	1	18	25.83	<.0001	***
BB	4	18	4.30	0.0128	*
FF*BB	4	18	1.80	0.1724	n.s.
WH	2	18	1.85	0.1859	n.s.

In Abbildung 38 sind die Mittelwerte des Chlorophyllgehalts im Winterweizenbestand zum Zeitpunkt der Messung am 12. Juni 2012 angeführt. Bei allen Bodenbearbeitungssystemen mit Ausnahme der „Direktsaat“ ergab sich ein deutlicher Unterschied des Chlorophyllgehalts aufgrund der unterschiedlichen Vorfrüchte. Den höchsten Spadgrünwert erreichte die „Direktsaat“ sowohl bei der Vorfrucht Winterweizen mit 54,3 (bei einer Standardabweichung von 2,16), als auch bei der Vorfrucht Zuckerrübe mit 54,2 (bei einer Standardabweichung von 0,95).

Den geringsten Wert erreichte die „Konventionelle Bodenbearbeitung“ mit 51,25. Bei einem Vergleich der unterschiedlichen Vorfrüchte konnte festgestellt werden, dass Winterweizen mit einem Spadwert von 53,6 deutlich über den Werten nach Zuckerrübe mit 50,9 lag.

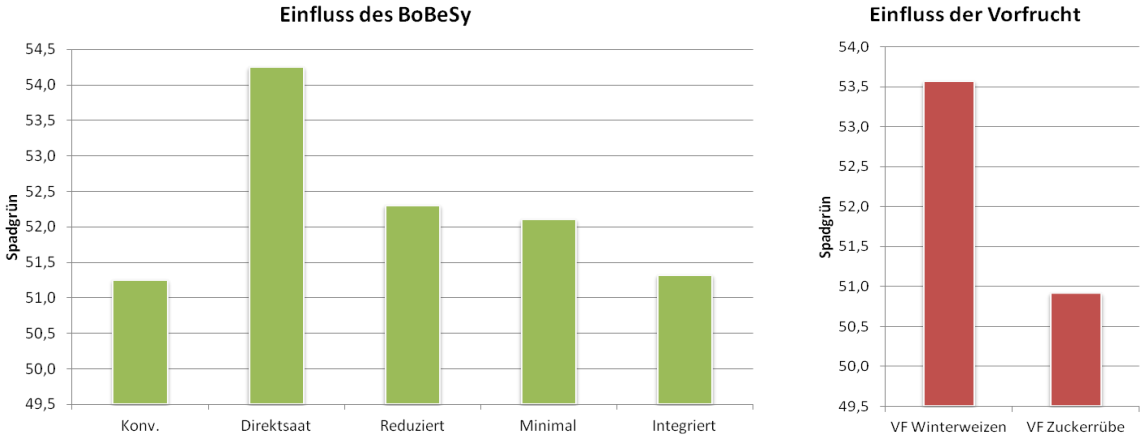


Abb. 38: Chlorophyllgehaltswerte in Abhängigkeit der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht, 2012

Die **stomatäre Leitfähigkeit** gibt Auskunft darüber, wie gut der bemessene Pflanzenbestand mit Wasser versorgt war. Daraus war ersichtlich, je höher Werte waren desto besser war der Bestand mit Wasser versorgt.

Tabelle 12: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf die stomatäre Leitfähigkeit

Effekt	Zähler Freiheitsgrade	Nenner Freiheitsgrade	F-Statistik	Pr > F	
FF	1	18	0.17	0.6836	n.s
BB	4	18	2.44	0.0845	n.s
FF*BB	4	18	0.58	0.6776	n.s
WH	2	18	7.97	0.0033	**

Die ermittelten Unterschiede waren nicht signifikant. Die höchste stomatäre Leitfähigkeit wurde bei der Direktsaat nach Winterweizen mit 93,68 mmol/m²s gemessen. Danach folgen die „Minimalbodenbearbeitung“ nach Zuckerrübe (80,68 mmol/m²s) sowie die „Reduzierte Bodenbearbeitung“ nach Winterweizen (72,88 mmol/m²s). Die geringste Leitfähigkeit und

somit geringste Wasserversorgung wurde bei beiden Vorfrüchten in der „Integrierten Variante“ mit 45,64 mmol/m²s (VF WW) und 47,50 mmol/m²s (VF ZR) gemessen.
Die Standardabweichung (Stabw.) variierte zwischen 1,78 mmol/m²s bei der „Integrierten Bodenbearbeitung“ nach Zuckerrübe und 50,17 mmol/m²s bei der „Reduzierten Bodenbearbeitung“ nach Zuckerrübe.

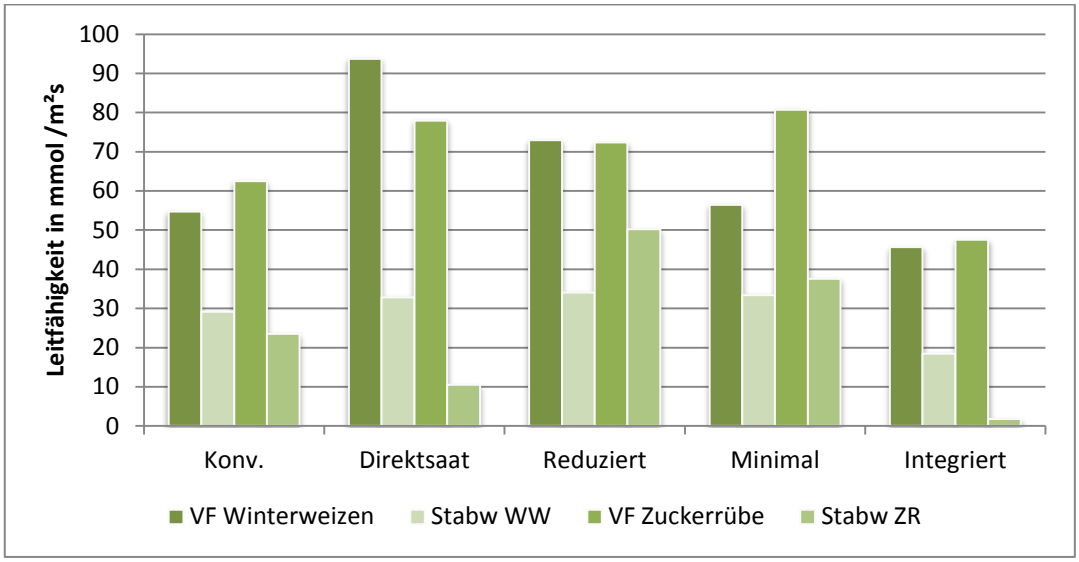


Abb. 39: Stomatäre Leitfähigkeit in mmol/m²s im Weizenbestand in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Bodenbearbeitungssystemen und der Vorfrucht, 2012

4.3. Ertrag

4.3.1. Kornertrag

Die Landwirte richten sich bei der Wahl des optimalen Bodenbearbeitungssystems, meist nach dem Kornertrag. Die statistische Auswertung der Erträge im Jahr 2012 ergab, dass die Ertragsunterschiede nicht signifikant waren, mit Ausnahme zwischen den Fruchtfolgen (Tabelle 13). In der Abbildung 40 sind die gemittelten Kornerträge in kg/ha und deren Standardabweichungen dargestellt.

Tabelle 13: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf den Kornertrag in kg/ha

Effekt	Zähler Freiheitsgrade	Nenner Freiheitsgrade	F-Statistik	Pr > F	
FF	1	26	151.88	<.0001	***
BB	4	26	2.39	0.0766	n.s.
FF*BB	4	26	0.78	0.5460	n.s.
WH	3	26	2.06	0.1298	n.s.

Nach der Vorfrucht Winterweizen wurde der höchste Kornertrag vom „Integrierten System“ mit 3089,5 kg/ha und bei der „Direktsaat“ mit 2979,3 kg/ha erreicht. Die Varianten „Minimal“ und „Reduziert“ lagen im Mittelfeld mit jeweils knapp 2800 kg/ha und die „Konventionelle Bodenbearbeitung“ erreichte immerhin 2733,7 kg/ha. Die Standardabweichung variiert in einem Bereich zwischen 193,3 und 610,8 kg/ha.

Im Vergleich dazu wurden nach der Vorfrucht Zuckerrübe bei fast allen Bodenbearbeitungssystemen Erträge gemessen, welche um die Hälfte geringer waren als jene nach der Vorfrucht Winterweizen. Dabei erreichte die „Direktsaat“ mit 1619,0 kg/ha den höchsten und die Systeme „Konventionell“ und „Reduziert“ mit 1119 bzw. 1109,3 kg/ha den geringsten Kornertrag. Hier lagen die Standardabweichungen zwischen 78,3 kg/ha (Konv.) und 682,5 kg/ha (Integriert).

Generell lag die Standardabweichung bei dem „Integrierten System“ am höchsten und bei der „Konventionellen“ bzw. „Reduzierten Bodenbearbeitung“ am geringsten.

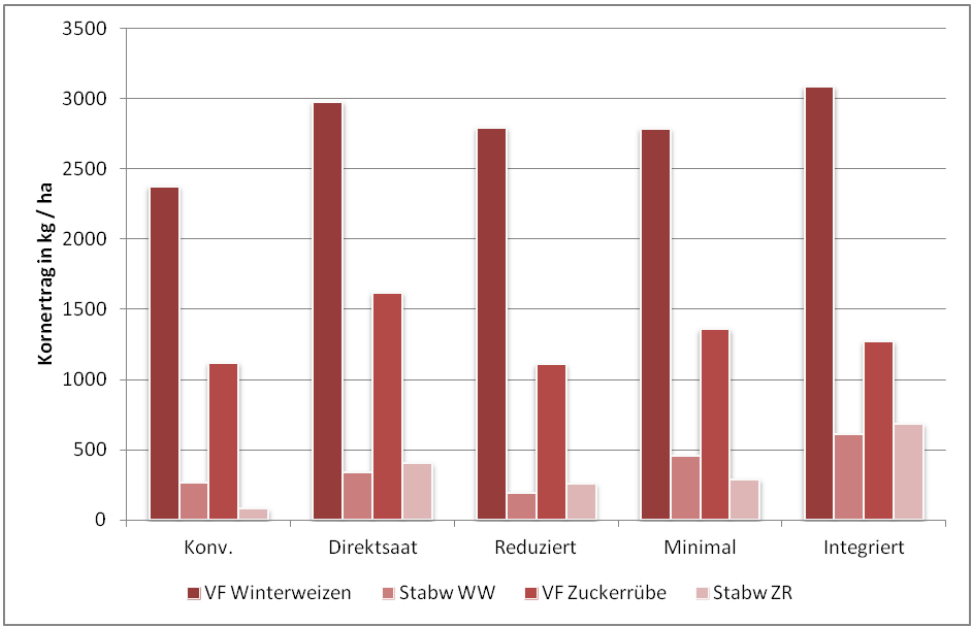


Abb. 40: Kornertrag in kg/ha und Standardabweichung der Quadratmeterproben in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht, 2012

In Abbildung 41, sind die Kornerträge grafisch in Relativprozent zur „Konventionellen Bodenbearbeitung“ dargestellt. Generell erreichten alle weiteren vier Systeme bei beiden Vorfrüchten einen höheren Kornertrag als die „Konventionelle Bodenbearbeitung“, mit Ausnahme der „Reduzierten Bodenbearbeitung“ nach der Vorfrucht Zuckerrübe. Die „Direktsaat“ erreichte einen um 25 % höheren Ertrag nach Winterweizen und mit einem Mehrertrag von 45 % den Höchstertrag nach Zuckerrübe. Nach Winterweizen lag die „Reduzierte Bodenbearbeitung“ annähernd gleich auf mit der „Minimalbodenbearbeitung“ und beide erzielten einen Mehrertrag von 17 bzw. 18 %. Nach der Zuckerrübe hatte die „Minimalbodenbearbeitung“ den zweithöchsten Mehrertrag mit 21 %. Auch bei dem „Integrierten System“ ergab sich ein höherer Kornertrag. Diese Variante erreichte mit mehr als 30 % nach Winterweizen den Höchstwert.

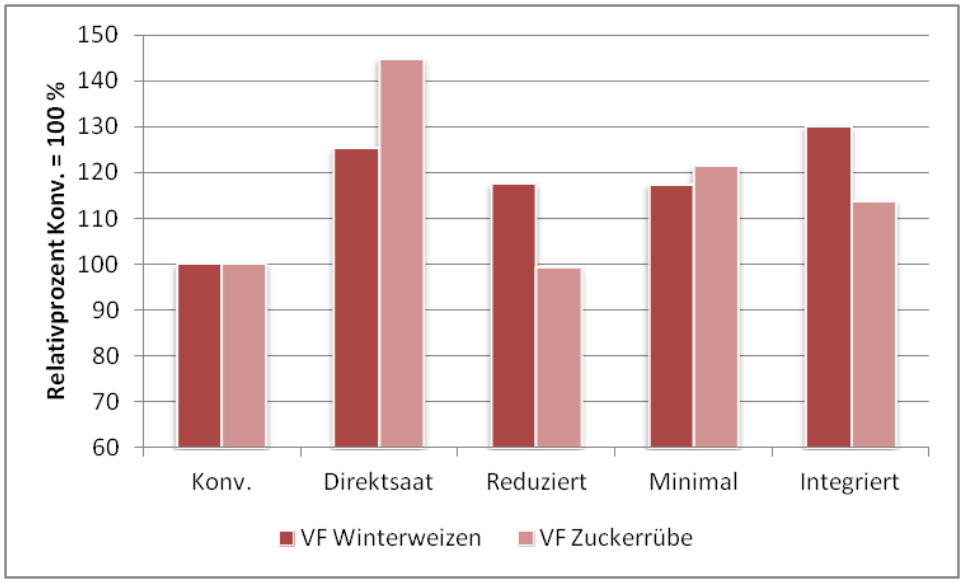


Abb. 41: Relativer Kornertrag in % in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht (Konventionelle Bodenbearbeitung“ = 100 %); 2012

4.3.2. Strohertrag

Der Restpflanzenanteil nach dem Drusch ist unterschiedlich hoch und Teile davon verbleiben am Feld. Auch die abfuhrbare Strohmenge ist stark unterschiedlich. Zur Ermittlung des Strohertrages wurden die händisch geernteten Quadratmeterproben herangezogen.

Wie bereits mit „freiem Auge“ erkennbar war und auch die Ergebnisse der Blattflächenindex Messung zeigten, ergab der Winterweizenbestand nach der Vorfrucht Winterweizen einen deutlich höheren Strohertrag, der sich auch statistisch in der hohen Signifikanz spiegelt.

Tabelle 14: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf den Strohertrag in kg/ha

Effekt	Zähler Freiheitsgrade	Nenner Freiheitsgrade	F-Statistik	Pr > F	
FF	1	26	292.95	<.0001	***
BB	4	26	3.55	0.0194	n.s.
FF*BB	4	26	1.02	0.4151	n.s.
WH	3	26	2.61	0.0729	n.s.

Den höchsten Strohertrag erreichten dabei die „Direktsaat“ und das „Integrierte System“ mit 8190,5 bzw. 8208,3 kg/ha. Die „Reduzierte Bodenbearbeitung“ lag in etwa gleichauf mit der „Minimalbodenbearbeitung“, welche sich ein wenig vom Schlusslicht der „Konventionellen Bodenbearbeitung“ mit 6669,5 kg/ha absetzen konnte. Die Standardabweichung lag nach Winterweizen zwischen 49,32 und 116,93 kg/ha.

Nach der Vorfrucht Zuckerrübe waren die Stroherträge deutlich geringer und lagen im Mittel zwischen 2880,3 kg/ha (Reduziert) und 4294,5 kg/ha (Direktsaat). Die Standardabweichungen lagen in einem Bereich von 235,5 und 1417,3 kg/ha und waren bei beiden Vorfrüchten bei dem „Integrierten System“ am höchsten.

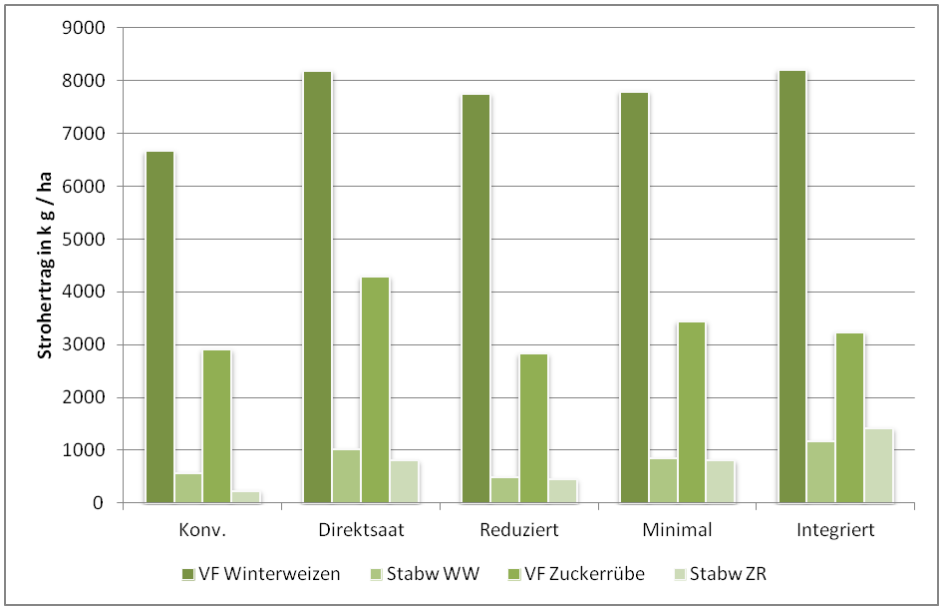


Abb. 42: Strohertrag in kg/ha und Standardabweichung der Quadratmeterproben in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und Vorfrucht, 2012

Wie auch der Kornertrag ist des Weiteren der Strohertrag der Systeme in Relativprozent zur „Konventionellen Bodenbearbeitung“ abgebildet. Die Verteilung ist sehr ähnlich jener des Kornertrags und lässt bei allen Bearbeitungssystemen und bei beiden Vorfrüchten einen höheren Ertrag als die „Konventionelle Bodenbearbeitung“, mit Ausnahme der „Reduzierten Bodenbearbeitung“ (minus 3 %) nach Zuckerrübe erkennen.

Die „Direktsaat“ erreichte gemeinsam mit dem „Integriertem System“ nach Winterweizen einen 23 % höheren und nach der Zuckerrübe einen 48 % bzw. 11 % höheren Strohertrag. Die

„Minimalbodenbearbeitung“ und die „Reduzierte Bodenbearbeitung“ folgen mit einem Mehrertrag von rund 18 % nach der Zuckerrübe.

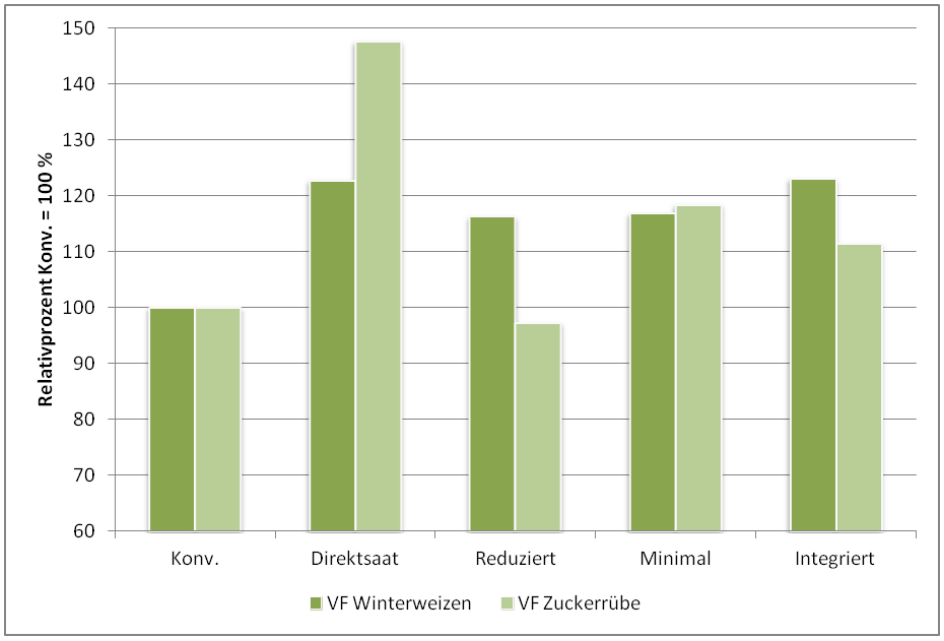


Abb. 43: Relativer Strohertrag in % in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht (Konventionelle Bodenbearbeitung“ = 100 %); 2012

4.3.3. Ernteindex und Stickstoff–Ernteindex

Mit Hilfe des Ernteindexes und des N-Ernteindexes ist es möglich, die insgesamt produzierte Trockenmassenmenge der abgeführten Trockenmassenmenge einschließlich der gebundenen Stickstoffmenge (in Korn und Stroh) gegenüberzustellen. Bei beiden Indexen wurden statistisch signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von ≤ 5 % zwischen den jeweiligen Vorfrüchten (ZR und WW) gefunden. Zwischen den Bodenbearbeitungssystemen konnten im Jahr 2012 keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Tabelle 15: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf den Ernteindex

Effekt	Zähler Freiheitsgrade	Nenner Freiheitsgrade	F-Statistik	Pr > F	
FF	1	26	4.92	0.0355	*
BB	4	26	0.12	0.9746	n.s.
FF*BB	4	26	0.32	0.8595	n.s.
WH	3	26	0.38	0.7660	n.s.

Tabelle 16: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf den Stickstoff - Ernteindex

Effekt	Zähler Freiheitsgrade	Nenner Freiheitsgrade	F-Statistik	Pr > F	
FF	1	3.19	22.13	0.0158	*
BB	4	22.5	0.34	0.8449	n.s.
FF*BB	4	22.5	0.78	0.5527	n.s.
WH	3	3.15	0.60	0.6558	n.s.

Wie in Abbildung 44 dargestellt, war der Anteil des Korns am Gesamtaufwuchs nach der Vorfrucht Zuckerrübe höher als nach der Vorfrucht Winterweizen. Den höchsten Wert erzielte die „Minimalbodenbearbeitung“ mit 0,283 (n. ZR). Nach der Vorfrucht Winterweizen markiert das „Integrierte System“ den Höchstwert mit einem Ernteindex von 0,272. Generell liegen alle Ernteindexe relativ nahe beieinander, zwischen 0,260 und 0,285.

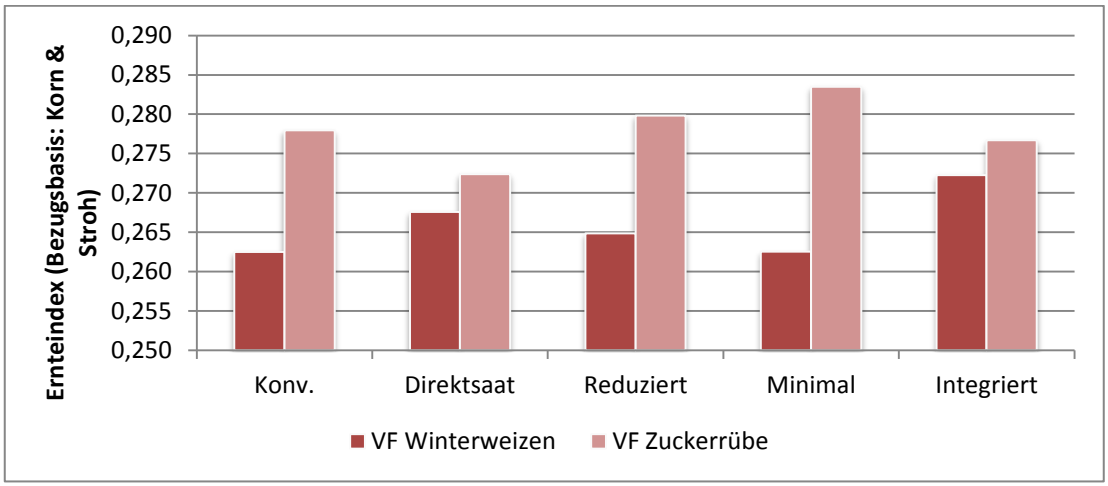


Abb. 44: Ernteindex in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht, 2012

Wie bereits bei dem Ernteindex ist auch der signifikante Unterschied beim N- Ernteindex zwischen den Vorfrüchten deutlich erkennbar. Mit 0,636 wurde bei der „Reduzierten Bodenbearbeitung“ der höchste Stickstoff Ernteindex auf der Versuchsfläche gemessen. Mit einem geringen Abstand folgen die „Konventionelle Bodenbearbeitung“ (0,631) und die „Minimalbodenbearbeitung“ (0,629). Die Werte nach der Vorfrucht Winterweizen liegen alle unter 0,580, wobei die „Reduzierte Bodenbearbeitung“ den Tiefstwert mit 0,555 darstellte.

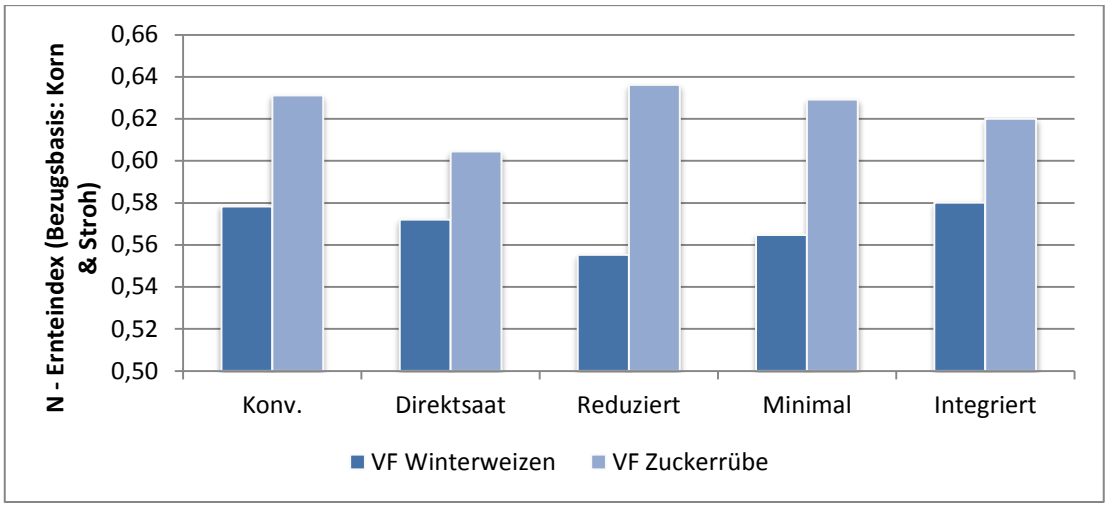


Abb. 45: Stickstoff Ernteindex in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht, 2012

Werden die Ernteindexe und die die N – Ernteindexe kombiniert, so zeigen diese für die „Konventionelle Bodenbearbeitung“ folgendes: Bei der Vorfrucht Winterweizen wurden in weiterer Folge mit 26,3 % der insgesamt produzierten Trockenmasse in Form von Weizenkornmasse 57,8 % des aufgenommen Stickstoffs vom Feld abgefahren während nach der Zuckerrübe mit der in etwa gleichen Trockenmasse (27,8 %) Stickstoff im Ausmaße von 63,1 % abgefahren wurden.

4.4. Ausgewählte Qualitätskriterien bei Winterweizen

4.4.1. Hektolitergewicht und Tausendkorngewicht

Das **Hektolitergewicht** ist aufgrund der Kornform, der Kornoberfläche und der Kornzusammensetzung artspezifisch. Obwohl die Annahme einer engen Korrelation zwischen dem Hektolitergewicht und der Mehlausbeute oder der Mehlqualität innerhalb der Art nicht zutrifft, wird der relativ einfach zu messende Parameter dennoch traditionell häufig ermittelt.

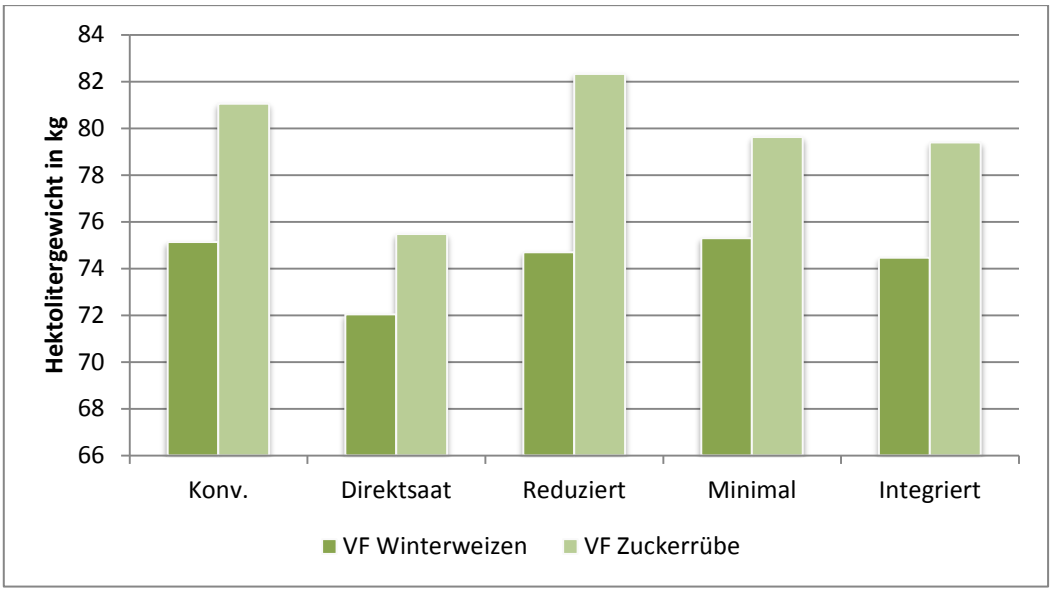


Abb. 46: Hektolitergewicht in kg in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht, 2012

Das Hektolitergewicht zwischen den Vorfrüchten und den Bearbeitungssystemen ist signifikant. Nach der Vorfrucht Zuckerrübe konnte bei fast allen Varianten die Einstufung als Qualitätsweizen (80 kg) erreicht werden. Die „Minimalbodenbearbeitung“ und die „Integrierte Variante“ liegen nur um 0,4 kg unter den notwendigen 80 kg/hl. Bei der „Direktsaat“ war der Abstand mit einem Hektolitergewicht von 75,48 kg schon deutlich höher. Die „Reduzierte Bodenbearbeitung“ ergab mit einem Hektolitergewicht von 82,32 kg den höchsten Wert.

Im Vergleich dazu war das Hektolitergewicht nach der Vorfrucht Winterweizen bei allen fünf Bodenbearbeitungssystemen unter den Werten nach Zuckerrübe und somit auch unter den notwendigen 80 kg für die Einstufung als Qualitätsweizen bei der Verwertung. Das geringste Hektolitergewicht wurde bei der „Direktsaat“ nach Winterweizen mit 72,04 kg gemessen. Die Standardabweichungen für das Hektolitergewicht der einzelnen Bodenbearbeitungssysteme lagen zwischen 0,39 und 5,97 kg.

Tabelle 17: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf das Hektolitergewicht in kg

Effekt	Zähler Freiheitsgrade	Nenner Freiheitsgrade	F-Statistik	Pr > F	
FF	1	3	27.99	0.0132	*
BB	4	24	4.03	0.0122	*
FF*BB	4	24	0.34	0.8511	n.s.
WH	3	3	0.48	0.7209	n.s.

Wie bereits im Hektolitergewicht, unterscheidet sich auch das **Tausendkorngewicht** (TKG in g) sehr stark in Abhängigkeit der Vorfrucht. Die Unterschiede zwischen der Vorfrucht Winterweizen und Zuckerrübe waren hoch signifikant. Die Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungssystemen, der Wiederholungen und der Wechselwirkung Fruchtfolge * Bodenbearbeitungssystem waren nicht signifikant.

Tabelle 18: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf das Tausendkorngewicht in g

Effekt	Zähler Freiheitsgrade	Nenner Freiheitsgrade	F-Statistik	Pr > F	
FF	1	26	28.79	<.0001	***
BB	4	26	0.09	0.9839	n.s.
FF*BB	4	26	1.09	0.3822	n.s.
WH	3	26	1.81	0.1708	n.s.

Das höchste TKG erreichte die „Direktsaat“ nach Zuckerrübe mit 36,8 g gefolgt von der „Reduzierten Bodenbearbeitung“ (36,0 g) und der „Minimalbodenbearbeitung“ (35,9 g).
Das geringste TKG wurde wie in der Abbildung 47 erkennbar, in der „Direktsaat“ nach Winterweizen mit 31,5 g geerntet. Die Standardabweichung beim Tausendkorngewicht variierte bei allen Varianten zwischen 0,5 g bei der „Konventionellen Bearbeitung“ nach Zuckerrübe und 3,4 g bei der „Direktsaat“ nach Zuckerrübe.

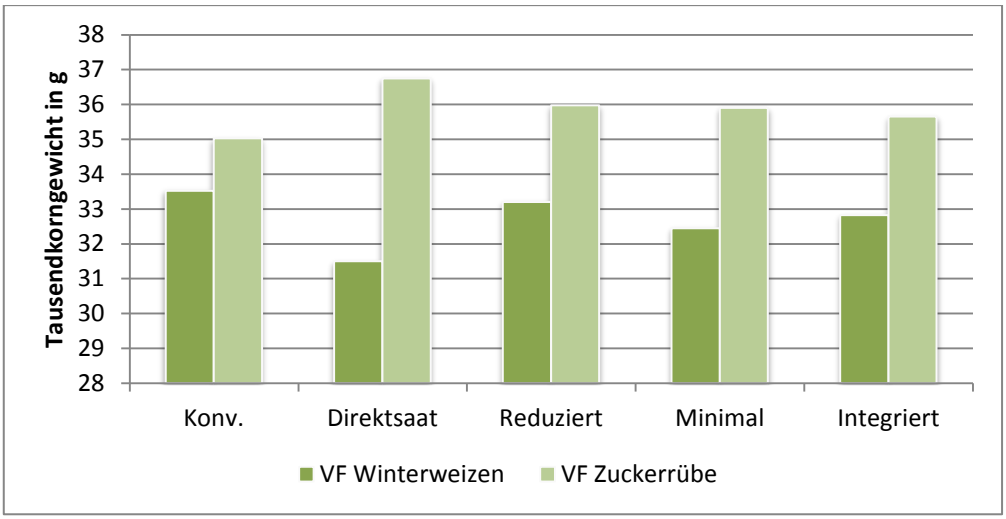


Abb. 47: Tausendkorngewicht in g in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht, 2012

4.4.2. Kohlenstoff- , Stickstoff- und Schwefelgehaltswert im Weizenkorn

Bei der Messung des Kohlenstoff-, Stickstoff- und Schwefelgehalts im Weizenkorn ergaben sich zwischen den Bodenbearbeitungssystemen keine signifikanten Unterschiede. Zwischen den Vorfrüchten hatten lediglich die Stickstoffgehaltswerte einen signifikanten Unterschied, bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von ≤ 5 %.

Generell lagen die N-Gehaltswerte nach Zuckerrübe leicht über jenen nach der Vorfrucht Winterweizen. Der Höchstwert wurde bei der „Direktsaat“ mit 3,242 % gemessen, gefolgt von der „ Reduzierten Bodenbearbeitung“ mit 3,133 %. Die übrigen Versuchsglieder lagen zwischen 3,037 und 3,088 %. Nach Winterweizen erreichte ebenfalls die „Direktsaat“ den höchsten Wert mit 3,101 %. Der geringste Wert wurde im Mittel bei der „Minimalbodenbearbeitung“ (2,959 %) gemessen. Vergleicht man die N-Gehaltswerte der Korn- mit jenen der Strohproben, so zeigt sich, dass zum Zeitpunkt der Ernte 2012 im Korn mehr als dreimal so viel Stickstoff enthalten war.

Der Schwefelgehalt lag bei beiden Vorfrüchten sowie bei allen fünf Bodenbearbeitungssystemen annähernd gleich auf. Die Messwerte variieren lediglich zwischen 0,279 % bei dem „Integrierten System“ nach Winterweizen und 0,287 % bei der „Direktsaat“ nach Zuckerrübe.

Bei allen Bodenbearbeitungssystemen, mit Ausnahme der Variante „Reduzierte Bodenbearbeitung“, waren die C- Gehaltswerte nach Zuckerrübe höher als nach Winterweizen. Des Weiteren waren sie bei allen Bodenbearbeitungssystemen etwas geringer als die C- Werte im Stroh. Nach der Vorfrucht Winterweizen hatte die „Direktsaat“ den geringsten C-Gehalt im Korn mit 43,912 %. Den tiefsten C-Wert lieferte die „Reduzierte Bodenbearbeitung“ nach der Vorfrucht Zuckerrübe mit 43,815 %, während der C-Gehalt nach Winterweizen im Mittelfeld aller Systeme lag.

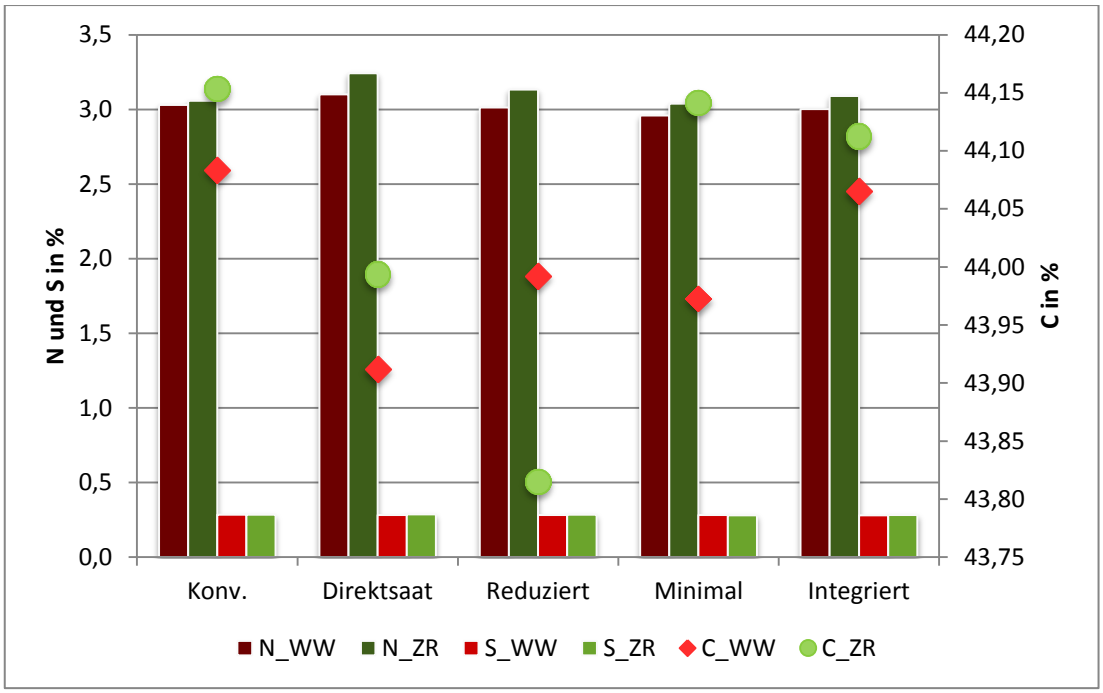


Abb. 48:C- , N- und S- Gehaltswerte in Prozent im Weizenkorn in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht, 2012

4.4.3. Rohproteingehalt im Korn

Der Rohproteingehalt ist einer der bedeutendsten Parameter in der Produktion, in der Vermarktung und bei der Verwertung von Weizen. Die Einstufung des Weizens in verschiedene Preisklassen wird derzeit nach diesem Merkmal vorgenommen. Der Eiweißgehalt von Weizen liegt in einem Bereich zwischen 9 und 20 % und wird stark vom Standort und von der Stickstoff–Düngung beeinflusst.

Um diesen zu erhalten, wurde der zuvor gemessene Stickstoffgehalt in Prozent im Weizenkorn mit dem standardisierten Faktor 5,7 für Weizen multipliziert.

Die erhaltenen Rohproteingehaltswerte aller Bodenbearbeitungssysteme liegen über der Mindestgrenze von 15 % und ergaben daher Premiumweizen. Sie unterschieden sich im Beurteilungsjahr 2012 nicht signifikant. Den Höchstwert an Rohprotein lieferte die „Direktsaat“. Bei den unterschiedlichen Bearbeitungssystemen nach Zuckerrübe kam es aufgrund der einheitlichen Düngung, kombiniert mit dem schütteren Bestand zu höheren Rohproteingehaltswerten nach Winterweizen. Am niedrigsten war der Rohproteingehalt bei der „Minimalbodenbearbeitung“ bei beiden Vorfrüchten (16,86 % n. WW bzw. 17,31 % n. ZR).

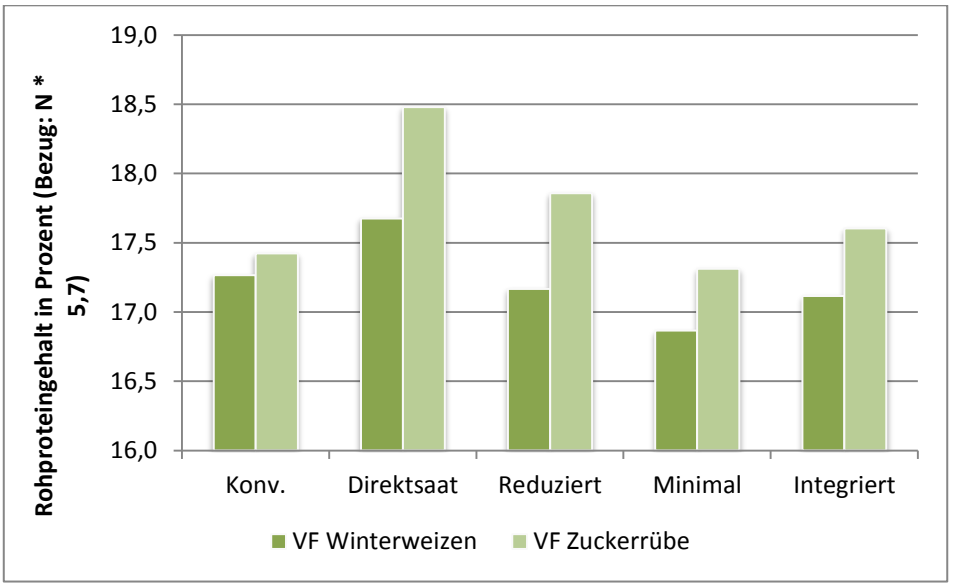


Abb. 49: Rohproteingehalt in % in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht, 2012

4.4.4. Kohlenstoff- , Stickstoff- und Schwefelgehaltswert im Stroh

In den Weizenstrohproben wurden bei der Gehaltswertmessung der drei Elemente (C, N, S) keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Bodenbearbeitungssystems sowie der Vorfrucht festgestellt. Wie bereits in Kapitel 4.4.2 angeführt, war in den Strohproben ein dreifach geringerer Gehalt an Stickstoff enthalten und erreichte zwischen 0,689 und 0,871 %. Erkennbar war, dass die N-Gehälter mit Ausnahme der „Direktsaat“ nach dem Winterweizen höher als nach der Zuckerrübe waren.

Bei ca. 0,2 % lag der Schwefelgehalt in den Strohproben bei allen Bodenbearbeitungssystemen und bei beiden Vorfrüchten, wobei tendenziell alle Bearbeitungsvarianten nach Winterweizen über jenen nach Zuckerrübe lagen, ausgenommen die „Direktsaat.

Den höchsten C-Gehaltswert in den Strohproben erreichte das „Integrierte System“ nach Winterweizen mit 45,258 %. Bei allen Bodenbearbeitungssystemen waren diese nach der Vorfrucht Winterweizen höher als nach der Vorfrucht Zuckerrübe. Allerdings beträgt der Unterschied lediglich 0,137 (Direktsaat) bis 0,788 % (Integriert). Der geringste C-Gehalt in den Strohproben, wurde bei der „Reduzierten Bodenbearbeitung“ nach Zuckerrübe mit einem Wert von 44,487 % gemessen.

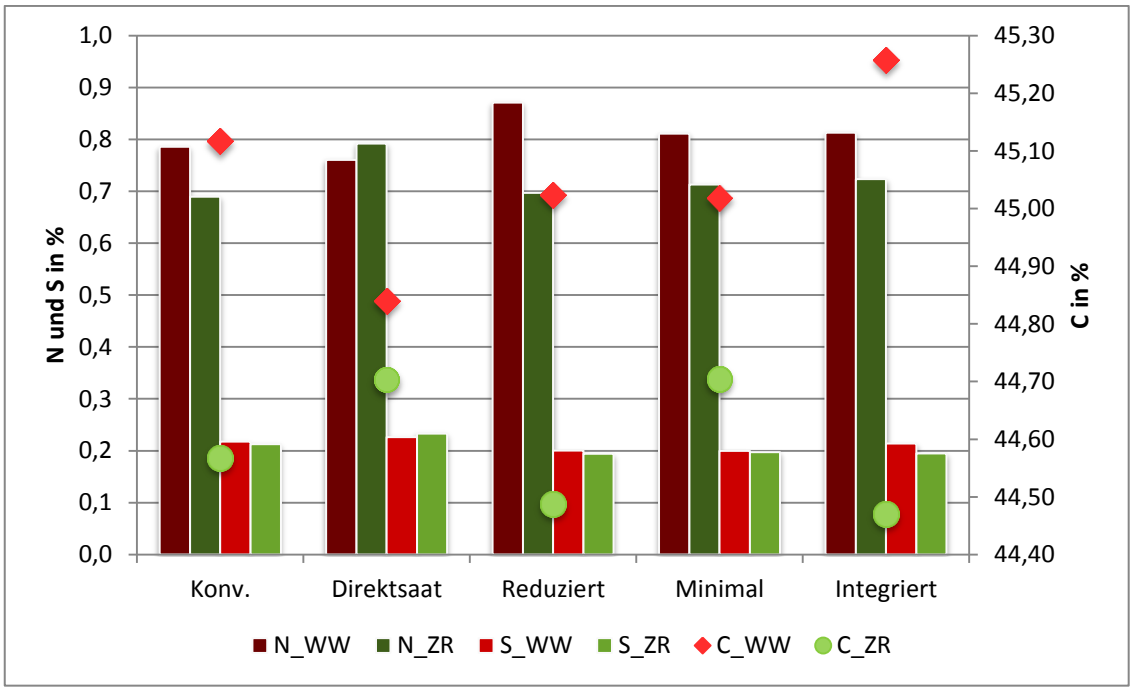


Abb. 50: C- , N- und S- Gehaltswerte in Prozent im Stroh in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht, 2012

5. Diskussion

Die angeführten Ergebnisse zeigen, dass die unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme einen Einfluss auf die beurteilten Parameter haben können. Jedoch sind die Höhe des Einflusses bzw. deren Auswirkung auch sehr stark von anderen Faktoren (z.b.: Witterung und Standort) bei einem Weizenbestand abhängig.

Die konservierende Bodenbearbeitung ist aus Sicht der Intensität der Eingriffe in das Bodengefüge zwischen dem Verfahren mit Pflug (hohe Intensität) und der Direktsaat (Intensität gleich null) einzuordnen. Die wesentlichen Kennzeichen der konservierenden Bodenbearbeitung, sind die Reduzierung der Bearbeitungsintensität, das Belassen der Ernterückstände auf oder nahe der Bodenoberfläche sowie der vollständige Verzicht auf den Einsatz eines Pfluges und somit einer tiefen, wendenden Bearbeitung. Die Systeme „Reduzierte Bodenbearbeitung“ und „Minimalbodenbearbeitung“ des Bodenbearbeitungsversuches in Groß Enzersdorf können der konservierenden Bodenbearbeitung zugeordnet werden.

5.1. Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf bodenphysikalische Parameter

- **Eindringwiderstand**

Der Eindringwiderstand wird als Summe der Einzelmessungen je Tiefenstufe zusammengefasst und in pflanzenphysiologisch wirksame Wertbereiche unterteilt. Dadurch ist eine Beurteilung der Langzeitwirkung der unterschiedlichen Bearbeitungsverfahren auf den relativen Grad einer Bodenverdichtung besser möglich (LIEBHARD, 1995).

Mit Hilfe des Penetrometers ist es möglich, pflanzenbaulich relevante Verdichtungen anhand des Eindringwiderstandes im Boden aufzuspüren. Bei der Eindringwiderstandsmessung ergaben sich deutliche Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungssystemen und zwischen den Vorfrüchten.

Wie die Ergebnisse (Abb. 25) zeigen, ergab sich nach der Vorfrucht Zuckerrübe bis zu einer Tiefe von 25 cm ein signifikanter Unterschied im Eindringwiderstand. Der höchste Eindringwiderstand bis zu einer Tiefe von 20 cm wurde bei der „Direktsaat“ gemessen, nur geringfügig geringer lagen die Werte bei der „Minimalbodenbearbeitung“ und dem „Integriertem System“. Der Verlauf der „Reduzierten Bodenbearbeitung“ und der „Konventionellen Bodenbearbeitung“ waren bis zu 20 cm Bodentiefe einheitlich, nur bei der „Konventionelle Bodenbearbeitung“ ergab sich aufgrund der Pflugsohle erwartungsgemäß ein deutlicher Anstieg am Eindringwiderstand. Diese Ergebnisse decken sich auch mit Ergebnissen älterer Arbeiten (LIEBHARD, 1997; REFENNER, 2012).

SCHMUTZER (2002) berichtet ebenfalls von geringen Eindringwiderständen in den Oberboden bei Einsatz von Pflug und Grubber in den Systemen „Konventionelle - “ und „Reduzierte Bodenbearbeitung“ sowie im „Integrierten System“. Auch konnte er einen Anstieg des Eindringwiderstandes beim Einsatz des Pfluges aufgrund der Pflugsohle bei einer Tiefe von etwa 20 cm, sowie einen leichten Anstieg im System „Direktsaat“, ab einer Tiefe von 10 cm, feststellen.

Nach der Vorfrucht Winterweizen wurde in allen Tiefen, mit Ausnahme zwischen 6 und 10 cm Bodentiefe ein signifikanter Unterschied zwischen den Bodenbearbeitungssystemen gemessen. Erwartungsgemäß wurden bei der „Direktsaat“ in den ersten 10 cm des Oberbodens die höchsten Eindringwiderstände aller Bodenbearbeitungssysteme gemessen. Ab 10 cm Bodentiefe stieg der Eindringwiderstand nur mehr geringfügig an und blieb bis zu einer Tiefe von ca. 38 cm im Bereich um die 4 MPascal/cm².

Bei der „Konventionellen Bodenbearbeitung“ war wie nach der Vorfrucht Zuckerrübe ein Anstieg des Widerstandes im Bereich um 20 cm Tiefe zu erkennen, welcher auf die Pflugsohle zurückzuführen ist. Ab einer Tiefe von ca. 30 cm wurden bei diesem System die höchsten Widerstände, gefolgt von der „Minimalbodenbearbeitung“ und dem „Integrierten System“, gemessen. Die „Reduzierte Bodenbearbeitung“ ergab eine kontinuierliche Zunahme beim Eindringwiderstand und kreuzte den Kurvenverlauf mit der „Direktsaat“ bei einer Tiefe von 22 cm.

Auch EITZINGER (1988) ermittelte im Eindringwiderstand deutliche Unterschiede zwischen Pflug- und Grubbervarianten nach Winterweizen. Er stellte fest, dass nach dem Einsatz des Pfluges („Konventionelle Bodenbearbeitung“ und „Integriertes System“) im Bereich der ersten 10 cm ein geringer Widerstand vorherrscht, bzw. bei der jeweils gewählten Bearbeitungstiefe eine Pflugsohle und damit ein sprunghafter Anstieg des Eindringwiderstandes sich ergaben. Auch der etwas höhere Eindringwiderstand beim Einsatz eines Grubbers („Reduzierte Bodenbearbeitung“) im Vergleich zum Pflug, sowie der relativ kontinuierliche Anstieg des Eindringwiderstandes bei der „Reduzierten Bodenbearbeitung“ über die gesamte Tiefe bzw. der Verlauf des Eindringwiderstandes bei einer „Minimalbodenbearbeitung“ decken sich mit den angeführten Ergebnissen.

LIEBHARD (1995) ermittelte ebenfalls unter dem Bearbeitungshorizont einen starken Anstieg im Eindringwiderstand durch die Pflugsohle nach dem Einsatz des Pfluges im Vergleich zu anderen Bodenbearbeitungssystemen. Ebenso ergaben sich höhere Eindringwiderstände unterhalb der Bearbeitungsgrenze bei der „Minimalbodenbearbeitung“.

- **Infiltration und Hydraulische Leitfähigkeit (K_h)**

Bei der Infiltrationsmessung waren die Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungssystemen gut sichtbar. Die sehr kleine Messfläche, die einmalige Messung sowie die möglichen Bodenunterschiede zwischen den Parzellen, vermindern die Qualität der Ergebnisse.

Bei der Infiltrationsrate lagen alle Bodenbearbeitungssysteme bis zu einer Saugspannung von 4 cm gleich auf. Anschließend folgte die höchste Saugspannung im „Integrierten System“ aufgrund des locker gelagerten Oberbodens gefolgt von der „Minimalbodenbearbeitung“. Theoretisch müsste der Kurvenverlauf der „Konventionellen Bodenbearbeitung“ ähnlich jener dem „Integrierten System“ sein, was bei den angeführten Ergebnissen nicht der Fall war. Verantwortlich für die unerwartete Verzerrung der Infiltrationsmessergebnissen könnte z.B. die vorherrschende extreme Bodentrockenheit sein. Die geringste Infiltrationsrate in ml s^{-1} wurde bei der „Direktsaat“ über den gesamten Infiltrationsverlauf gemessen.

EITZINGER (1991) schreibt, dass die Unterschiede im Infiltrationsverhalten abhängig von der Bearbeitungsart und Bearbeitungstiefe (mit abnehmender Bearbeitungstiefe sinkende und bei nichtwendender Bearbeitung niedrigere Infiltrationsraten) sind.

Die Fähigkeit eines Bodens, eine bestimmte Wassermenge bei einem bestimmten Druckgefälle zu transportieren wird als hydraulische Leitfähigkeit (K_h) bezeichnet. Die angeführten Ergebnisse im Kapitel 4.1.2 zeigen, dass das „Integrierte System“ die höchste hydraulische Leitfähigkeit zum Zeitpunkt der Infiltrationsmessung ergab. Im Weiteren war erkennbar, dass die „Direktsaat“ bis zu einer Tension von -0,5 die geringste Leitfähigkeit, jedoch mit einen stärkeren Anstieg im Kurvenverlauf, gegenüber allen anderen Systemen hatte. Die „Konventionelle Bodenbearbeitung“ lag bis zu einer Tension von -6 in etwa auf gleicher höher wie die „Minimalbodenbearbeitung“. Der Kurvenverlauf kreuzte sich in weiterer Folge bei h= -0,5 mit der „Direktsaat“. Wie schon bei der Infiltrationsrate war auch bei der hydraulischen Leitfähigkeit der Kurvenverlauf der „Konventionellen Bodenbearbeitung“ untypisch für den Pflugeinsatz und sollte eher dem Verlauf des „Integrierten Systems“ folgen.

EITZINGER (1991) und SCHOLL (2009) berichten von höheren hydraulischen Leitfähigkeitswerten bei Bodenbearbeitungssystemen, wo der Pflug als Bearbeitungsgerät im Vergleich zum Grubber bei gleicher Bearbeitungstiefe eingesetzt wird.

SCHOLL (2009) stellte weiter fest, dass das Bodenbearbeitungssystem „Direktsaat“ den geringsten Leitfähigkeitskoeffizienten und ab einer Tension von „Minus Zwei“ einen stärkeren Anstieg im Kurvenverlauf aufweist.

5.2. Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf den Wachstumsverlauf des Winterweizens

Eine unterschiedliche Primärbodenbearbeitung und Aussaat beeinflussen die Embryonalwurzelbildung und damit in weiterer Folge die Keimpflanzenzahl. Die daraus resultierenden Auswirkungen sind im gesamten Jugendwachstum bis hin zum Abschluss der Kornfüllung wirksam. Im Weiteren zeigen Untersuchungen, dass die Krümelstabilität und der

Anteil der Gesamtporen in der Krume für die Höhe und die Stabilität des Kornertrages entscheidend sein können. Der zu erwartende Ertragsrückgang bei Weizen mit einer zunehmenden Schadverdichtung ist meist auf eine verminderte N-Mineralisation, einem höheren Denitrifikantionsverlust und eine vorwiegend verminderte Stickstoffversorgung zurückzuführen (LIEBHARD, 1995).

Das Stickstoffangebot einer Weizenpflanze hat einen großen Einfluss auf den Ertrag, auf den Gesundheitszustand und auch auf die Umwelt. Für die Weizenproduktion ist es vorteilhaft, den jeweiligen Stickstoffgehalt in der durchwurzelbaren Krume und in der Pflanze zu kennen, um die Düngungsmenge und den Zeitpunkt der Düngergabe zu optimieren um in weiterer Folge Kosten zu senken. Da der Chlorophyllgehalt in enger Relation zum Stickstoffgehalt in den grünen Pflanzenteilen steht, ist es günstig, diesen mit Hilfe des N– Testers, bei der angeführten Arbeit mit dem SPAD 502 Plus zu bestimmen. Ein hoher Spadwert entspricht einer gesünderen und höher mit Stickstoff versorgten Pflanze (KONICA, 2009).

PELTONEN (1995) berichtet, dass die Messwerte des Chlorophyllmeters stark vom Stickstoffgehalt der Gesamtpflanze beeinflusst werden.

Den höchsten Spadwert und somit in Relation den höchsten Chlorophyllgehalt, wies die „Direktsaat“ bei beiden Vorfrüchten (ZR und WW) auf. Die Unterschiede zwischen der Vorfrucht waren hoch signifikant und jene zwischen den Bodenbearbeitungssystemen signifikant. Während die „Direktsaat“ bei beiden Vorfrüchten nahezu identische Mittelwerte ergab, war der Unterschied bei der „Konventionellen Bodenbearbeitung“ zwischen den Vorfrüchten am höchsten. Generell lag eine höhere Stickstoffversorgung nach der Vorfrucht Winterweizen vor. Verantwortlich war mit großer Wahrscheinlichkeit der höhere Anteil an Assimilationsfläche, was wiederum durch den höheren Bodenbedeckungsgrad sowie dem höheren Blattflächenindex nach der Vorfrucht Winterweizen bestätigt wurde.

PERNKOPF (2000) fand in seinen Ergebnissen, dass auch zwischen dem Zeitpunkt der Düngergabe und den Werten der Chlorophyllgehaltsmessungen eine große Beziehung liegt. Des Weiteren fand er auch einen Einfluss durch den Standort sowie der Jahreswitterung.

Bei den Messergebnissen der stomatären Leitfähigkeit wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungssystemen und der Vorfrucht festgestellt. Mit Ausnahme der „Direktsaat“ und der „Reduzierten Bodenbearbeitung“ war die Wasserversorgung nach der Vorfrucht Zuckerrübe zum Zeitpunkt der Messungen höher. Am geringsten war die Wasserversorgung beim „Integriertem System“. Ein enger Zusammenhang wie in REFENNER (2012) beschreibt, zwischen der stomatären Leitfähigkeit und dem Ertrag konnte bei Winterweizen 2012 nicht festgestellt werden.

Die Ergebnisse der Blattflächenindex Messung ergaben nur einen signifikanten Unterschied zwischen den Vorfrüchten. Bei der Bodenbedeckung wurden zwischen den Fruchtfolgen und zwischen den Terminen der Datenerfassung hoch signifikante Unterschiede festgestellt. Sowohl die Bodenbedeckung als auch der Blattflächenindex weisen auf eine höhere photosynthetische Aktivität bzw. eine höhere Produktivität der Vegetation nach der Vorfrucht Winterweizen gegenüber der Zuckerrübe hin.

Der höchste Blattflächenindex (LAI) wurde beim „Integrierten Bodenbearbeitungssystem“ gefolgt von der „Minimalbodenbearbeitung“, der „Direktsaat“ und der „Konventionellen Bodenbearbeitung“ gemessen. Im Mittel war aufgrund des speziellen Witterungsverlaufes der LAI nach Winterweizen doppelt so hoch als nach Zuckerrübe.

Ein Vergleich der Abbildungen 51 und 52 zeigt die signifikanten Unterschiede des Bedeckungsgrades. Nach Winterweizen wurden die höchsten Bedeckungsgrade am 15. Mai gemessen und erreichten annähernd 90 %. Auffallend nach der Vorfrucht Winterweizen war vor allem der sehr synchrone Verlauf der Kurven sowie die deutlich zusammenliegenden Werte der Bearbeitungssysteme. Die „Direktsaat“ hebt sich etwas aufgrund ihrer geringen Bodenbedeckung über alle drei Zeitpunkte hervor. Im Verlauf des weiteren Wachstums und der Entwicklung in den Wochen bis zum 06. Juni, kam es nach der Vorfrucht Winterweizen zu einer Angleichung des Bodenbedeckungsgrades zwischen den unterschiedlichen Bodenbearbeitungssystemen.

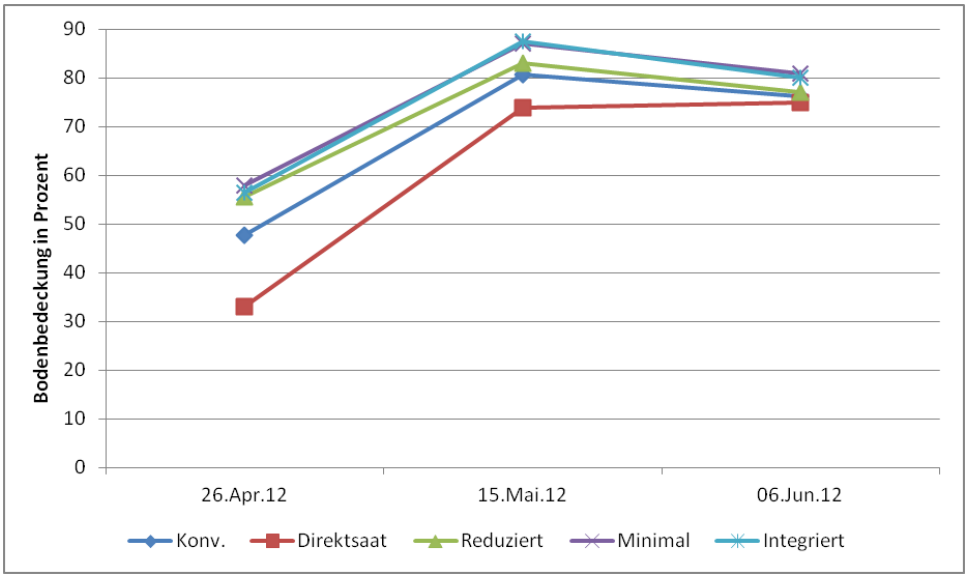


Abb. 51: Bodenbedeckung in % nach Winterweizen in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und von drei Zeitpunkten, 2012

Im Vergleich zur Vorfrucht Winterweizen kam es bei den Ergebnissen der Bodenbedeckung nach Zuckerrübe vor allem bei „Direktsaat“ zum höchsten Bedeckungsgrad. In weitere Folge ist erkennbar, dass die Kurvenverläufe von konventionell und integriert sich kreuzen und nicht so einheitlich wie nach der Vorfrucht Winterweizen verlaufen. Die Bedeckungsgrade an den angeführten Messterminen lagen weit unter jenen nach Winterweizen.

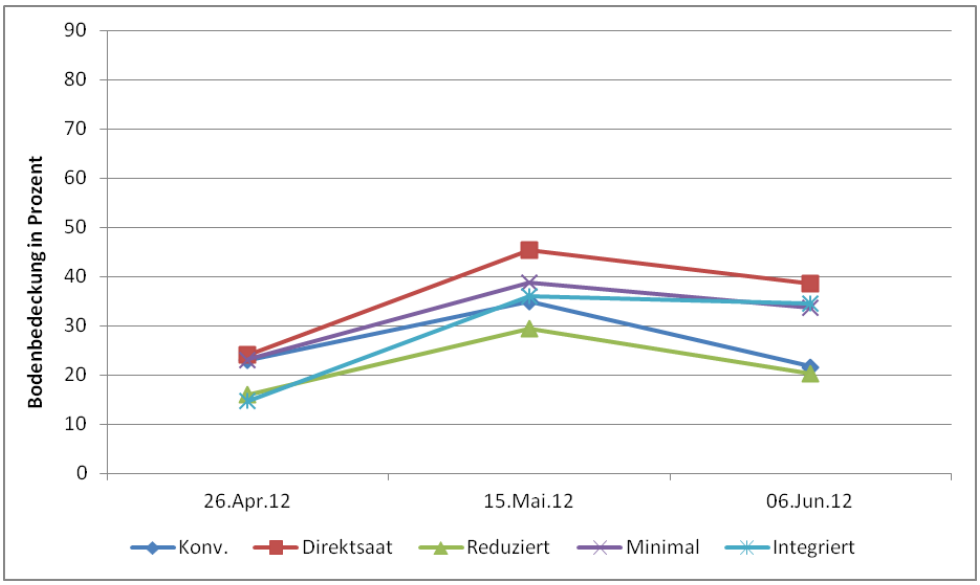


Abb. 52: Bodenbedeckung in % nach Zuckerrübe in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und von drei Zeitpunkten, 2012

Mit großer Wahrscheinlichkeit ist der Rückgang des Bedeckungsgrades zwischen dem 15. Mai und dem 06. Juni auf das Absterben der unteren Blätterregionen im Weizenbestand aufgrund der geringeren Niederschläge verbunden mit den erhöhten Temperaturen zurückzuführen.

DREWS (2002) untersuchte die Unterdrückung des Unkrautwachstums bei Winterweizen und stellte fest, dass bei einem höheren Bedeckungsgrad eine Verringerung des Unkrautwachstums möglich ist. Im Weiteren bestätigte er auch einen Einfluss der Sorte und des Reihenabstandes auf die Beschattungskraft des Winterweizens. Einen Einfluss durch die Drillfahrrichtung konnte er gegenüber anderen Ergebnissen nicht ermitteln.

5.3. Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf das Ertragsverhalten des Winterweizens

In Zeiten des negativen Klimawandels und den damit verbundenen Wetterkapriolen ist eine schnelle und störungsfreie Ernte sowie Bodenbearbeitung wünschenswert und das Ziel eines jeden Landwirts.

Die Kornerträge der Weizenbestände im Jahr 2012 wurden nur durch die Vorfrucht, nicht aber durch die Bodenbearbeitungssysteme signifikant beeinflusst und waren nach Winterweizen höher als nach Zuckerrübe. Nach der Vorfrucht Winterweizen erreichte das „Integrierte System“ gefolgt von der „Direktsaat“ die höchsten Kornerträge. Die „Reduzierte Bodenbearbeitung“ und die „Minimalbodenbearbeitung“ lagen etwa auf gleicher Höhe und bildeten den mittleren Kornertragsbereich gefolgt von der „Konventionellen Bodenbearbeitung“. Der höchste Kornertrag bei allen Varianten konnte bei der „Direktsaat“ nach Zuckerrübe geerntet werden. Den Geringsten Ertrag nach Zuckerrübe erreichte die „Reduzierte Bodenbearbeitung“ und knapp dahinter folgte die „Konventionelle Bodenbearbeitung“.

Aus den Ertragsdaten 2012 ist ersichtlich, dass mit einer verringerten Bodenbearbeitungsintensität bzw. ohne Einsatz des Pfluges („Integriertes System“) gegenüber der „Konventionellen Bodenbearbeitung“ das Ernten eines höheren Kornertrags möglich ist. Im

Jahr 2012 ergab die „Reduzierte Bodenbearbeitung“ nach Zuckerrübe als Vorfrucht, die Ausnahme.

RECKLEBEN (2007) berichtet, dass der Verzicht auf das Pflügen den Ertrag nicht wesentlich mindert und abgesehen von Ausreißern mindestens gleichwertig hohe Erträge in Pflug- und Grubberverfahren sowie mit der „Direktsaat“ geerntet werden können. Der Winterweizen passt sich an eine reduzierte Bodenbearbeitungsintensität und eine reduzierte Intensität der Bestelltechnik an. Der Vorteil der konservierenden Bearbeitung (ohne Pflug – Direktsaat) im Vergleich zur „Konventionellen Bodenbearbeitung“ (Pflug) zeigt sich vor allem darin, dass die konservierende Bodenbearbeitung bei einem geringeren Aufwand mit den Erträgen des Pfluges mindestens auf gleichem Niveau liegen.

HARTMUT (1986) stellte fest, dass neben den Bodenbearbeitungsverfahren vor allem andere Einflussfaktoren, die mit den einzelnen Bearbeitungsverfahren in irgendeiner Weise gekoppelt sind, eine große Auswirkung auf die Pflanzenentwicklung und den Ertrag haben. Wobei hingegen z.B. die Zuckerrübe stärker als Winterweizen auf die unterschiedliche Bodenbearbeitung reagiert.

Auch EITZINGER (1991) berichtet in seinen Ergebnissen, dass der Einfluss der Jahreswitterung stärker ist bzw. einen größeren Einfluss als die verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten auf den Ertrag bei Winterweizen hat.

Zur Ermittlung des Strohertrags wurde die Biomasse der geernteten Quadratmeterproben getrocknet und gewogen. Die Bodenbearbeitungssysteme und die Vorfrucht weist einen gleichen Einfluss sowohl auf den Kornertrag als auch auf den Strohertrag auf. Es wurden hoch signifikante Unterschiede zwischen den Vorfrüchten festgestellt. Nach der Vorfrucht Winterweizen erreichte das „Integrierte System“ mit 8208,3 kg/ha den Höchstwert, knapp gefolgt von der „Direktsaat“ mit 8190,5 kg/ha. Den geringsten Strohertrag ergab die „Konventionelle Bodenbearbeitung“ mit 6669,5 kg/ha, während bei den restlichen Bodenbearbeitungssystemen um 7770 kg/ha Stroh geerntet werden konnten.

Die Stroherträge nach der Vorfrucht Zuckerrübe lagen zwischen 2830,3 kg/ha („Reduzierte Bodenbearbeitung“) und 4294,5 kg/ha („Direktsaat“). Die geringeren Erträge im Vergleich der zwei Vorfrüchte nach Zuckerrübe sind mit großer Wahrscheinlichkeit auf den schütteren Bestand, die damit verbundene geringere Assimilationsfläche und die dadurch geringere Wasseraufnahme aufgrund des kalten Winters sowie des trockenen Frühlings zurückzuführen. Demzufolge war der Strohertrag so wie der Kornertrag stärker von der Jahreswitterung abhängig.

LIEBHARD (1995) berichtet ebenfalls von deutlichen Unterschieden zwischen den Bearbeitungsvarianten sowie hohen Schwankungen über die Jahre beim Strohertrag von Winterweizen. Der geringste Strohertrag wurde bei einer Bodenbearbeitung mit dem Grubber, durch das ständige Lockern, geerntet. Die höchsten Erträge konnten bei den Pflugvarianten gemessen werden.

Bei den Ernteindexen und den N- Ernteindexen waren die Unterschiede signifikant zwischen den Vorfrüchten. Bei den unterschiedlichen Bodenbearbeitungssystemen konnte keine Signifikanz festgestellt werden. Wie aber anhand der Abbildungen 44 und 45 erkennbar ist, waren die Indexe nach der Vorfrucht Zuckerrübe größer als jene nach Winterweizen. Bei allen Bearbeitungssystemen wurde des Weiteren festgestellt, dass mit dem Kornertrag nach Zuckerrübe prozentuell mehr Stickstoff vom Feld abgefahren wurde als nach der Vorfrucht Winterweizen.
Die vorliegenden Ergebnisse des ermittelten N-Ernteindex decken sich Großteils mit der vorhandenen Literatur (DESAI, 1978).

5.4. Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf ausgewählte Qualitätskriterien

Für eine erfolgreiche und kostendeckende Vermarktung der Kornerträge des Winterweizens ist es notwendig, spezielle Qualitätskriterien zu beachten.
Im Hektolitergewicht wurden signifikante Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungssystemen und der jeweiligen Vorfrucht festgestellt. Nach der Vorfrucht

Winterweizen wurden Hektolitergewichte von 72,04 kg/hl („Direktsaat“) bis 75,30 kg/hl („Minimalbodenbearbeitung“) gemessen.

Die Mindestgrenze für Interventions-Weichweizen liegt zurzeit bei 73 kg/hl, womit der Kornertrag von der „Direktsaat“ nicht den angeführten Anforderungen entsprach. Nach Zuckerrübe waren das Hektolitergewicht bei allen Bodenbearbeitungssystemen höher als nach der Vorfrucht Winterweizen. Den Höchstwert erreichte die „Reduzierte Bodenbearbeitung“ mit 82,32 kg/hl, dicht gefolgt von der „Konventionellen Bodenbearbeitung“, beide Bearbeitungsvarianten erreichten das Mindestmaß für Qualitätsweizen. Die „Minimalbodenbearbeitung“ (79,62 kg/hl) und das „Integrierte System“ (79,39 kg/hl) lagen nur knapp unter den geforderten 80 kg/hl. Im Vergleich zu dem mittlerem Hektolitergewicht von 82,8 kg/hl der Sorte Astardo im pannonischen Trockengebiet über die Jahre 2007 (06) -2012 der AGES (2012) liegen die festgestellten Werte unter dem Mittelwert.

OBERFORSTER (199) weist darauf hin, dass auch die Witterung während der Kornfüllungs- und Abreifephase einen hohen Einfluss auf das Hektolitergewicht ausübt.

Im Tausendkorngewicht wurde nur zwischen den Fruchtfolgen ein signifikanter Unterschied festgestellt. Das TKG nach Zuckerrübe lag im Bereich von 1,5 bis 5,3 g höher als nach der Vorfrucht Winterweizen. Eine Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen wie sie LIEBHARD (1995) feststellte, konnte im Vegetationsjahr 2012 nicht bestätigt werden.

Zur Berechnung des Rohproteingehalts wurde der Stickstoffgehalt in Prozent des Weizenkorns mit dem Faktor 5,7 multipliziert. Der Rohproteingehalt lag bei allen Bearbeitungssystemen sowie bei beiden Vorfrüchten über der Mindestgrenze von 15 % für Premiumweizen. Es konnten aber keine signifikanten Unterschiede sowohl für die Bearbeitungssysteme als auch für die unterschiedliche Vorfrucht gemessen werden. Anhand der Abbildung 49 ist erkennbar, dass der Rohproteingehalt bei allen Bodenbearbeitungssystemen nach der Vorfrucht Zuckerrübe geringfügig höher lag, was sich mit dem Stickstoff– Ernteindex deckt. Die Werte schwankten zwischen 16,86 % und 18,48 %.

Von einem signifikanten Einfluss der Vorfrucht auf den Rohproteingehalt der Nachfrucht Winterweizen, berichten DACHLER und KÖCHL (2002). Sie stellten fest, dass der Rohproteingehalt durch eine Klee- und Luzernebache bzw. durch Zuckerrübe mit zusätzlicher Stallmistdüngung deutlich positiv beeinflusst werden kann. Während in beiden Klimagebieten (Fuchsenbigl und Wieselburg) die negativste Vorfruchtwirkung hinsichtlich Ertrag und Qualität bei Winterweizen bei reinen Getreidefruchtfolgen erzielt wurde.

PERNKOPF (2000) berichtet, dass der Rohproteingehalt auch durch ein steigendes Stickstoff Düngerangebot signifikant beeinflusst bzw. erhöht werden kann. Vor allem die letzte N–Gabe (= 3. Düngung) wies auf eine hohe Effizienz hin.

Für die Bestimmung der Stickstoff-, Schwefel- und Kohlenstoffgehaltswerte sowohl in den Strohproben als auch in den Kornproben wurden die Werte aller Wiederholungen je Variante zusammengeführt. In den Strohproben wurden bei allen drei angeführten Elementen keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Bodenbearbeitungssystems und der Vorfrucht festgestellt. Im Schwefelgehalt wurden Werte zwischen 0,19 und 0,23 % gemessen und der Gehaltswert war nach der Vorfrucht Zuckerrübe etwas geringer, mit Ausnahme bei der „Direktsaat“. Der Kohlenstoffgehalt im Stroh lag bei rund 45 %. Der N-Gehalt variierte zwischen 0,7 und 0,9 % und verhielt sich wie der S-Gehalt über alle Bearbeitungssysteme und unterschiedlichen Vorfrüchte.

LANNER (1995) schreibt, das vor allem die Jahreswirkung einen entscheidenden Einfluss auf den Stickstoffgehalt im Stroh hat.

Bei den Korngehaltswerten konnten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bearbeitungssystemen und der Vorfrucht, mit Ausnahme signifikanter Unterschiede beim Stickstoffgehalt im Weizenkorn unter der Vorfrucht, festgestellt werden. Generell lagen die Stickstoffgehaltswerte in den Kornproben nach Zuckerrübe höher. Den höchsten Wert erreichte die „Direktsaat“ mit 3,242 %., bei einem mittleren Stickstoffgehalt von 3,066 %. Der Schwefelgehalt im Korn lag mit 0,28 % im Mittel etwas höher als im Stroh. Der Kohlenstoffgehalt lag mit rund 44 % im Mittel rund 1 % geringer als die Werte in den Strohproben.

6. Zusammenfassung

In Zeiten des negativen Klimawandels und bei einer ständig steigenden Weltbevölkerungszahl, ist eine umweltschonende, effiziente und kostengünstige Produktion von Nahrungsmitteln bedeutender denn je. Eine Möglichkeit für eine kostengünstigere und umweltschonendere Produktion, kann im Wechsel des Bodenbearbeitungssystems liegen.

Zur Beurteilung und Unterscheidung zwischen den unterschiedlichen Bodenbearbeitungssystemen, hinsichtlich deren Auswirkung auf verschiedener Bodenparameter, Ertragsverhalten und Qualität bei den unterschiedlichsten Fruchtarten wurde auf den Versuchsflächen der Universität für Bodenkultur Wien in Groß Enzersdorf im Jahre 1996 ein Langzeitversuch angelegt. Die Versuchsanlage besteht aus fünf unterschiedlichen Bodenbearbeitungssystemen und zwei Fruchtfolgen in vierfacher Wiederholung. Es werden die Systeme Konventionelle Bodenbearbeitung (mit Pflug), Direktsaat, Reduzierte Bodenbearbeitung (Grubber bis 30 cm), Minimale Bodenbearbeitung (Grubber bis 10 cm) und das Integrierte Bodenbearbeitungssystem (Pflug einmal pro Fruchtfolge) langjährig beurteilt. Im Zuge der Diplomarbeit wurden 2012 in einem Winterweizenbestand nach den Vorfrüchten Winterweizen und Zuckerrübe bodenphysikalische und pflanzenphysiologische Parameter, sowie der Ertrag und diverse Qualitätsparameter bei Winterweizen erhoben.

Bei den Chlorophyllgehaltsmessungen wurden bei der Direktsaat die höchsten Werte festgestellt. Im Weiteren zeigen die Ergebnisse, dass nach Winterweizen die Weizenbestände zum Zeitpunkt der Messung bei gleicher Düngung höher mit Stickstoff versorgt waren als nach Zuckerrübe. Der höhere N-Versorgungsgrad nach Winterweizen ist auf die größere Assimilationsfläche und der damit höheren Stickstoffaufnahme bei den Weizenpflanzen zurückzuführen.

Die Wasserversorgung der Weizenbestände, gemessen durch die stomatäre Leitfähigkeit, zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Systemen und Vorfrüchten. Die Direktsaat erreichte den höchsten Versorgungsgrad.

Sowohl zwischen den Vorfrüchten Zuckerrübe und Winterweizen als auch bei den Zeitpunkten der Datenerfassung, lagen signifikante Unterschiede bei der Bodenbedeckung vor. Während nach Winterweizen die Konventionelle - und die Minimale Bodenbearbeitung über alle drei Messpunkte den höchsten Deckungsgrad erreichten, konnte die Direktsaat nach Zuckerrübe den höchsten Bedeckungsgrad erzielen.

Die Ergebnisse des Blattflächenindexes zeigen ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen den Vorfrüchten, wobei der LAI nach Winterweizen im Mittel doppelt so hoch war wie nach Zuckerrübe.

Die Ergebnisse des Blattflächenindexes und des Bodenbedeckungsgrades weisen in weiterer Folge bereits daraufhin, dass die Kornerträge sowie die Stroherträge im Jahr 2012 nach Winterweizen höher lagen. Dies wurde durch die statistische Auswertung bestätigt. Das Integrierte System nach Winterweizen sowie die Direktsaat nach Zuckerrübe führten im Vegetationsjahr 2012 zu den höchsten Korn- und Stroherträgen.

Im Ernteindex und beim Stickstoff-Ernteindex konnte kein statistischer Einfluss durch die Bodenbearbeitungssysteme festgestellt werden. Ein signifikanter Einfluss durch die Vorfrucht war allerdings gegeben.

Bei der Auswertung der Kohlenstoff-, Stickstoff- und Schwefelgehaltswerte im Korn und Stroh waren keine großen Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungssystemen sowie der Vorfrucht festzustellen. Die Stickstoffgehaltswerte im Korn lagen im Bereich um 3 % und im Stroh von 0,7 bis 0,9 %. Der Kohlenstoff war im Korn mit ca. 44 % im Mittel 1 % geringer als im Stroh. Mit durchschnittlich 0,28 % Schwefel in der Korntrockenmasse, lag der Gehaltswert geringfügig höher als im Stroh mit 0,19 bis 0,23 %. Generell schwankten die Werte zwischen den Bodenbearbeitungssystemen sowie zwischen den Vorfrüchten nur im Zehntelbereich.

Der Rohproteingehalt, das Hektolitergewicht und das Tausendkorngewicht wiesen jeweils höhere Werte nach der Vorfrucht Zuckerrübe auf. Im Hektolitergewicht und im Tausendkorngewicht ergab sich ein signifikanter Unterschied durch die Vorfrucht. Die Unterschiede zwischen den fünf Bodenbearbeitungssystemen waren im Jahr 2012 nur beim Hektolitergewicht signifikant.

Bei der Direktsaat waren erwartungsgemäß bei beiden Fruchtfolgen in den ersten 10 cm Bodentiefe die höchsten Eindringwiderstände. Ab dieser Tiefe stieg der Eindringwiderstand nicht mehr nennenswert an. Nach der Vorfrucht Winterweizen wurden bei der Minimalbodenbearbeitung und dem Integrierten System höhere Widerstände gemessen. Nach Vorfrucht Zuckerrübe ergaben diese drei Bodenbearbeitungssysteme ab einer Bodentiefe von ca. 18 cm einen in etwa gleichlaufenden Kurvenverlauf. Die Pflugvarianten zeigten im Oberboden den geringsten Eindringwiderstand. Deutlich erkennbar war auch der starke Anstieg des Eindringwiderstandes bei der Konventionellen Bodenbearbeitung im Bereich der Pflugsohle.

Die höchste Infiltrationsrate sowie hydraulische Leitfähigkeit wurde beim Integrierten Bodenbearbeitungssystem gemessen. Die Reduzierte – und Minimale Bodenbearbeitung bilden gemeinsam das Mittelfeld. Die geringsten Werte wurden in der „Direktsaat“ festgestellt.

Ein wesentlicher Teil der Folgerungen aufgrund der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme werden erst nach Jahren sichtbar. Daher sind langjährig laufende Bodenbearbeitungssystemvergleiche erforderlich. Gleichzeitig hat auch die Jahreswitterung eine große Auswirkung auf die verschiedensten Parameter. Für eine objektive Beurteilung eines Bodenbearbeitungssystems sind daher unterschiedliche Fruchtarten bei mehrjähriger Laufzeit erforderlich.

7. Literaturverzeichnis

AGES (2012): Österreichische Beschreibende Sortenliste. Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit, 24-29.

AMA (2013): Marktinformation Getreide und Ölsaaten – Bilanzen. Agrar Markt Austria, Stand Jänner 2013.

AUFHAMMER, W. (1998): Getreide- und andere Körnerfruchtarten. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag, 170, 195-199.

BAEUMER, K. (1992): Allgemeiner Pflanzenbau. 3. Auflage, Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag, 257 ff, 293-305.

BERGER, L.; GRUBER, P.; HUBER, E.; PANZENBÖCK, J.; REHM, F. und SCHNABEL, A. (1994): Arge Pflanzenbau 2. Graz: Leopold Stocker Verlag, 24.

BGA (2012): Qualitätskriterien für Weizen Bio Ernte 2012. Wien: Bio Getreide Austria GmbH, http://www.biogetreide-austria.at/?+Qualitaetskriterien+&id=2500,,1278781,7074. Jänner 2013.

BOKU (2012): Universität für Bodenkultur Wien Intranet: http://www.dnw.boku.ac.at/21059.html. Jänner 2013.

BUCHNER, W. und KÖLLER, K. (1990): Integrierte Bodenbearbeitung. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag, 26, 66.

BUERSTMAYR, H. (2010): Weizenzüchtung. Vorlesungsmanusskript SS 2010, Vorlesung Spezielle Pflanzenzüchtung.

DACHLER, M. und KÖCHL, A. (2002): Der Einfluss von Fruchtfolge, Vorfrucht, Stickstoffdüngung und Einarbeitung der Ernterückstände auf Ertrag und Rohproteingehalt von Winterweizen und nachfolgender Sommergerste. Wien: Austrian Journal of Agricultural Research, 24, 29-33.

DESAI, R.M. und BHATIA, C.R. (1978): Nitrogen uptake and nitrogen harvest index in durum wheat cultivar varying in there grain protein concentration. Euphtica. 27, 561 -566.

DIEPENBROCK, W.; FISCHBECK, G.; HEYLAND, K-U. und KNAUER, N. (1999): Spezieller Pflanzenbau. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag, 101f, 115ff.

DREWS, S.; JUROSZEK, P.; NEUHOFF, D. und KÖPKE, U. (2002): Indirekte Unkrautregulierung bei Winterweizen im Organischen Landbau. Uni Bonn: Mitt. Ges. Pflanzenbauwissenschaften 14, 84-85.

DUCHEMIN, B.; HADRIAB, R.; ERRAKIB, S.; BOULETA, G.; MAISONGRANDEA, P.; CHEBOUNIA, A.; ESCADAFAL, R.; EZZAHARB, J.; HOEDJESA, J.C.B.; KHARROUD, M.H.; KHABBAB, S.; MOUGENTO, B.; OLIOSOE, A.; RODRIGUEZ, J.C. und SIMONNEAUXA,V. (2006): Monitoring wheat phenology and irrigation in Central Morocco: On the use of relationships between evapotranspiration, crops coefficients, leaf area index and remotely-sensed vegetation indices. Agricultural Water Management, 79 (1), S. 1-27.

EIJKELKAMP (2007): Gebrauchsanweisung 06.15.SA Penetrologger-Set November 2007. Eijkelkamp Agrisearch Equipment Nederland, 5 – 19.

EIJKELKAMP (2010): Operating Instructions 09.09 Tension Infiltrometer. Eijkelkamp Agrisearch Equipment Nederland, 4.

EITZINGER, J. (1988): Einfluss unterschiedlicher Primärbodenbearbeitungssysteme auf Eindringwiderstand und Infiltration eines Bodens im semihumiden Klimagebiet. Wien: Diplomarbeit Universität für Bodenkultur Wien, 74, 135-158.

EITZINGER, J. (1991): Einflüsse unterschiedlicher Primärbodenbearbeitungssysteme auf ausgewählte bodenphysikalische Eigenschaften. Wien: Dissertation Universität für Bodenkultur Wien, 54, 68-78, A1-A10.

ESTLER, M.; KNITTEL, H. und ZELTNER, E. (1984): Bodenbearbeitung Aktuell. Frankfurt: DLG Verlag, 10-11.

EU (2009): Verordnung (EU) Nr. 1272/2009 der Kommission vom 11. Dezember 2009. Brüssel: Amtsblatt der Europäischen Union, http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:349:0001:0068:DE:PDF

FAO (2012): Food and agricultural organization of the united nations – FAO, Statistical Databasis FAOSTAT. http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor, Jänner 2013.

FREDE, H.G.; HORSCH. D. und MEYER, B. (1986): Bodenbearbeitungssysteme für schwere Böden – DLG Manuskript „Bodenbearbeitungssysteme in Diskussion“. Nummer 1.

GEISLER, G. (1988): Ein Lehrbuch – biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion. 2. Auflage, Berlin und Hamburg: Paul Parey Verlag, 12, 294-305.

GOODING, M. J. und DAVIES, W.P. (1997): Wheat production and utilization. CAB International, 15-22.

GRÜNER BERICHT (2012): Grüner Bericht 2012 Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft. Herausgeber: Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 1012 Wien, 35-37, 193-195.

HARTMUT, W. (1986): Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungsverfahren auf den Pflanzenbestand und einige Bodeneigenschaften. Gießen: Dissertation Justus-Liebig Universität.

KNOOR, D. und WEISE, C. (2000): Blattflächenindex und Bedeckungsgrad. Bericht im Rahmen des Forschungsprojektes „TerraDew – Investigations about the temporal effects of dew on multifrequent and multipolarimetric radar backscatter signals, München - Alling.

KONICA, (2009): Chlorophyll Meter SPAD – 502Plus Operating Manual 2009. Konica Minolta Sensing, Inc. 2009

LANNER, S: (1995): Stickstoffgehalt in Winterweizen-Strohproben bei unterschiedlicher Bewirtschaftungsintensität in trockenen Anbaulagen. Wien: Diplomarbeit Universität für Bodenkultur Wien, 42-47.

LI-COR, (1992): Operating Manual LAI-2000 Plant Canopy Analyzer, LI-COR, Inc Environmental Lincoln Nebraska USA, Chapter 1 – 4.

LIEBHARD, P. (1995): Effekte langjähriger unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung auf ausgewählte Bodenkennzahlen und das Ertragsverhalten von Winterweizen (Triticum aestivum L.), Körnermais (Zea mays L.) und Zuckerrübe (Beta vulgaris L. ssp. Vulgaris var. Altissima Doell) im semihumiden Ackerbaugebiet Oberösterreichs. Wien. Habilitationsschrift Universität für Bodenkultur Wien, 85-88, 101.

LIEBHARD, P. (1997): Einfluss der Primärbodenbearbeitung auf Ertrag, Ertragsverhalten und ausgewählte Qualitätskriterien von Zuckerrübe im oberösterreichischen Zentralraum (Teil 8). Wien: Austrian Journal of Agricultural Research, 48, 3-14.

OBERFORSTER, M. und WERTEKER, M. (1999): Weizen – wertbestimmende Kriterien der Mahl- und Backqualität. Inform 2/99, 10-15.

PELTONEN, J.; VIRTANEN, A. and HAGGREN, E. (1995): Using a Chlorophyll Meter to Optimize Nitrogen Fertilizer Application for Intensively-Managed Small-Grain Cereals. J.Agronomy & Crop Science 174, 309-318.

PERNKOPF, G. (2000): Optimierung des Stickstoff – Düngerangebotes bei Winterweizen (Triticum aestivum L.) aufgrund von Chlorophyllgehaltsmesswerten. Wien: Diplomarbeit Universität für Bodenkultur Wien, 4, 84-91.

RECKLEBEN, B. (2007): Mehrjährige Erfahrungen mit konservierender Bodenbearbeitung und Bestellung. Berlin: Dissertation Humboldt- Universität zu Berlin, 3, 63-84, 96.

REFENNER, J. (2012): Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf Ertrag und Qualität der Zuckerrübe im semiariden Produktionsgebiet. Wien: Diplomarbeit Universität für Bodenkultur.

REINER, I.; BUHLMANN, V.; GRASER, S.; HEIßENHUBER, A.; KLASEN, M.; PFEFFERKORN, V.; SPANAKAKIS, A. und STRAUß, F. (1992): Weizen aktuell. Frankfurt am Main: DLG Verlag, 13, 185-194.

SCHMUTZER, G. (2002): Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf N-Dynamik, Eindringwiderstand, Feldaufgang, Ertrag und Qualität bei Zuckerrübe (Beta vulgaris L. ssp. Vulgaris var. Altissima Doell). Wien: Diplomarbeit Universität für Bodenkultur Wien, 56-62, 91f.

SCHOLL, P. (2009): Schätzung des Potentials unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme zur Verbesserung der bodenphysikalischen und –hydraulischen Eigenschaften sowie ihrer Ertragswirkung bei Winterweizen im semiariden Produktionsgebiet. Wien: Diplomarbeit Universität für Bodenkultur Wien, 45-55, 68-72.

SOMMER, C. (1998): Konservierende Bodenbearbeitung – ein Konzept zur Lösung agrarrelevanter Bodenschutzprobleme. Braunschweig: Selbstverlag der Bundesanstalt für Landwirtschaft, 2f, 96.

STEINECK, O. (1984): Ergebnisse von Bodenbearbeitungsversuchen in Österreich – Wintertagung 1984. Wien: Österreichische Gesellschaft für Land und Forstwirtschaftspolitik.

8. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: >>Fruchtbarer Halbmond<< und Verbreitungsgebiete von Weizen-Wildarten nach GEISLER (1988) 3
Abb. 2: Weltweite Getreideanbaufläche in % im Zeitraum 2000 – 2010 (FAO, 2012) 4
Abb. 3: Die weltweit größten Weizenproduzenten und Österreich 2011 (FAO, 2012) 5
Abb. 4: Flächenmäßig wichtigsten Feldfrüchte in Österreich 2010 (Grüner Bericht, 2012) 6
Abb. 5: Geografische Verteilung der Anbauflächen von Weizen in Österreich (Grüner Bericht, 2012) 7
Abb. 6: Niederösterreichkarte mit Lage des Versuchsstandort (Quelle: "(c) Land Niederösterreich, NÖ Atlas") 16
Abb. 7: Wetterdaten am Versuchsstandort Groß Enzersdorf 2012 im Vergleich zum langjährigen Mittel 19
Abb. 8: Versuchsanlage(Skizze) Bodenbearbeitungssystemvergleich Raasdorf, Versuchswirtschaft Boku Wien 21
Abb. 9: Satellitenaufnahme des Langzeitversuch Raasdorf (Quelle: Google Maps) 22
Abb. 10: Leaf Porometer Model SC1 (Weber, 2012) 27
Abb. 11: Spad 502 Plus im Einsatz (Weber, 2012) 28
Abb. 12: Bodenbedeckung bei „Reduzierte Bodenbearbeitung" (1. Wdhg.) zu den drei Zeitpunkten (Weber, 2012) 29
Abb. 13: Beispiel des Bedeckungsgrad laut SigmaScan Pro 5 30
Abb. 14: LAI - 2000 Datenlogger und Sensor (Weber, Juni 2012) 31
Abb. 15: eingesetzter Penetrometer (Weber, 2012) 32
Abb. 16: Konstruktion des Tensionsinfiltrometer (nach EIJKELKAMP 2010) 36
Abb. 17: Tensionsinfiltrometer vor einer Messung (Weber, 6.Juli 2012) 37
Abb. 18: Quarzsand 0,08 - 0,2 mm (Links) und Messstelle mit aufgetragenen Sand (Rechts) 38
Abb. 19: Tensionsinfiltrometer zu Beginn der Messung (Weber, Juli 2012) 39
Abb. 20: gemahlene Strohprobe und Strohmühle in Groß Enzersdorf (Weber, 2012) 41
Abb. 21: Kaffeemühle mit Weizenkörnern (links) u. gemahlenen Körner (rechts); (Weber, Jänner 2013) 42

Abb. 22: Zinnfolie 35*35mm (Links),geformte „Schälchen“ und Presse(Mitte), Waage mit40,4 mg Einwaage (Rechts)....43
Abb. 23: Luftdicht verschlossenes Plättchen (Links) und Positionsbox mit „Einwaagebuch“ im Hintergrund (Rechts)....43
Abb. 24: Eindringwiderstand in MPascal/cm² in Abhängigkeit der Bodentiefe und der Bodenbearbeitungssysteme nach Winterweizen, 2012....46
Abb. 25: Eindringwiderstand in MPascal/cm² in Abhängigkeit der Bodentiefe und der Bodenbearbeitungssysteme nach Zuckerrübe, 2012....47
Abb. 26: Eindringwiderstand in MPascal/cm² in Abhängigkeit der Vorfrucht und der Wiederholung bei der „Konventionellen Bodenbearbeitung“, 2012....48
Abb. 27: Eindringwiderstand in MPascal/cm² in Abhängigkeit der Vorfrucht und der Wiederholung bei der „Direktsaat“, 2012....49
Abb. 28: Eindringwiderstand in MPascal/cm² in Abhängigkeit der Vorfrucht und der Wiederholung bei der „Reduzierten Bodenbearbeitung“, 2012....50
Abb. 29: Eindringwiderstand in MPascal/cm² in Abhängigkeit der Vorfrucht und der Wiederholung bei der „Minimalbodenbearbeitung“, 2012....51
Abb. 30: Eindringwiderstand in MPascal/cm² in Abhängigkeit der Vorfrucht und der Wiederholung bei dem „Integriertem System“, 2012....52
Abb. 31: Infiltrationsrate in ml s^{-1} bei der Saugspannung von Zehn, Vier, Eins und Null cm in Abhängigkeit der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme, 2012....55
Abb. 32: Leitfähigkeitskoeffizient in ln K_h cm h^{-1} bei angelegter Tension (h), Juli 2012....56
Abb. 33: Weizenbestand am 26. April 2012 der Bodenbearbeitungssysteme „Integriertes System“, „Direktsaat“ und „Reduzierte Bodenbearbeitung“ nach den Vorfrüchten Winterweizen (linkes Bild) und Zuckerrübe (rechtes Bild), 2012....58
Abb. 34: Bodenbedeckung in % in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht, 26. April 2012....59
Abb. 35: Bodenbedeckung in % in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht, 15. Mai 2012....60
Abb. 36: Bodenbedeckung in % in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht, 06. Juni 2012....61

Abb. 37: Blattflächenindex in Abhängigkeit der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht, 2012 63
Abb. 38: Chlorophyllgehaltswerte in Abhängigkeit der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht, 2012 64
Abb. 39: Stomatäre Leitfähigkeit in mmol/m^2s im Weizenbestand in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Bodenbearbeitungssystemen und der Vorfrucht, 2012 65
Abb. 40: Kornertrag in kg/ha und Standardabweichung der Quadratmeterproben in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht, 2012 67
Abb. 41: Relativer Kornertrag in % in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht (Konventionelle Bodenbearbeitung“ = 100 %); 2012 68
Abb. 42: Strohertrag in kg/ha und Standardabweichung der Quadratmeterproben in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und Vorfrucht, 2012 69
Abb. 43: Relativer Strohertrag in % in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht (Konventionelle Bodenbearbeitung“ = 100 %); 2012 70
Abb. 44: Ernteindex in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht, 2012 71
Abb. 45: Stickstoff Ernteindex in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht, 2012 72
Abb. 46: Hektolitergewicht in kg in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht, 2012 73
Abb. 47: Tausendkorngewicht in g in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht, 2012 75
Abb. 48:C- , N- und S- Gehaltswerte in Prozent im Weizenkorn in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht, 2012 76
Abb. 49: Rohproteingehalt in % in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht, 2012 77
Abb. 50: C- , N- und S- Gehaltswerte in Prozent im Stroh in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht, 2012 78
Abb. 51: Bodenbedeckung in % nach Winterweizen in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und von drei Zeitpunkten, 2012 85
Abb. 52: Bodenbedeckung in % nach Zuckerrübe in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungssysteme und von drei Zeitpunkten, 2012 85

9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verwendung von Weichweizen in Österreich (AMA, 2013) 9
Tabelle 2: Verwendung von Hartweizen in Österreich (AMA, 2013) 10
Tabelle 3: Bedeutende Qualitätskriterien in Europa bei Weizen (* EU, 2009; ** BGA, 2012; ** AGES, 2012) 11
Tabelle 4: Aufwandmengen und Zeitpunkt der N-Düngemittelausbringung, Versuchsfeld Bodenbearbeitungssystemvergleich (2012) 26
Tabelle 5: Konusgrößen des Penetrometer (EIJKELKAMP, 2007) 33
Tabelle 6: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf den Eindringwiderstand in MPascal/cm² 45
Tabelle 7: Varianzanalyse bezüglich des Eindringwiderstands in MPascal/cm² bei drei unterschiedlichen Bodentiefen in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem und der Vorfrucht, 2012 54
Tabelle 8: Gewichte der Stechzylinderprobe in g und deren aktueller Wassergehalt am 6. und 7. Juli 2012 nach der Infiltrationsmessung, erste Wiederholung, 2012 56
Tabelle 9: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf den Bedeckungsgrad in % des Winterweizens 59
Tabelle 10: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf den Blattflächenindex 62
Tabelle 11: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf den Chlorophyllgehalt 63
Tabelle 12: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf die stomatäre Leitfähigkeit 64
Tabelle 13: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf den Kornertrag in kg/ha 66
Tabelle 14: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf den Strohertrag in kg/ha 68

Tabelle 15: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf den Ernteindex 70
Tabelle 16: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf den Stickstoff - Ernteindex 71
Tabelle 17: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf das Hektolitergewicht in kg 74
Tabelle 18: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf das Tausendkorngewicht in g 74

Abkürzungsverzeichnis

kg	Kilogramm
g	Gramm
kg/ha	Kilogramm pro Hektar
kg/hl	Kilogramm pro Hektoliter
cm	Zentimeter
%	Prozent
C	Kohlenstoff
N	Stickstoff
S	Schwefel
TM	Trockenmasse
FM	Frischmasse
m^2	Quadratmeter
z.B.	zum Beispiel
bzw.	beziehungsweise
WW	Winterweizen
ZR	Zuckerrübe
VF	Vorfrucht
TKG	Tausendkorngewicht
HL	Hektolitergewicht
LAI	Blattflächenindex (Leaf Area Index)
RP	Rohprotein
K_h	hydraulische Leitfähigkeit
°C	Grad Celsius
Stabw.	Standardabweichung
σ	Standardabweichung
$\bar{x}$	Mittelwert
$mmol/m^2s$	Millimol pro Quadratmetersekunde
$MPascal/cm^2$	Eindringwiderstand in Megapascal pro Quadratzentimeter
$ml\ s^{-1}$	Milliliter pro Sekunde
BoBeSy	Bodenbearbeitungssystem
Wdhg.	Wiederholung