



universität
wien

MASTERARBEIT

Titel der Masterarbeit

Kann man Boden „besser“ machen?

Eine Studie über die Auswirkungen unterschiedlicher Bodenbearbeitungs- und Aussaatverfahren auf die grundlegenden Bodenfunktionen.

Zwischenauswertung eines Langzeitversuches

Verfasser

Mag. Hannes Groll

angestrebter akademischer Grad

Master of Science (MSc.)

Wien, 23.12.2014

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A 066 855

Studienrichtung lt. Studienblatt: Masterstudium Geographie

Betreuerin / Betreuer: Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Andreas Klik

Danksagung

Danke an:

Meinen Betreuer Ao. Univ. Prof. Dr. Dipl. Ing Andreas Klik.

Den Institutsmitarbeitern Martina Faulhammer, Karl Haigner und Friedrich Forster.

Ebenso Andreas Lehner

Meiner Familie Mag. Doris Pirringer-Groll, Maria Mayrhofer und Mag. Verena Groll und meiner Mutter.

Erklärung

Hiermit versichere ich,

- dass die ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubter Hilfe bedient habe,
- dass ich dieses Masterarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe
- und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit vollständig übereinstimmt.

Wien, am 23. Dezember 2014

Inhalt

1.	Kurzfassung/Abstract:	1
1.1	Kurzfassung:	1
1.2	Abstract:	2
2.	Einleitung	3
2.1	Allgemeine Einleitung.....	3
2.2	Forschungsfrage:	3
3.	Bodenfunktionen und Bodenbearbeitung	4
3.1	Bodenbearbeitung.....	4
3.2	Bodenfunktionen:	14
4.	Material und Methoden:	16
4.1	Standortbeschreibung, Klima, Geologie:.....	16
4.2	Versuchsaufbau:	16
4.3	Entwicklung des Ernteertrages seit 1994:.....	19
4.4	Probennahme:.....	19
4.5	Feldmethoden:.....	20
4.6	Laboranalysen :	21
4.7	Statistische Testung:.....	23
4.8	Bodengesundheitsindex- Soil quality index:	24
4.8.1	Festlegung der Bodenfunktionen und ihrer Kennwerte:	25
4.8.2	Definition der Bewertungsfunktion:	27
4.8.3	Bewertungsfunktionen:	28
5.	Ergebnisse.....	32
5.1	Feldansprache:	32
5.2	Textur- Korngrößenverteilung:	44
5.3	Trockendichte:	46
5.4	Feststoffdichte:	48
5.5	Porenanteil bzw. Porenvolumen:.....	49
5.6	Beziehung zwischen Matrixpotential und Wassergehalt (pF- Kurven):.....	51
5.7	Luftkapazität- Grobporen kleiner als 50 µm.....	55
5.8	Nutzbare Feldkapazität- Mittelporen:.....	56
5.9	Feinporenanteil- Totwasser:.....	57

5.10	Gesamtporenanteil:.....	58
5.11	KS-Werte gesättigte Wasserleitfähigkeit:.....	60
5.12	pH-Wert:	61
5.13	Elektrische Leitfähigkeit:.....	63
5.14	Gesamtstickstoff:.....	65
5.15	Gesamtkohlenstoff:	68
5.16	Organischer Kohlenstoff:.....	69
5.17	C/N- Verhältnis:	71
5.18	Organische Substanz- Glühverlust:	72
5.19	Phosphor	75
5.20	Kationenaustauschkapazität:	77
5.21	Bodengesundheitsindex:	78
6.	Diskussion der Ergebnisse:.....	79
7.	Referenzen:.....	83
8.	Abbildungsverzeichnis	86
9.	Verzeichnis der Tabellen	87
	Anhang A: Ergänzungen zur Feldansprache und bodenphysikalischen Parametern.....	88
	Anhang B: Chemische Originalmesswerte.....	98
	Anhang C: Lebenslauf	102

1. Kurzfassung/Abstract:

1.1 Kurzfassung:

Weltweit werden derzeit mehr als 100 Millionen Hektar Ackerland ohne wendender Bodenbearbeitung bewirtschaftet und in den nächsten Jahren wird mit einem weiteren Anstieg der Fläche gerechnet. Diese pfluglose Bodenbearbeitung soll zahlreiche Vorteile bringen, sowohl ökonomisch als auch ökologisch. Zu den ökonomischen Vorteilen zählt eine deutliche Kostenersparnis durch weniger Bodenbearbeitung, womit sowohl Arbeitszeit als auch die Kosten für die Geräte reduziert werden können. Die ökologischen Vorteile sind vielfältig: Angefangen bei einer Reduktion des Ausstoßes von Treibhausgasen, über eine Reduktion der Bodenerosion bis hin zu einer Zunahme an organischer Bodensubstanz und Nährstoffen. In dieser Masterarbeit werden drei verschiedene Bodenbearbeitungs- und Aussaatverfahren anhand mehrerer Parameter untersucht. Direktsaat mit Zwischengründecke, Mulchsaat mit Zwischengründecke und konventionelle Bodenbearbeitung ohne Zwischengründecke stellen die drei untersuchten Verfahren dar. Folgende chemische und physikalische Parameter wurden untersucht: Trockendichte, Porenvolumen, nutzbare Feldkapazität, Luftkapazität, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Kationenaustauschkapazität, gesättigte hydraulische Leitfähigkeit, Textur, Wasserspannungs-Wasseranteilsbeziehung, sowie Gehalte an Stickstoff, Phosphor, und organischem Kohlenstoff.

Die Untersuchung wurde in Mistelbach durchgeführt auf Versuchsparzellen, die seit 20 Jahren mit der jeweiligen Methode bearbeitet werden. Mistelbach liegt innerhalb der pannonischen Klimaprovinz mit einer mittleren Jahrestemperatur von 9,1°C bei einem Niederschlag von 508,2 mm und 1783 Sonnenstunden.

Im Bereich der chemischen Parameter konnten deutliche Unterschiede zwischen den Verfahren festgestellt werden. Vor allem der organische Kohlenstoffanteil war unter den bodenschonenden Verfahren deutlich höher als bei der konventionellen Bearbeitung. Ebenso waren die Anteile von Stickstoff und Phosphor höher. Im Bereich der physikalischen Bodenkennwerte war die Situation komplexer. Beispielsweise nahm die Trockendichte bei pflugloser Bearbeitung auf der Tiefenstufe 0 - 5 cm ab, hingegen bereits in der nächsten Schicht war die Trockendichte deutlich höher als unter der konventionellen Bearbeitung.

1.2 Abstract:

At present over 100 million hectares of agricultural area are managed with reduced tillage techniques. These techniques offer several economic and ecological benefits. On the one hand reduced tillage practises require fewer inputs like fertilizers and labour therefore they should be more profitable than conventional farming. On the other hand as a follow up of the reduced tillage intensity soil erosion, leaching of fertilizers into the groundwater, greenhouse gas emission or even evaporation is expected to decrease by these techniques. This master thesis investigates the influence of three different soil tillage systems on physical and chemical soil parameters. The physical parameters are bulk density, plant available water, total porosity and saturated hydraulic conductivity. The chemical parameters are soil organic carbon, the amounts of nitrogen and phosphorus, pH-value, electrical conductivity, content of carbonates, cation-exchange-capacity carbon to nitrogen ratio. The treatments include conventional tillage with a mouldboard plough reduced tillage with a cultivator and zero tillage. The investigated long term field trial is in Mistelbach Lower Austria, with typical pannonic climate. The main average precipitation was 508,2 mm with a temperature of 9,1°C and 1783 hours of sunshine per year. In 2013 soil samples from five different depths (0 - 5, 10 - 15, 25 - 30, 50 - 55, 70 - 75) were collected for physical and chemical analyses. Additional samples at the depth of 0 - 2,5cm were taken for the chemical analyses. Those samples were analysed in the laboratory and were compared with data from a 2004 investigation.

The most astonishing differences occurred within the chemical parameters. The amount of soil organic carbon was double on the reduced tillage sites than on the conventional ones for the top soil layer. Equally the amounts of Nitrogen and Phosphorus were significantly higher under reduced tillage than under conventional tillage. As a follow up of reduced tillage the total porosity increased at those sites in comparison to conventional tillage, whereas the amount of plant available water decreased under zero tillage, while the amount increased at reduced tillage and conventional tillage since the research in 2004. The bulk density declined in the top 0 - 5cm under zero tillage and reduced tillage, but increased in the layers between 10 and 30 cm depth. The amount of macro pores was nethermost under zero tillage and highest under conventional tillage, but the amount increased significantly in the last 10 years under zero tillage techniques.

2. Einleitung

2.1 Allgemeine Einleitung

Pfluglose Bodenbearbeitung wird derzeit weltweit auf über 100 Millionen Hektar Ackerland angewandt. (Lal et al. 2007) Zahlreiche Studien wurden bereits durchgeführt und belegen die positiven Auswirkungen einer reduzierten Bodenbearbeitung. (Lal et al. 2007; Tebrügge und Düring 1999; Verch et al. 2009). Zu den Auswirkungen zählen unter anderem reduzierter Bodenerosion durch Wind und Wasser oder ökonomische und ökologische Vorteile. Zu den ökonomischen Vorteilen zählen ein deutlich niedrigerer Treibstoffverbrauch und ein geringerer Leistungsbedarf der Schlepper um bis zu 75 %. Auch soll es durch die Zunahme der Pflanzenrückstände zu einer Zunahme der Anzahl der Regenwürmer kommen, womit die Bodenstruktur verbessert wird. (Tebrügge und Düring 1999) Ebenso kamen zahlreiche Studien zum Schluss, dass eine reduzierte Bodenbearbeitung zu einer Zunahme des organischen Bodenkohlenstoffs, zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen, zu einer Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, zu einer Zunahme des pflanzenverfügbaren Wassers, zu einer Reduktion der Bodenverdichtung, zu einer Erhöhung der Wasserinfiltration und damit zu einer Reduktion der Bodenerosion führt. (Saxton und Reicosky 2007; Lal 2013)

In dieses Spannungsfeld ordnet sich diese Studie ein. Seit 20 Jahren wird auf dem Gelände der LFS Mistelbach ein Feldversuch mit unterschiedlichen Bodenbearbeitungs- und Aussaatverfahren durchgeführt. Im 20. Jahr des Versuches versucht nun diese Studie den aktuellen Zustand der Versuchsparzellen zu erfassen. Verglichen wurden in dieser Studie drei Bodenbearbeitungs- und Aussaatverfahren. Einerseits konventionelle Bodenbearbeitung ohne Zwischenbegrünung, Mulchsaat mit Zwischenbegrünung und Direktsaat mit Zwischenbegrünung. Der Standort Mistelbach weist ein typisches pannonisches Klima und Böden auf, die aus Löss entstanden sind.

2.2 Forschungsfrage:

1. Welche spezifischen Veränderungen im Bereich der chemischen, physikalischen und biologischen Bodenkennwerte konnten gemessen werden im Vergleich von konventioneller Bearbeitung ohne Zwischengründecke, konservierender Bodenbearbeitung mit Mulchsaat und Zwischengründecke und Direktsaat mit Zwischengründecke?

2. Welche Veränderungen im Bereich der chemischen, physikalischen und biologischen Bodenkennwerte sind seit der letzten Untersuchung im Jahr 2005 aufgetreten und wie sind diese zu bewerten?

Zur Beantwortung des ersten Teiles der Fragen wurden Feld- und Labormethoden eingesetzt. Näheres dazu im Kapitel Methodik.

3. Bodenfunktionen und Bodenbearbeitung

3.1 Bodenbearbeitung

Bodenbearbeitung wird definiert als, „Bearbeitung des Bodens mithilfe von Geräten. Ziel ist, für die zum Anbau gelangenden Pflanzen möglichst günstige Wachstumsbedingungen zu schaffen. Dazu zählen die Lockerung und die Durchlüftung des Bodens, die Zerkleinerung der Bodenkrume, sowie die Vernichtung von Unkräutern, Düngung und Regulierung der Bodenfeuchtigkeit.“ (Leser 2005)

Die Bodenbearbeitung begann mit dem Start der Landwirtschaft im Neolithikum und ist eng mit dem Einsatz des Pfluges verbunden, dieser ist ca. 13000 Jahre alt. (Lal et al. 2007) Durch die Bearbeitung sollen den Pflanzen optimale Wachstumsbedingungen angeboten werden. Das tiefe und intensive Bearbeiten des Bodens dient der Lockerung des Bodens und damit geht eine Erhöhung des Anteils von Grobporen einher. Diese dienen in erster Linie, dem vertikalen Wasser und Lufttransport. Sie sorgen dafür, dass die Böden drainiert und mit Sauerstoff versorgt werden. (DLG 2008)

Bei der Bearbeitung der Böden werden verschiedene Effekte erzielt, wobei Wenden, Mischen, Zerkleinern und Zockern die bedeutendsten darstellen. (DLG 2008) Um die Bodenbearbeitung einteilen zu können wird diese meist nach der Intensität des Eingriffes in den Boden bezeichnet (DLG 2008). Den größten Eingriff in den Boden stellt die Bearbeitung mit einem Pflug dar, pfluglose Bodenbearbeitung wird meist mit dem Begriff konservierend umschrieben. Die konservierende Bodenbearbeitung kann unterteilt werden in konservierend mit Lockerung, konservierend ohne Lockerung oder Direktsaat. Es liegt im Ermessen des Agrarökonomen, welche Art der Bearbeitung durchgeführt wird. Hierbei muss festgehalten werden, dass alljährliches tiefes Pflügen kontraproduktiv ist und hohe Kosten verursacht, aber keine

ökologische Katastrophe darstellt. (Buchner und Köller 1990) Einen Überblick über die unterschiedliche Anzahl der Bearbeitungsschritte bietet die folgende Grafik.

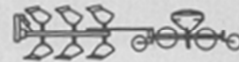
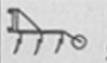
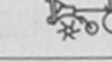
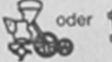
Bodenbear- beitungssystem	Arbeitsabschnitte			Ablauf der Arbeitsgänge
	Grundbodenbearbeitung	Saatbettbereitung	Saat	
<u>Konventionelle</u> Bodenbearbeitung		 oder 		getrennt
		 oder 		reduziert Saatbettbereitung u. Saat zusammengefaßt
				alle Arbeitsgänge zusammengefaßt
<u>Konservierende</u> Bodenbearbeitung	 	 oder 	 	getrennt
	 	 oder 		reduziert Saatbettbereitung u. Saat zusammengefaßt
	 oder 			alle Arbeitsgänge zusammengefaßt
ohne Lockerung	—	 oder  oder 		ohne Grundbodenbear- beitung, Saatbettbereitung u. Saat zusammengefaßt
<u>Ohne</u> Bodenbearbeitung Direktsaat	—	—		Verzicht auf Grundbodenbear- beitung u. Saatbettbereitung

Abbildung 1 Schritte der Bodenbearbeitung
(Quelle: Buchner und Köller 1990)

Anhand der Grafik wird deutlich, dass durch die konservierende Bodenbearbeitung im Unterschied zur konventionellen deutlich weniger Arbeitsschritte nötig sind. Da die Arbeitsschritte mit einem Befahren der Äcker verbunden sind, sinkt das Risiko der Bodenverdichtung durch die Maschinen und die Ausgaben für Treibstoff und Personal. Das Einsparungspotential liegt im Bereich der Grundbodenbearbeitung. Ebenso sind für die verbliebenen Arbeitsschritte kleinere, leichtere Traktoren mit weniger Pferdestärken (PS) ausreichend.

Bearbeitung mit Pflug:

Beim Wenden durch den Pflug werden die Pflanzenreste auf Arbeitstiefe eingearbeitet das heißt an der Oberfläche sind keine mehr anzutreffen. Der Pflug lockert die Böden stark, da zwischen den Schollen, deren Größe von der Bindigkeit der Böden abhängt, größere Hohlräume zurück bleiben. (DLG 2008) Die Lockerung der Arbeitskrumme kann bei den meisten Pflügen bis zu einer Tiefe von 40 cm erfolgen. Die Tiefe richtet sich dabei nach den gegebenen Boden- und Klimabedingungen, sowie den Ansprüchen der Folgefrucht in Bezug auf den Wasser-, Luft- und

Wärmehaushalt. (Buchner und Köller 1990) Vor der Saat muss noch eine Sekundärbearbeitung stattfinden um die Böden wieder zu verfestigen um für die Pflanzen einen gleichmäßig zerkleinerten und gelockerten Boden zu erhalten. (DLG 2008) So ein Saatbeet wird als rückstandsfrei bezeichnet und erlaubt mit einfacher Technik die Aussaat zu betreiben. Ebenso bringt der Pflug den Vorteil eines erhöhten Ertrages durch Mobilisierung weiterer Nährstoffe, eine mechanische Unterdrückung von Unkräutern und Vorteile beim Feuchtigkeitsmanagement. Jahrelange Erfahrung im Umgang mit dem Pflug und die daraus resultierende Ertragssicherheit ist meist der entscheidende Grund für den Einsatz des Pfluges. (Buchner und Köller 1990) Durch die Bearbeitung werden Grobporen geschaffen, diese versorgen den Boden mit Sauerstoff und drainieren diesen. Daher ist es nicht verwunderlich, dass in humiden Regionen die pfluglose Bearbeitung nur eine sehr untergeordnete Rolle spielt. Außer dem Klima spielt die Bodentextur eine bedeutende Rolle. [Dazu allerdings mehr unter dem Überpunkt Direktsaat S.16] (DLG 2008) Aus der Bearbeitung mit dem Pflug resultieren Nachteile wie eine Abnahme von organischem Material im Boden, eine deutlich erhöhte Erosion durch Wasser, Wind und Pflug. (Lal et al. 2007) In angelsächsischen Publikationen wird der Mouldboard Pflug besonders hervorgehoben. Dieser hat Wohlstand gebracht und ist daher von historischer Signifikanz. John Deere war der Erste, der ihn patentierte. Eine seiner Stärken liegt in der mechanischen Kontrolle des Unkrautes (Lal 2013), das aber zum Preis von Erosion, Bodenverdichtung, Oxidation von organischem Bodenmaterial, Emissionen von klimawirksamen Gasen und andere biologische Problematiken wie ein Rückgang der Biodiversität im Boden. Weitere Nachteile des Pflügens sind der hohe Energie- und Zeitaufwand für die Grundbodenbearbeitung und die Saatbeetbereitung, die Gefahr von Bodenverdichtung im Pflugsohlenbereich und in der intensiv gelockerten Krumme, sowie das Vergraben von Pflanzenresten in tiefere Horizonte, was die Umsetzung dieser behindern kann. (Buchner und Köller 1990)

Konservierende Bodenbearbeitung:

Die Entwicklung der konservierenden Bodenbearbeitung ist eng mit einer Umweltkatastrophe verbunden: Mit den großen Staubstürmen in der 30er Jahren im Südwesten der USA wurden die Folgen einer unangepassten Bodenbearbeitung drastisch ins Bewusstsein gerufen. In den Jahren 1934 und 1936 lag der Niederschlag in den betroffenen Regionen unter der Hälfte des langjährigen Mittels. Dies stellte allerdings an sich keine Besonderheit dar, da derartig niedrige

Niederschläge und kleinere Staubstürme bereits in den 1850er und 1860er Jahren aufgetreten waren. Doch die Dimensionen waren völlig neu: Ein Staubsturm im Mai 1935 erodierte geschätzte 350 Millionen Tonnen Boden. Ein Teil davon, ungefähr 12 Millionen Tonnen wurden im Stadtgebiet von Chicago abgelagert. Selbst in den weit entfernten Städten der Ostküste, wie Buffalo oder New York waren die Auswirkungen der Staubstürme noch zu spüren. Die Problematik der Bodenerosion und der Degradation wurde damit in das Bewusstsein der US-Öffentlichkeit katapultiert und der Gesetzgeber ergriff mehrere Maßnahmen um diese Entwicklung zu stoppen, wie den „Soil Conservation Act“ oder die Gründung einer eigenen staatlichen Institution zum Bodenschutz den Soil Conservation Service. (Lal et al. 2007) Als einer der Schuldigen der vorangegangenen Katastrophe wurde der Mouldboardpflug identifiziert. Die Antwort auf die Nachteile des Pfluges stellt die konservierende Bodenbearbeitung da. Eine wirklich starke Zunahme der konservierenden Bodenbearbeitung setzte allerdings erst Mitte der 1950er Jahre ein. Eine deutliche Abnahme der Produktion von Pflügen in den USA begann erst zwischen 1980 und 1990. Die Produktion sank von 140.000 Mouldboard Pflügen im Jahr 1960 auf 1400 Stück im Jahr 1991.

Konkret wird bei der konservierenden Bodenbearbeitung versucht die negativen Effekte des Pflugeinsatzes (siehe Bodenbearbeitung mit Pflug) durch Verzicht auf diesen und der Rückgriff auf andere Hilfsmittel, wie den Grubber, zu umgehen. Ziel ist hierbei die Böden nachhaltig zu bewirtschaften und in ihrer Funktionsfähigkeit zu verbessern (DLG 2008; Buchner und Köller 1990). Grundprinzipien dieser Art der Bearbeitung ist der Erhalt eines hohen Ertragsniveaus und gleichzeitig eine deutliche Senkung der Produktionskosten durch optimierte Eingriffe in den Boden. Hierbei sollen vor allem ober- und unterirdische biologische Prozesse gefördert werden und Produktionsmittel, sowohl organischer als auch synthetischer Natur, sollen äußerst überlegt eingesetzt werden um diese Prozesse nicht zu stören. Daher wird die Bearbeitungsintensität sowohl nach Art und Tiefe des Eingriffes deutlich reduziert. (Buchner und Köller 1990; DLG 2008; Baker und Saxton 2007)

Wichtig hierbei sind:

- Kontinuierliche geringe Bearbeitungsintensität
- Kontinuierliche Bodenbedeckung durch organisches Material und oder Bedeckungspflanzen
- Eine vielfältige Fruchtfolge oder bei Dauerkulturen Pflanzenrückstände oder Bodenbedeckungspflanzen zwischen den Reihen.

(DLG 2008; Buchner und Köller 1990)

Zu den Vorteilen der konservierenden Bodenbearbeitung zählen eine Erhöhung der organischen Substanz, eine Verbesserung der Bodenstruktur, eine Verbesserung des Bodenlebens, vorbeugender Hochwasserschutz, Reduzierung von Auswaschungen, geringer Einsatz von Ressourcen, Verringerung von klimarelevanten Emissionen aus den Böden, und eine potenzielle Erhöhung der CO₂ Bindung in den Böden (DLG 2008; Buchner und Köller 1990; Saxton und Reicosky 2007). Vor allem die Verbesserung der Bodenstruktur ist wichtig, da diese Verdichtungen verhindert und damit sowohl durch erhöhte Infiltration Erosion mindert als auch Pflanzen ohne Überlockerung mehr Porenvolumen für Luft und Wasser anbietet. (Saxton und Reicosky 2007; Buchner und Köller 1990) Der Aufbau von organischer Substanz stellt die Grundlage vieler Vorteile dieser Methode da. Durch die Erhöhung der organischen Substanz kann der Boden mehr Wasser, mehr Nährstoffe und auch mehr Schadstoffe in den oberen Bodeneinheiten festhalten. Eine Erhöhung der organischen Bodensubstanz um ein Prozent hat zur Folge, dass der Boden um 150 m³/ha mehr pflanzenverfügbares Wasser halten kann. Ebenso reduziert die permanente Bodenbedeckung die Verluste an Evapotranspiration (Saxton und Reicosky 2007; DLG 2008; Buchner und Köller 1990).

Ob ein Standort für eine konservierende Bearbeitung in Frage kommt hängt vom Klima, der Bodenfeuchtigkeit und der Textur ab. Grundsätzlich hat pfluglose Bearbeitung die höchsten Erfolgchancen in Regionen mit weniger Niederschlag und einer Bodentextur, die gut drainierend und strukturstabil ist. Beispielsweise Lehm- und Tonböden mit passendem pH-Wert und Humusgehalt (DLG 2008; Buchner und Köller 1990).

Ziel jeder konservierenden Bodenbearbeitung sind die Förderung eines stabilen Bodengefüges infolge nicht wendender Lockerung und längerer Bodenruhe als Schutz gegen Verdichtung und eine möglichst ganzjährige Bodenbedeckung als Schutz gegen Verschlammung und Erosion (DLG 2008).

Diese Art der Bearbeitung stellt zahlreiche Herausforderungen an den Agrarökonomen. Allerdings muss dieser wesentlich mehr Zeit in die Analyse und Auswertung seiner Böden stecken und neue Wege beschreiten. Eine Umstellung hat zur Folge, dass andere Pflanzenkrankheiten als im konventionellen System, eine Rolle spielen. Daran angepasst muss die Sortenwahl erfolgen und zur Abschwächung zahlreicher Schädlinge ist eine optimierte Fruchtfolge unerlässlich. Ebenso müssen die Rückstände der abgeernteten Kultur sachkundig bearbeitet werden. Bei großen Mengen an Rückständen müssen gesonderte Bearbeitungsmaßnahmen gesetzt werden um eine Keimung der neuen Kultur zu ermöglichen. In den ersten Jahren unterscheidet sich der Bedarf an Düngemitteln nicht von einer konventionellen Bearbeitung, allerdings muss bei der Ausbringung der Düngemittel auf eine adäquate Verabreichung geachtet werden, wie durch das Cultan Verfahren. Auch die Aufrechterhaltung einer permanenten Bodenbedeckung muss vom Agrarökonomen systematisch geplant werden. Zwar garantiert mehr organische Substanz ein erhöhtes Wasserhaltevermögen, aber bestimmte Zwischenfrüchte können zu einer negativen Wasserbilanz führen. Außerdem müssen tief- und flachwurzelnde Kulturen abgewechselt werden um eine optimale Entwicklung des Bodens zu garantieren. Grundsätzlich ist durch den Verzicht auf wendende Bodenbearbeitung nicht von einer Erhöhung des Unkrautdruckes auszugehen. Einerseits steht ebenso wie in der konventionellen Landwirtschaft der Einsatz von Chemikalien zur Verfügung, andererseits werden die Unkräuter durch Beschattung von Feldfrüchten, Deckfrüchten und Mulchdecken am Keimen gehindert. Dies gilt vor allem für die Direktsaat. Weiters existieren noch mechanische Möglichkeiten der Bekämpfung von Unkräutern, beispielsweise durch Messerwalzen. Für diese Methode gilt natürlich wieder, dass der Agrarökonom diese genau zum richtigen Zeitpunkt einsetzen muss (DLG 2008; Buchner und Köller 1990) Vor allem für Samenunkräuter ist der Einsatz der Messerwalze direkt vor der Blüte und Abreife wichtig um die Unkrautsamenbank zu reduzieren. Die Saattechnik ist je nach Art der konservierenden Bodenbearbeitung unterschiedlich.

Konservierend mit Lockerung

Die höchste Bearbeitungsintensität der konservierenden Verfahren liegt bei der konservierenden Bodenbearbeitung mit Lockerung vor. Die Bearbeitung kann bis zur Krummentiefe von ca. 30 cm durchgeführt werden, allerdings im Unterschied zur Bearbeitung mit dem Pflug sind die Effekte unterschiedlich. Anstelle von Pflügen werden Grubber eingesetzt. Diese sorgen für eine

Durchmischung und Lockerung der Böden und eine Zerkleinerung des organischen Materials (DLG 2008). Der Boden wird nicht vollständig gewendet und das organische Material wird bei der Einarbeitung zwar mit dem Boden gemischt, aber der Großteil des Materials bleibt innerhalb der ersten 10 - 15 cm. Der Grubber, als Beispiel für nicht-wendende Lockerungsgeräte, hebt den Boden an, bricht ihn auf, aber belässt ihn in seiner natürlichen Schichtung. Damit erhält er die natürliche Krümelstruktur und die Erntereste stellen einen wichtigen Erosionsschutz da. (Buchner und Köller 1990) Die geringe Einarbeitungstiefe ist aus bodenkundlicher Perspektive ein wichtiger Vorteil. Da die zu tiefe Einarbeitung von Pflanzenresten die Folge hätte, dass die Rückstände nicht mehr vollständig verrotten und damit anaerobe Verhältnisse im Unterboden gefördert würden. (Buchner und Köller 1990) Der Grubber überhöht die Böden nicht annähernd so stark, wie der Pflug, womit die Pflugerrosion deutlich reduziert wird. Die Rückverfestigung ist beim Grubbern nicht so wesentlich wie beim Pflug, wird allerdings meist doch durchgeführt (DLG 2008).

Konservierend ohne Lockerung

Derartige Verfahren bieten sehr große Vorteile, wenn entsprechende Bodenstruktur und Vorfruchtbedingungen gegeben sind, wie beispielsweise keine vorhandene Bodenverdichtung. (Buchner und Köller 1990) Ein solches Gerät stellt die Frässaatmaschine dar. Dabei werden die Saatkörner unter der Mulchschicht platziert. Diese arbeitet maximal auf 10 cm Tiefe. Durch die flache Bearbeitung soll keimfähiges Material nach der Ernte zum Keimen angeregt werden und das organische Material oberflächennah mit dem Boden leicht eingemischt werden. Für die Saattechnik stellt diese Art eine Herausforderung dar, da auch bei hoher Konzentration von Stroh eine Keimung garantiert sein muss (DLG 2008; Buchner und Köller 1990).

Die Saattechnik bei der konservierenden Bodenbearbeitung mit oder ohne Lockerung ist die Mulchsaat. Hierbei bieten sich zwei Verfahren an, einerseits die Saat in ganzflächige oder streifenweise eingearbeitete Pflanzenrestdecken einzubringen oder andererseits die Saat in unbearbeitete abgefrorene oder chemisch abgetötete Pflanzenrestdecken einzuarbeiten. Bei der ersten Variante kommen Fräsen oder Kreiselegen zum Einsatz um das organische Material einzuarbeiten. Anschließend werden entweder konventionelle oder mit Schneidescheiben ausgerüstete Einzelkornsäugeräte eingesetzt (Buchner und Köller 1990).

Bei der Variante ohne Saatbeetbereitung müssen spezielle Einzelkornsägeräte mit Scheiben- oder Zinkensäscharen in Kombination mit Vorwerkzeugen, wie Runderchse eingesetzt werden. (Buchner und Köller 1990). Ebenso existieren noch spezielle Kreuzschlitzscharen mit nachlaufenden Druckrollen (DLG 2008). Diese Variante vereint präzise Tieflage und Verstopfungssicherheit (Buchner und Köller 1990) Die Vorwerkzeuge haben die Funktion im Bereich der Saatreihe die Pflanzenrestbestände zu durchschneiden, dazu gehören Messerwalzen, Schneid- oder Räumscheiben (Buchner und Köller 1990; DLG 2008).

Direktsaat

Dabei handelt es sich um ein Anbausystem bei dem das Saatgut direkt in den unbearbeiteten, mit Pflanzen(-resten) bedeckten Boden abgelegt wird. Mittels spezieller Scheiben-, Meißel oder Kreuzschlitz-Säscharen wird lediglich ein Schlitz im Boden geöffnet und nach der Saatgutablage geschlossen. Dabei muss noch unterschieden werden, ob die Saat in den Acker oder in den fließenden Erdstrom oder unter der Mulchdecke abgelegt wird (Buchner und Köller 1990). Düngemittel können gleichzeitig in den Boden eingebracht werden (DLG 2008). Die Unkrautkontrolle erfolgt über Mulchdecken und Zwischenfrüchte, ebenso können bei Bedarf Totalherbizide angewendet werden (DLG 2008). In der Fallstudie wird auf den Versuchsfeldern Glyphosat Markenname Round Up eingesetzt. Diese Variante stellt große Herausforderungen an den Landwirt in Bezug auf die Fruchtfolge, die Unkrautunterdrückung und das Rückstandsmanagement, wie bei allen konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren. Besonders dafür geeignete Standorte verfügen über eine stabile Bodenstruktur und relativ niedrige Niederschläge. Näheres wird am Ende des Absatzes ausgeführt (Buchner und Köller 1990).

Die Vorteile, die von dieser Veränderung erwartet werden, sind eine erhöhte Energieeffizienz, der Aufbau organischer Substanz im Boden, vor allem Ton-Humus Komplexe und ein daraus resultierender erhöhter Schutz vor Erosion. Auch die Lebendverbauung wird gefördert (Buchner und Köller 1990; DLG 2008). Der Verzicht auf das Pflügen führt zu einer deutlichen Minderung des Arbeits- und Energiebedarfes. Entsprechende Versuche kamen zu Reduktionen von 50 bis 70 Prozent. Damit können teure Arbeitskosten eingespart werden, sowohl in Bezug auf die Variablen- als auch auf die Fixkosten (Buchner und Köller 1990). Die Wirtschaftlichkeit einer derartigen Bearbeitung ist zweifelsfrei gegeben. Die Erträge müssen bei diesem Verfahren auch nicht niedriger sein (siehe Studienergebnisse). Besonders interessant für den Landwirt ist die

erhöhte Gefüge- und Aggregatstabilität als Folge der natürlichen Prozesse, die nicht mehr durch den Pflug gestört werden. Langfristig sollen auch die Volumina der Grobporen durch Regenwurmmaktivität steigen. Im Unterschied zu den anderen konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren kann auf die Aussaat einer Zwischenfrucht am Ende der Umstellungsphase verzichtet werden, da die Pflanzenreste den Erosionsschutz übernehmen. (Buchner und Köller 1990) Bei einer Kombination von konservierender Bodenbearbeitung und biologischem Landbau werden noch zusätzlich die Nährstoffkreisläufe geschlossen und es kommt zu einer Kohlenstoffbindung im Boden (DLG 2008; Buchner und Köller 1990; Lal 2013). Bei Direktsaat sollen, wie bei allen bodenschonenden Verfahren, langfristig die Erträge steigen und witterungsbedingte Ertragsschwankungen sinken, allerdings mit deutlichen Einbußen während der Umstellung. Diese sind eine Folge von bereits erfolgten Verdichtungen im Boden (DLG 2008; Buchner und Köller 1990).

Besondere Herausforderungen bei der Direktsaat können durch bereits erfolgte Verdichtungen, Selektion schwer bekämpfbarer Unkräuter und durch eingeschränktes Keimpflanzenwachstum bei überhöhter Strohkonzentration entstehen (Buchner und Köller 1990; DLG 2008).

Laut Buchner (1990) sind vor allem diese Standorte für die Direktsaat auszuwählen:

- kalkreiche Ton- und Lehmböden mit quellfähigen Tonmineralien,
- gut drainierte Lehmböden mit hoher biologischer Aktivität,
- humusreiche Sandböden ohne Neigung zur Verdichtung;

Hingegen ist bei jenen Böden von einer Direktsaat abzusehen:

- Tonböden mit nicht quellfähigen Tonmineralen, die kompakt lagern,
- mangelhaft drainierte Lehmböden,
- humusarme Sand- und feindsandige Schluffböden mit Dichtelagerungsneigung,
- Böden mit hohem Grundwasserstand oder Stauwasserneigung;

Weitere Studienergebnisse von Langzeitstudien und aktuelle Diskurse:

Diese Ergebnisse stammen aus Nordfrankreich, Deutschland, Österreich und den USA. Die Herausforderungen, die die pfluglose Bearbeitung an den Bauern stellen, führen teilweise auch zu Problemen. Vor allem bei humiden Klima kann es bei einzelnen Studien zu massiven Problemen durch Vernässung bei schlecht dränenden Tonböden kommen. (Lal et al. 2007). In Frankreich

wurde bei einem insgesamt 20 Jahre dauernden Langzeitversuch festgestellt, dass zwar durch die organische Substanz größere Mengen an Nährstoffen für die Pflanzen im Boden gebunden wurden, allerdings konnte nicht sichergestellt werden, dass diese in den wichtigen Wachstumsphasen der Pflanzen verfügbar waren. Ebenso kam es zu einer Zunahme der Trockendichte in den oberen 20 cm, da diese nicht mehr durch den Pflug gelockert wurden, so kam es zu einer relativen Abnahme der Wasserleitfähigkeit und der Infiltration in diesem Bereich (Dimassi et al. 2013). Allerdings ist dies nur relativ zu betrachten, da insgesamt die Bodenstruktur verbessert wurde und damit Infiltration und Wasserhaltevermögen stiegen.

Aus den USA liegen Ergebnisse vor, dass sich der Boden durch permanente Bedeckung langsamer erwärmt, was an kühleren Standorten eine spätere Keimung bewirkte und in weiterer Folge direkt zu Ertragseinbußen führen kann, aber nicht muss, wenn die Vegetationsperiode am Standort lang genug ist. (Lal 2013) In derselben Studie wurde festgestellt, dass durch den Entfall der mechanischen Unkrautunterdrückung durch den Pflug, die Biodiversität der Ackerunkräuter bei pflugloser Bodenbearbeitung am höchsten war (Lal 2013).

In Frankreich zeigte eine Langzeitstudie, dass der Einsatz von Herbiziden wie Glyphosat zur Unterdrückung der Unkräuter, zu einer Zunahme von Herbizidresistenzen geführt hat. (Dimassi et al. 2013) Ebenso entsteht in Europa eine öffentliche Debatte über den Einsatz dieser Mittel. (David-Freihsl 2013) Ebenso gab es bereits Initiativen für ein Verbot dieses Mittel im Ausschuss für Land- und Forstwirtschaft (Republik Österreich).

Bei einem Vergleich der Rentabilität für Nordostdeutschland kam eine Studie mit der kurzen Laufzeit von fünf Jahren zum Ergebnis, dass bezogen auf den Mittelwert der Erträge reduzierte Bodenbearbeitung am rentabelsten war,. In dieser Studie belegte Direktsaat den zweiten Platz mit einer besseren Rentabilität als bei konventioneller Bewirtschaftung. Allerdings war die Schwankung der Flächenerträge am stärksten ausgeprägt (Verch et al. 2009).

Bei einem Langzeitexperiment in Gießen werden und wurden zahlreiche Veränderungen festgestellt: Die Trockendichte war auf den Feldern mit Direktsaat deutlich höher als bei konventioneller Bearbeitung. Weiters war der Anteil der Grobporen niedriger. Die gesättigte Wasserleitfähigkeit war niedriger, allerdings bei deutlich höherer Aggregatstabilität und reduzierter Erosion. Die Analysen postulierten eine Zunahme von Nährstoffen und organischen Material an der Oberfläche und ebenfalls eine erhöhte biologische Aktivität. Auch war die

Verträglichkeit der Ackerkrumme hinsichtlich der Überfahrt von Maschinen deutlich gesteigert. Weiters verwies die Studie noch darauf, dass durch die erhöhte Regenwurmaktivität möglicherweise die Infiltrationsraten in den nächsten Jahren deutlich steigen werden. Die Gießener Studienautoren postulieren überwiegende Vorteile der Direktsaat, trotz der von ihnen beschriebenen negativen Entwicklungen (Tebrügge und Düring 1999).

Die bereits mehrfach zitierte Studie aus Frankreich kam zu weiteren überraschenden Ergebnissen. Wie bereits im Theorieteil beschrieben führt pfluglose Bearbeitung zu einer Horizontierung von Kohlenstoff und Stickstoff in den oberen 10 cm, wohingegen bei konventioneller Bearbeitung diese Stoffe in größerer Tiefe akkumuliert werden. Überraschend war, dass die Summen von Stickstoff und Kohlenstoff in beiden Versuchsfeldern über das Gesamtprofil berechnet gleich waren, also, dass in Summe die konservierenden Verfahren zu keiner realen Zunahme geführt haben. In Frankreich waren im langjährigen Schnitt die Erträge nicht signifikant unterschiedlich. Die Studie in Frankreich bestätigte die Bedeutung der richtigen Fruchtfolge, da es beim Anbau von Erbsen mit der Methode Direktsaat zu hohen Ernteaufträgen kam (Dimassi et al. 2013).

Zahlreiche positive Auswirkungen der bodenschonenden Verfahren konnten von zahlreichen Studien bestätigt werden. Eine Zunahme des organischen Kohlenstoffs und damit der organischen Bodensubstanz, eine Zunahme des Gehalts an Stickstoff und Phosphor (Karlen et al. 1994b; Karlen et al. 2013b; DLG 2008; Fernández-Ugalde et al. 2009). (Kamptner 2014). Ebenso wurde eine Zunahme der Luftkapazität und des pflanzenverfügbaren Wassers bei bodenschonenden Verfahren festgestellt, wobei hierbei Varianten mit Lockerung die besten Ergebnisse erzielten. (Fernández-Ugalde et al. 2009; Kamptner 2014).

3.2 Bodenfunktionen

Als erstes werden Bodenfunktionen allgemein definiert: „Bodenfunktionen sind raumordnungsrelevante Funktionen wie: Lebens- und Nahrungsgrundlage für Mensch, Tier und Pflanze, prägendes Element für Natur und Landschaft, Wirtschaftsfläche für die Erzeugung von Nahrungs- und Futtermitteln sowie von nachwachsenden Rohstoffen, Wasserfilter und Wasserspeicher, Lagerstätte für Rohstoffe.“ (Leser 2005)

Eine andere differenzierte Definition der Bodenfunktionen findet sich in einer Dissertation der Boku (Hofmann 2005):

- **Regelungsfunktionen** - Böden regeln die natürlichen und vom Menschen beeinflussten Kreisläufe von Wasser, Luft, organischen und mineralischen Stoffen. Sie filtern, puffern, transformieren und speichern Stoffe. Böden sind ein entscheidendes Glied im ständigen Fluss der Energie und Stoffe in Ökosystemen.
- **Lebensraumfunktionen** - Böden sind Lebensgrundlage und Lebensraum für Mikroorganismen, Pflanzen, Tiere und Menschen. Genreserve - auf Grund der Vielfalt an Mikro- und Makroorganismen ist der Boden die wichtigste Genreserve der Erde.
- **Produktionsfunktionen** - Böden sind die Grundlage für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung, für die Erzeugung von Nahrungs- und Futtermittel, als Rohstofflieferanten für Ton, Sand, Kies, Kalk u. a. genutzt, aber auch für regenerierbare Rohstoffe wie Holz, Baumwolle, Seide etc.
- **Speicherfunktion** - das Porensystem im Boden ist Speicherraum für Wasser sowie für gelöstes organisches und anorganisches Material.
- **Filter- und Pufferfunktion** - Böden besitzen physikalische und chemische Filter- und Pufferfunktion, Reinigungs- und Umsetzungsfunktion zum Schutz des Grundwassers und zur Deposition von Stoffen.
- **Rohstofflager** - Böden werden als Rohstofflieferanten für Ton, Sand, Kies, Kalk, Torf, Braunkohle, Ölschiefer u. a. genutzt. Hier können Nutzungskonflikte auftreten, da diese Ressourcen oberflächennahe lagern.
- **Standortfunktion** - Böden werden räumlich genützt für Siedlungen, Verkehrs- und Industrieanlagen, Entsorgungseinrichtungen sowie Freizeit und Erholungsflächen und nicht zuletzt dienen sie als Standort für die Kulturpflanzen.
- **Geschichtliche Funktion** - Als Bestandteil von Landschaften sind Böden ein Archiv der Landschaftsgeschichte, in dem auch die Einflüsse des Menschen dokumentiert sind.

Für den landwirtschaftlichen Bereich sind jene Funktionen des Bodens die als Produktionsgrundlage, als Speicher-, Filter-, Puffer von Wasser- und Nährstoffen fungieren

relevant. Die Funktionsfähigkeit der Böden als Standort der Landwirtschaft wird als Bodenfruchtbarkeit definiert (Hofmann 2005). Diese Bodenfruchtbarkeit oder Funktionsfähigkeit als Standort für die Landwirtschaft wird mit Hilfe zahlreicher Labor- und Feldmesswerte ermittelt. Die einzelnen Messwerte und die Verfahren zur Ermittlung dieser Werte werden im Kapitel Methodik dargestellt. Um im nächsten Schritt die Entwicklung der Böden beurteilen zu können werden die Kennwerte mit Hilfe eines Soil Quality Indexes ausgewertet (Siehe Kapitel 4.3).

4. Material und Methoden:

4.1 Standortbeschreibung, Klima, Geologie:

Die Versuchsfelder befinden sich im Gemeindegebiet der Stadt Mistelbach im nordöstlichen Niederösterreich. Diese Versuchsfelder werden von der landwirtschaftlichen Fachschule Mistelbach betreut. Geologisch betrachtet befinden sich diese im Bereich der Waschbergzone (Fuchs und Schnabel 2002) Ausgangsmaterial der Bodenbildung war sowohl laut Felduntersuchung als auch laut Literatur Löss. (Fuchs und Schnabel 2002) Klimatisch betrachtet befinden sich diese Felder im Bereich des pannonischen Klimas. Die nächste Klimastation der ZAMG wies folgende klimatische Werte für die Periode 1971 - 2000 aus (ZAMG, 2014):

- Mittlerer Jahresniederschlag 508,2 mm pro Jahr
- Temperatur im Jahresmittel: 9,1°C
- 1783 Sonnenstunden im mehrjährigen Mittel

Damit kann der Standort der Versuchsfelder als eher trocken bezeichnet werden, allerdings werden die Niederschlagsmaxima in den Sommermonaten erreicht.

4.2 Versuchsaufbau:

Seit 1994 wird auf Feldern der landwirtschaftlichen Schule Mistelbach der Versuch betrieben. Ziel des Versuches ist es unterschiedliche Bodenbearbeitungs- und Aussaatmethoden hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Bodenerosion zu untersuchen.

Lage der Untersuchungsflächen

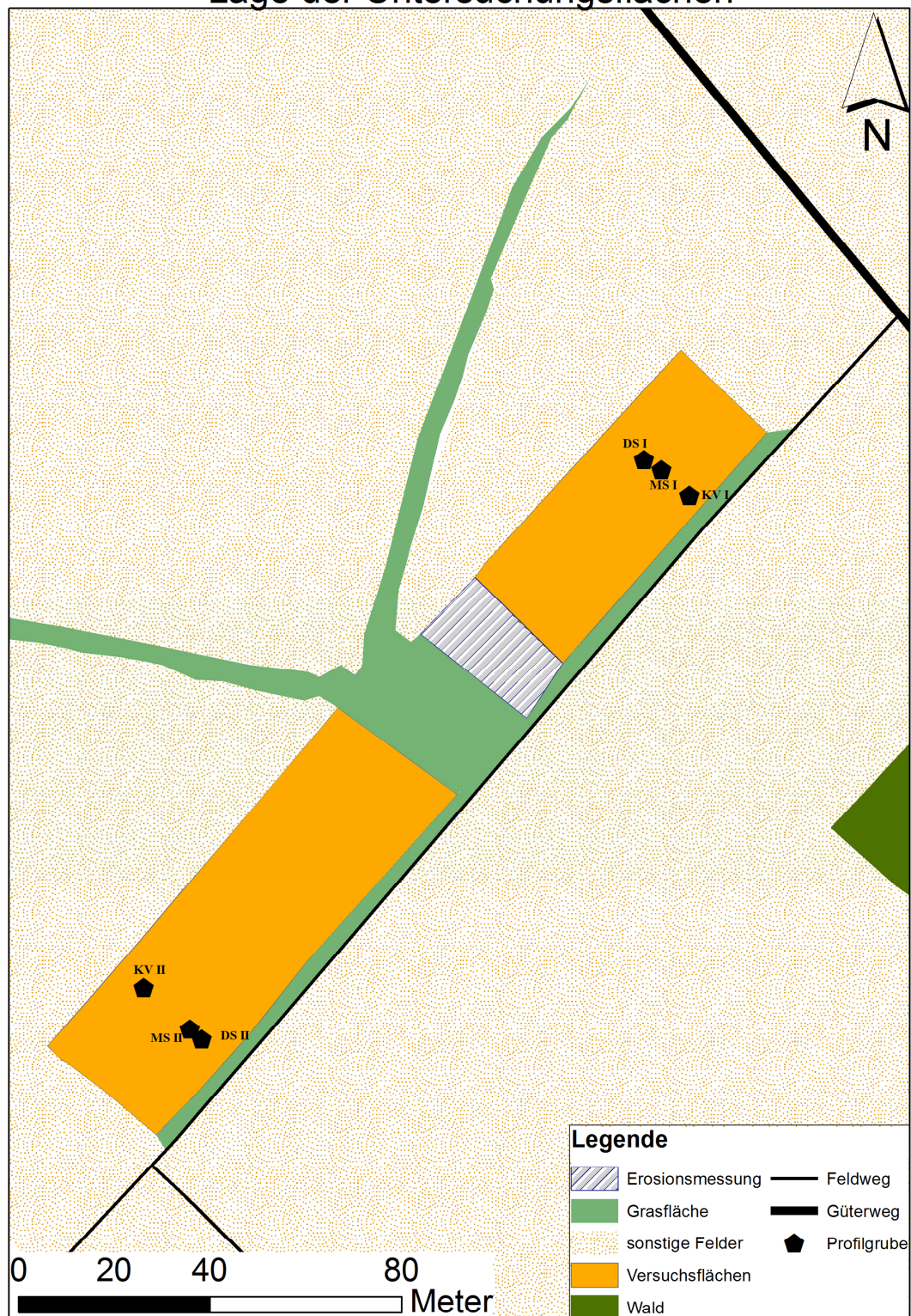


Abbildung 2: Karte des Untersuchungsgebietes

Die unterschiedlichen Bodenbearbeitungs- und Aussaatverfahren wurden in Streifen zu je drei Meter angelegt. Auf zwei gegenüberliegenden Hängen wurden die Versuche wiederholt. [siehe schematische Darstellung] Wie aus Abbildung 3 ersichtlich wurden insgesamt acht verschiedene Versuchsvarianten durchgeführt. Im Zuge dieser Arbeit wurden drei von ihnen untersucht. Es handelte sich um folgende Versuchsvarianten:

1. Konventionelle Bodenbearbeitung ohne Zwischengründecke mit wendender Bodenbearbeitung mit Pflug ohne Gründecke im Herbst und konventioneller Saatbeetbereitung

5. Konservierende Bodenbearbeitung mit Zwischengründecke nicht wendender Bodenbearbeitung mit Grubber zweimal jährlich und einer Gründecke im Herbst aus Platterbse, Buchweizen, Senf, Klee, Sommerwicke; Saatbeetbereitung durch Mulchsaat mit Kreiselegge und Sämaschine kombiniert.

6. Direktsaat mit Zwischengründecke, keinerlei Bodenbearbeitung mit einer Gründecke über den Herbst aus Phacelia oder Senf mit Aussaat in abgeforsteter Gründecke zusätzlich Einsatz eines Totalherbizid Wirkstoff Glyphosat Markenname Round up.

Die Profilgruben wurden im jeweiligen Versuchsstreifen in 20 Meter Abstand von dem westlichen oder dem östlichen Ende der Versuchsflächen angelegt. Hofmann legte ihre Profilgruben im Abstand von 30 Metern an. Die Profilgruben waren insgesamt einen Meter lang und 70cm breit (siehe Abbildung 2 und Abbildung 3).

Abbildung 3: schematische Darstellung der Versuchsvarianten.

Himmelsrichtung laut Kompass 215 SW							
3	7	6	5	4	8	1	2
1	2	3	4	5	6	7	8
Himmelsrichtung laut Kompass NE 35°							

4.3 Entwicklung des Ernteertrages seit 1994:

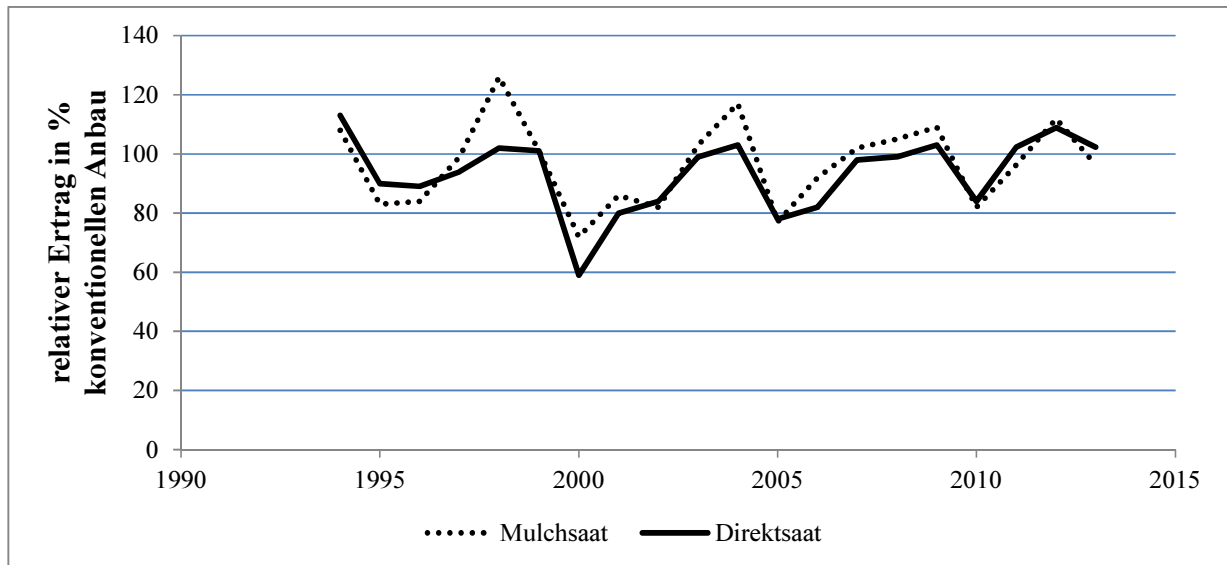


Abbildung 4: Ertragsentwicklung 1994 - 2010

(Datenquelle: Landwirtschaftliche Koordinationsstelle 2010)

In Abbildung 4 wird die langfristige Ertragsentwicklung für den Zeitraum 1994 bis 2010 dargestellt.

Die Darstellung erfolgt in Form von relativen Erträgen, wobei die konventionelle Bodenbearbeitung den Basiswert für jedes Jahr darstellt. Der Mittelwert für den gesamten Zeitraum liegt bei der Mulchsaat bei 95 und bei der Direktsaat bei ca. 91. Die Mediane liegen für Mulchsaat bei 98 und bei Direktsaat bei 99. Damit wird ersichtlich, dass im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung der Ertrag nur geringfügig niedriger war. Allerdings erfordern die konservierenden Bodenbearbeitungsmethoden einen deutlich geringeren Arbeitsaufwand womit aus ökonomischer Sicht keine Nachteile, sondern eher Vorteile durch konservierende Bodenbearbeitung entstanden sind.

4.4 Probennahme:

Zwischen 07.08.2013 und 12.08.2013 wurden im Feld gestörte und ungestörte Proben entnommen. Dazu wurden insgesamt sechs Profilgruben angelegt, zwei je Bodenbearbeitungs-Aussaatverfahren. Die Gruben wurden bis auf eine Tiefe von 1,20 Meter gegraben bei einer Breite von einem Meter und einer Länge von ca. 1,80. Da die Felder eine Neigung aufweisen

wurde die Stirnwand bergwärts angelegt (Schlichting et al. 1995). Die Position der Profilgruben ist auf Abbildung 2 dargestellt. Aus jeder dieser Profilgruben wurden sechs Mischproben, 15 Stechzylinder mit 100 cm³ und 15 Stechzylinder mit 200 cm³ entnommen. Die Entnahmetiefen betrugen 0 - 2,5, 0 - 5, 10 - 15, 25 - 30, 50 - 55 und 70 - 75cm bei den Mischproben. Bei den ungestörten Proben wurden die 200 cm³ Stechzylinder aus denselben Tiefen entnommen mit Ausnahme der Tiefe 0 - 2,5 cm und die 100 cm³ Proben aus den Tiefen 0 - 2,5 cm 10 - 12,5, 25 - 27,5 cm, 50 - 52,5 und 70 - 72,5 cm. Die Proben wurden anschließend schnellstmöglich ins Labor transportiert und dort anschließend gekühlt.

4.5 Feldmethoden:

Im Anschluss an die Probennahme wurden die Profilgruben mit Hilfe von Feldmethoden einer ersten Auswertung unterzogen. Die Stirnwände wurden auf einer Hälfte spatenglatt gestrichen und die andere mit dem Bodenmesser präpariert. Für jeden Standort wurde eine Standortaufnahme vorgenommen. Das Formular befindet sich in Anhang.

Folgende Analysen werden im Feld durchgeführt.

Tabelle 1: Im Feld durchgeführte Analysen

<u>Erhebungen und Beobachtungen im Feld</u>	<u>Nach folgendem Autor</u>
Ausgangsmaterial	(Schlichting et al. 1995)S. 30-31
Hangneigung	(Schlichting et al. 1995)S. 28
Bodenwasserverhältnisse	(Schlichting et al. 1995): 37-38
Humusgehalt mit Munsell Colour Charts	(Schlichting et al. 1995) S. 48-49
Bodenfarbe mit Munsell Colour Charts	(Sponagel 2005) S. 33
Gefügeform und Besonderheiten	(Schlichting et al. 1995) S. 35
Bodenart Übersetzung auf österreichisches System ÖNORM L 1050	(Schlichting et al. 1995) S. 41 & (Sponagel 2005)S.110-112
Karbonate	(Schlichting et al. 1995) S. 45
Skelettgehalt	(Schlichting et al. 1995) S42-
Fleckung	(Schlichting et al. 1995) S. 45-46

Die Ergebnisse sind im Kapitel 5.1 Feldansprache dargestellt.

4.6 Laboranalysen :

Die im Feld entnommenen Proben wurden im Labor des Instituts für Hydraulik und Landeskulturelle Wasserwirtschaft der Universität für Bodenkultur analysiert. Die Mischproben (gestörte Proben) wurden in einem Trockenschrank getrocknet und anschließend mit Hilfe eines 2 mm Siebes homogenisiert. Die Stechzylinder wurden sachgerecht verstaut um sie vor Austrocknung oder Erschütterungen zu bewahren.

Korngrößenverteilung

Die Korngrößenverteilung wurde anhand der gestörten Proben ermittelt. Dieses auch als Texturanalyse bezeichnetes Verfahren wurde gemäß der ÖNORM L 1061-2 (2002) mittels kombinierter Nasssiebung und Sedimentation ohne Humuszerstörung durchgeführt. Zur Dispergierung kam eine Natriumpyrophosphatlösung zum Einsatz.

Wasserdurchlässigkeitbeiwert (ks-Wert)

Diese gesättigte Leitfähigkeit wurde mit Hilfe einer institutseigenen Apparatur durchgeführt. Es wurden die 200 cm³ Proben hierfür verwendet. Die Proben wurden in ein Becken mit konstantem Außenwasserspiegel gesetzt und der Anstieg des Innenwasserspiegels beobachtet. Die Beobachtung und die Auswertung erfolgten vollautomatisch über die Apparatur. Basierend auf der ÖNORM L1065.

Trockendichte

Die Trockendichte wurde anhand der 200 cm³ Stechzylinder ermittelt. Hierfür wurden die Proben nach einem Wiegevorgang bei 105° Celsius in einem Trockenschrank bis zum Erreichen der Massekonstanz getrocknet. Die Trockendichte erhält man dadurch, dass man die Masse der Probe mit dem Volumen des Stechzylinders in Beziehung setzt. (Cepuder et al. 2013)

Feststoffdichte

Die Feststoffdichte wurde anhand der ÖNORM L 1068 (1988) auf Basis der gestörten Proben ermittelt. Dazu wurden Pyknometer mit luftgetrocknetem Feinboden zu ungefähr einem Drittel befüllt. Anschließend wurden diese mit entlüftetem Wasser aufgefüllt und über einem Bunsenbrenner erwärmt, bis keine Luftblasen mehr aufstiegen. Nach Abkühlen im Exikator wurden diese noch gewogen. Mit Hilfe des Gewichtes des leeren Pyknometer, des nur mit

Feinboden gefüllten Pyknometers und der Temperatur der Flüssigkeit zum Zeitpunkt der Gewichtsbestimmung konnte die Feststoffdichte ermittelt werden.

Wasserspannung-Wasseranteilsbeziehung

Zur Bestimmung der Wasserspannung- Wasseranteilsbeziehung wurden sowohl die 100 cm³ als auch die 200 cm³ Stechzylinderproben verwendet. Im niedrigen Druckbereich wurde ein Kapillarimeter nach Fischer verwendet. Die hierbei gemessenen Druckbereiche waren 10, 50 und 100 hpa. Im höheren Druckbereich kamen Druckplattenapparaturen zum Einsatz, mit Hilfe dieser wurden die Druckstufen 300, 1000, 3000 und 15000 hpa bestimmt. (Cepuder et al. 2013)

pH-Wert

Bei diesem Verfahren wurde die Feinerde aus den Mischproben verwendet. Die Feinerde wurde im Verhältnis 1:25 mit 0,01 mol*L CaCl₂-Lösung versetzt gut durchmischt und über Nacht stehen gelassen. Am nächsten Morgen durchmischt und nach dem Absetzen des Bodens wurde mit Hilfe eines pH-Meters der pH-Wert bestimmt. (Cepuder et al. 2013)

Elektrische Leitfähigkeit

Bei diesem Verfahren wurde die Feinerde aus den Mischproben verwendet. Diese wurde im Verhältnis 1:5 mit entionisiertem Wasser versetzt. Anschließend geschüttelt, danach filtriert und mit Hilfe eines Konduktometers wurde die elektrische Leitfähigkeit gemessen. (Cepuder et al. 2013)

Organische Substanz- Glühverlust

Bei diesem Verfahren wurde die Feinerde aus den Mischproben verwendet und basierend auf ÖNORM L 1079 durchgeführt. Dabei wurden fünf Gramm Feinderde nach anfänglichem Wiegen bei 550°C für zwei Stunden im Muffelofen erhitzt. Im Anschluss wurden diese zum Abkühlen in einen Exikator gestellt und anschließend gewogen. Aus der Massedifferenz konnte die organische Substanz ermittelt werden.

Bestimmung des Carbonatgehaltes

Bei diesem Verfahren kam Feinerde zum Einsatz. Die Bestimmung des Carbonatgehaltes erfolgte mit dem Calcimeter nach Scheibler. Hierfür wurde die Feinerde mit Salzsäure versetzt und

anhand der Menge des gebildeten CO₂ konnte auf die Menge an CaCO₃ rückgerechnet werden. (Cepuder et al. 2013)

Bestimmung von Gesamtstickstoff und Gesamtkohlenstoff

Der Gesamtstickstoff und Gesamtkohlenstoff wurde mit dem Gerät VarioMax der Firma Elementar gemessen. Das Gerät arbeitet nach dem Prinzip der katalytischen Rohrverbrennung.

Gesamtposphor- Aufschluss mit Königswasser:

Bei diesem Verfahren kam Feinerde zum Einsatz. Auf Basis der ÖNORM L 1085-99 wurde das gesuchte Element mit Königswasser aufgeschlossen und anschließend in einem Spektralphotometer gemessen.

Kationenaustauschkapazität:

Bei diesem Verfahren kam Feinerde zum Einsatz. Für die Bestimmung der KAK wurde zuerst nach ÖNORM L 1086-2 mit Hilfe einer gepufferten Extraktionslösung (BaCl₂) die Kationen extrahiert. Aufgrund der hohen Gehalte an CaCO₃ wurde die Variante der Bestimmung der KAK durch den Rücktausch des Bariumchlorids gewählt. Die Messung des Bariums erfolgte durch die Fällung mit Sulfat und anschließender gravimetrischer Bestimmung nach Veraschung.

4.7 Statistische Testung:

Um signifikante Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Bearbeitungs- und Aussaatverfahren in den verschiedenen Tiefenstufen feststellen zu können wurden statistische Tests angewendet. Im ersten Schritt wurde überprüft, ob die Messwerte die Mindestanforderungen der entsprechenden Verfahren in Bezug auf die Verteilung und die Anzahl der Fälle erfüllen. Zur Testung auf Normalverteilung wurde der Kolmogorow-Smirnow-Test ($p < 0,05$) verwendet. Sollte dieser die Hypothese der Normalverteilung verwerfen wurde im Anschluss mit Hilfe des nicht parametrischen Kruskal Wallis-Test auf signifikante Unterschiede getestet. Im Fall einer normal verteilten Variablen wurde mit Hilfe einer einfaktoriellen Varianzanalyse getestet. Die Tests wurden mit dem Programm SPSS 15 der Firma SPSS Inc. durchgeführt. Der Kruskal-Wallis Test ist ein stabiler Test, der auch bei abhängigen Variablen mit schiefen Verteilungen einsetzbar ist. Hingegen stellt eine einfaktorielle Varianzanalyse

umfangreiche Bedingungen an die Daten, wie eindeutige Unterschiede, Varianzhomogenität und Normalverteilung (Hornik et al. 2011; Backhaus 2000, Wittenberg und Cramer 2000).

4.8 Bodengesundheitsindex-Soil quality index:

Entscheidend bei jeder Untersuchung von unterschiedlichen Bodenbearbeitungsmethoden ist die Frage, welche bietet Vorteile und wertet langfristig den Boden auf. Daher ist eine Quantifizierung nötig um die unterschiedlichen Verfahren adäquat beurteilen zu können (Karlen et al. 2003). Als eine Möglichkeit bietet sich die Kalkulation eines Bodengesundheitsindex an. Dieser Index bietet zahlreiche Vorteile, wie die Kombination von verschiedensten Indikatoren in einem dimensionslosen Index und bietet die Möglichkeit eines Vergleiches und einer Reihung.

Auf Basis mehrerer Publikationen (Karlen et al. 1994b), (Karlen et al. 1994a), (Hussain et al. 1999; Hofmann 2005) wurde für diese Untersuchung ein spezifischer Bodengesundheitsindex entwickelt. Hierfür werden im ersten Schritt die gesuchten Bodenfunktionen definiert. Jeder Index deckt spezifische Bodenfunktionen ab. Nach dem Vorbild von Hofmann (2005) wurden drei Funktionen ausgewählt die analysiert wurden. Es handelt sich um die Produktions-, Speicher- & Puffer- und die Filterfunktion. Im nächsten Schritt wurden nun Bodenkennwerte ausgewählt, die für die jeweilige Funktion relevant sind (siehe Tabelle 1). Diese Kennwerte weisen nun verschiedenste Dimensionen auf. Beispielsweise Grobporenanteil in Prozent, organischer Kohlenstoff in Tonnen pro Hektar. Als Grundlage für die weitere Analyse wurden die gemessenen Bodenkennwerte mit Hilfe von linearen Bewertungsfunktionen in 0 - 1 Werte umgewandelt (Hussain et al. 1999; Hofmann 2005). Näheres dazu auf den folgenden Seiten.

Grundsätzlich wurden in diesem Index alle Bodenkennwerte mit dem gleichen Gewicht in der jeweiligen Bodenfunktion gewertet. Die ausgewählten Bodenkennwerte sind so gewählt, dass sie Veränderungen durch die Bodenbearbeitung aufzeigen, allerdings im Großen und Ganzen nicht von der Witterung beeinflusst werden. (Hussain et al. 1999)

4.8.1 Festlegung der Bodenfunktionen und ihrer Kennwerte:

Insgesamt werden drei Bodenfunktionen im Index erfasst:

1. Produktionsfunktion
2. Filterfunktion
3. Speicher- und Pufferfunktion

Jede Bodenfunktion wird durch ihre Bodenkennwerte definiert.

Tabelle 2: Bodenfunktionen und ihre Kennwerte

Kennwert	Abk.	Produktions- funktion	Filter- funktion	Speicher- u. Pufferfunktion
C/N- Verhältnis (0-30cm)	C/N			X
Wasserdurchlässigkeitsbeiwert (0-30cm)	ksat		X	
Elektrische Leitfähigkeit (0-30cm)	el.Lf	X		
Gesamtphosphor (0-20cm)	Ptot	X		
Gesamtstickstoff (0-20cm)	Ntot	X	X	
Grobporen (LK. MW 0-30cm)	LK	X		X
Kationenaustauschkapazität	KAK			X
Nutzbare Feldkapazität (bis Wurzeltiefe)	nFK	X	X	
Organischer Kohlenstoff 0-20cm	Corg	X	X	X
pH (0-30cm)	pH	X		X
Porenanteil (0 - 50cm)	pn		X	
Trockendichte (0 - 50cm)	td	X	X	X
Verfügbare Wurzeltiefe	Wurzel	X		

Diese Zusammenstellung resultiert aus folgenden Arbeiten: (Karlen et al. 1994a, 1994b, Hussain et al. 1999) und (Hofmann 2005).

Die Gewichtung erfolgt mit gleichem Gewicht für jede Funktion und jeden Bodenkennwert.

Tabelle 3: Produktionsfunktion, ihre Kennwerte und Gewichtungen (Hofmann 2005)

Produktionsfunktion			
Kennwert	Einheit	Abkürzung	Gewichtung
Elektrische Leitfähigkeit	µmS/cm	el.Lf	0,111
Grobporen	%	LK	0,111
Nutzbare Feldkapazität	mm	nFK	0,111
Gesamtstickstoff (0 - 20cm)	t/ha	Ntot	0,111
Gesamtphosphor (0 - 20cm)	t/ha	Ptot	0,111
pH 0-30		pH	0,111
Trockendichte 0 - 50cm	g/cm ³	td	0,111
Verfügbare Wurzeltiefe	Cm	Wurzel	0,111
Organischer Kohlenstoff (0 - 20cm)	t/ha	Corg	0,111
		SUMME	1

Tabelle 4: Speicherfunktion, ihre Kennwerte und Gewichtungen (Hofmann 2005)

Speicherfunktion			
Kennwert	Einheit	Abkürzung	Gewichtung
Organischer Kohlenstoff (0 - 20cm)	t/ha	Corg	0,16667
Trockendichte 0 - 50cm	g/cm ³	td	0,16667
Nutzbare Feldkapazität	Mm	nFK	0,16667
Gesamtstickstoff (0 - 20cm)	t/ha	Ntot	0,16667
Porenanteil (0 - 70cm, gew. MW)	%	pn	0,16667
Wasserdurchlässigkeitsbeiwert (0 - 30cm)	m/d	ksat	0,16667
		SUMME	1

Tabelle 5: Filter und Pufferfunktion, ihre Kennwerte und Gewichtungen (Hofmann 2005)

Filter- und Pufferfunktion			
Kennwert	Einheit	Abkürzung	Gewichtung
C/N- Verhältnis	-	C/N	0,16667
Organischer Kohlenstoff (0 - 20cm)	t/ha	Corg	0,16667
Grobporen (LK gew. MW 0 - 30cm)	%	LK	0,16667
Kationenaustauschkapazität	mMol/kg	KAK	0,16667
pH (0 - 30cm)	-	pH	0,16667
Trockendichte (0 - 50cm, gew. MW)	g/cm ³	td	0,16667
		SUMME	1

4.8.2 Definition der Bewertungsfunktion:

Zur Normierung der Werte wurden lineare Bewertungsfunktionen verwendet. Diese Funktionen wurden durch jeweilige Grenzwerte aus der Literatur normiert. Mindestens zwei Werte wurden für jeden Kennwert aus der Literatur recherchiert um eine optimale Normierung auf 0 - 1 Wert zu ermöglichen.

Die Grundform der Bewertungsfunktion wurde dem jeweiligen Bodenkennwert entsprechend ausgewählt. Drei Grundtypen kamen zum Einsatz:

1. „Mehr ist besser“: Je höher die Kennwerte, desto höher ist die Qualität des Bodens
2. „Optimum“: Es gibt einen Wertebereich, der für die Bodenqualität als optimal gilt und sowohl links als auch rechts von diesem reduziert sich die Qualität.
3. „weniger ist besser“: Je niedriger der Kennwerte desto höher ist die Bodenqualität (Hussain et al. 1999; Hofmann 2005)

Zur Normierung nötig war ein linker Grenzwert (Li), ein rechter Grenzwert (Re) und für Grundtyp zwei noch zusätzlich ein Optimum Wert (Op). Damit wurden die Bodenkennwerte (BKW) in normierte (nBKW) umgewandelt (Hofmann 2005).

4.8.3 Bewertungsfunktionen:

1. „Mehr ist besser“:

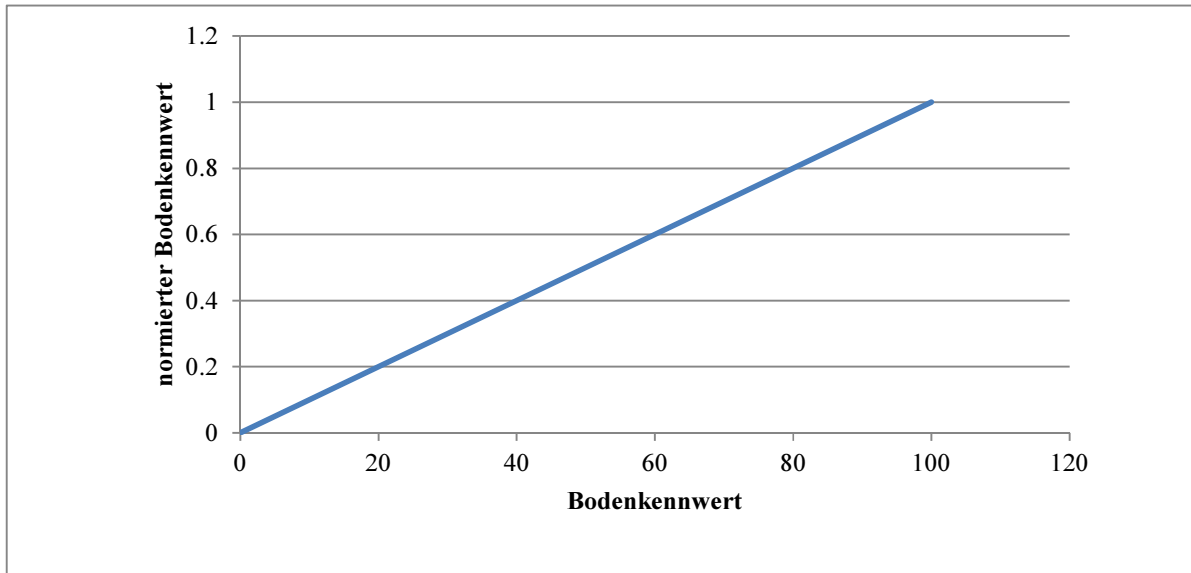


Abbildung 5: Bewertungsfunktion „Mehr ist besser“

(Quelle: Hofmann 2005 nach Karlen et al. 2013a)

$BKW \leq Li$ darauf folgt $nBKW=0$

$Li < BKW \leq RE$ daraus folgt ein Wert für $nBKW$ zwischen 0 - 1.

$BKW > RE$ daraus folgt $nBKW=1$

Folgende Bodenkenwerte wurde nach dieser normalisiert: Durchwurzelungstiefe, Luftkapazität, nutzbare Feldkapazität, gesättigte Wasserleitfähigkeit, Kationenaustauschkapazität, organischer Kohlenstoff und Gesamtphosphor.

2. „Optimum“:

$BKW \leq Li$ daraus folgt $nBKW = 0$

$Li < BKW \leq Opt$ daraus folgt $nBKW = 0 - 1$

$Opt < BKW \leq Re$ daraus folgt $nBKW = 1-0$;

$BKW > RE$ daraus folgt $nBKW = 1$

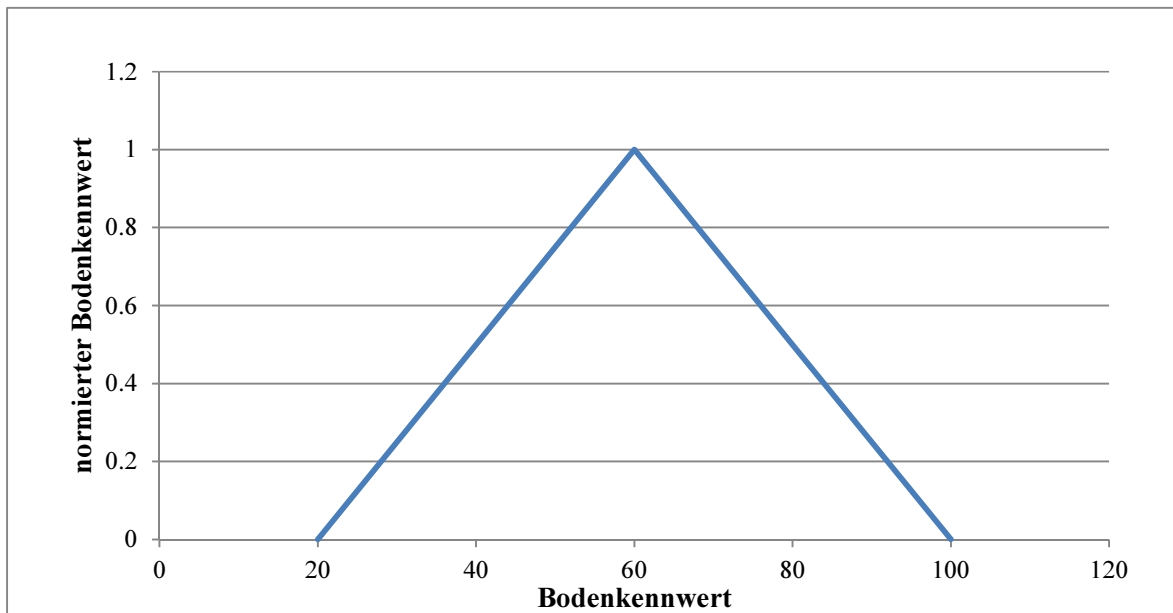


Abbildung 6: Bewertungsfunktion "Optimum"

(Quelle: Hofmann 2005 nach Karlen et al. 2013a)

Folgende Bodenkennwerte wurden mit Hilfe dieser Funktion in normalisierte Bodenkennwerte umgewandelt: pH-Wert, Gesamtstickstoff, C/N Verhältnis und der Porenanteil.

3. „Weniger ist besser“:

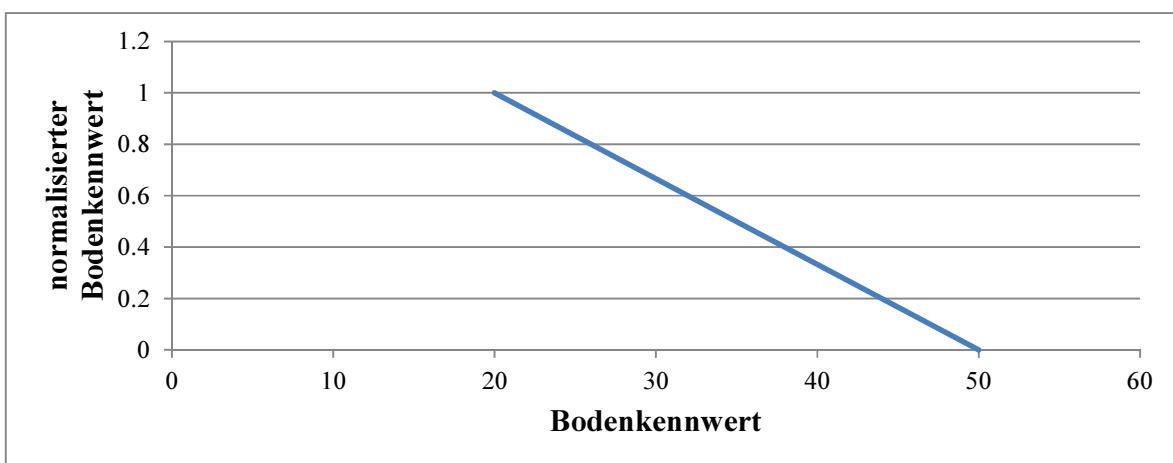


Abbildung 7: Bewertungsfunktion "Weniger ist besser"

(Quelle: Hofmann 2005 nach Karlen et al. 2013a)

$BKW \leq Li$ daraus folgt $nBKW = 1$

$Li < BKW \leq Re$ daraus folgt $nBKW = 0 - 1$

$BKW > Re$ daraus folgt $nBKW = 0$

Folgende Bodenkennwerte wurde nach dieser normalisiert: Trockendichte und elektrische Leitfähigkeit.

In Tabelle 6 werden die jeweiligen Werte für alle nominierten Bodenkennwerte dargestellt.

Tabelle 6: Grenzwerte der Normalisierung

Kenn-wert	Linker Grenz- wert	Rechter Grenz- wert	Optimum Wert	Kenn-wert	Linker Grenz- wert	Rechter Grenz- wert	Optimum Wert
C/N- Verhältnis Tiefe 1	5	30	12	Kationenaustausch- kapazität mMol/kg Tiefe 1	50	150	
Wasserdurchlässig- keitsbeiwert m/d Tiefe 1	0,01	1		Nutzbare Feldkapazität mm (bis Wurzeltiefe)	35	175	
Elektrische Leitfähigkeit µS/cm Tiefe 1	2000	8000		Organischer Kohlenstoff T/ha Tiefe 2	15	90	
Gesamtphosphor t/ha Tiefe 2	0,6	4,5		pH Tiefe 2	4,5	9	6,5
Gesamtstickstoff t/ha Tiefe 2	0,9	35	12,5	Porenanteil % Tiefe 3	20	80	50
Grobporenanteil % Tiefe 1	3	15		Trockendichte g/cm³ Tiefe 3	1,2	1,8	
Verfügbare Wurzeltiefe cm	5	150		Tiefe 1= 0 - 30 cm; Tiefe 2= 0 - 20 cm; Tiefe 3= 0 - 50 cm Quellen: Hofmann 2005; Hussain et al. 1999; Karlen et al. 1994a			

5. Ergebnisse

5.1 Feldansprache:

Zwischen dem 07.08.2013 und den 12.08.2013 wurden Feldansprachen für alle untersuchten Standorte durchgeführt. Dabei wurde eine Ansprache je Versuchsplot durchgeführt. Ziel hierbei war es mögliche Einflussfaktoren auf die die Ergebnisse der Laboranalysen frühzeitig zu erkennen. Der Erhebungsumfang ist im Kapitel Methodik dokumentiert. Die Auswertung folgt dem Aussaat bzw. Bodenbearbeitungsverfahren.

Direktsaat Profilgrube I:



Abbildung 8: Aufnahme Profilgrube DSI

Quelle: Copyright Groll

Standort:

Der Standort weist eine Neigung von 7 – 8 % auf, gemessen wurde dies mit Hilfe eines Messbalkens. Der Standort befindet sich auf einem konvexen Oberhang. Das Kleinrelief ist ausgeglichen und der Boden weist eine Gründigkeit von über 70 cm auf. Ausgangsmaterial der Bodenbildung ist laut Fuchs und Schnabel 2002 Löss. Der Geländebefund unterstützt dieses Ergebnis. Hinweise auf Grundwasserbeeinflussung konnten im Profil keine gefunden werden. Die Bodenwasserverhältnisse wurden als trocken zum Zeitpunkt der Untersuchung eingestuft.

Tabelle 7: Direktsaat Profilgrube 1 Ergebnisse der Feldansprache

Horizont	cm von bis	Horizontbegrenzung		Bodenart	Skelettgehalt	Bodenfarbe Munsell	Fleckung		
		Deutlichkeit	Form				Deckungsgrad	Art	Munsell
A	0-40			IU	2	10YR 3/3			
C	40+	S	g	IU	1	10 YR 5/6	30-40	CaCO ₃	

Aus der Bodenfarbe wurde ein Humusgehalt von ca. 8 Prozent abgeleitet. Dominante Humusform war der Mull. Der Karbonatgehalt wurde mit c4 und c5 im Feld eingestuft, was Gehalten von 10 bis 25 und 25 – 50 % entspricht. Die vorherrschende Form der Aggregate war im A-Horizont Krümel und im C-Horizont Kohärentgefüge mit Verkittung.

Tabelle 8: Laborergebnisse der Profilgrube 1 Direktsaat

Messwert	A-Horizont	C-Horizont
Karbonat CaCO ₃ in %	13	27
Glühverlust in %	8	4
Organischer Kohlenstoff in %	2,25	0,15
Wurzeltiefe	85cm	

Die Bodenart wird daher als typischer Tschernosem eingeschätzt.

Direktsaat Profilgrube 2:



Abbildung 9: Aufnahme Profilgrube Direktsaat II
Copyright Groll

Der Standort weist eine Neigung von 6 – 7 % auf, gemessen wurde dies mit Hilfe eines Messbalkens. Der Standort befindet sich auf einem konvexen Oberhang. Das Kleinrelief ist ausgeglichen und der Boden weist eine Gründigkeit von über 70 cm auf. Ausgangsmaterial der Bodenbildung ist laut Fuchs und Schnabel 2002 Löss. Der Geländebefund unterstützt dieses Ergebnis. Hinweise auf Grundwasserbeeinflussung konnten im Profil keine gefunden werden. Die Bodenwasserverhältnisse wurden als trocken zum Zeitpunkt der Untersuchung eingestuft.

Tabelle 9: Direktsaat Profilgrube 2 Ergebnisse der Feldansprache

Horizont	cm von bis	Horizontbegrenzung		Bodenart	Skelettgehalt	Bodenfarbe Munsell	Fleckung		
		Deutlichkeit	Form				Deckungsgrad	Art	Munsell
A	0-15	de	g	IU	1	10YR 5/4			
Cv	15-27	S	g	IU	1	10 YR 5/6	30-40	Löss	10YR/5/8
C	28+			U	1	10 Yr 5/8			

Aus der Bodenfarbe wurde ein Humusgehalt von 1,5 – 2 % für den obersten Horizont und um 1 % Prozent für Cv und C abgeleitet. Der ermittelte Karbonatgehalt lag für Cv und A zwischen 10 und 25 % und beim C-Horizont bei 25 bis 50 %. Sowohl A als auch Cv verfügten über eine krümmelige Struktur im C- Horizont war ein verkittetes Kohärentgefüge anzutreffen.

Tabelle 10: Laborergebnisse Direktsaat Profilgrube 2

Messwert	Horizont		
	A	CV	C
Glühverlust in %	7,55	6,55	3,35
Organischer Kohlenstoff %	1,81	1,45	0,56
CaCO ₃ in %	13,7	15,19	25,69
Verfügbare Wurzeltiefe	70 cm		

Der Bodentyp ist ein Rumpfterschnosem. Die Merkmale würden auch auf einen Kulturrehoboden passen, allerdings befinden wir uns inmitten eines Tschernosemgebietes. Daher wurde dies Art gewählt.

Konventionell Profilgrube 1:



Abbildung 10: Aufnahme Profilgrube Konventionell I
Copyright Groll

Der Standort weist eine Neigung von 8,5 Grad auf. Der Standort befindet sich auf einem konvexen Oberhang. Das Kleinrelief ist ausgeglichen und der Boden weist eine Gründigkeit von über 70 cm auf. Ausgangsmaterial der Bodenbildung ist laut Fuchs und Schnabel 2002 Löss. Der Geländebefund unterstützt dieses Ergebnis. Hinweise auf Grundwasserbeeinflussung konnten im Profil keine gefunden werden. Die Bodenwasserverhältnisse wurden als trocken zum Zeitpunkt der Untersuchung eingestuft.

Tabelle 11: Konventionell Profilgrube 1 Ergebnisse der Feldansprache

Horizont	cm von bis	Horizontbegrenzung		Bodenart	Skelettgehalt	Bodenfarbe Munsell	Fleckung		
		Deutlichkeit	Form				Deckungsgrad	Art	Munsell
A1	0-25	Di	Lap	IU	1	10YR 4/4			
A2	25-40	de	w	IU	5-10%	10 YR 4/4			
C	40+			U	1	10 YR 5/6			

Der Humusgehalt laut Feldansprache lag damit für A1 und A2 bei 6 – 9 % und im C bei 3 - 4 %. Der ermittelte Karbonatgehalt lag für A1 bei 10 - 25 und für A2 und C bei 25 – 50 %. Die Aggregate verändert sich über das Profil hinweg. Bei A1 krümelig, bei A2 subpolyeder und bei C kohärent Gefüge mit Verkittung.

Tabelle 12: Laborergebnisse Konventionelle Profilgrube 1

Messwert	Horizont		
	A1	A2	C
Glühverlust in %	6,78	4,81	2,67
Organischer Kohlenstoff	1,35	0,89	0,3
CaCO ₃ in %	15,39	19,20	26
Verfügbare Wurzeltiefe	80cm		

Der Bodentyp wird als typischer Tschernosem klassifiziert.

Konventionell Profilgrube 2:



Abbildung 11: Aufnahme Profilgrube Konventionell II
Copyright Groll

Der Standort weist eine Neigung von 7 - 8 Grad auf. Der Standort befindet sich auf einem konvexen Oberhang. Das Kleinrelief ist ausgeglichen und der Boden weist eine Gründigkeit von

über 70 cm auf. Ausgangsmaterial der Bodenbildung ist laut Fuchs und Schnabel 2002 Löss. Der Geländebefund unterstützt dieses Ergebnis. Hinweise auf Grundwasserbeeinflussung konnten im Profil keine gefunden werden. Die Bodenwasserverhältnisse wurden als trocken zum Zeitpunkt der Untersuchung eingestuft.

Tabelle 13: Konventionell Profilgrube 2 Ergebnisse der Feldansprache

Hori- zont	cm von bis	Horizontbegrenzung		Boden- art	Skelett- gehalt	Bodenfarbe Munsell	Fleckung		
		Deutlichkeit	Form				Deck- ungs- grad	Art	Munsell
A	0-25	s	L	uL	1	10YR 4/4	30		10YR/5/8
C	25+			U	1	10 YR 5/8			

Der Humusgehalt beim A- Horizont liegt zwischen 6 – 9 % und beim C-Horizont im Bereich von 3 – 4 %. Der Karbonatgehalt liegt laut Feldschätzung im A-Horizont zwischen 10-25 und im C-Horizont bei 25 - 50 %. In Bezug auf die Aggregate liegen im A-Horizont krümelige Aggregate vor und im C-Horizont ein verkittetes Kohärentgefüge.

Tabelle 14 Laborergebnisse Konventionelle Profilgrube 2

Messwert	Horizonte	
	A	C
Glühverlust in %	5,79	3,5
Organischer Kohlenstoff	0,77	0,44
CaCO ₃ in %	21,14	24,25
Verfügbare Wurzeltiefe	70	

Der Bodentyp wurde als Rumpfschernosem klassifiziert.

Konservierende Bodenbearbeitung Profilgrube 1:



Abbildung 12: Aufnahme Profilgrube konservierende Bodenbearbeitung I
Copyright Groll

Der Standort weist eine Neigung von 7 - 8 Grad auf. Der Standort befindet sich auf einem konvexen Oberhang. Das Kleinrelief ist ausgeglichen und der Boden weist eine Gründigkeit von über 70 cm auf. Ausgangsmaterial der Bodenbildung ist laut Fuchs und Schnabel 2002 Löss. Der Geländebefund unterstützt dieses Ergebnis. Hinweise auf Grundwasserbeeinflussung konnten im Profil keine gefunden werden. Die Bodenwasserverhältnisse wurden als trocken zum Zeitpunkt der Untersuchung eingestuft.

Tabelle 15 Konservierend Profilgrube 1 Ergebnisse der Feldansprache

Horizont	cm von bis	Horizontbegrenzung		Bodenart	Skelettgehalt	Bodenfarbe Munsell	Fleckung		
		Deutlichkeit	Form				Deckungsgrad	Art	Munsell
A1	0-18	G	W	IU	5	10YR 3/4			
A2	18-40	G	W	IU	2	10 YR 4/4			
C	40+			U	1	10 YR 5/6			

Der Humusgehalt des A1-Horizontes liegt ungefähr zwischen 9 - 15 bei A2 6 - 9 und beim C-Horizont im Bereich von 3 - 4 %. Die Kalkgehalte liegen bei A1 und A2 bei 10 - 25 und bei C bei 25 - 50. Die Aggregate verändern sich im Laufe des Profils. Im obersten Horizont dominieren Krümel, anschließend subpolyeder und im C-Horizont liegt ein verkittetes Kohärentgefüge vor.

Tabelle 16: Laboregebnisse Konservierend Profilgrube 1

Messwert	Horizonte		
	A1	A2	C
Glühverlust in %	6,99	4,64	3,8
Organischer Kohlenstoff	1,66	0,93	0,304
CaCO ₃ in %	12,96	13,58	24,73
Verfügbare Wurzeltiefe	90cm		

Der Bodentyp dieses Standortes wird als Tschernosem klassifiziert. Einzelne Merkmale, wie die Chromastufe Farbumterschied zwischen A1 und A2 würden für eine Braunerde sprechen, allerdings verändert sich die Textur nicht, daher wird dieser Standort als Tschernosem klassifiziert.

Konservierende Bodenbearbeitung Profilgrube 2:



Abbildung 13: Profilaufnahme konservierende Bodenbearbeitung II
Copyright Groll

Der Standort weist eine Neigung von 7 Grad auf und befindet sich auf einem konvexen Oberhang. Das Kleinrelief ist ausgeglichen und der Boden weist eine Gründigkeit von über 70 cm auf. Ausgangsmaterial der Bodenbildung ist laut Fuchs und Schnabel 2002 Löss. Der Geländebefund unterstützt dieses Ergebnis. Hinweise auf Grundwasserbeeinflussung konnten im Profil keine gefunden werden. Die Bodenwasserverhältnisse wurden als trocken zum Zeitpunkt der Untersuchung eingestuft.

Tabelle 17: Konservierende Profilgrube 2 Ergebnisse der Feldansprache

Horizont	cm von bis	Horizontbegrenzung		Bodenart	Skelettgehalt	Bodenfarbe Munsell	Fleckung		
		Deutlichkeit	Form				Deckungsgrad	Art	Munsell
A	0-24	S	G	IU	1	10 YR 4/4			
C	24+			U	1	10YR5/6			

Im A-Horizont liegt der Humusgehalt bei 6 – 9 % im C nur bei 3 – 4 %. Der Kalkgehalt nimmt von ca. 10 - 25 im A auf 25 – 50 % im C-Horizont zu. Im A-Horizont liegen die Aggregate in Form von Krümel und im C in Form eines verkitten Kohärentgefüges vor. Die Humusform ist Mull.

Tabelle 18 Laborergebnisse Konservierend Profilgrube 2

Messwert	Horizont	
	A	C
Glühverlust in %	6,85	5,090
Organischer Kohlenstoff	1,74	0,87
CaCO ₃ in %	16,00	16,18
Verfügbare Wurzeltiefe	70cm	

A-Horizont Werte stammen aus den Messwerten für die ersten fünf Zentimeter.

Beim Bodentyp handelt es sich um einen Rumpfschernosem.

5.2 Textur - Korngrößenverteilung:

Die Textur sorgt für den primären Charakter des jeweiligen Bodens am Standort. Daher handelt es sich bei der Textur um einen wichtigen Kennwert. (Scheffer et al. 2010) Desto kleiner die Korngröße, desto größer ist die jeweilige Oberfläche und das damit verbundene Sorptionsvermögen. Die Analyse der Korngrößenverteilung brachte das Ergebnis, dass es sich bei den untersuchten Profilgruben hauptsächlich um die Bodenarten lehmiger Schluff und schluffiger Lehm handelte. Nur in wenigen Horizonten wurden die Bodenarten sandiger Schluff und Schluff festgestellt. Die Einteilung der Bodenart erfolgte auf Basis der ÖNORM L1050. Insgesamt waren die Versuchspartzellen einigermaßen homogen. Bei den 36 Proben handelt es sich um die Bodenarten Schluff, lehmiger Schluff und schluffiger Lehm. Daraus lässt sich erwarten, dass die nutzbaren Feldkapazitäten Werte von 20 bis 24 % erreichen werden.

Eine Analyse mit Hilfe eines Kolmogorov-Smirnov Test bestätigte, dass die Prozentwerte für Ton, Schluff und Sand eine Normalverteilung aufweisen. Daher wurde zur Analyse, ob die Standorte in Bezug auf ihre Textur signifikante Unterschiede aufweisen eine ANOVA verwendet. Diese kam zum Ergebnis, dass signifikante Unterschiede zwischen den Standorten in Bezug auf ihre Sand- und Schluffgehalte bestehen, hingegen keine in Bezug auf die Tongehalte. Abbildung 14 gibt einen Überblick über die Bodenarten auf den untersuchten Versuchsflächen.

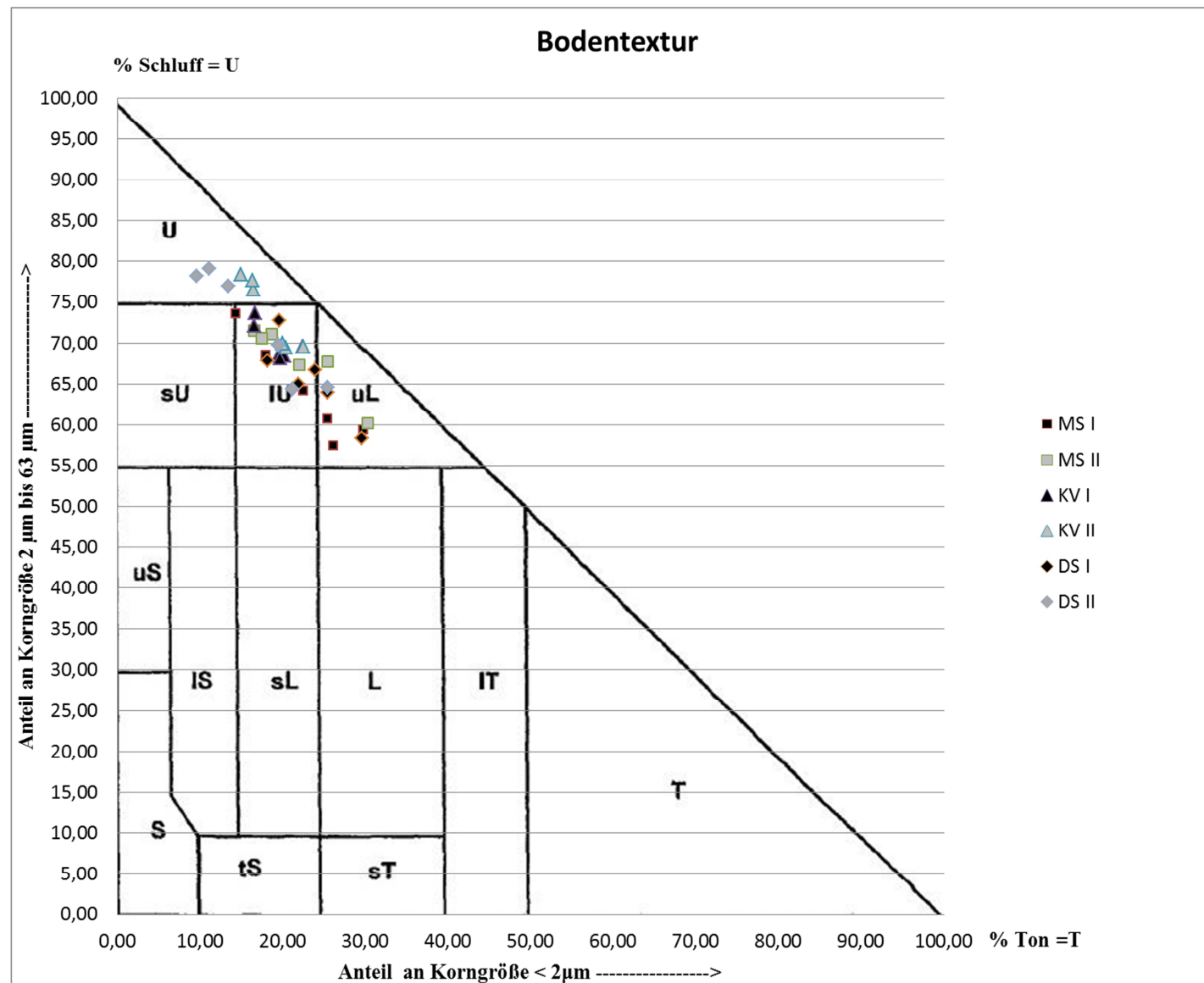


Abbildung 14: Texturdreieck nach ÖNORM L 1050

5.3 Trockendichte:

Die Trockendichte stellt einen Indikator für die Zusammensetzung des Bodens, seine Verdichtung und damit seine Durchwurzelbarkeit dar. (Blume et al. 2011; Scheffer et al. 2010) Dieser Wert ist einerseits abhängig von der Jahreszeit oder menschlichen Einfluss, aber auch von der Zusammensetzung des Bodens, da organische Substanz nur annähernd halb so hohe Dichten aufweist, wie mineralische Substanz.

Der Mittelwert über alle Bearbeitungsverfahren lag bei 1,42 g pro cm^3 , bei einem Minimum von 1,06 und einem Maximum von 1,415. Die Standardabweichung lag bei 0,113.

In Bezug auf die Mittelwerte brachte die Analyse ein differenziertes Bild. Die Mittelwerte lagen am höchsten für die Direktsaat mit 1,44 g pro cm^3 und 1,43. Für die konventionelle Bearbeitung wurden Mittelwerte von 1,41 und 1,39 gemessen. Bei der Mulchsaat lagen die Werte bei 1,44 und 1,37 g pro cm^3 . Abbildung 15 bietet einen Überblick über Trockendichte in Abhängigkeit von der Entnahmetiefe.

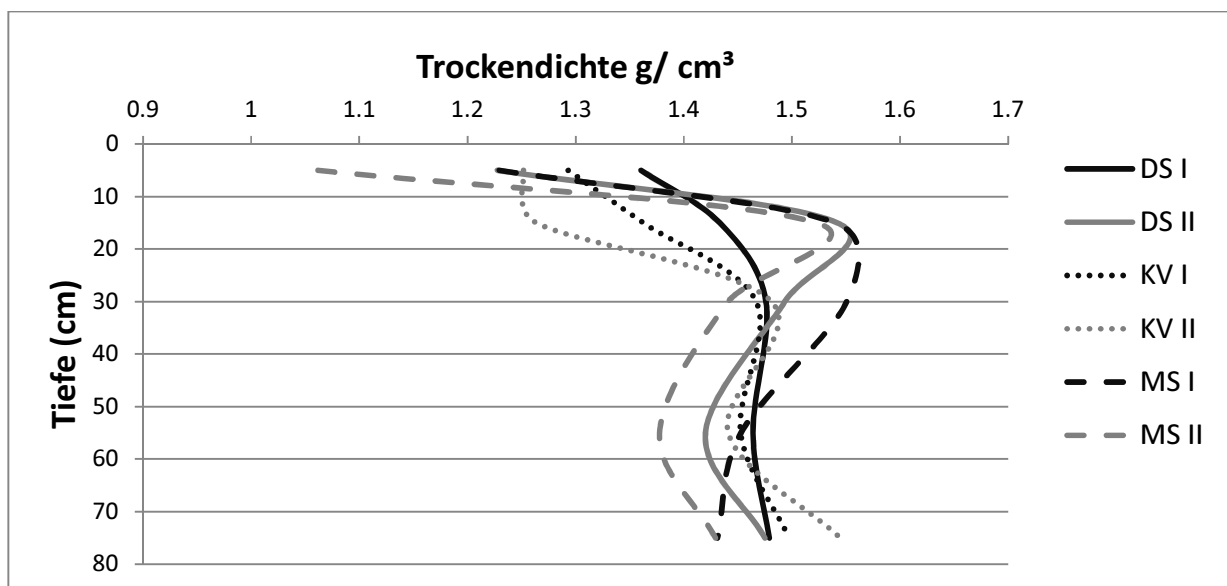


Abbildung 15: Trockendichte in g/cm^3 0 - 75cm

In den obersten 5 cm wies die Mulchsaat die niedrigsten Werte auf mit 1,06 und 1,23 g pro cm^3 . Die Direktsaat lag mit den Mittelwerten von 1,23 und 1,36 im Durchschnitt höher. Die konventionelle Bearbeitung wies die geringsten Unterschiede zwischen beiden Profilgruben auf, mit den Werten von 1,25 und 1,29 g pro cm^2 .

In den Tiefen von 10 - 15 und 25 - 30cm wies die konventionelle Bearbeitung deutlich niedrigere Werte auf, was bei dieser Bearbeitungsmethode zu erwarten ist. Auffallender ist allerdings, dass

die Proben des westlichen Hanges mit der Tiefe abnehmende Trockendichten aufweisen, wohingegen am östlichen Hang eine derartige Entwicklung nicht zu beobachten ist. Über das gesamte Profil betrachtet konnten die statistischen Tests keine signifikanten Unterschiede feststellen.

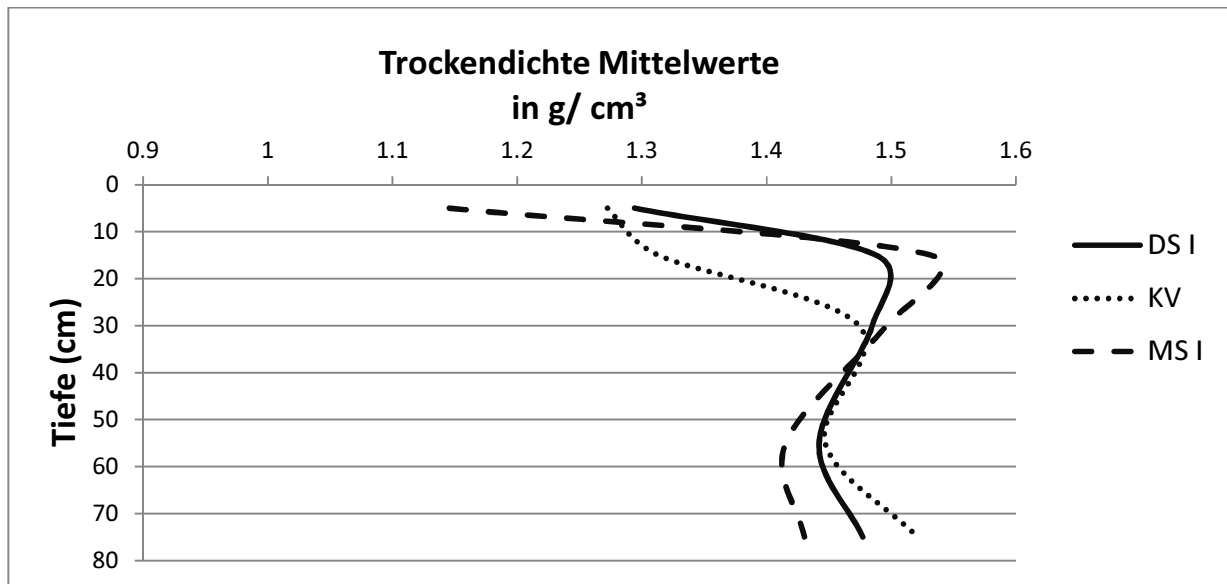


Abbildung 16: Trockendichte in g pro cm³ Mittelwerte Bearbeitungsverfahren 0 - 75 cm

Für den obersten Horizont konnten mit Hilfe einer ANOVA hoch signifikante Unterschiede zwischen den Bearbeitungsverfahren nachgewiesen werden, wobei die konservierenden Methoden keine Unterschiede zu einander aufwiesen allerdings signifikante Unterschiede gegenüber der konventionellen Bearbeitung.

Tabelle 19: Trockendichte in g/cm³

Tiefenstufe in cm	Trockendichte g/cm ³											
	KV I		MS I		DS I		KV II		MS II		DS II	
	MW	STW	MW	STW	MW	STW	MW	STW	MW	STW	MW	STW
0 - 5 a	1,29	0,04	1,23	0,02	1,36	0,04	1,25	0,03	1,06	0,05	1,23	0,07
10 - 15	1,36	0,06	1,54	0,06	1,43	0,07	1,26	0,06	1,52	0,01	1,54	0,02
25 - 30	1,47	0,03	1,55	0,03	1,48	0,03	1,48	0,00	1,44	0,02	1,49	0,04
50 - 55	1,45	0,05	1,45	0,03	1,46	0,01	1,44	0,04	1,38	0,01	1,42	0,05
70 - 75	1,50	0,02	1,43	0,08	1,48	0,04	1,54	0,13	1,43	0,03	1,48	0,03
Mittelwert	1,41		1,44		1,44		1,40		1,37		1,43	
a signifikante Unterschiede (p < 0.05)						Testverfahren: Normalverteilung vorhanden daher ANOVA						

Unterschiede zur Analyse von Hofmann aus dem Jahr 2005 (Hofmann 2005)

Grundsätzlich lagen die Werte des Jahres 2013 niedriger als jene Werte von Hofmann aus dem Jahr 2005. Allerdings sind die Unterschiede überwiegend sehr gering und liegen bei weniger als 5 %. Allerdings sind die Werte für die ersten 5 cm deutlich verändert. Lag der Mittelwert für die konservierende Bodenbearbeitung (Mulchsaat) noch bei 1,35 lag er 2014 nur bei 1,14. Ebenso war der Wert für die Direktsaat von 1,40 auf 1,29 gesunken. Hingegen konnte ein deutlicher Anstieg bei der konventionelle Bewirtschaftung von Mittelwert 1,13 auf Mittelwert 1,27 gemessen werden. Im Bereich der nicht wendenden Bodenbearbeitung kam es zu einer marginalen Erhöhung der Werte im Bereich 25 - 30cm. Bei der konservierenden Bearbeitung stieg der Wert von 1,40 auf 1,49. Bei der Direktsaat von 1,46 auf 1,48. Ungünstig für das Pflanzenwachstum könnte das Überschreiten der Trockendichte von 1,5 in der Tiefe von 10 - 15cm bei konservierender Bearbeitung und Direktsaat sein.

Zusammenfassend können die Mittelwerte als Mittel bis gering eingestuft werden. (Blume et al. 2011)

5.4 Feststoffdichte:

Die Feststoffdichte stellt die Materialkonstante der Bodenpartikel dar. Diese kann nur überaus langfristig verändert werden. Allerdings bildete diese die Grundlage für die Berechnung des Porenvolumens.

Tabelle 20: Feststoffdichte in g/cm³ für 0 - 75 cm

Feststoffdichte in g/ cm³		
	MW	STW
KV I	2,62	0,07
KV II	2,66	0,06
MS I	2,64	0,10
MS II	2,55	0,09
DS I	2,57	0,09
DS II	2,50	0,05
Mittelwert	2,59	

Unterschiede zur Analyse von Hofmann aus dem Jahr 2005 (Hofmann 2005).

Die Feststoffdichten zeigen eine große Ähnlichkeit in Bezug auf die Mittelwerte zu den Ergebnissen von Hofmann aus dem Jahr 2005. Die Unterschiede liegen meist deutlich unter 10 Prozent.

5.5 Porenanteil bzw. Porenvolumen:

Der Porenanteil eines Bodens ist für den Luft- und Wasserhaushalt eines Bodens von höchster Bedeutung. Dieser Porenanteil ist abhängig von der Körnung, Kornform, Bodenentwicklung und organischer Substanz. (Scheffer et al. 2010) Grundsätzlich ist der Porenanteil je höher, desto niedriger die Korngröße ist. Daher weisen Tone die höchsten Porenanteile auf. Grundsätzlich kann zwischen verschiedenen Porenformen unterschieden werden. Grobporen weit und eng, Mittelporen und Feinporen. Grobporen fördern die Infiltration, die Luftversorgung, Mittelporen speichern gemeinsam mit den engen Grobporen pflanzenverfügbares Wasser und die Feinporen beinhalten Totwasser. Die Unterschiede können mit Hilfe von pF-Kurven ermittelt werden.

Die Porenanteile wurden mit Hilfe der Feststoffdichte und der Trockendichte errechnet. (Scheffer et al. 2010) Zur Kontrolle wurde zusätzlich der Wert für das Porenvolumen aus der Bestimmung der Matrixpotential-Wasseranteilsbeziehung aus dem Kapillarimeter nach Fischer ausgewiesen. Über dieses Verfahren kann theoretisch auch, das Porenvolumen bestimmt werden, allerdings ist dieses wesentlich fehleranfälliger.

In Bezug auf die Porenanteile verändert sich dieses im Lauf der Tiefe. Die höchsten Anteile wurden in einer Tiefe von 5 cm für die Mulchsaat gemessen, was ungefähr der Arbeitstiefe des Grubbers entspricht. Im Anschluss bis auf 15 cm werden klar die Vorteile des Pfluges ersichtlich. Unterhalb der Pflugsohle weisen Mulchsaat und konventionelle Bearbeitung ähnliche Werte auf. Dies überrascht, da eigentlich bei Direktsaat kein derartiger Rückgang des Porenvolumens zu erwarten war. Die statistischen Tests konnten in Form von ANOVAs ausgeführt werden, da die Daten Normalverteilung aufwiesen. In den Tiefenstufen 0 – 5, 25 - 30 und 50 – 55 cm wurden signifikante Unterschiede zwischen den beiden konservierenden Verfahren, mit höheren Werten für die Mulchsaat festgestellt. Wohingegen in der Tiefenstufe 10 – 15 cm die Unterschiede zwischen den beiden konservierenden Verfahren und der konventionellen Variante, mit höheren Werten für die konventionelle, signifikant waren.

Tabelle 21: Porenvolumen in unterschiedlichen Bodentiefen

Tiefenstufe in cm	Porenvolumen in Vol. (%) aus Feststoffdichte					
	KV		MS		DS	
	MW	STW	MW	STW	MW	STW
0 – 5 a	51,79	1,15	55,90	2,47	49,92	2,86
10 – 15 a	50,24	2,25	40,96	0,69	42,46	1,77
25 – 30 a	44,16	0,15	42,37	1,11	42,56	0,00
50 – 55 a	45,19	0,63	45,47	0,51	44,21	1,17
70 - 75	42,39	0,46	44,87	0,92	42,86	0,41
Mittelwert	46,75		45,91		44,40	
a signifikante Unterschiede (p < 0.05)				Testverfahren: Normalverteilung vorhanden daher ANOVA		

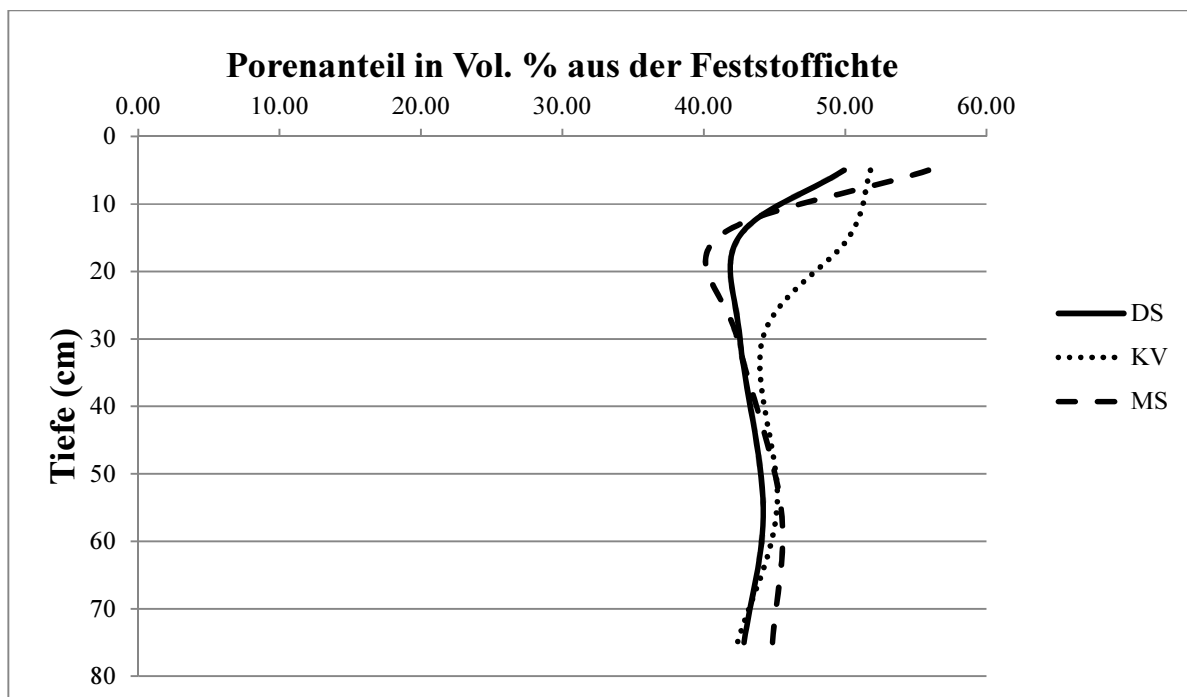


Abbildung 17: Porenanteil in Vol. % aus der Feststoffdichte

Zur Kontrolle wurden die Vergleichswerte für vollständige Wassersättigung der Stechzylinder herangezogen. Die Werte sind zwar geringfügig niedriger aber die Struktur des Verlaufes wird eindeutig bestätigt. Die Differenzen betrug meist nur 1 - 2 Prozent.

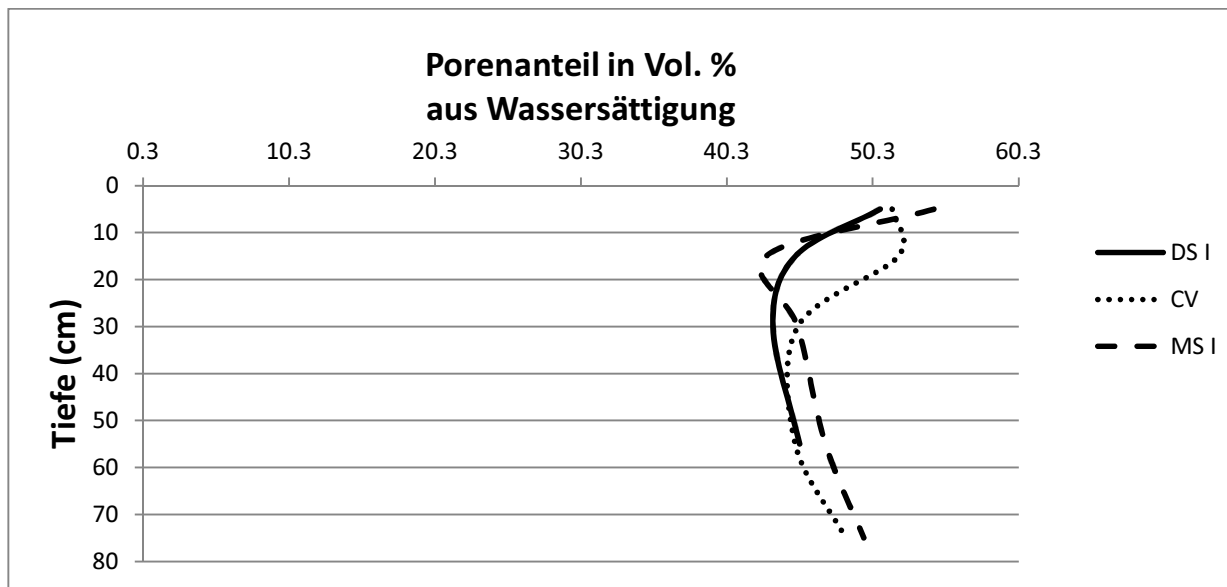


Abbildung 18: Porenanteil in Vol.% aus Wassersättigung

Unterschiede und Ähnlichkeiten zur Analyse von Hofmann aus dem Jahr 2005 (Hofmann 2005)

Im Vergleich zu den Ergebnissen von Hofmann aus 2005 kam diese Studie zu folgenden Gemeinsamkeiten. Die niedrigsten Werte in Bezug auf die Porenvolumen wurden bei Direktsaat gemessen. Das war es schon die einzige Gemeinsamkeit: 2013 waren die Werte für die Mulchsaat im obersten Horizont deutlich höher als für die konventionelle Bearbeitung. Bei beiden Profilen konnte dies beobachtet werden. Der Wert lag um 4 % höher als 2005. Im Bereich der konventionellen Bewirtschaftung lag der Wert um vier Prozent unter jenem von 2005. Auch bei der Direktsaat kam es zu einer Erhöhung der Porenanteile im Vergleich zu 2005, allerdings meist nur im einstelligen Prozentbereich. Auffällig war, dass das Porenvolumen bei konventioneller Bearbeitung im Vergleich zu 2005 in drei von fünf Tiefenstufen gesunken ist, wohingegen bei Direktsaat in fünf von fünf und bei konservierender Bewirtschaftung in vier von fünf eine Erhöhung des Porenvolumens gemessen werden konnte.

5.6 Beziehung zwischen Matrixpotential und Wassergehalt (pF- Kurven):

Die Wassermenge, die in einem Boden an einem bestimmten Ort vorliegt, ist von zahlreichen Faktoren abhängig. Grundsätzlich von Bedeutung sind das Porenvolumen und die Porengrößenverteilung. Die Beziehung zwischen Wassergehalt und Matrixpotential ist für jede Schicht bzw. Horizont charakteristisch. Den größten Einfluss darauf haben die Körnung und das

Gefüge. Beim Gefüge kann der Mensch über die Bodenbearbeitung einen großen Einfluss ausüben, vor allem die sekundären Grobporen können verändert werden. (Scheffer et al. 2010) Sie dient zur Beurteilung der Wasserspeicherung und der Verfügbarkeit von Wasser für die Pflanzen. Im Labor wurde eine reine Entwässerungskurve gemessen. Zur Beurteilung werden mehrere Kennwerte verwendet:

- Feldkapazität (FK): ist jener Druckbereich in dem das Wasser gegen die Schwerkraft im Boden gehalten werden kann. Dieser Zustand tritt erst mehrere Tage nach vollständiger Wassersättigung auf. In der Literatur werden verschiedene Werte angegeben, je nach der Höhendifferenzen zur Grundwasseroberfläche. Am häufigsten wird der Bereich zwischen pF 1,8 und pF 2,5 in der Literatur angegeben. Dies entspricht zwischen 60 bis 300 hpa. (Blume et al. 2011; Scheffer et al. 2010). Die obere Grenze für die Feldkapazität liegt bei 15.000 hpa.
- Permanenter Welkpunkt (PWP): Pflanzen entziehen dem Boden Wasser. Wenn nun kein Wasser nachgeliefert wird, ob aus Niederschlägen oder Grundwasser, wird irgendwann der Punkt erreicht, ab jenem die Pflanze das Wasser nicht mehr nutzen kann und damit die Verluste aus der Transpiration nicht mehr ausgeglichen werden. Die Pflanze beginnt zu welken. Für die meisten Pflanzen, wie Sonnenblume oder Kiefer, liegt dieser Wert bei 15.000 hpa. Wie viel Prozent des Bodenwassers nach dem PWP noch vorhanden sind, wird durch den Tongehalt determiniert. Je höher der Gehalt an Ton, desto höher der Wassergehalt über PWP. (Scheffer et al. 2010; Blume et al. 2011)
- Luftkapazität (LK): Anteil der Grobporen mit einem Durchmesser größer als 50 μm , dies entspricht pF 1,8 oder 60 hpa. Diese dränen sehr schnell durch die Schwerkraft, daher sind diese die luftgefüllten Poren. (Blume et al. 2011)

Die pF-Kurven entsprechen bei weitem der Normvorstellung von Lössböden. Vor allem im Bereich der obersten fünf Zentimeter besitzt die Parzelle der Direktsaat ein deutlich günstigeres Wasserspeichervermögen. Detaillierte Angaben finden sich im Anschluss bei den Tabellen über nFK und LK oder im Anhang A.

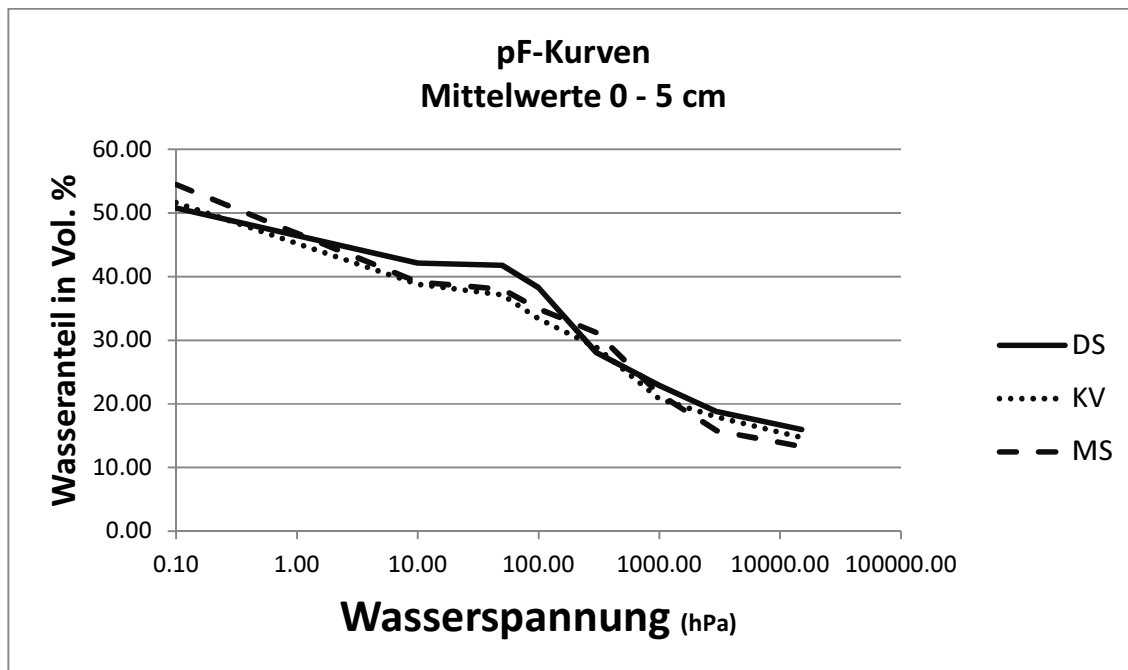


Abbildung 19: pF-Kurve bei 0 - 5cm.

Im Wirkungsbereich des Pfluges bei 10 - 15 cm sind hingegen deutlich die Vorteile des Pfluges zu erkennen. Die Bodenbearbeitung hat einen deutlich höheren Anteil an Grobporen hervor-gebracht.

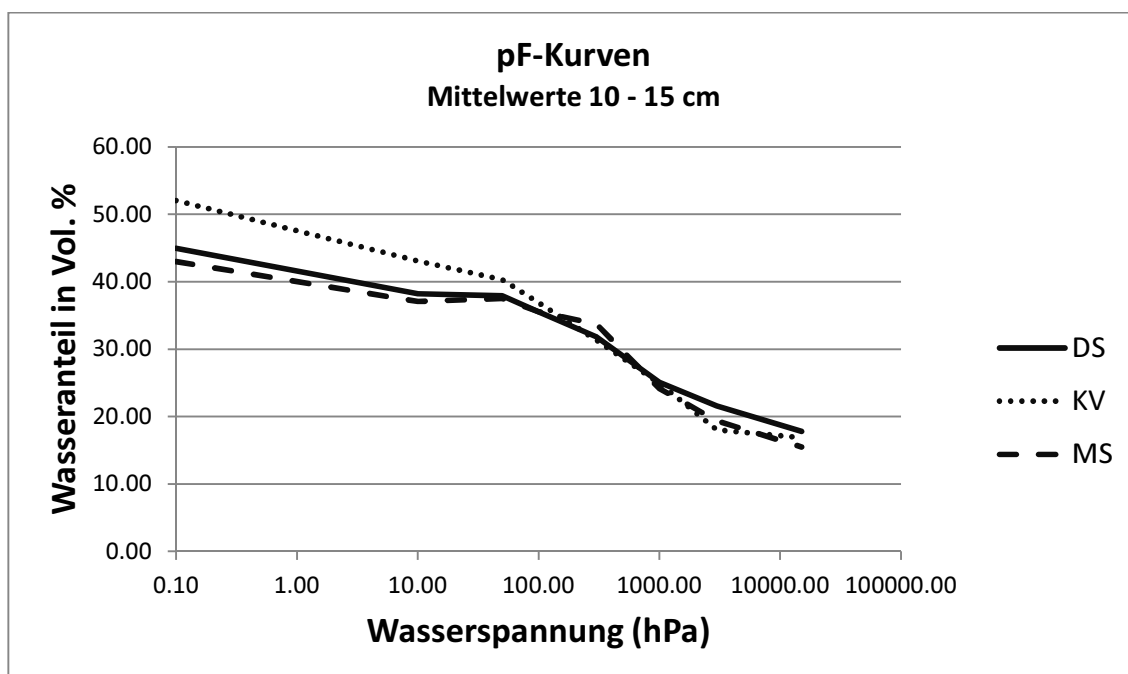


Abbildung 20: pF-Kurve bei 10 - 15cm

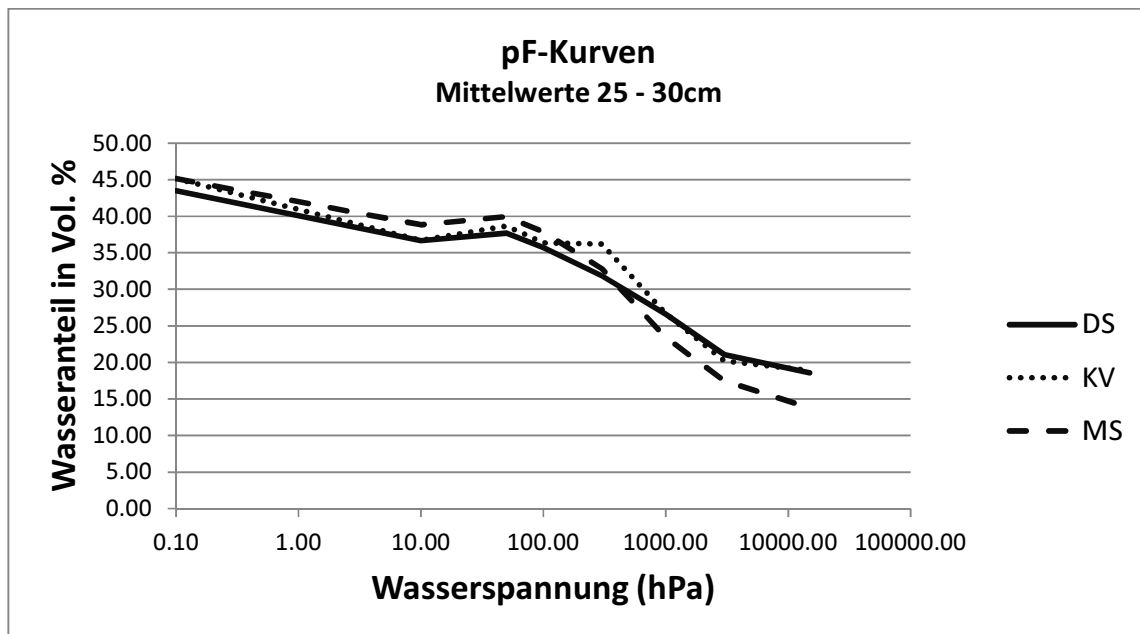


Abbildung 21: pF- Kurve bei 25 - 30cm

In diesem Tiefbereich unterhalb des Pfluges wäre eigentlich eine ungünstigere Entwicklung im Bereich der konventionellen Bearbeitung zu erwarten gewesen. Die Kurve für die Mulchsaat unterscheidet sich deutlich von den pF-Kurven der anderen Bodenbearbeitungsverfahren.

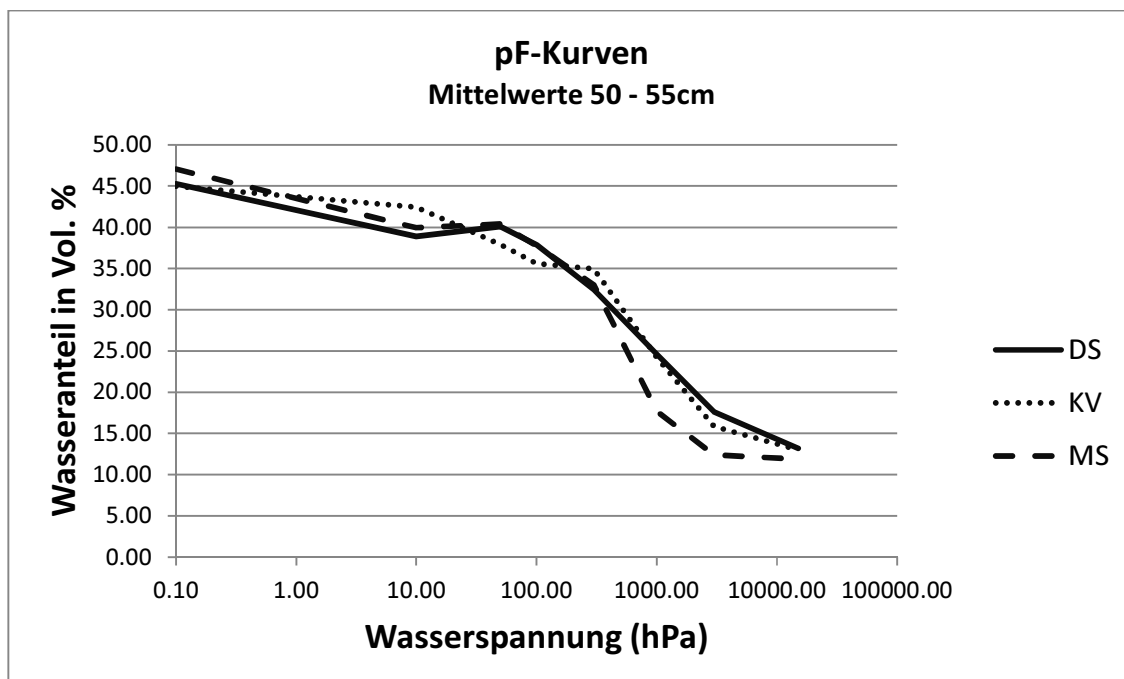


Abbildung 22: pF-Kurve bei 50 - 55cm

Die Situation bei einer Tiefe von 50 - 55cm ist nahezu dieselbe wie bei der Tiefe von 25 – 30 cm.

5.7 Luftkapazität - Grobporen

Tabelle 22: Luftkapazität in Vol.% bis 60 hpa oder 300 hpa

Tiefenstufe in cm	LK in Vol. % bis 60 hpa						LK in Vol. % bis 300hpa					
	KV		MS		DS		KV		MS		DS	
	MW	STW	MW	STW	MW	STW	MW	STW	MW	STW	MW	STW
0 - 5 a	14,47	0,02	16,48	0,01	9	0,02	22,73	0,03	23,28	0,03	22,74	0,02
10 - 15 a	11,73	0,02	5,46	0,00	7,07	0,02	20,72	0,01	9,26	0,01	13,16	0,00
25 - 30	6,5	0,01	5,19	0,00	5,77	0,01	8,95	0,01	12,31	0,01	11,6	0,01
50 - 55	7,08	0,01	6,67	0,01	5,2	0,01	10,03	0,01	14,04	0,00	12,87	0,01
70 - 75	5,59	0,00	6,56	0,01	5,82	0,02	14,7	0,01	16,43	0,00	13,51	0,01
Mittelwert	9,07		8,07		6,57		15,43		15,06		14,78	
a signifikante Unterschiede (p < 0.05)							Testverfahren Kruskal-Wallis Test					

Anhand der Tabelle oberhalb wird ersichtlich, dass es im Bereich der Luftkapazität unterschiedliche Konventionen gibt, ab welchen Wert die Feldkapazität anfängt. Blume (et al. 2011) empfiehlt die Luftkapazität mit 60 hpa zu begrenzen. Scheffer und Schachtschabel (2011) bieten beide Werte an. Hofmann verwendete in ihrer Untersuchung die 300 hpa Grenze, daher wurde die Luftkapazität noch einmal gesondert ausgewiesen.

In Bezug auf die Grobporen stellt das Ergebnis keine Überraschung dar: Die Direktsaat kommt gesamt betrachtet auf den niedrigsten Anteil mit 6,57 Vol.% vor 8,07 bei Mulchsaat und 9,07 % bei konventioneller Bewirtschaftung. Besonders ist allerdings, dass der Grobporenanteil bei Mulchsaat/ konservierender Bodenbearbeitung in der Tiefenstufe 0 - 5 cm am höchsten ist. Der Vorteil des Pfluges wird bei der konventioneller Bewirtschaftung in der Tiefenstufe 10 - 15cm sichtbar. Der Wert entspricht nahezu dem doppelten Wert der Mulchsaat. Bei der 300 hpa Grenze verwischen sich die Unterschiede, die Trends bleiben gleich, aber die Differenzen sind deutlich kleiner. Der Kruskal-Wallis Test bestätigte signifikante Unterschiede für die Tiefen 0 – 5 und 10 – 15 cm bei einer Luftkapazität < 60hpa. Für die Luftkapazität < 300hpa konnten nur in der Tiefenstufe 10-15cm signifikante Unterschiede festgestellt werden.

Unterschiede und Ähnlichkeiten zur Analyse von Hofmann aus dem Jahr 2005 (Hofmann 2005)

Seit 2005 scheint sich in Bezug auf die Luftkapazität einiges verändert zu haben. Die Luftkapazität ist im Bereich der konventionellen Bewirtschaftung deutlich niedriger als 2005. In drei von vier Tiefenstufen ist der Wert deutlich gesunken. Bei der Direktsaat stieg die Luftkapazität in drei von vier Tiefenstufen, teilweise sogar mehr als deutlich in der ersten Tiefenstufe von 13,06 Vol. % auf 22,74 Vol. %.

5.8 Nutzbare Feldkapazität - Mittelporen:

Tabelle 23: nutzbare Feldkapazität

Tiefenstufe in cm	nFK 60hpa bis 15.000 hpa						nFK 300hpa bis 15.000hpa					
	KV		MS		DS		KV		MS		DS	
	MW	STW	MW	STW	MW	STW	MW	STW	MW1	STW	MW	STW
0 - 5 a	18,68	0,01	21,64	0,03	22,33	0,03	14,2	0,02	17,93	0,02	12,12	0,01
10 - 15 a	20,04	0,03	20,03	0,04	17,73	0,01	14,48	0,04	18,24	0,02	14,03	0,02
25 - 30	17,46	0,03	24,09	0,04	17,12	0,02	17,3	0,00	19,08	0,03	13,26	0,01
50 - 55	22,57	0,08	25,89	0,05	24,69	0,02	21,94	0,03	21,15	0,01	19,23	0,03
70 - 75	27,43	0,02	28,05	0,01	26,55	0,05	20,4	0,02	20,64	0,01	20,69	0,03
nFK in mm/ 70cm interpoliert	146,2		169,7		150,2		127,6		137,3		111,8	
nFK in mm/ 70cm aus Mittelwert	148,7		167,6		151,8		123,6		135,8		111	
MW	21,24		23,94		21,68		17,66		19,41		15,86	
a signifikante Unterschiede (p <0.05)								Testverfahren: Kruskal-Wallis Test				

In Bezug auf die nutzbare Feldkapazität zeigt sich die Bedeutung der Grenzwerte. Mit der Abgrenzung bei 60 hpa weist die Mulchsaat deutlich die höchsten Werte auf, vor der Direktsaat und der konventionellen Bearbeitung. Nur in der Tiefenstufe 10 - 15cm weist die konventionelle Bearbeitung den höchsten Wert auf. Bei Verwendung der 300hpa Grenze, wie bei Hofmann (2005) verändert sich das Bild. Die Direktsaat liegt nun deutlich niedriger als die konventionelle Bearbeitung und die Mulchsaat kann immer noch die höchsten Werte auf sich vereinigen. Dies wird sowohl durch den Mittelwert als auch die nutzbare Feldkapazität in mm bestätigt. Grundsätzlich ist die nFK als hoch einzustufen. (Blume et al. 2011) Auf den Meter bezogen können die Werte als sehr hoch bezeichnet werden. (Scheffer et al. 2010). In den obersten Tiefenstufen unterscheiden sich die Bodenbearbeitungs- und Aussaatverfahren signifikant.

Unterschiede und Ähnlichkeiten zur Analyse von Hofmann aus dem Jahr 2005

Der Vergleich bezieht sich auf die nFK bei 300 bis 15.000 hpa. Grundsätzlich ist im Vergleich zur Untersuchung von Hofmann (2005) die nutzbare Feldkapazität bei Mulchsaat und konventioneller Bearbeitung gestiegen. Bei der Direktsaat kam es zu einer Abnahme der nutzbaren Feldkapazität in den Tiefenstufen 0 - 5 und 25 – 30 cm. Die Veränderung, die wirklich auffällt ist, dass Direktsaat nicht mehr die höchsten Werte aufweist. Bei Hofmann wies die Direktsaat in drei von vier untersuchten Tiefenstufen den höchsten Wert auf. Bei dieser Untersuchung weist Direktsaat nur mehr in einer Tiefenstufe den höchsten Wert auf. Den höchsten Wert weist am häufigsten Mulchsaat auf. Direktsaat hat in drei von vier näher betrachteten Tiefenstufen die niedrigste nutzbare Feldkapazität. Die Werte für die nutzbare Feldkapazität berechnet in mm für die obersten 70 cm bestätigen dieses Bild. Die Ergebnisse von 2005 sehen Direktsaat bei 123 mm, konventionelle Bearbeitung bei 118 und konservierende/Mulchsaat bei 110 mm. Die Direktsaat stagniert scheinbar, wohingegen konservierende und konventionelle Bearbeitung ihre Werte deutlich steigern konnten.

5.9 Feinporenanteil - Totwasser:

Die Feinporen werden mit den Wert 15.000 hpa begrenzt. Dieser Wert entspricht dem permanenten Welkepunkt zahlreicher Kulturpflanzen, wie der Sonnenblume. (Scheffer et al. 2010)

Feinporenanteil in Vol. %						
Tiefenstufe in cm	KV		MS		DS	
	MW	STW	MW	STW	MW	STW
0 - 5	14,69	1,65	13,28	1,97	15,95	2,70
10 - 15	16,86	0,64	15,50	1,16	17,82	0,48
25 - 30	18,91	3,12	13,75	2,54	18,60	1,16
50 - 55	13,02	1,63	11,87	2,07	13,19	1,18
70 - 75	13,34	0,84	12,62	0,05	13,46	0,87
Mittelwert	15,36		13,40		15,80	

Tabelle 24: Totwasser bzw. Feinporenanteil in Vol. %

In Bezug auf den Feinporenanteil weist die Direktsaat in vier von fünf untersuchten Tiefenstufen, die höchsten Anteile auf. Die niedrigsten Anteile finden sich in allen Tiefenstufen im Bereich der Mulchsaat.

Unterschiede und Ähnlichkeiten zur Analyse von Hofmann aus dem Jahr 2005

Im Bereich der Feinporen gibt es kaum Unterschiede zu den Ergebnissen von Hofmann (2005). Die Differenzen liegen im Bereich von 1- bis 3 Prozent. Auffällig ist nur, dass bis auf zwei Werte im obersten Horizont die Mehrheit der Anteile gestiegen ist. Ebenso weist Hofmann die Direktsaat als jene Bearbeitungsmethoden aus, die in den meisten Tiefenstufen den höchsten Wert aufweist.

5.10 Gesamtporenanteil:

Tabelle 25: Gesamtporenanteil in Vol. % aus Wassersättigung

Gesamtporenanteil in Vol. %			
Tiefenstufe in cm	KV	MS	DS
0 - 5	51,63	54,48	50,81
10 - 15	52,05	42,99	45,00
25 - 30	45,16	45,14	43,46
50 - 55	44,99	47,06	45,29
70 - 75	48,44	49,68	47,65
Mittelwert	48,45	47,87	46,44

In Bezug auf die Gesamtporenanteile weist die Mulchsaat/ konservierende Bodenbearbeitung in drei von fünf untersuchten Tiefenstufen die höchsten Werte auf. Hingegen weist die Direktsaat in drei von fünf untersuchten Tiefenstufen die niedrigsten Werte auf. In den Tiefenstufen zwischen 10 und 30 cm weist die konventionelle Bearbeitung die höchsten Werte auf.

Unterschiede und Ähnlichkeiten zur Analyse von Hofmann aus dem Jahr 2005

Die Gesamtporenanteile haben sich im Vergleich zur Messung 2005 deutlich verändert. In der konventionellen Bewirtschaftung kam es im Großteil der untersuchten Tiefenstufen zu einer Abnahme des Gesamtporenanteils. Wohingegen bei Direktsaat und Mulchsaat das Gesamtporenvolumen bei drei von vier Tiefenstufen zugenommen hat und in einer stagnierte.

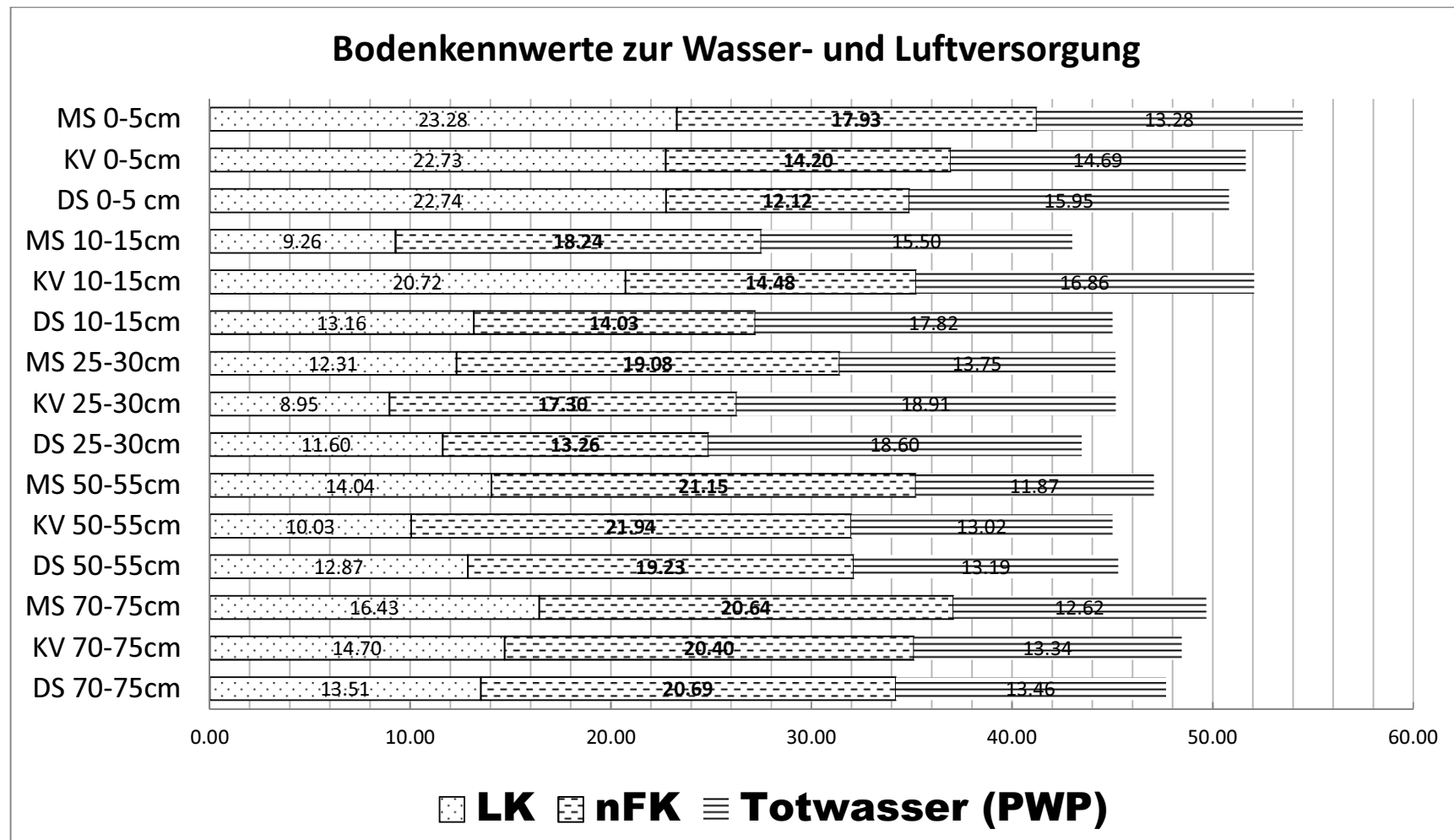


Abbildung 23: Bodenkennwerte zur Wasser- und Luftversorgung

5.11 ks-Werte gesättigten Wasserleitfähigkeit:

Der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert (ks-Wert) wird nach dem Gesetz von Darcy definiert als Durchfluss je Zeit und Flächeneinheit. (Scheffer et al. 2010) Der Wert ist ein wichtiger Indikator zur Beurteilung des Wasserhaushaltes. Dieser hängt in erster Linie von der Anzahl und Größe der dränenden Poren ab. (Blume et al. 2011)

Tabelle 26: Wasserdurchlässigkeitsbeiwert (ks-Wert) für alle Tiefenstufen und Bearbeitungsvarianten

Tiefenstufe in cm	Wasserdurchlässigkeitsbeiwert ks-Wert m/d											
	KV I		MS I		DS I		KV II		MS II		DS II	
	MW	STW	MW	STW	MW	STW	MW	STW	MW	STW	MW	STW
0 - 5	4,18	2,89	4,02	0,79	2,22	1,89	12,97	2,03	0,72	3,02	3,26	1,28
10 – 15 a	3,58	3,13	1,38	1,09	2,17	2,67	4,05	0,97	1,36	0,64	0,02	0,01
25 - 30	1,32	1,03	2,24	2,68	0,10	0,25	0,41	0,30	0,50	0,35	0,49	0,42
50 - 55	0,38	0,21	0,24	0,25	0,07	0,03	1,55	1,43	0,09	0,04	0,14	0,10
70 - 75	0,15	0,08	1,20	1,37	2,61	3,66	1,82	1,73	0,27	0,17	0,14	0,08
Mittelwert	1,92		1,82		1,43		4,16		0,59		0,81	
a signifikante Unterschiede (p<0,05)							Keine Normalverteilung Kruskal-Wallis Test					

Zur besseren Analyse wurden diese Daten gesondert in das Programm SPSS übertragen. Im Bereich der ks-Werte liegt keine Normalverteilung (Signifikanz 0,0) vor. Daher wurde die Untersuchung auf signifikante Unterschiede mithilfe des Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Der Kruskal-Wallis Test bestätigt mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 2,5 %, dass es signifikante Unterschiede zwischen den Bearbeitungsverfahren gibt. Weiters ist anhand der Reihung ersichtlich, dass Mulchsaat und konventionelle Bewirtschaftung deutlich höhere Werte aufweisen, als die Variante Direktsaat. Für die Tiefe 0 – 15 cm konnten signifikante Unterschiede zwischen den Tiefenstufen nachgewiesen werden. Der Test erlaubt weiters die Feststellung, dass Mulchsaat und konventionelle Bearbeitung deutlich höhere Werte aufweisen als bei der Direktsaat.

In den zusammengefassten Tiefenstufen 50 – 75 cm konnten keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf den Wasserdurchlässigkeitsbeiwert nachgewiesen werden.

Grundsätzlich lagen die Werte für den Wasserdurchlässigkeitsbeiwert zwischen 0,09 Meter pro Tag und 12,973 Meter pro Tag. Dieser extrem hohe Wert konnte allerdings nur in einer

Profilgrube bei zwei Messwiederholungen gemessen werden. Grundsätzlich liegt der Großteil der Messungen in einem Bereich, der als besonders hoch klassifiziert wird (Blume et al. 2011). In Anbetracht der dominierenden Bodenart Schluff waren Werte zwischen 3 und 0.004 Meter pro Tag zu erwarten gewesen. (Scheffer et al. 2010)

Unterschiede und Ähnlichkeiten zur Analyse von Hofmann aus dem Jahr 2005

Im Gegensatz zu Hofmann, konnte aufgrund einer zu kleinen Stichprobe kein Test zur Bestätigung von signifikanten Unterschieden, in der Tiefenstufe 0 – 5 cm, durchgeführt werden. Für die beiden oberen Tiefenstufen 0 - 5 und 10 - 15cm zusammengefasst konnten allerdings, signifikante Unterschiede bestätigt werden. Diese verhalten sich ähnlich, wie von Hofmann beschrieben mit hohen Werten für die konventionelle Bodenbearbeitung. Ebenso wie bei Hofmann konnte in größeren Tiefen ab 50 cm keine Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren festgestellt werden. Allerdings lagen die Werte um ein Vielfaches niedriger als bei Hofmann (2005). Vor allem in den Tiefenstufen 0 - 5cm und 10 - 15cm sind die Unterschiede zwischen beiden Messungen sehr deutlich ausgeprägt. Bei konventioneller Bearbeitung wurde 2005 ein Mittelwert für die obersten 5 cm von 49,87 Meter pro Tag gemessen. Dieser Wert lag 2013 bei 8,57 Meter pro Tag. Ebenso deutlich niedriger lag der Wert in dieser Tiefenstufe für die Mulchsaat. Der Wert für 2005 lag bei 21,69 Meter pro Tag der neue Messwert beträgt nur 2,36 Meter pro Tag. Ebenso liegt ein Wert von 2005 für die Direktsaat mit 5,03 Meter pro Tag vor. Der Vergleichswert von 2013 mit 2,74 Meter pro Tag.

Allerdings sind sämtlich Messwerte unter 25cm 2013 deutlich höher als jene von 2005. Besonders drastisch sind die Unterschiede in der Tiefenstufe 70 - 75cm. 2005 waren es 0,25 für konventionelle, 0,10 für konservierende/Mulchsaat und 0.07 für Direktsaat. 2013 lagen diese Werte bei 1,37 Meter pro Tag Direktsaat, 1 Meter pro Tag konventionell und 0,735.

5.12 pH-Wert:

Der pH-Wert eines Bodens spiegelt dessen Entstehung und die daraus resultierenden chemischen Eigenschaften. Aus dieser Zahl lassen sich Aussagen über die Eignung eines Standortes als Pflanzenstandort oder Lebensraum für Bodenorganismen gewinnen. Weiters kann das Verhalten von Nähr- und Schadstoffen daraus abgeleitet werden. (Scheffer et al. 2010) Am untersuchten Standort war das Ausgangsmaterial der Bodenbildung Löss und bei der Standortaufnahme

wurden Calcium-Carbonate nachgewiesen, daher werden die pH-Werte im neutralen Bereich erwartet. Der optimale pH-Wert eines Bodens hängt von den Kulturpflanzen und ökologisch wirksamen Bodeneigenschaften ab. Als unterer Grenzwert wird in den meisten Fällen ein Wert kleiner fünf angegeben, weil es unter fünf zu einer erhöhten Konzentration und damit einer toxischen Wirkung von Aluminium und Mangan kommt. (Scheffer et al. 2010)

Anhand der mittleren Ränge (Kruskal-Wallis Test) erkennt man, dass der pH-Wert bei Direktsaat niedriger liegt, als bei konventioneller Bearbeitung oder konservierender Bearbeitung/Mulchsaat. Auf das gesamte Profil betrachtet bestätigt dieser Test, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren bestehen.

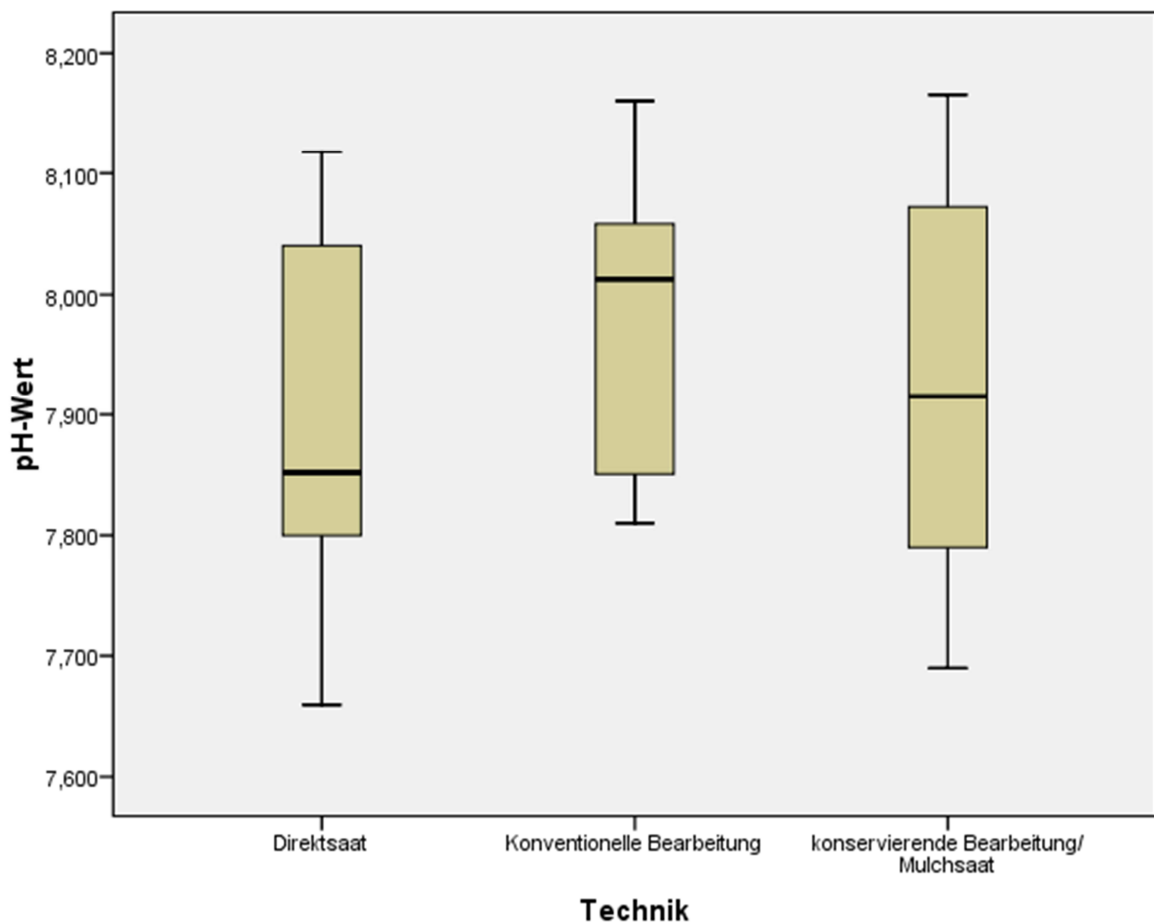


Abbildung 24: Boxplot pH-Wert sortiert nach Technik

Tabelle 27: pH-Wert für jede Technik Tiefe 0 - 75cm;

Tiefenstufe in cm	pH-Wert					
	KV		MS		DS	
	MW	STW	MW	STW	MW	STW
0 - 2,5	7,84	0,08	7,75	0,06	7,68	0,02
0 - 5	7,98	0,02	7,75	0,02	7,8	0,01
10 - 15	7,83	0,04	7,88	0,01	7,83	0,02
25 - 30	8,03	0,08	7,95	0,04	7,88	0,02
50 - 55	8,09	0,05	8,13	0,03	8,05	0,04
70 - 75	8,1	0,01	8,07	0,03	8,08	0,02
Mittelwert	7,98		7,92		7,89	
a signifikante Unterschiede (p < 0.05)				Testverfahren: Kruskal-Wallis-Test		

Unterschiede und Ähnlichkeiten zur Analyse von Hofmann aus dem Jahr 2005

Im Vergleich zur Messung von Hofmann liegen die pH-Werte deutlich niedriger. Beispielsweise lagen die Werte in der Tiefe von 0 - 2,5cm für konventionelle Bodenbearbeitung bei 8,12, bei Direktsaat bei 8,09 und 8,12 bei konservierender Bearbeitung. In der Tiefe von 50 - 55cm erreicht die Differenz mit 0,4 ihr Maximum.

5.13 Elektrische Leitfähigkeit:

Die elektrische Leitfähigkeit ist ein Summenparameter für dissoziierte Stoffe. (Hofmann 2005) Eine der größten Gefahren stellt die Versalzung dar. Laut Scheffer und Schachthabel sind für die Versalzung vor allem wasserlösliche Salze von Bedeutung. Vertreter sind NaCl (Kochsalz), Na₂SO₄ (Glaubersalz, Natriumsulfat), Na₂CO₃ (Natriumcarbonat, calciniertes Soda), CaCl₂ (Kalziumchlorid), Nitrate (NO₃) und Borate (BO₃). (Scheffer et al. 2010) Die Akkumulation dieser Salze vermindert oder führt zu einem vollkommenen Verlust der Bodenfruchtbarkeit. Die Messung des Salzgehaltes erfolgt auf zwei verschiedene Arten. Die totale Salzkonzentration wird im Labor durch Trockenschränke bestimmt und hat als Einheit mg/l. Die zweite Möglichkeit ist die Messung der elektrischen Leitfähigkeit in µSiemens pro cm. In dieser Arbeit wurde ausschließlich die elektrische Leitfähigkeit bestimmt.

Tabelle 28: Auswirkungen von Salz auf die Produktivität bestimmter Kulturpflanzen

	NEL. mS/cm	Relative Produktivität in % bei einer elektrischen Leitfähigkeit von mS/cm					
		1	4	8	12	15	24
Pflanze							
Mais	1,8	100	84	54	24	3	0
Weizen	6.0	100	100	86	57	36	0
Zuckerrüben	7.0	100	100	94	71	53	0

(Scheffer et al. 2010)

Tabelle 28 gibt uns einen Überblick ab welchen Werten für die elektrische Leitfähigkeit es zu Einbußen im Pflanzenertrag kommt. Beim Vergleich mit Tabelle 28 wird klar, dass die gemessenen Leitfähigkeiten weit unter jenen Werten liegen, ab welchen Ertragseinbußen zu erwarten wären. Grundsätzlich bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bearbeitungsmethoden im gesamten Profil. Allerdings weisen sowohl konservierende Bodenbearbeitung/Mulchsaat und Direktsaat teilweise deutlich höhere Messwerte auf, als die konventionelle Bearbeitung. Diese konventionelle Bearbeitung hingegen hat von allen Bearbeitungsverfahren die geringste Spannweite.

In den obersten 2,5 cm weist die Direktsaat den deutlichen höchsten Wert mit 230 μ S/cm auf. Direktsaat weist weiters in den Tiefenstufen 10 - 15cm und 25 - 30cm den höchsten Wert auf. In den Tiefenstufen 0 - 5cm und 70 - 75cm dominiert die Mulchsaat/konservierende Bearbeitung. Die konventionelle Bearbeitung weist nur den höchsten Wert in der Tiefenstufe 50 - 55cm auf. Bis auf eine Ausnahme nehmen sämtliche Profile von der Mineralbodenoberkante in die Tiefe ab. Bei der konventionellen Bearbeitung kommt es zu einem neuerlichen Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit in der Tiefe 10 - 15cm.

Tabelle 29: elektrische Leitfähigkeit in $\mu\text{S}/\text{cm}$ für 0 - 75cm

Tiefenstufe in cm	elektrische Leitfähigkeit $\mu\text{S}/\text{cm}$					
	KV		MS		DS	
	MW	STW	MW	STW	MW	STW
0 - 2,5	167,7	62,42	209,3	106,80	230,8	100,80
0 - 5	132,7	75,13	218,2	81,63	205,1	76,83
10 - 15	156,6	59,61	162,1	56,04	162,5	72,90
25 - 30	127,5	55,15	122,7	47,64	155,7	50,45
50 - 55	112,5	47,90	103,4	47,87	108,2	46,32
70 - 75	103,3	81,95	104,7	102,51	101,8	109,46
Mittelwert	133,37		153,40		160,67	
a signifikante Unterschiede ($p < 0.05$)				Testverfahren: Kruskal Wallis Test		

Unterschiede und Ähnlichkeiten zur Analyse von Hofmann aus dem Jahr 2005

Die Werte von Hofmann (2005) lagen deutlich höher als die Messwerte von 2013. Beispielsweise rangieren die Messwerte in der obersten Tiefenstufe bei 0 - 2,5 cm zwischen 333 (Direktsaat) und 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (konventionell). Der Wert lag damit um 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ niedriger als 2005. Mit der Tiefe reduziert sich der Unterschied in den Leitfähigkeiten, allerdings sind in der Tiefenstufe 10 - 15cm die Differenzen immer noch 38 (Direktsaat), 84,2 (konservierende Bearbeitung) und 106 konventionell. Die elektrische Leitfähigkeit in der Tiefe von 10 - 15 steigt unter der konventionellen Bearbeitung bereits seit 2000.

5.14 Gesamtstickstoff:

Stickstoff stellt einen der wichtigsten Pflanzennährstoffe dar und wird permanent über die entnommenen Erträge aus den Böden zu Menschen und Tieren transferiert. Er ist mengenmäßig betrachtet das Hauptnährelement und Bestandteil vieler wichtiger pflanzlicher Verbindungen, wie Vitaminen, Chlorophyll oder Aminosäuren. (Scheffer et al. 2010) Ebenso ist der Stickstoff nur in sehr geringen Mengen in den Ausgangsmaterialien der Bodenbildung enthalten. Daher muss dieser bei landwirtschaftlicher Nutzung in Form von mineralischen oder organischen Düngern zugeführt werden. Die Entdeckung des Haber-Bosch-Verfahrens zur Gewinnung von mineralischem Stickstoff aus atmosphärischem Stickstoff ermöglichte enorme

Ertragssteigerungen in der Landwirtschaft. Allerdings führte dies auch zu zahlreichen ökologischen Problemen, wie Versauerung der Weltmeere und der Eutrophierung zahlreicher Gewässer. Der größte Stickstoffspeicher ist, wie bereits angedeutet, die Atmosphäre. Dieser Speicher ist allerdings für die Pflanzen nicht direkt nutzbar. Die Pflanzenwurzeln können den Stickstoff am besten in Form von Salzen, die wichtigsten Formen sind Nitrat oder Ammonium, aufnehmen. Die mengenmäßig bedeutsamste Stickstoffquelle ist die biologische Fixierung durch Bakterien, wie Rhizobien, oder Actinomyceten. Diese Variante kann bis zu 100 kg Stickstoff pro Hektar und Jahr liefern. Daher ist organische Substanz der wichtigste Speicher im Boden. Eine andere Stickstoffquelle ist die atmosphärische N-Deposition aus der Atmosphäre durch Gewitter oder Abgase von Verkehr, Industrie oder Haushalten. Diese ist allerdings sehr standortabhängig gemessene Maxima liegen bei 40 kg pro Hektar und Jahr, allerdings erhalten auf diesem Weg zahlreiche Standorte auch nur 5 kg pro Hektar und Jahr. (Schubert 2011)

Stickstoff liegt in zahlreichen verschiedenen Formen vor. In dieser Studie wurde der Gesamtstickstoff gemessen. Bei typischen Schwarzerden, wie im Untersuchungsgebiet, sind Werte von bis zu 14 Tonnen pro Hektar nicht außergewöhnlich. (Scheffer et al. 2010)

Beim Gesamtstickstoff zeigen die konservierenden Profile deutlich ihre Vorteile auf. Auf den obersten 2,5 cm liegen die Werte von Direktsaat und Mulchsaat über jenen der konservativen Profile. In der 0 - 5cm Tiefenstufe lagen die Mittelwerte der konservierenden Verfahren ebenfalls höher als die konventionelle Bearbeitung. Der Stickstoff sollte eigentlich mit der Tiefe abnehmen. In der Mehrzahl der Fälle tut er dies auch, allerdings im Bereich von zwei Profilgruben und zwei Tiefenstufen kam es zu einem Anstieg bei den Messwerten. Dies wird besonders gut in Abbildung 24 ersichtlich.

Für die obersten 0 – 5 cm wurden mit 10 % Irrtumswahrscheinlichkeit signifikante Unterschiede zwischen den Bearbeitungsverfahren festgestellt. Hierbei unterscheiden sich signifikant die Werte für Direktsaat und konventioneller Bearbeitung. Ebenso für die obersten 30 cm von der Mineralbodenoberkante wurden mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von nur 6,5 % signifikante Unterschiede festgestellt. Auch über die Gesamtprofile betrachtet waren die Unterschiede signifikant (0,089).

Weiters wurden die Tonnen pro Hektar für die obersten 0,75 cm ermittelt. Diese lagen zwischen 10,43 (DS) und 5,75 (KV) Tonnen pro Hektar. (siehe Tabelle 12) Allerdings wies dabei einer der beiden Standorte mit konservierenden Bodenbearbeitung den niedrigsten Wert aus.

Tabelle 30: Gesamtstickstoff in % Trockensubstanz

Gesamtstickstoff in % Trockensubstanz						
Tiefenstufe in cm	KV		MS		DS	
	MW	STW	MW	STW	MW	STW
0 - 2,5 a	0,1	0,03	0,13	0,01	0,15	0,02
0 - 5 a	0,07	0,01	0,1	0,01	0,11	0,03
10 - 15	0,08	0,01	0,08	0,01	0,1	0,01
25 - 30	0,05	0,00	0,05	0,00	0,09	0,01
50 - 55	0,04	0,01	0,02	0,01	0,04	0,01
70 - 75	0,03	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01
Mittelwert	0,062		0,068		0,085	
a signifikante Unterschiede (p < 0.10)				Testverfahren: ANOVA		

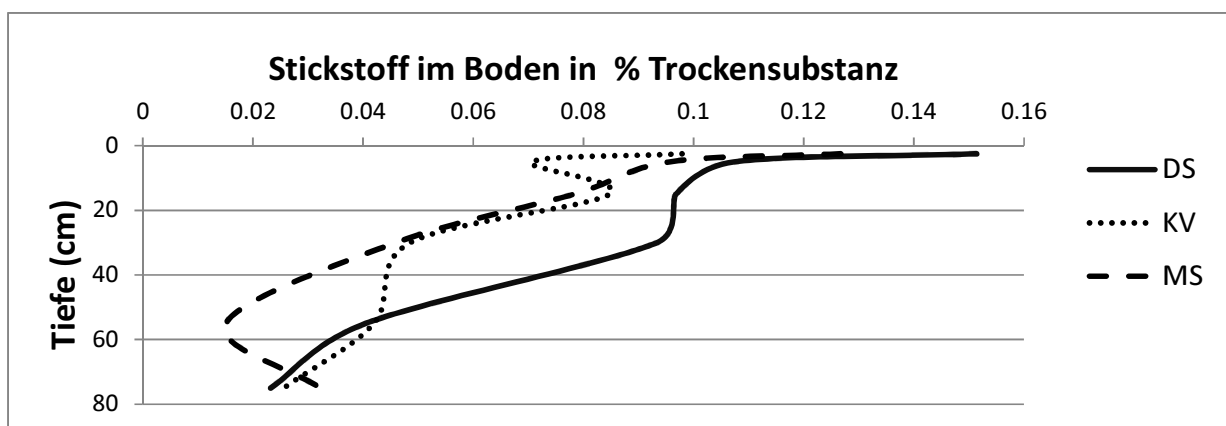


Abbildung 25: Stickstoff in % TS

Unterschiede und Ähnlichkeiten zur Analyse von Hofmann aus dem Jahr 2005

Im Vergleich zur Messung 2005 waren die Messwerte für 0 - 2,5cm in allen drei Bearbeitungsverfahren deutlich höher. Bereits in der nächsten von Hofmann dokumentierten Tiefenstufe sind die Werte nahezu ident. Nur bei der konventionellen Bodenbearbeitung konnte eine leichte Abnahme beobachtet werden. Bereits bei Hofmann wies in den obersten 0 - 2,5 cm Direktsaat und konservierende Bodenbearbeitung deutlich höhere Werte auf, als die konventionelle Bearbeitung. Verändert hat sich allerdings, dass in dieser Studie nun auch Direktsaat und Mulchsaat höhere Werte in der Tiefenstufe 10 – 15 cm aufweisen, wenn auch nur geringfügig.

Hofmann berechnete die Mengen an Stickstoff bezogen auf die obersten 20 cm. Die Werte hierfür lagen in ihrer Analyse bei Direktsaat 2,55 t/ha, bei konventioneller Bodenbearbeitung 2,31 t/ha und konservierender Bodenbearbeitung 2,34 t/ha. Die Vergleichswerte dieser Untersuchung sind DS 3,26 t/ha, MS 2,53 t/ha und 1,92 t/ha bei konventioneller Bearbeitung. Die Unterschiede sind beachtlich. Auffällig ist der starke Rückgang bei der Konventionellen Bearbeitung. In abgeschwächter Form kann die Zunahme des Stickstoffes in den oberen Tiefenstufen dennoch belegt werden.

Tabelle 31: Gesamtstickstoff Corg und PO4 in Tonnen pro Hektar für 0 - 0,75 Meter.

Ntot, Corg, PO4 in Tonnen pro Hektar						
	KV I	MSI	DS I	KVII	MS II	DS II
Gesamtstickstoff	7,2	5,89	10,43	5,75	6,1	8,14
organischer Kohlenstoff	88,44	114,9	110,6	74,07	111,7	83,27
Phosphat	12,3	10,96	15,41	10,14	9,78	14,41

5.15 Gesamtkohlenstoff:

Kohlenstoff ist einer der Bausteine des pflanzlichen und tierischen Lebens. Allerdings hat das Ausgangsmaterial der Bodenbildung an diesem Standort einen hohen Gehalt an CaCO₃, wodurch der Gesamtkohlenstoff nur eine sehr geringe Aussagekraft besitzt. Nähere Analysen werden im Kapitel organischer Kohlenstoff durchgeführt.

Tabelle 32: Gesamtkohlenstoff in % Trockensubstanz

Gesamtkohlenstoff in % Trockensubstanz						
Tiefenstufe in cm	KV		MS		DS	
	MW	STW	MW	STW	MW	STW
0 - 2,5	3,22	0,10	3,72	0,13	3,58	0,19
0 - 5	3,11	0,10	3,45	0,23	3,35	0,09
10 - 15	3,17	0,13	3,04	0,22	2,93	0,03
25 - 30	3,28	0,08	2,69	0,13	2,67	0,22
50 - 55	3,37	0,02	3,31	0,04	3,62	0,04
70 - 75	2,95	0,02	2,71	0,28	2,9	0,43
Mittelwert	3,18		3,15		3,17	

5.16 Organischer Kohlenstoff:

Die Masse der organischen Bodensubstanz liegt bei den meisten Böden im einstelligen Prozentbereich, dennoch hat dieser weitgehenden Einfluss auf die Bodeneigenschaften. Der organische Kohlenstoff dient als ein Kennwert um den Gehalt an organischer Bodensubstanz zu bestimmen.

Von dieser abhängig sind folgende Eigenschaften des Bodens: (Scheffer et al. 2010)

- Organische Substanz hat eine große Oberfläche, ist daher Sorbent für organische und anorganische Stoffe
- Wichtig für die Ausbildung einer stabilen Bodenstruktur durch Gefügebildung und Aggregation
- bestimmt die Bodenfarbe und damit den Wärmehaushalt des Bodens
- stellt durch Mineralisierung eine wesentliche Quelle von Pflanzennährstoffen dar
- Lebensgrundlage der Bodenfauna und Bodenflora

Im Mittel weist organische Substanz einen Wert von 50 % organischen Kohlenstoffs auf. Daher kann mit Hilfe des Faktors 2 der Humusgehalt berechnet werden. (Blume et al. 2011) Aufgrund der Bodenart und des klimatischen Standorts werden über 100 t organischen Kohlenstoffs pro Hektar erwartet, bezogen auf eine Tiefe von einem Meter (Scheffer et al. 2010). Derartig hohe Werte können allerdings durch langfristige menschliche Nutzung deutlich reduziert werden.

Tabelle 33: organischer Kohlenstoff in % Trockensubstanz

organischer Kohlenstoff in % Trockensubstanz						
Tiefenstufe in cm	KV		MS		DS	
	MW	STW	MW	STW	MW	STW
0 - 2,5 a	0,91	0,18	2,1	0,41	1,66	0,21
0 - 5 a	0,81	0,55	1,7	0,05	1,85	0,41
10 - 15 a	0,87	0,13	1,31	0,05	0,84	0,47
25 - 30	0,67	0,23	0,9	0,07	0,75	0,17
50 - 55	0,69	0,56	0,47	0,18	0,45	0,16
70 - 75	0,3	0,16	0,16	0,11	0,2	0,12
Mittelwert	0,71		1,11		0,96	
a signifikante Unterschiede (p < 0.05)				Testverfahren: Kruskal-Wallis		

In Bezug auf den organischen Kohlenstoff zeigt sich für die obersten 30 cm eine deutliche Überlegenheit der konservierenden Verfahren. Mit 2,1 Prozent weist die Mulchsaat in den obersten 2,5 cm einen mehr als doppelt so hohen Anteil auf, als bei der konventionellen Bearbeitung. Bezogen auf 0 - 5cm Tiefe lagen beide konservierenden Verfahren bei doppelt so hohen prozentuellen Anteilen, als die konventionelle Bearbeitung. Mit zunehmender Tiefe verringert sich der Abstand der konventionellen Bearbeitung, allerdings weist diese auch nicht im Bereich über der Pflugsohle den höchsten Wert auf (vgl. Tabelle 14). Besonders gut ersichtlich wird dies in Abbildung 26. In Bezug auf die Mittelwerte weist Mulchsaat den höchsten Wert, Direktsaat den zweithöchsten und konventionelle Bearbeitung den niedrigsten Anteil an organischen Kohlenstoff auf. Dieselbe Tendenz wird auch anhand der Umrechnung auf Tonnen pro Hektar ersichtlich. Für die obersten 0 – 75 cm siehe Tabelle 12.

Für die Tiefenstufen 0 - 2,5, 0 – 5 cm und 10 – 15 cm bestätigte der Kruskal-Wallis signifikante Unterschiede zwischen den Bearbeitungsverfahren. Die Signifikanzen lagen zwischen 0,03 und 0,039. Besonders ist hierbei, dass auch zwischen Mulchsaat und Direktsaat signifikante Unterschiede (0,089) festgestellt wurden.

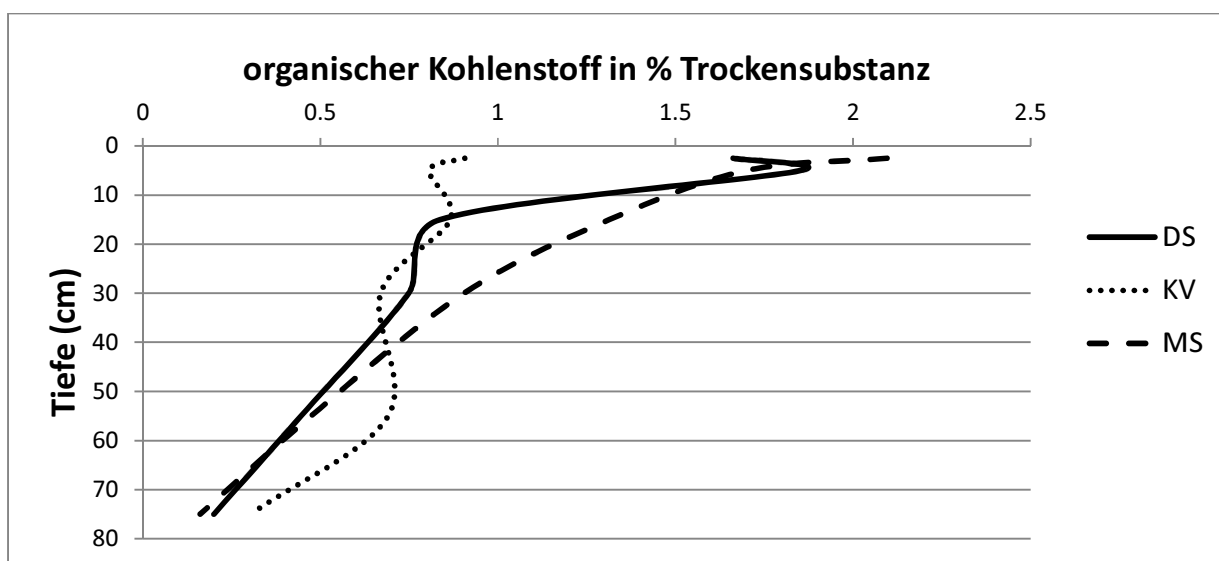


Abbildung 26: organischer Kohlenstoff in % Trockensubstanz

Unterschiede und Ähnlichkeiten zur Analyse von Hofmann aus dem Jahr 2005

Im Vergleich zur Untersuchung von Hofmann (2005) haben sich die Parameter verändert. Es zeigt sich eine deutliche Zunahme an organischen Kohlenstoff für die Mulchsaat/konservierende

Bodenbearbeitung und bei der Direktsaat in den obersten 2,5cm. Im Bereich der Mulchsaat sogar eine Verdoppelung von 0,98 auf 2,1 %, bei der Direktsaat eine Zunahme um 50 % von 0,98 auf 1,6 % Trockensubstanz. Bei der konventionellen Bearbeitung kam es zu keiner Veränderung in dieser Tiefenstufe. Auf den konventionell bearbeiteten Flächen kam es für die Tiefenstufen zwischen 10 – 55 cm zu einem Rückgang des organischen Kohlenstoffs. Der Rückgang lag zwar nur im Bereich -0,2 Prozent war aber durchgängig. Hofmann stellte fest, dass seit 2001 bereits der Anteil des organischen Kohlenstoffs in den konventionellen Parzellen gesunken war. 2001 waren noch 1,11 % organischer Kohlenstoff gemessen worden. Der aktuelle Messwert dieser Untersuchung liegt bei 0,71. Umgerechnet auf Tonnen pro Hektar bestätigt sich eindrucksvoll die Zunahme des organischen Kohlenstoffs bei Mulchsaat und Direktsaat. Die näheren Werte siehe Tabelle 15.

Tabelle 34: organischer Kohlenstoff umgerechnet auf Tonnen pro Hektar für 0 - 30cm

organischer Kohlenstoff in t/ha			
Tiefenstufe 0 - 30cm	DS	MS	KV
Groll 2014	56,75	67,71	35,78
Hofmann 2005	32,43	36,08	35,13

5.17 C/N- Verhältnis:

Organische Stoffe werden im Boden je schneller abgebaut, desto enger das Verhältnis von C zu N ist. Daher werden Substanzen mit einem weiten C/N Verhältnis deutlich schlechter abgebaut. Ein schlechtes C/N-Verhältnis weist beispielsweise Stroh, mit 50 zu 100, auf. (Schubert 2011) Das C/N Verhältnis ist unter anderem Indikator für den Fortschritt des Abbaus organischer Substanz im Boden. (Schubert 2011) Die Messwerte des C/N- Verhältnisses weisen keine Normalverteilung auf.

Tabelle 35: C/N Verhältnis der Trockensubstanz

Verhältnis organischer Kohlenstoff zu Gesamtstickstoff						
Tiefenstufe in cm	KV		MS		DS	
	MW	STW	MW	STW	MW	STW
0 - 2,5 a	9,16	0,96	16,75	1,65	10,95	0,97
0 - 5 a	10,47	4,27	17,98	1,99	17,15	1,02
10-15 a	10,41	2,23	17,02	2,36	8,27	4,76
25 - 30 a	13,85	2,87	20,56	4,69	8,69	1,33
50 - 55	15,66	11,20	32,81	13,61	11,34	4,52
70 - 75	16,01	10,65	4,77	2,01	8,61	4,28
a signifikante Unterschiede (p < 0.05)				Normalverteilung ANOVA		

Die ANOVA bestätigt signifikante Unterschiede. In den obersten 0 – 2,5 cm weist Mulchsaat signifikante Unterschiede zu den beiden anderen Varianten auf. Wohingegen in der Tiefe 0 – 5 cm beide konservierenden Verfahren signifikant höhere Werte aufweisen, als die konventionelle Variante und in den Tiefenstufen 10-15 und 25-30 cm die beiden konservierenden Varianten einander signifikant unterscheiden mit höheren Werten für die Mulchsaat.

Unterschiede und Ähnlichkeiten zur Analyse von Hofmann aus dem Jahr 2005

Hofmann (2005) belegte nur Einheitswerte für 0-30 cm. Diese lagen zwischen 10,5 (konventionell) und 12,4 (Mulchsaat). Der Wert für die Direktsaat lag bei 11,4. Die 2013 gemessenen Werte liegen bei 10,97 konventionell, 18,07 Mulchsaat und 11,25 bei Direktsaat.

5.18 Organische Substanz- Glühverlust:

Organische Substanz existiert im Boden in vielfältiger Form, beispielsweise als Pflanzenreste, aber auch das Edaphon. Die Vorteile eines hohen Gehaltes an organischer Substanz wurden bereits unter organischem Kohlenstoff dargestellt. Dieses Verfahren versucht die organische Substanz über den Glühverlust zu bestimmen. Näheres siehe Kapitel Methodik. Die Mehrzahl der Proben waren nach dem Glühen hämatitrot und die Tongehalte lagen bei der Mehrzahl der Proben auch deutlich über 10 Prozent. Daher treffen die beiden wichtigsten Fehlerquellen in

diesem Fall zu. Für den Ton wurde eine gesonderte Tabelle angelegt mit der Tonkorrektur von - 0,1 % je ein Prozent Tongehalt. (Blume et al. 2011)

Tabelle 36: Glühverlust in % TS mit Ton-Korrektur

	Glühverlust in % Trockensubstanz mit Ton-Korrektur									
Tiefenstufe	DS I	DSII	MW DS	KV I	KV II	MW KV	MS I	MS II	MW MS	MW
0 - 2,5cm	5,01	6,43	5,72	4,24	3,76	4,00	5,46	4,31	4,89	7,13
0 - 5cm	6,50	4,43	5,46	4,54	1,16	2,85	4,37	3,76	4,07	6,16
10 - 15cm	2,52	2,65	2,59	4,44	3,67	4,06	3,50	4,34	3,92	5,96
25 - 30cm	3,29	3,95	3,62	2,79	1,92	2,36	2,39	2,06	2,23	4,81
50 - 55cm	2,85	2,39	2,62	1,02	2,75	1,89	2,37	1,17	1,77	3,78
70 - 75cm	2,07	2,24	2,16	0,35	1,99	1,17	2,10	2,54	2,32	3,58
Mittelwert		3,68	3,69	2,90	2,54	2,72	3,37	3,03	3,20	5,24

Tabelle 37: Glühverlust in % mit Ton-Korrektur

Glühverlust in % Trockensubstanz						
Tiefenstufe in cm	KV		MS		DS	
	MW	STW	MW	STW	MW	STW
0 - 2,5 a	4,00	1,50	4,89	1,69	5,72	0,70
0 - 5 a	2,85	2,01	4,07	0,76	5,46	0,89
10 - 15	4,06	0,44	3,92	0,63	2,59	0,26
25 - 30	2,36	0,79	2,23	0,33	3,62	1,26
50 - 55	1,89	2,41	1,77	0,55	2,62	0,87
70 - 75	1,17	0,69	2,32	0,70	2,16	0,44
Mittelwert	2,72		3,20		3,69	
a signifikante Unterschiede (p < 0.05)				Testverfahren: Kruskal-Wallis		

Bei den Ton-korrigierten Werten erkennt man für die obersten Horizonte deutlich höhere Werte für die beiden konservierenden Verfahren. (siehe Tabelle 17) Auch der über das gesamte Profil berechnete Mittelwert zeigt das Mulchsaat und Direktsaat einen deutlich höheren Anteil an organischer Bodensubstanz aufweisen. Die statistische Testung lehnt aber die Hypothese von signifikanten Unterschieden zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten über das gesamte Profil ab. Allerdings konnten in den obersten Horizonten signifikante Unterschiede nachgewiesen werden.

Unterschiede und Ähnlichkeiten zur Analyse von Hofmann aus dem Jahr 2005

Hofmann (2005) hat in ihrer Arbeit nicht angegeben, ob sie eine Tonkorrektur berechnet hat oder nicht. Nach dem Vergleich dieser Werte mit der Berechnung der organischen Bodensubstanz über den organischen Kohlenstoffgehalt mit dem Faktor 2 lag aufgrund der Differenz in den Werten der Schluss nahe, dass Hofmann ohne Tonkorrektur gearbeitet hat. Dies ist auch zulässig und zur besseren Vergleichbarkeit wurden die Daten von Hofmann mit jenen verglichen ohne Tonkorrektur [siehe Anhang]. Im Vergleich zu Hofmann (2005) kam es zu einer Zunahme der organischen Bodensubstanz für alle Bearbeitungsverfahren in den Tiefenstufen 0 - 2,5 und 10 - 12,5 cm. Allerdings waren die Zuwächse für Direktsaat und Mulchsaat/konservierende Bodenbearbeitung deutlich höher als in der konventionellen Bewirtschaftung. Beispielsweise nahmen in der Tiefenstufe 0 - 2,5 die organische Bodensubstanz in der Direktsaat um 44 %, bei Mulchsaat um 48,15 % und bei konventioneller Bearbeitung um nur 30 % zu. Umgerechnet in kg pro m² bezogen auf die Horizonte 0 – 30 cm ergibt sich folgendes Bild. Durch die Einbeziehung tieferer Horizonte kann auch die konventionelle Bearbeitung einen Anstieg der organischen Substanz nachweisen. Dennoch sind die Messwerte für Direktsaat und Mulchsaat stärker gestiegen.

Tabelle 38: Glühverlust in % Trockensubstanz in kg/m²

	Glühverlust in kg/m²		
Tiefenstufe 0-30cm	KV	MS	DS
Diese Studie	20,55	25,2	24,61
Hofmann (2005)	15,71	17,01	17,22
Veränderung in %	+30,8	+48,15	+42,91

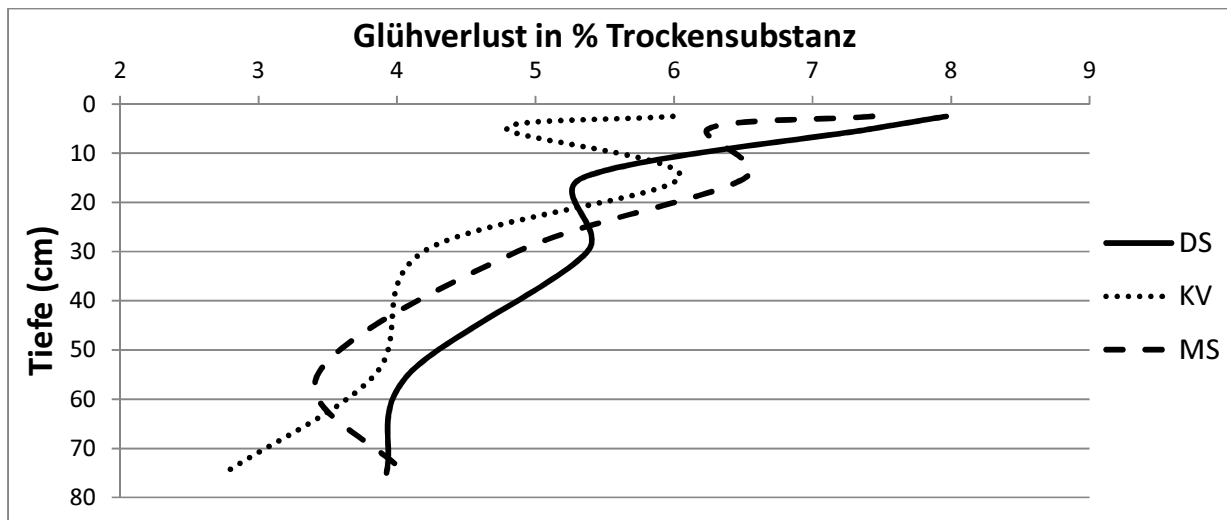


Abbildung 27: Verlaufsdiagramm Glühverlust in % Trockensubstanz 0 - 75cm

Anhand von Abbildung 26 kann die Verteilung der organischen Substanz im Boden sehr gut erfasst werden. Man erkennt deutlich, dass die konventionelle Bearbeitung in den obersten cm die niedrigsten Werte aufweist.

5.19 Phosphor

Phosphor ist für die meisten Tiere und Pflanzen ein wichtiges Hauptnährelement. Es kommt hauptsächlich in Pflanzen als Ester vor, wie Adenosintriphosphat, das für den Energietransfer zuständig ist. Phosphat Mangel führt zu einer Wachstumseinschränkung, da die Assimilate nicht mehr abtransportiert werden können. (Schubert 2011) Die wichtigste Quelle von Phosphat im Boden ist die organische Substanz. Eine untergeordnete Rolle spielen phosphathaltige Mineralien, wie Apatit. Phosphat wird mit jeder Ernte den Feldern entzogen. Daher muss mit Phosphat gedüngt werden. Im Boden wird Phosphat in verschiedenen Formen angetroffen: Gebunden an Tonminerale, Eisen- oder Aluminiumoxide, in der Bodenlösung, in Form sekundärer Minerale oder als Bestandteil der organischen Bodensubstanz. Phosphat kann Gewässer belasten und zur Eutrophierung führen. (Scheffer et al. 2010) In diesem Fall wurde der Gesamtphosphor gemessen. Näheres im Kapitel Methodik.

Aus Tabelle 40 wird ersichtlich, dass Phosphor eine große Spannweite zwischen den Horizonten aufweist. Der Mittelwert für Direktsaat und konservierende Bodenbearbeitung/Mulchsaat lag höher als jener für konventionelle Bearbeitung. Ersichtlich ist ebenso, dass im Bereich der konventionellen Bearbeitung die niedrigsten Messwerte anzutreffen waren. Im Gegensatz dazu ist

die Spannweite der Mulchsaat deutlich geringer. Der höchste Mittelwert für alle untersuchten Tiefenstufen wurde bei der Bodenbearbeitungsmethode Direktsaat gefunden, die niedrigsten bei konventioneller Bearbeitung. In Bezug auf die Tiefenstufen ergibt sich ein differenzierteres Bild. In drei von fünf Tiefenstufen weist Direktsaat den höchsten Anteil auf und in zwei von fünf wurden die höchsten Werte im Bereich der konventionellen Bearbeitung gemessen. Bei Eingrenzung der untersuchten Tiefenstufen auf 0 – 2,5cm konnten mit Hilfe eines Mediantests signifikante Unterschiede zwischen Direktsaat und konventionellen Anbau bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % festgestellt werden. Im Anhang findet sich eine vollständige Tabelle aller Messwerte.

Tabelle 39: Phosphor in mg pro 100 g Boden

Phosphor in % Trockensubstanz						
Tiefenstufe in cm	KV		MS		DS	
	MW	STW	MW	STW	MW	STW
0 - 2,5 a	0,04	0,01	0,04	0,01	0,06	0,00
0 - 5	0,05	0,00	0,05	0,01	0,04	0,01
10 - 15	0,05	0,01	0,05	0,01	0,06	0,00
25 - 30	0,05	0,00	0,05	0,01	0,05	0,01
50 - 55	0,04	0,00	0,04	0,00	0,04	0,00
70 - 75	0,04	0,00	0,03	0,00	0,04	0,01
Mittelwert	0,04		0,04		0,05	
a signifikante Unterschiede (p <0.05)				Testverfahren: Mediantest		

Unterschiede und Ähnlichkeiten zur Analyse von Hofmann aus dem Jahr 2005

Im Vergleich zu Hofmann (2005) lagen die Messwerte im Bereich des Gesamtposphors generell niedriger. Nur bei Direktsaat in 25 - 27,5 cm Tiefe und Mulchsaat in 52,5 cm Tiefe wurden keine niedrigeren Werte gemessen. In Bezug auf die Unterschiede zwischen den Profilgruben gab es gewisse Ähnlichkeiten: Bei Hofmann wurden in zwei von vier untersuchten Tiefenstufen die höchsten Werte bei Direktsaat gemessen und jeweils einmal bei den anderen Bearbeitungsverfahren. Ebenso ähnlich ist, dass die Direktsaat die höheren Werte in den höheren Tiefenstufen erreichte.

5.20 Kationenaustauschkapazität:

Tabelle 40: Kationenaustauschkapazität

Kationenaustauschkapazität in cmolc/kg						
Tiefenstufe in cm	KV		MS		DS	
	MW	STW	MW	STW	MW	STW
0 - 30	63,50	18,00	66,70	17,21	58,14	23,93
0 - 2,5	60,32	28,12	36,52	17,67	62,24	25,57
Mittelwert	61,91	23,06	51,61	17,44	60,19	24,75
a signifikante Unterschiede (p < 0.05)				Testverfahren: Kruskal Wallis		

Die Kationenaustauschkapazität (KAK) entspricht der gesamten Ladungsmenge an Kationen die ein Boden aufnehmen kann. Ionenaustausch an sich spielt eine herausragende Rolle für die Speicherung von pflanzenverfügbaren Nährstoffen. Die Mehrzahl der wichtigsten Pflanzennährstoffe sind Kationen. Die KAK von Böden variiert stark. Die wichtigsten Bodenbestandteile für den Kationenaustausch sind organische Substanz und die Tonminerale. Bei den Tonmineralen ist der Beitrag zur KAK in erster Linie davon abhängig, ob es sich um zwei oder drei Schichttonminerale handelt. Erstere haben einen deutlich geringeren Anteil, wohingegen drei Schichttonminerale ähnlich hohe Werte erreichen wie organische Substanz erreichen (Scheffer et al. 2010). Durch die Bindung von Nährstoffen wird auch ein Beitrag zum Grundwasserschutz gelegt, da die Nährstoffe dadurch entweder zeitverzögert oder vielleicht gar nicht in das Grundwasser perkolieren. Grundsätzlich sind die gemessenen Werte als relativ hoch zu klassifizieren. Die mit Abstand höchsten Einzelmesswerte wurden bei der Variante der Direktsaat gemessen mit bis zu 106 cmolc/kg. Allerdings wurden auch zahlreiche sehr niedrige Werte gemessen. Die Spannweite der Messungen war insgesamt sehr hoch und die Unterschiede zwischen den Varianten im Vergleich dazu sehr gering. Insgesamt kann festgehalten werden, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten erkennbar waren. Nur die Mulchsaat war bei Vergleich aller Messungen um ca. 3 cmolc/kg niedriger als Direktsaat und konventionelle Bearbeitung.

Unterschiede und Ähnlichkeiten zur Analyse von Hofmann aus dem Jahr 2005

Im Vergleich zur Untersuchung aus 2005 sind die Unterschiede zwischen den Verfahren deutlich geringer. Ebenso ist der Messwerte für 2013 bei den Varianten konventionelle Bearbeitung und

Mulchsaat/ konservierende Bodenbearbeitung um ca. 5 cmolc/kg niedriger als 2005. Der Wert für die Direktsaat ist um ca. zwei cmolc/kg höher.

5.21 Bodengesundheitsindex:

Zur Beurteilung der Veränderungen durch die unterschiedlichen Bodenbearbeitungs- und Aussaatverfahren wurde ein Bodengesundheitsindex berechnet. Das Ergebnis des Bodengesundheitsindex sieht wie folgt aus (näheres siehe Tabelle 42).

Mit nur geringem Unterschied weist die Direktsaat den höchsten Wert auf, gefolgt von der konservierenden Bodenbearbeitung/ Mulchsaat. Allerdings weist die zweite Direktsaat den niedrigsten Wert einer Parzelle auf. Im Vergleich zu Hofmann (2005) kam es zu einem leichten Anstieg des Wertes über alle Parzellen in der Größenordnung von 0,1. Allerdings ist der Vergleich etwas problematisch, da Hofmann mehr Bodenkennwerte verwendete. Nur im Bereich der Produktionsfunktion wurden dieselben Kennwerte verwendet. Bei Hofmann wies die Direktsaat knapp dem höchsten Wert auf, hingegen dominiert bei dieser Analyse sehr knapp die konventionelle Bearbeitung. Die Werte aller Parzellen sind im Schnitt um 0,1 höher. Für die Filter- und Pufferfunktion sowie für die Speicherfunktion schnitten im Schnitt die konservierende Bearbeitung und die Direktsaat besser ab, als die konventionelle Bearbeitung. Allerdings sind die Unterschiede sehr gering und damit nicht aussagekräftig.

Tabelle 41: Übersicht Ergebnis Bodengesundheitsindex

Bodengesundheitsindex							
		normierte Bodenkennwerte					
		KV		MS		DS	
	Gewichtung	I	II	I	II	I	II
<u>Produktionsfunktion</u>	1/3	0,58	0,56	0,54	0,55	0,56	0,51
pH (0 – 30 cm)		0,44	0,41	0,45	0,46	0,46	0,46
elektrische Leitfähigkeit		1	1	1	1	1	1
Trockendichte 0 – 50 cm		0,69	0,74	0,6	0,74	0,63	0,64
Porenanteil 0 – 70 cm		0,98	0,94	0,92	0,93	0,94	0,86
verfügbarer Wurzelraum		0,52	0,45	0,59	0,45	0,55	0,45
Gesamtphosphor (0 – 20 cm)		0,2	0,26	0,16	0,23	0,29	0,21
Gesamtstickstoff (0 – 20 cm)		0,15	0,07	0,17	0,15	0,25	0,16
Grobporenanteil (0 – 30 cm)		0,65	0,63	0,41	0,45	0,36	0,32
<u>Speicherfunktion</u>	1/3	0,62	0,57	0,66	0,64	0,64	0,6
Trockendichte 0 – 50 cm		0,69	0,74	0,6	0,74	0,63	0,64
organischer Kohlenstoff (0 – 20 cm)		0,23	0	0,48	0,4	0,51	0,27
Porenanteil 0 – 70 cm		0,98	0,94	0,92	0,93	0,94	0,86
Gesamtstickstoff (0 – 20 cm)		0,15	0,07	0,17	0,15	0,25	0,16
nutzbare Feldkapazität (0 – 70 cm)		0,67	0,69	0,8	0,68	0,57	0,64
Wasserdurchlässigkeitsbeiwert 0 – 30 cm		1	1	1	0,92	0,97	1
<u>Filter- und Pufferfunktion</u>	1/3	0,3	0,32	0,32	0,34	0,43	0,283
C/N		0	0	0	0	0,29	0
Kationenaustauschkapazität (0 - 2,5 cm)		0,06	0,13	0	0	0,32	0
organischer Kohlenstoff (0 – 20 cm)		0,23	0	0,48	0,4	0,51	0,27
Grobporenanteil (0 – 30 cm)		0,65	0,63	0,41	0,45	0,36	0,32
Trockendichte 0 – 50 cm		0,69	0,74	0,6	0,74	0,63	0,64
pH (0 – 30 cm)		0,44	0,41	0,45	0,46	0,46	0,46
Bodengesundheitsindex	1	0,5	0,49	0,51	0,51	0,54	0,464

6. Diskussion der Ergebnisse:

Nun stellt sich die Frage, wie sind die Ergebnisse zu bewerten und welche Ableitungen lassen sich daraus ziehen. Im Bereich der chemischen Bodenkennwerte lassen sich wesentlich deutlichere Aussagen über die Entwicklung seit der Untersuchung durch Hofmann (2005) treffen:

Im Bereich des organischen Kohlenstoffs kam es zu einer mehr als deutlichen Zunahme durch die beiden konservierenden Verfahren. Hingegen kam es zu keinem Anstieg im Bereich der konventionellen Bearbeitung. Insgesamt ist der Anteil von organischem Kohlenstoff im Bereich der konservierenden Verfahren deutlich höher als bei konventioneller Bearbeitung. Damit stehen diese Ergebnisse im Widerspruch zu Studien aus den Niederlanden und Frankreich, die ausschließlich eine Anreicherung des Kohlenstoffs in den oberen Horizonten des Bodens beobachtet hatten und keine Zunahme insgesamt über das gesamte Profil (Hermle et al. 2008). (Dimassi et al. 2013) Die Zunahme der Summe des organischen Kohlenstoffs über das gesamte Profil wurde von zahlreichen Autoren in zahlreichen anderen Studien ebenfalls beobachtet (Karlen et al. 1994b; Karlen et al. 2013b; DLG 2008). Damit bestätigt dieser Versuch, dass konservierende Verfahren zu einer Anreicherung von organischem Kohlenstoff führen und damit vor dem Hintergrund des Klimawandels einen Beitrag leisten können. Die Zunahme an organischer Substanz im Boden wird auch im Glühverlust ersichtlich. Spannend ist das Ausmaß der Anreicherung von organischem Kohlenstoff in den obersten 0 – 10 cm. Die Werte der bodenschonenden Verfahren lagen doppelt so hoch, wie jene bei konventioneller Bewirtschaftung.

Eine Zunahme, allerdings weniger deutlich ausgeprägt konnte auch für Phosphor bei den konservierenden Varianten festgestellt werden. Ebenso zeigte auch der Stickstoff im für die Pflanzenwurzeln relevanten 0 – 30 cm Bereich eine deutliche Zunahme bei bodenschonenden Verfahren. In den obersten 0 - 5 cm lagen die Werte für Stickstoff bei konservierenden Verfahren um 50 % höher. Eine ähnliche Entwicklung wurde ebenfalls von anderen Autoren beschrieben (Karlen et al. 1994b; Karlen et al. 2013b; DLG 2008), wobei Dimassi (2013) zu bedenken gibt, dass zwar die Summe der Nährstoffe steigt, allerdings nicht ausreichend geklärt ist, ob diese auch in ausreichendem Ausmaß pflanzenverfügbar sind. Klar zu erkennen ist, dass im Bereich der wichtigsten Pflanzennährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kohlenstoff bodenschonende Bearbeitungs- und Aussaatverfahren zu einer deutlichen Verbesserung geführt haben, da diese Nährstoffe verstärkt in den oberen Bodenhorizonten angereichert wurden. Im Bereich der Kationenaustauschkapazität konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren festgestellt werden, allerdings ist dies nicht aussagekräftig, da die Tongehalte um bis zu 20 % zwischen den einzelnen Proben variieren. Ebenso festgestellt in Wisconsin (Karlen et al. 1994b). Die Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit oder auch die Messung des pH-Wertes förderten keine Unterschiede zu Tage.

In Bezug auf die bodenphysikalischen Kennwerte ist die Situation wesentlich komplexer. Im Bereich der Trockendichte, die grundsätzlich auf den Versuchspartzen sehr niedrig war konnte der niedrigste Mittelwert bei konventioneller Bearbeitung gemessen werden. Eine spezifische Pflugsohlenverdichtung konnte gesondert für die konventionelle Bearbeitung nicht in einem höheren Ausmaß als bei der Direktsaat und der konservierenden Bearbeitung gemessen werden. Allerdings waren die Trockendichten für die beiden konservierenden Varianten deutlich niedriger als vor 10 Jahren. Dies deckt sich mit den Ergebnissen mehrerer Studien (Dimassi et al. 2013; Tebrügge und Düring 1999). Im Gegensatz zu anderen Studien (Tebrügge und Düring 1999; Dimassi et al. 2013) weist die Direktsaat auf den obersten 0 – 5 cm nicht den niedrigsten Wert auf, obwohl dies aufgrund des hohen Gehaltes an organischer Substanz zu erwarten gewesen wäre. In dieser Studie ist zu beobachten, dass es unterhalb der jeweiligen bearbeiteten Horizontes zu einer starken Zunahme der Trockendichte kommt und anschließend wieder zu einer Abnahme der Trockendichte. Dies wurde ebenfalls in anderen Studien festgehalten (Kamptner 2014; Karlen et al. 1994b).

In Bezug auf das Porenvolumen wies die Mulchsaat im Mittelwert knapp den höchsten Anteil auf. Dies deckt sich mit dem Ergebnis einer Studie aus Spanien (Fernández-Ugalde et al. 2009). Allerdings lag das Porenvolumen in drei von fünf Tiefenstufen, inklusive jener von 0 - 5 cm, Mulchsaat/konservierende Bodenbearbeitung teilweise deutlich höher als konventionelle Bearbeitung. In Bezug auf das Porenvolumen zeigt der Pflug deutliche Vorteile im Bereich von 10 bis 30 cm. Dies deckt sich mit zahlreichen Studien (Tebrügge und Düring 1999; Karlen et al. 1994b).

Theoretisch sollte die nachweisbare Zunahme der organischen Substanz im Boden zu einer Erhöhung des Porenvolumens beitragen und damit die nutzbare Feldkapazität steigern. Im Bereich der nutzbaren Feldkapazität widersprach die Entwicklung den Erwartungen aus der Zunahme der organischen Substanz. Die nutzbare Feldkapazität (300 hpa bis 15.000 hpa) ist im Bereich der Direktsaat im Vergleich zu 2005 über das gesamte Profil insgesamt um ca. 10 Prozent zurückgegangen. (Hofmann 2005) Hingegen kam es zu einer Zunahme im Bereich der Variante Mulchsaat. Die Variante konventionell war nahezu unverändert. Allerdings wenn man die nutzbare Feldkapazität bei 60 hpa bis 15.000 hpa ansetzt bekommt man als Ergebnis, das beide konservierenden Verfahren deutlich mehr pflanzenverfügbares Wasser halten können, als die konventionelle Bearbeitung. Ein ähnlichen Ergebnis findet man bei Fernandez-Ugalde (et al.

2009). Ihr Ergebnis war eine deutliche Zunahme des pflanzenverfügbaren Wassers bei konservierender Bodenbearbeitung (Fernández-Ugalde et al. 2009).

In Bezug auf die Luftkapazität (Lk) kam es seit 2005 zu einem Anstieg bei der Direktsaat, wohingegen diese bei konventioneller Bewirtschaftung abnahm. Diese Zunahme war auch in größeren Tiefen messbar. Dies deckt sich mit mehreren Quellen (DLG 2008; Buchner und Köller 1990) und wird in diesen als direkte Auswirkung der Zunahme der organischen Substanz bezeichnet, da diese das Bodenleben fördert. Allerdings ändert dies daran, dass die Direktsaat über das gesamte Profil betrachtet die niedrigste Luftkapazität aufweist und die konventionelle Bearbeitung in den meisten Horizonten die höchste. In den obersten 5cm weist die Mulchsaat den höchsten Wert auf.

Wie kann jetzt insgesamt die Entwicklung des Bodens an diesem Standort beurteilt werden? Konnte dieser durch die konservierenden Verfahren verbessert werden? Zur Beantwortung dieser Frage wird zuerst auf den Bodengesundheitsindex verwiesen: Minimal liegen die Werte für Mulchsaat und Direktsaat über jenen für die konventionelle Bewirtschaftung. Dies spiegelt auch die Situation im Bereich der Kennwerte wider. Es kann festgehalten werden, dass zahlreiche wichtige Parameter sich unter bodenschonenden Verfahren deutlich verbessert haben. In Summe liefert in dieser Studie Mulchsaat die besten Ergebnisse siehe Bodengesundheitsindex.

Als offene Frage bleibt noch die Frage der Auswahl des strukturprüfenden Verfahrens. „State of the art“ ist der Einsatz einer Varianzanalyse (ANOVA), obwohl diese umfangreiche Grundvoraussetzungen stellt (siehe Kapitel Methodik). In dieser Masterarbeit musste daher aufgrund von nicht erfüllten Grundvoraussetzungen bei zahlreichen Parametern auf den weniger aussagekräftigen, nicht-parametrischen Kruskal-Wallis Test zurückgegriffen werden. In fast keinem einzigen Fachartikel wurde dieser verwendet, obwohl dieser laut statistischer Fachliteratur (Wittenberg und Cramer 2000) für eben diese Fragestellungen geeignet ist. Wenn in Fachartikeln getestet wurde, wurde meist mit ANOVA, ohne Angabe, wie die Grundvoraussetzungen überprüft wurden, getestet (Dimassi et al. 2013, Hussain et al. 1999, Karlen et al. 2013b, Fernández-Ugalde et al. 2009). Nur Verch et al. (2009) dokumentierten die Überprüfung der Grundvoraussetzungen und nutzten in einem ähnlich umfangreichen Ausmaß nicht parametrische Tests. Daher wäre ein lohnenswertes Forschungsfeld eine Vergleichsstudie über die Auswirkungen des Einsatzes von Varianzanalysen und nicht-parametrischen Verfahren auf die Ergebnisse von Bodenanalysen.

7. Referenzen:

- Backhaus, Klaus (2000): Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung ; mit 230 Tabellen. 9., überarb. und erw. Aufl. Berlin [u.a.]: Springer (Springer-Lehrbuch).
- Baker, J. C; Saxton, K. E (2007): The What and Why of No-tillage Farming. In: C. J. Baker und Keith E. Saxton (Hg.): No-tillage seeding in conservation agriculture. 2. Aufl. Wallingford, UK, Cambridge, MA: Published jointly by Food and Agriculture Organization of the United Nations and Cabi Pub.
- Blume, Hans-Peter; Stahr, Karl; Leinweber, Peter (2011): Bodenkundliches Praktikum. Eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen, insbesondere Land- und Forstwirte, und für Geowissenschaftler. 3., neubearb. Aufl. Heidelberg: Spektrum Akad. Verl.
- Buchner, Werner; Köller, Karlheinz (1990): Integrierte Bodenbearbeitung. Stuttgart (Hohenheim): E. Ulmer.
- Cepuder, R.; Kammerer, G.; Nolz, R.; Strohmeier, S. (2013): Physical and selected methods of soil analysis. Hg. v. Universität für Bodenkultur. Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft. Wien.
- David-Freihsl, R. (2013): Europaweite Studie weist Pestizide im Harn nach. In: *Der Standard*, 13.06.2013.
- Dimassi, B.; Cohan, J.-P.; Labreuche, J.; Mary, B. (2013): Changes in soil carbon and nitrogen following tillage conversion in a long-term experiment in Northern France. In: *Agriculture, Ecosystems and Environment* 169, S. 12–20.
- DLG (Hg.) (2008): Schonende Bodenbearbeitung. Systemlösungen für Profis. Frankfurt am Main: DLG-Verlag.
- Fernández-Ugalde, O.; Virto, I.; Bescansa, P.; Imaz, M. J.; Enrique, A.; Karlen, D. L. (2009): No-tillage improvement of soil physical quality in calcareous, degradation-prone, semiarid soils. In: *Soil and Tillage Research* 106 (1), S. 29–35.
- Fuchs, G.; Schnabel, Wolfgang (2002): Geologische Karte von Niederösterreich. Wien: Geologische Bundesanstalt (Geologische Karte 1:200.000).
- Hermle, S.; Anken, T.; Leifeld, J.; Weisskopf, P. (2008): The effect of the tillage system on soil organic carbon content under moist, cold-temperate conditions. In: *Soil and Tillage Research* 98 (1), S. 94–105.
- Hofmann, J. (2005): Auswirkungen unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf die Bodengesundheit. Dissertation. Universität für Bodenkultur, Wien. Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft.
- Hornik, Kurt; Hatzinger, Reinhold; Nagel, Herbert (2011): R. Einführung durch angewandte Statistik. 1., Auflage. München: Pearson Studium ein Imprint der Pearson Education (Pearson Studium - Scientific Tools).
- Hussain, I.; Olson, K. R.; Wander, M. M.; Karlen, D. L. (1999): Adaptation of soil quality indices and application to three tillage systems in southern Illinois. In: *Soil and Tillage Research* 50 (3-4), S. 237–249.
- Kamptner, E. (2014): Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungssysteme auf bodenphysikalische Eigenschaften im pannonischen Trockengebiet. Masterarbeit. Universität für Bodenkultur, Wien, zuletzt geprüft am 08.08.2014.
- Karlen, D. L.; Cambardella, C. A.; Kovar, J. L.; Colvin, T. S. (2013a): Soil quality response to long-term tillage and crop rotation practices. In: *Soil and Tillage Research* 133, S. 54–64.

- Karlen, D. L.; Ditzler, C. A.; Andrews, S. S. (2003): Soil quality: why and how? In: *Geoderma* 114 (3-4), S. 145–156.
- Karlen, D. L.; Kovar, J. L.; Cambardella, C. A.; Colvin, T. S. (2013b): Thirty-year tillage effects on crop yield and soil fertility indicators. In: *Soil and Tillage Research* 130, S. 24–41.
- Karlen, D. L.; Wollenhaupt, N. C.; Erbach, D. C.; Berry, E. C.; Swan, J. B.; Eash, N. S.; Jordahl, J. L. (1994a): Crop residue effects on soil quality following 10-years of no-till corn. In: *Soil and Tillage Research* 31 (2-3), S. 149–167.
- Karlen, D. L.; Wollenhaupt, N. C.; Erbach, D. C.; Berry, E. C.; Swan, J. B.; Eash, N. S.; Jordahl, J. L. (1994b): Long-term tillage effects on soil quality. In: *Soil and Tillage Research* 32 (4), S. 313–327.
- Lal, R. (2013): Enhancing ecosystem services with no-till. In: *Renewable Agriculture and Food Systems* 28 (2), S. 102–114.
- Lal, R.; Reicosky, D.; Hanson, J. (2007): Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. In: *Soil and Tillage Research* 93 (1), S. 1–12.
- Landwirtschaftliche Koordinationsstelle (2010): Erosionsversuch LFS Mistelbach 2010.
- Leser, Hartmut (2005): DIERCKE-Wörterbuch allgemeine Geographie. Neubearb. der Ausg. Mai 1997, 13., völlig überarb. Aufl., Gemeinschaftsausg. München, Braunschweig: Dt. Taschenbuch-Verl.; Westermann (Dtv, 3422).
- ÖNORM L 1050, (2004): Boden als Pflanzenstandort - Begriffe und Untersuchungsverfahren.
- ÖNORM L 1061-2 (2002): Physikalische Bodenuntersuchung-Bestimmung der Korngrößenverteilung des Mineralbodens, Teil 2:Feinboden.
- ÖNORM L 1063,(2006): Physikalische Bodenuntersuchung- Bestimmung des Wasserrückhaltevermögens mittels Drucktopf mit keramischer Platte.
- ÖNORM L 1065, (2006): Physikalische Bodenuntersuchung- Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit in gesättigten Stechzylinderproben.
- ÖNORM L 1068, (2005): Physikalische Bodenuntersuchung- Bestimmung der Dichte von Böden.
- ÖNORM L 1079, (2008): Chemische Bodenuntersuchung- Bestimmung der organischen Substanz als Glühverlust.
- ÖNORM L 1085, (1999): Chemische Bodenuntersuchung- Säureextrakt zur Bestimmung von Nähr- und Schadelementen.
- ÖNORM L 1086-2, (2001): Bestimmung der austauschbaren Kationen und der potentiellen Kationen-Austauschkapazitäten durch Extraktion mit gepufferter Bariumchlorid-Lösung.
- Republik Österreich: Verbot Glyphosat.
- Saxton, K. E; Reicosky, D. C (2007): The benefits of No-tillage. In: C. J. Baker und Keith E. Saxton (Hg.): No-tillage seeding in conservation agriculture. 2. Aufl. Wallingford, UK, Cambridge, MA: Published jointly by Food and Agriculture Organization of the United Nations and Cabi Pub.
- Scheffer, Fritz; Schachtschabel, Paul; Blume, Hans-Peter (2010): Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Aufl. Heidelberg, Berlin: Spektrum, Akad. Verl. (Spektrum Lehrbuch).
- Schlichting, Ernst; Blume, Hans-Peter; Stahr, Karl (1995): Bodenkundliches Praktikum. Eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen, insbesondere Land- und Forstwirte, und für Geowissenschaftler : mit 60 Tabellen. 2. Aufl. Berlin [u.a.]: Blackwell (Pareys Studentexte, 81).
- Schubert, Sven (2011): Pflanzenernährung. Grundwissen Bachelor ; 55 Tabellen. 2., korr. Aufl. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer (UTB, 2802 : Agrarwissenschaften).

Sponagel, Herbert (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. Mit 103 Tabellen. 5. Aufl. Stuttgart: Schweizerbart.

Tebrügge, F.; Düring, R. A (1999): Reducing tillage intensity. a review of results form a long-term study in Germany. In: *Soil and Tillage Research* 53, S. 15–28.

Verch, G.; Kächele, H.; Hörtl, K.; Richter, C.; Fuchs, C. (2009): Comparing the profitability of tillage methods in Northeast Germany. A field trial from 2002 to 2005. In: *Soil and Tillage Research* 104 (1), S. 16–21.

Wittenberg, R./Cramer, H.: Datenanalyse mit SPSS für Windows. 2nd Edition. Stuttgart: Lucius & Lucius 2000

Internetquellen:

http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm

vom 21.07.2014

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Schritte der Bodenbearbeitung	5
Abbildung 2: Karte des Untersuchungsgebietes.....	17
Abbildung 3: schematische Darstellung der Versuchsvarianten.	18
Abbildung 4: Ertragsentwicklung 1994 - 2010	19
Abbildung 5: Bewertungsfunktion "Mehr ist besser"	28
Abbildung 6: Bewertungsfunktion "Optimum".....	29
Abbildung 7: Bewertungsfunktion "Weniger ist besser"	29
Abbildung 8: Aufnahme Profilgrube DSI	32
Abbildung 9: Aufnahme Profilgrube Direktsaat II	34
Abbildung 10: Aufnahme Profilgrube Konventionell I	36
Abbildung 11: Aufnahme Profilgrube Konventionell II	38
Abbildung 12: Aufnahme Profilgrube konservierende Bodenbearbeitung I.....	40
Abbildung 13: Profilaufnahme konservierende Bodenbearbeitung II	42
Abbildung 14: Texturdreieck nach ÖNORM L 1050	45
Abbildung 15: Trockendichte in g/cm ³ 0 - 75cm.....	46
Abbildung 16: Trockendichte in g pro cm ³ Mittelwerte Bearbeitungsverfahren 0 - 75 cm	47
Abbildung 17: Porenanteil in Vol. % aus der Feststoffdichte	50
Abbildung 18: Porenanteil in Vol% aus Wassersättigung	51
Abbildung 19: pF-Kurve bei 0 - 5cm.....	53
Abbildung 20: pF-Kurve bei 10 - 15cm.....	53
Abbildung 21: pF- Kurve bei 25 - 30cm.....	54
Abbildung 22: pF-Kurve bei 50 - 55cm.....	54
Abbildung 23: Bodenkennwerte zur Wasser- und Luftversorgung	59
Abbildung 24: Boxplot pH-Wert sortiert nach Technik.....	62
Abbildung 25: Stickstoff in % TS	67
Abbildung 26: organischer Kohlenstoff in % Trockensubstanz.....	70
Abbildung 27: Verlaufsdiagramm Glühverlust in % Trockensubstanz 0 - 75cm.....	75

9. Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Im Feld durchgeführte Analysen.....	20
Tabelle 2: Bodenfunktionen und ihre Kennwerte.....	25
Tabelle 3: Produktionsfunktion, ihre Kennwerte und Gewichtungen (Hofmann 2005)	26
Tabelle 4: Speicherfunktion, ihre Kennwerte und Gewichtungen (Hofmann 2005)	26
Tabelle 5: Filter und Pufferfunktion, ihre Kennwerte und Gewichtungen (Hofmann 2005)	27
Tabelle 6: Grenzwerte der Normalisierung	31
Tabelle 7: Direktsaat Profilgrube 1 Ergebnisse der Feldansprache	33
Tabelle 8: Laborergebnisse der Profilgrube 1 Direktsaat.....	33
Tabelle 9: Direktsaat Profilgrube 2 Ergebnisse der Feldansprache	35
Tabelle 10: Laborergebnisse Direktsaat Profilgrube 2.....	35
Tabelle 11:Konventionell Profilgrube 1 Ergebnisse der Feldansprache	37
Tabelle 12: Laborergebnisse Konventionelle Profilgrube 1.....	37
Tabelle 13: Konventionell Profilgrube 2 Ergebnisse der Feldansprache	39
Tabelle 14 Laborergebnisse Konventionelle Profilgrube 2.....	39
Tabelle 15 Konservierend Profilgrube 1 Ergebnisse der Feldansprache	41
Tabelle 16: Laborergebnisse Konservierend Profilgrube 1	41
Tabelle 17: Konservierende Profilgrube 2 Ergebnisse der Feldansprache.....	43
Tabelle 18 Laborergebnisse Konservierend Profilgrube 2.....	43
Tabelle 19: Trockendichte in g/cm ³	47
Tabelle 20: Feststoffdichte in g/cm ³ für 0 - 75 cm	48
Tabelle 21: Porenvolumen in unterschiedlichen Bodentiefen.....	50
Tabelle 22: Luftkapazität in Vol.% bis 60 hpa oder 300 hpa.....	55
Tabelle 23: nutzbare Feldkapazität	56
Tabelle 24: Totwasser bzw. Feinporenanteil in Vol. %	57
Tabelle 25: Gesamtporenanteil in Vol. % aus Wassersättigung.....	58
Tabelle 26: Wasserdurchlässigkeitsbeiwert (ks-Wert) für alle Tiefenstufen und Bearbeitungsvarianten ..	60
Tabelle 27: pH-Wert für jede Technik Tiefe 0 - 75cm;	63
Tabelle 28: Auswirkungen von Salz auf die Produktivität bestimmter Kulturpflanzen	64
Tabelle 29: elektrische Leitfähigkeit in µS/cm für 0 - 75cm.....	65
Tabelle 30: Gesamtstickstoff in % Trockensubstanz.....	67
Tabelle 31: Gesamtstickstoff Corg und PO4 in Tonnen pro Hektar für 0 - 0,75 Meter.....	68
Tabelle 32: Gesamtkohlenstoff in % Trockensubstanz.....	68
Tabelle 33: organischer Kohlenstoff in % Trockensubstanz.....	69
Tabelle 34: organischer Kohlenstoff umgerechnet auf Tonnen pro Hektar für 0 - 30cm	71
Tabelle 35: C/N Verhältnis der Trockensubstanz.....	72
Tabelle 36: Glühverlust in % TS mit Ton-Korrektur.....	73
Tabelle 37: Glühverlust in % mit Ton-Korrektur	73
Tabelle 38: Glühverlust in % Trockensubstanz in kg/m ²	74
Tabelle 39: Phosphor in mg pro 100 g Boden.....	76
Tabelle 40: Kationenaustauschkapazität	77
Tabelle 41: Übersicht Ergebnis Bodengesundheitsindex.....	79

Anhang A: Ergänzungen zur Feldansprache und bodenphysikalischen Parametern

1. Standortaufnahmeblatt Formular
2. Summenkurven Korngrößenverteilungen
3. Wasserspannungs- Wasseranteilsbeziehung
4. Hydraulische Leitfähigkeit
5. Überblickstabelle Korngrößenverteilungen

Standortaufnahmeblatt:

1. Lage:

Datum: _____

Profilnummer: Konservierende Bodenbearbeitung

Bundesland: _____

Grundparzelle: _____

Katastralgemeinde: _____

Grundeigentümer: _____

ÖK 25 Blattnummer: _____

Koordinaten im Bundesmeldenetz : _____ Rechtswert

Meridiansystem: _____

_____ Hochwert

2. Standort:

Neigung in Grad: 7__°

Kleinrelief:

☐	Ausgeglichen
☐	Unruhig
☐	Rinnen
☐	Buckel
☐	Blockflur

Jahresniederschlag: _____ mm

Wärmesumme: _____

Ausgangsmaterial der Bodenbildung:

Laut geologischer Karte _____

Geländebefund _____

Gründigkeit:

☐ <30 ☐ <70 ☐ > 70 cm

☐	Ebene Fläche
☐	Verebnung
☐	Talboden
☐	Terrasse
☐	Platte
☐	Mulde
☐	Wanne
☐	Graben
☐	Oberhang
☐	Unterhang
☐	Mittelhang
☐	Unterhang
☐	Hangfuß
☐	Rücken
☐	Schwemm- Schuttfächer
☐	Schwemm- Schuttkegel

Falls Hang:

☐	Konvex
☐	Konkav

Grundwasserstand:

Minimal: _____

Maximal: _____

Charakteristik der Bodenwasserverhältnisse:

☐	Dürr	☐	Sehr naß
☐	Trocken		
☐	Frisch feucht		
☐	Naß		

Bodenhydrologische Verhältnisse:

☐	Öberflächenabfluß
☐	Öberflächenzufluß
☐	Grundwasser
☐	Stauwasser über. Trocken
☐	Stauwasser überw. Feucht
☐	Stauwasser
☐	Hangwasser

2. Vegetation Nutzung:

Ackerland: aktuelle Frucht:_____

Fruchtfolge:_____

Horizontierung:

Hori- zont	Cm von bis	Horizontbegrenzung		Bodenart	Skelettgehalt	Bodenfarbe Munsell	<u>Fleckung</u>					
		Deutlich keit	Form				Deckungs- grad	Munsell	Art	Deckungs- grad	Munsell	Art

Hori- zont	Cm von bis	Konkret	Karbon- ate	<u>Struktur</u>			<u>Porosität</u>		<u>Humus</u>		<u>Regen- würmer</u>
		CaCO ₃		Keine Aggr.	Deutlichkeit	Form	Poren- größe	Poren- anteil	Gehalt	Form	

Wasserspannungs- Wasseranteilsbeziehung Originaldaten Drucktopf und Kapillarimeter Teil I

Probe	Tiefe in cm	Wasser- anteil gesättigt	Wasserranteil 10cm	Wasseranteil 50cm	Wasseranteil 100cm	Wasser- anteil 300hpa	Wasser- anteil 1000hpa	Wasser- anteil 3000 hpa	Wasser- anteil 15000hpa	Trocken- dichte g/cm ³
DS_I_1	0-5	0,504	0,479	0,421	0,381	0,271	0,212	0,172	0,139	1,352
DS_I_1	0-5	0,498	0,454	0,410	0,379	0,305	0,249	0,204	0,181	1,320
DS_I_1	0-5	0,480	0,467	0,432	0,398	0,257	0,205	0,157	0,115	1,409
DS_I_2	10-15	0,441	0,409	0,380	0,369	0,307	0,249	0,203	0,172	1,416
DS_I_2	10-15	0,499	0,433	0,403	0,339	0,296	0,230	0,190	0,150	1,530
DS_I_2	10-15	0,463	0,416	0,364	0,340					1,354
DS_I_3	25-30	0,420	0,395	0,370	0,354	0,321	0,264	0,211	0,191	1,446
DS_I_3	25-30	0,443	0,421	0,373	0,354	0,293	0,233	0,193	0,164	1,469
DS_I_3	25-30	0,414	0,397	0,357	0,338	0,334	0,249	0,193	0,189	1,513
DS_I_4	50-55	0,424	0,404	0,385	0,369	0,352	0,247	0,181	0,132	1,483
DS_I_4	50-55	0,431	0,414	0,396	0,377	0,305	0,254	0,183	0,122	1,460
DS_I_4	50-55	0,448	0,431	0,386	0,372	0,318	0,269	0,187	0,154	1,449
DS_I_5	70-75	0,448	0,410	0,385	0,368	0,299	0,216	0,164	0,127	1,541
DS_I_5	70-75	0,424	0,406	0,390	0,376	0,337	0,265	0,184	0,147	1,454
DS_I_5	70-75	0,444	0,400	0,369	0,352	0,327	0,257	0,192	0,143	1,443
DS_II_1	0-5	0,611	0,536	0,484	0,449	0,284	0,235	0,198	0,174	1,323
DS_II_1	0-5	0,495	0,467	0,381	0,345	0,251	0,211	0,179	0,154	1,144
DS_II_1	0-5	0,460	0,432	0,381	0,345					1,216
DS_II_2	10-15	0,440	0,388	0,379	0,365	0,372	0,268	0,253	0,189	1,519
DS_II_2	10-15	0,433	0,386	0,375	0,362	0,308	0,260	0,210	0,185	1,562
DS_II_2	10-15	0,424	0,392	0,375	0,358	0,310	0,232	0,223	0,177	1,546

Wasserspannungs- Wasseranteilsbeziehung Originaldaten Drucktopf und Kapillarimeter Teil II

Probe	Tiefe in cm	Wasser- anteil gesättigt	Wasserranteil 10cm	Wasseranteil 50cm	Wasseranteil 100cm	Wasser- anteil 300hpa	Wasser- anteil 1000hpa	Wasser- anteil 3000 hpa	Wasser- anteil 15000hpa	Trocken- dichte g/cm ³
DS_II_3	25-30	0,457	0,425	0,390	0,367	0,318	0,294	0,211	0,183	1,547
DS_II_3	25-30	0,450	0,430	0,402	0,381	0,324	0,272	0,234	0,198	1,452
DS_II_3	25-30	0,424	0,396	0,369	0,349					1,481
DS_II_4	50-55	0,480	0,458	0,429	0,405	0,301	0,276	0,158	0,133	1,466
DS_II_4	50-55	0,473	0,454	0,408	0,374	0,346	0,195	0,179	0,122	1,450
DS_II_4	50-55	0,462	0,434	0,401	0,375					1,345
DS_II_5	70-75	0,545	0,512	0,492	0,474	0,382	0,236	0,091	0,135	1,439
DS_II_5	70-75	0,484	0,459	0,436	0,417	0,351	0,234	0,165	0,135	1,491
DS_II_5	70-75	0,513	0,470	0,439	0,414	0,353	0,181	0,161	0,121	1,495
KV_I_1	0-5	0,535	0,487	0,407	0,352	0,278	0,233	0,189	0,168	1,318
KV_I_1	0-5	0,564	0,504	0,396	0,349	0,298	0,220	0,161	0,172	1,235
KV_I_1	0-5	0,484	0,434	0,360	0,327	0,305	0,246	0,194	0,143	1,327
KV_I_2	10-15	0,614	0,580	0,467	0,431	0,366	0,265	0,204	0,172	1,407
KV_I_2	10-15	0,515	0,483	0,409	0,366	0,375	0,211	0,130	0,180	1,275
KV_I_2	10-15	0,505	0,471	0,417	0,369	0,310	0,262	0,199	0,174	1,406
KV_I_3	25-30	0,451	0,424	0,378	0,356	0,395	0,304	0,234	0,220	1,508
KV_I_3	25-30	0,425	0,404	0,361	0,340	0,387	0,295	0,210	0,198	1,434
KV_I_3	25-30	0,453	0,416	0,363	0,339					1,459
KV_I_4	50-55	0,540	0,514	0,481	0,460	0,401	0,191	0,094	0,138	1,498
KV_I_4	50-55	0,473	0,432	0,385	0,359	0,333	0,305	0,183	0,148	1,472
KV_I_4	50-55	0,478	0,444	0,408	0,385					1,388

Wasserspannungs- Wasseranteilsbeziehung Originaldaten Drucktopf und Kapillarimeter Teil III

Probe	Tiefe in cm	Wasser- anteil gesättigt	Wasserranteil 10cm	Wasseranteil 50cm	Wasseranteil 100cm	Wasser- anteil 300hpa	Wasser- anteil 1000hpa	Wasser- anteil 3000 hpa	Wasser- anteil 15000hpa	Trocken- dichte g/cm ³
KV_I_5	70-75	0,446	0,427	0,404	0,390	0,320	0,251	0,154	0,135	1,521
KV_I_5	70-75	0,473	0,455	0,427	0,404	0,307	0,230	0,157	0,136	1,469
KV_I_5	70-75	0,460	0,429	0,409	0,400	0,323	0,255	0,185	0,150	1,502
KV_II_1	0-5	0,483	0,457	0,363	0,332	0,284	0,182	0,177	0,133	1,279
KV_II_1	0-5	0,506	0,476	0,363	0,332	0,291	0,192	0,181	0,142	1,270
KV_II_1	0-5	0,526	0,473	0,340	0,311					1,206
KV_II_2	10-15	0,519	0,485	0,388	0,357	0,276	0,253	0,183	0,162	1,178
KV_II_2	10-15	0,486	0,445	0,377	0,354					1,314
KV_II_2	10-15	0,484	0,448	0,362	0,337					1,299
KV_II_3	25-30	0,438	0,402	0,372	0,351	0,329	0,230	0,171	0,158	1,485
KV_II_3	25-30	0,482	0,466	0,440	0,413	0,350	0,231	0,180	0,148	1,477
KV_II_4	50-55	0,465	0,443	0,421	0,402	0,327	0,252	0,186	0,104	1,415
KV_II_4	50-55	0,321	0,289	0,259	0,235	0,337	0,220	0,171	0,131	1,497
KV_II_4	50-55	0,484	0,438	0,408	0,386					1,412
KV_II_5	70-75	0,486	0,462	0,433	0,409	0,358	0,232	0,149	0,127	1,671
KV_II_5	70-75	0,533	0,507	0,455	0,426					1,418
MS_I_1	0-5	0,534	0,467	0,396	0,363	0,298	0,197	0,114	0,160	1,209
MS_I_1	0-5	0,531	0,484	0,405	0,370	0,225	0,183	0,144	0,108	1,232
MS_I_1	0-5	0,528	0,457	0,374	0,346					1,247
MS_I_2	10-15	0,435	0,398	0,367	0,345	0,314	0,246	0,191	0,198	1,622
MS_I_2	10-15	0,438	0,404	0,369	0,348	0,308	0,275	0,227	0,213	1,494
MS_I_2	10-15	0,436	0,388	0,376	0,357					1,506

Wasserspannungs- Wasseranteilsbeziehung Teil IV

Probe	Tiefe in cm	Wasser- anteil gesättigt	Wasserranteil 10cm	Wasseranteil 50cm	Wasseranteil 100cm	Wasser- anteil 300hpa	Wasser- anteil 1000hpa	Wasser- anteil 3000 hpa	Wasser-anteil 15000hpa	Trocken- dichte In g/cm ³
MS_I_3	25-30	0,434	0,414	0,383	0,366	0,337	0,303	0,254	0,207	1,508
MS_I_3	25-30	0,464	0,447	0,410	0,384	0,376	0,224	0,134	0,188	1,583
MS_I_3	25-30	0,417	0,397	0,372	0,353					1,560
MS_I_4	50-55	0,450	0,427	0,398	0,375	0,341	0,167	0,150	0,138	1,465
MS_I_4	50-55	0,439	0,412	0,375	0,352	0,321	0,154	0,140	0,120	1,418
MS_I_4	50-55	0,492	0,460	0,426	0,398					1,476
MS_I_5	70-75	0,452	0,418	0,395	0,376	0,323	0,256	0,186	0,127	1,325
MS_I_5	70-75	0,584	0,546	0,504	0,467	0,370	0,280	0,170	0,130	1,493
MS_I_5	70-75	0,487	0,465	0,436	0,416					1,476
MS_II_1	0-5	0,515	0,466	0,361	0,329	0,291	0,184	0,140	0,136	1,008
MS_II_1	0-5	0,618	0,519	0,413	0,384	0,267	0,208	0,163	0,151	1,129
MS_II_1	0-5	0,543	0,462	0,332	0,303					1,047
MS_II_2	10-15	0,502	0,469	0,445	0,425	0,328	0,278	0,240	0,190	1,535
MS_II_2	10-15	0,424	0,406	0,387	0,370	0,318	0,224	0,222	0,181	1,511
MS_II_2	10-15	0,423	0,401	0,372	0,351					1,524
MS_II_3	25-30	0,528	0,504	0,456	0,428	0,348	0,251	0,223	0,144	1,459
MS_II_3	25-30	0,431	0,414	0,390	0,370	0,321	0,243	0,177	0,165	1,410
MS_II_3	25-30	0,433	0,411	0,386	0,371	0,325	0,245	0,180	0,142	1,454
MS_II_4	50-55	0,543	0,509	0,476	0,453	0,293	0,182	0,133	0,088	1,391
MS_II_4	50-55	0,495	0,460	0,423	0,397	0,346	0,191	0,169	0,111	1,379
MS_II_4	50-55	0,467	0,430	0,393	0,363					1,363
MS_II_5	70-75	0,472	0,444	0,410	0,393	0,342	0,238	0,155	0,126	1,405
MS_II_5	70-75	0,453	0,423	0,389	0,365	0,310	0,210	0,141	0,112	1,464
MS_II_5	70-75	0,450	0,414	0,378	0,358					1,419

Hydraulische Leitfähigkeit

Probe	Ks_Wert (cm/sek)	Ks_Wert (m/Tag)
DS_I_1	0,0004	0,33
DS_I_1	0,0048	4,11
DS_I_2	0,0069	5,94
DS_I_2	0,0001	0,11
DS_I_2	0,0005	0,47
DS_I_3	0,0005	0,47
DS_I_3	0,0001	0,06
DS_I_3	0,0008	0,65
DS_I_4	0,0001	0,10
DS_I_4	0,0000	0,04
DS_I_5	0,0000	0,01
DS_I_5	0,0090	7,79
DS_I_5	0,0000	0,03
DS_II_1	0,0029	2,52
DS_II_1	0,0025	2,20
DS_II_1	0,0059	5,06
DS_II_2	0,0000	0,02
DS_II_2	0,0000	0,04
DS_II_2	0,0000	0,00
DS_II_3	0,0012	1,07
DS_II_3	0,0004	0,34
DS_II_3	0,0001	0,07
DS_II_4	0,0001	0,10
DS_II_4	0,0000	0,03
DS_II_4	0,0003	0,27
DS_II_5	0,0001	0,09
DS_II_5	0,0001	0,08
DS_II_5	0,0003	0,26
KV_I_1	0,0011	0,99
KV_I_1	0,0041	3,57
KV_I_1	0,0092	7,98
KV_I_2	0,0078	6,71
KV_I_2	0,0005	0,45
KV_I_3	0,0032	2,77
KV_I_3	0,0008	0,73
KV_I_3	0,0005	0,45
KV_I_4	0,0005	0,46

Probe	Ks_Wert (cm/sek)	Ks_Wert (m/Tag)
KV_I_4	0,0001	0,10
KV_I_4	0,0007	0,58
KV_I_5	0,0000	0,04
KV_I_5	0,0002	0,18
KV_I_5	0,0003	0,22
KV_II_1	0,0127	10,95
KV_II_1	0,0174	15,00
KV_II_2	0,0036	3,08
KV_II_2	0,0058	5,02
KV_II_3	0,0001	0,11
KV_II_3	0,0008	0,71
KV_II_4	0,0001	0,12
KV_II_4	0,0034	2,98
KV_II_5	0,0041	3,55
KV_II_5	0,0001	0,10
MS_I_1	0,0056	4,81
MS_I_1	0,0037	3,22
MS_I_2	0,0004	0,38
MS_I_2	0,0033	2,89
MS_I_2	0,0010	0,87
MS_I_3	0,0000	0,04
MS_I_3	0,0069	6,00
MS_I_3	0,0008	0,66
MS_I_4	0,0001	0,06
MS_I_4	0,0001	0,06
MS_I_4	0,0007	0,59
MS_I_5	0,0002	0,19
MS_I_5	0,0003	0,27
MS_I_5	0,0036	3,14
MS_II_1	0,0172	14,87
MS_II_1	0,0102	8,84
MS_II_2	0,0016	1,36
MS_II_3	0,0001	0,07
MS_II_3	0,0006	0,51
MS_II_3	0,0011	0,92
MS_II_4	0,0001	0,05
MS_II_4	0,0002	0,14
MS_II_5	0,0001	0,09
MS_II_5	0,0005	0,44

Korngrößenverteilungen I

Profilgrube	DS_I	DS_II	KS_I	KS_II	MS_I	MS_II
Tiefenstufe	"0 - 2,5cm"	"0 - 2,5cm"	"0 - 2,5cm"	"0 - 2,5cm"	"0 - 2,5cm"	"0 - 2,5cm"
Ton%	25,44	19,52	19,50	20,39	25,50	25,42
Schluff %	64,04	69,85	68,45	69,48	60,70	67,78
Sand %	10,52	10,64	12,05	10,12	13,80	6,80
Bodenart	uL	IU	IU	IU	uL	uL

Profilgrube	DS_I	DS_II	KS_I	KS_II	MS_I	MS_II
Tiefenstufe	"0 - 5cm"	"0 - 5cm"	"0 - 5cm"	"0 - 5cm"	"0 - 5cm"	"0 - 5cm"
Ton%	18,20	21,24	22,46	16,40	26,17	17,47
Schluff %	67,92	64,41	69,63	77,73	57,46	70,60
Sand %	13,88	14,35	7,91	5,88	16,37	11,94
Bodenart	IU	IU	IU	IU	uL	IU

Profilgrube	DS_I	DS_II	KS_I	KS_II	MS_I	MS_II
Tiefenstufe	"10 - 15cm"	"10 - 15cm"	"10 - 15cm"	"10 - 15cm"	"10 - 15cm"	"10 - 15cm"
Ton%	29,62	25,45	19,69	19,97	29,82	22,02
Schluff %	58,34	64,59	68,13	70,05	59,41	67,35
Sand %	12,04	9,96	12,18	9,98	10,77	10,63
Bodenart	uL	IU	IU	IU	uL	IU

Profilgrube	DS_I	DS_II	KS_I	KS_II	MS_I	MS_II
Tiefenstufe	"25 - 30cm"	"25 - 30cm"	"25 - 30cm"	"25 - 30cm"	"25 - 30cm"	"25 - 30cm"
Ton%	23,97	11,15	20,25	16,47	22,54	30,32
Schluff %	66,76	79,06	68,49	76,57	64,23	60,23
Sand %	9,27	9,79	11,26	6,95	13,23	9,45
Bodenart	IU	U	IU	U	IU	uL

Korngrößenverteilungen Fortsetzung

Profilgrube	DS_I	DS_II	KS_I	KS_II	MS_I	MS_II
Tiefenstufe	"50 - 55cm"	"50 - 55cm"	"50 - 55cm"	"50 - 55cm"	"50 - 55cm"	"50 - 55cm"
Ton%	19,64	9,65	16,57	22,54	14,39	18,72
Schluff %	72,74	78,15	72,21	69,57	73,61	71,13
Sand %	7,62	12,21	11,22	7,89	12,00	10,15
Bodenart	IU	U	IU	IU	sU	IU

Profilgrube	DS_I	DS_II	KS_I	KS_II	MS_I	MS_II
Tiefenstufe	"70 - 75cm"	"70 - 75cm"	"70 - 75cm"	"70 - 75cm"	"70 - 75cm"	"70 - 75cm"
Ton%	21,89	13,47	16,72	14,97	18,02	16,62
Schluff %	65,02	77,01	73,70	78,42	68,60	71,58
Sand %	13,09	9,52	9,58	6,60	13,38	11,80
Bodenart	IU	sU	IU	U	IU	IU

Anhang B: Chemische Originalmesswerte

1. Gesamtstickstoff
2. Gesamtkohlenstoff
3. Organischer Kohlenstoff
4. Glühverlust
5. Kationenaustauschkapazität
6. Phosphor

Ergebnisse des VARIOMAX Gesamtstickstoff alle Messungen:

Tiefenstufe in cm	Gesamtstickstoff in % Trockensubstanz											
	KV I		MS I		DS I		KV II		MS II		DS II	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
0 - 2,5	0,10	0,11	0,15	0,10	0,16	0,15	0,10	0,08	0,13	0,13	0,15	0,14
0 - 5	0,10	0,10	0,11	0,09	0,12	0,13	0,03	0,05	0,08	0,10	0,09	0,09
10 - 15	0,07	0,08	0,08	0,07	0,13	0,12	0,08	0,10	0,09	0,07	0,07	0,07
25 - 30	0,07	0,05	0,03	0,04	0,10	0,10	0,03	0,04	0,06	0,05	0,08	0,09
50 - 55	0,03	0,04	0,01	0,02	0,05	0,03	0,04	0,05	0,02	0,01	0,04	0,04
70 - 75	0,01	0,04	0,01	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	0,04	0,02	0,03
Mittelwert	0,07	0,07	0,07	0,06	0,10	0,09	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08

Ergebnisse der Variomax Gesamtkohlenstoff Messungen:

Tiefenstufe in cm	Gesamtkohlenstoff in % Trockensubstanz											
	KV I		MS I		DS I		KV II		MS II		DS II	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
0 - 2,5	3,16	3,10	3,94	3,63	3,66	3,26	3,35	3,27	3,68	3,63	3,71	3,70
0 - 5	3,27	3,12	3,20	3,24	3,33	3,50	3,03	3,02	3,65	3,70	3,26	3,30
10 - 15	3,04	3,04	2,80	2,85	2,94	2,87	3,29	3,29	3,20	3,33	2,93	2,96
25 - 30	3,20	3,20	2,54	2,59	2,51	2,41	3,37	3,34	2,79	2,84	2,90	2,88
50 - 55	3,35	3,36	3,26	3,29	3,55	3,63	3,38	3,40	3,35	3,36	3,63	3,67
70 - 75	2,95	2,94	2,99	2,99	3,31	3,34	2,92	2,98	2,41	2,46	2,49	2,45
Mittelwert	3,16	3,13	3,12	3,10	3,22	3,17	3,22	3,22	3,18	3,22	3,15	3,16

Tiefenstufe in cm	organischer Kohlenstoff in % Trockensubstanz											
	KV I		MS I		DS I		KV II		MS II		DS II	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
0 - 2,5	1,04	1,05	2,72	2,19	2,02	1,61	0,94	0,60	1,73	1,74	1,51	1,51
0 - 5	1,28	1,42	1,64	1,69	2,12	2,38	0,36	0,18	1,70	1,77	1,49	1,42
10 - 15	0,92	1,06	1,34	1,37	1,27	1,07	0,74	0,74	1,22	1,33	0,97	0,04
25 - 30	0,89	0,91	0,90	0,97	0,86	1,08	0,51	0,38	0,95	0,80	0,65	0,67
50 - 55	0,31	0,29	0,36	0,25	0,26	0,40	0,52	1,64	0,71	0,57	0,70	0,43
70 - 75	0,34	0,03	0,08	0,04	0,09	0,22	0,43	0,41	0,22	0,30	0,11	0,39
Mittelwert	0,80	0,79	1,17	1,08	1,10	1,13	0,58	0,66	1,09	1,09	0,91	0,74

Glühverlust in % Trockensubstanz												
Tiefenstufe in cm	KV I		MS I		DS I		KV II		MS II		DS II	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
0 - 2,5	5,04	7,34	8,28	7,74	7,80	7,30	6,14	5,45	7,12	6,59	9,13	7,62
0 - 5	7,13	6,44	7,19	6,79	8,39	8,24	3,00	2,60	5,60	5,42	6,73	6,38
10 - 15	6,73	6,10	6,60	6,37	5,65	5,31	5,77	5,57	5,36	7,08	5,45	4,95
25 - 30	4,48	5,14	4,83	4,47	5,40	5,97	4,16	2,98	5,28	4,90	5,29	2,72
50 - 55	2,82	2,53	3,60	4,02	5,14	4,49	3,68	8,50	3,52	2,57	4,54	2,79
70 - 75	2,10	1,95	4,05	3,76	3,88	4,63	3,70	3,28	4,47	3,93	3,77	3,41
Mittelwert	4,71	4,92	5,76	5,52	6,05	5,99	4,41	4,73	5,22	5,08	5,82	4,65

Ohne Tonkorrektur

Kationenaustauschkapazität in cmolc/kg												
Tiefenstufe in cm	KV I		MS I		DS I		KV II		MS II		DS II	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
0-30	45,35	90,76	87,20	77,22	33,79	92,40	68,45	49,41	43,94	83,98	68,60	37,78
0 - 2,5	20,98	90,50	20,58	67,19	58,51	106,4	44,11	81,43	29,15	43,88	49,39	40,07
Mittelwert	33,16	90,63	53,89	72,20	46,15	99,41	56,28	65,42	36,54	63,93	58,99	38,93

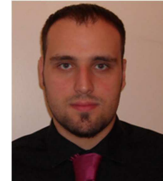
Glühverlust in % ohne Tonkorrektur

Glühverlust in % Trockensubstanz						
Tiefenstufe	KV I	MS I	DS I	KV II	MS II	DSII
0 - 2,5	6,19	8,01	7,55	5,8	6,85	8,38
0 - 5	6,78	6,99	8,32	2,8	5,51	6,55
10 - 15	6,41	6,48	5,48	5,67	6,55	5,2
25 - 30	4,81	4,65	5,69	3,57	5,09	5,06
50 - 55	2,68	3,81	4,81	5,01	3,05	3,35
70 - 75	2,02	3,91	4,26	3,49	4,2	3,59
Mittelwert	4,82	5,64	6,02	4,39	5,21	5,36

Phosphor in % Trockensubstanz						
Tiefenstufe	KV I	MS I	DS I	KV II	MS II	DSII
0 - 2,5	0,04	0,03	0,06	0,05	0,05	0,06
0 - 5	0,05	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04
10 - 15	0,04	0,04	0,06	0,05	0,06	0,05
25 - 30	0,05	0,05	0,06	0,04	0,04	0,05
50 - 55	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03
70 - 75	0,04	0,03	0,04	0,05	0,04	0,05
Mittelwert	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05

Anhang C: Lebenslauf

Mag. Hannes Groll



Ausbildung

Universität Wien

- Seit Oktober 2011 Masterstudium Geographie mit Schwerpunkt auf Bodenkunde und landwirtschaftliche Standortlehre.
- Oktober 2006 – 2011: Lehramtsstudium Geografie und Wirtschaftskunde, sowie Geschichte, Sozialkunde und politische Bildung; Abschluss mit Auszeichnung am 21. September 2011

Diplomarbeit:

“Perception and attitude of local communities towards the Transfrontier-Conservation-Area Chimanimani (Mozambique)”.

Wissenschaftlicher Werdegang

- Lektor an der Universität Wien. Studienprogrammleitung Erdwissenschaften, Meteorologie-Geophysik und Astronomie. UE Terrestrische Systeme, SoSe 2014, SoSe 2013;
- Mitarbeiter am Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt (IKT) Petzenkirchen, Feldeinsätze (Probennahmen, Messstellenbetreuung und Auswertungen), Februar und August 2012, August 2014
- Angestellter der Universität Wien als Tutor für die Lehrveranstaltung Wirtschaftsgeographie SoSe 2009, SoSe 2010, SoSe 2011(Ass. Prof. Dr. Mag Elisabeth Aufhauser)
- Angestellter der Universität Wien als Tutor für die Lehrveranstaltung Einführung in die statistische Datenanalyse, im WS 2008/09, WS 2009/10 und WS 2010/2011(Ass. Prof. Dr. Mag Elisabeth Aufhauser)

Vorträge und Publikationen

- Vortragender beim Jahrestreffen des Arbeitskreises „Subsaharisches Afrika der Deutschen Gesellschaft für Geographie am 13. Mai 2011 in Gießen/ Hessen. Thema: „Mitten im Park“, Empirische Untersuchung von zwei kleinen Communities im Zentrum der Transfrontier Conservation Area Chimanimani.