



Vergleich der Aggregatstabilität von Böden mit unterschiedlicher Bodenbearbeitung

**Masterarbeit
zur Erlangung des akademischen Grades
Diplom Ingenieur**

eingereicht
an der
Universität für Bodenkultur
von
MAIR STEFAN

Dezember 2017

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

Mitbetreuer: Nolz Reinhard, Dipl.-Ing. Dr.

Vorwort

Die folgende Masterarbeit wurde am Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft an der Universität für Bodenkultur in Wien durchgeführt.

Ich möchte mich bei meinem Betreuer Ao. Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. A. Klik für den verständnisvollen Umgang und die hilfreiche Unterstützung herzlich bedanken.

Auch den Mitarbeitern des physikalischen und chemischen Labors des Instituts für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft, im speziellen Faulhammer Martina, Dipl.-Ing. (FH) möchte ich für die tatkräftige Unterstützung danken.

Allen Freunden die mich durch das Studium begleitet, unterstützt und mich für das Weitermachen und das Abschließen motiviert haben möchte ich meinen Dank aussprechen.

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern, die Jahrelange mitgefiebert habe und mich finanziell unterstützten.

Die Begeisterung für die Wissenschaft meiner Freundin Clementine Brakspear, sowie die gemeinsamen Erlebnisse im letzten Jahr, beflügelten mich besonders in der Abschlussphase.

Inhaltsverzeichnis

Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt	1
Leiter: Kammerer Gerhard, Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn.	1
1. Einleitung und Abgrenzung der Fragestellung	1
1.1 Einführung	1
1.2 Problemstellung	1
1.3 Das Ziel dieser Arbeit	2
2. Allgemeine Grundlagen (inklusive Literaturstudie)	3
2.1 Die verschiedenen Messmethoden der Aggregatstabilität	3
2.1.1 Verschlammungsbild nach Sekera/Emerson	3
2.1.2 Trockensiebung	3
2.1.3 Nasssiebverfahren	4
2.1.3.1 Nasssiebung mit mehreren Sieben, Tauchsiebung nach YODER, (1936).	4
2.1.3.2 Nasssiebung mit zwei Sieben (BRYANT et al., 1948)	5
2.1.3.3 Nasssiebung mit einem Sieb	5
2.1.4 Berechnungsverfahren, Rainfall Impact Methode RIM (Truman, Bradford & Ferris, 1990)	5
2.1.5 Perkolationmessungen	5
2.1.6 Spülmethode	6
2.1.7 Ultraschalldispersion (MENTLER et al., 2004a)	6
2.2 Die Bildung von Bodenaggregaten und deren Einflussfaktoren auf die Stabilität (BECHER, 2014)	6
2.2.1 Die Mikroskala: Aggregatbildung durch physikalische und chemische Prozesse	6
2.2.1.1 Bildung der Aggregate durch Peptisation und Koagulation	7
2.2.1.2 Van der Waals'sche Kräfte	9
2.2.2 Aggregatbildung durch biologische Prozesse (WACHENDORF & POTTHOFF, 2014)	9
2.2.3 Organische Substanz (BECHER, 2014)	11
2.2.4 Aggregatbildung (Verkittung) durch Eisen-, Mangan-, und Aluminiumhydroxide	12
3. Material und Methoden	13
3.1 Beschreibung des Untersuchungsstandortes Mistelbach	13
3.1.1 Lage	13
3.1.2 Klima	15
3.1.3 Boden	15
3.2 Bodenbearbeitung	17
3.2.1 Fruchtfolge	19
3.3 Probenentnahme und Probenaufbereitung	20
3.4 Bodenphysikalische Untersuchungen	22
3.4.1 Bestimmung der Aggregatstabilität	22
3.4.1.1 Bestimmung der Aggregatstabilität des Gesamtbodens - Gesamtbodenuntersuchung	22
3.4.1.2 Bestimmung der Stabilität der einzelnen Aggregatklassen – Aggregatstabilitätstest	23
3.4.1.3 Überprüfung der Kongruenz der Ergebnisse der Gesamtbodenuntersuchung und des Aggregatstabilitätstests	23
3.4.2 Bestimmung der Korngrößenverteilung	24
3.5 Chemische Untersuchungen	25
3.5.1 pH-Wert	25
3.5.2 Elektrische Leitfähigkeit	25
3.5.3 Bestimmung der organischen Substanz - Glühmethode	25
3.5.4 Gesamtkohlenstoff und Gesamtstickstoff	25
3.5.5 Anorganischer Kohlenstoff	26
3.5.6 Organischer Kohlenstoff	26

3.5.7	Gelöster Kohlenstoff – SAK	26
3.6	Statistische Auswertung	27
3.6.1	Varianzanalysen	27
4.	Messergebnisse und Interpretation	28
4.1	Physiko – Chemische Analysen	28
4.1.1	Gesamtstickstoff	28
4.1.2	Gesamtkohlenstoff	30
4.1.3	Anorganischer Kohlenstoff	32
4.1.4	Organischer Kohlenstoff	34
4.1.5	Organische Substanz – Glühverlust	36
4.1.6	Gelöster organischer Kohlenstoff – SAK	38
4.1.7	Elektrische Leitfähigkeit	41
4.1.8	pH – Wert	42
4.2	Aggregatstabilität nach Yoder	43
4.2.1	Aggregatstabilität des Gesamtbodens – Gesamtbodenuntersuchung	43
4.2.1.1	Trockensiebung	43
4.2.1.2	Nasssiebung	45
4.2.1.3	Vergleich von Trocken und Nasssiebung – „Mean Weight Diameter“ (MWD)	46
4.2.2	Bestimmung der Stabilität der einzelnen Aggregatklassen – Aggregatstabilitätstest	49
4.2.2.1	Zusammenführung der Ergebnisse des Aggregatstabilitätstests	51
4.2.3	MWD für jede Aggregatklasse	52
4.2.4	Überprüfung der Kongruenz der Gesamtbodenuntersuchung und Aggregatstabilitätstests	53
4.3	Bestimmung der Korngrößenverteilung	55
4.3.1	Texturdreieck	56
4.4	Vergleich der chemischen Parameter und Aggregatstabilität - MWD	57
5.	Zusammenfassung	59
6.	Literatur	1
7.	Abbildungsverzeichnis	4
8.	Anhang	6
8.1	Chemische Untersuchungen	6
8.1.1	pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit	6
8.1.2	Elektrische Leitfähigkeit	6
8.1.3	Organische Substanz - Glühmethode	6
8.1.4	Gesamtstickstoff	7
8.1.5	Gesamtkohlenstoff	7
8.1.6	Anorganischer Kohlenstoff	8
8.1.7	Organischer Kohlenstoff	8
8.1.8	Gelöster Kohlenstoff – SAK	9
9.	Eidesstattliche Erklärung	10

Kurzfassung / Abstract

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde der Einfluss von konventioneller Bodenbearbeitung und der Bewirtschaftung mit Direktsaat auf die Aggregatstabilität und damit in Zusammenhang stehende bodenphysikalische und chemische Bodenparameter untersucht. Die Untersuchungen sollten Aufschluss über den Einfluss der Bodenbearbeitung auf Mischproben, also dem Boden als Ganzes, und auf einzelne Aggregatklassen geben.

Die Aggregatstabilität wurde mit der Nasssiebung laut der Methode nach Yoder untersucht. Um die Messergebnisse vergleichbar zu machen und einen tatsächlichen Wert für die Aggregatstabilität zu erhalten, wird der „Mean Weight Diameter“ (VAN BAVEL, 1949) für Mischproben und für jede einzelne Aggregatklasse generiert. Die im MWD ausgedrückte Aggregatstabilität wurde mit den physiko. chemischen Parametern DOC–SAK, organische Substanz, organischer Kohlenstoff, Gesamtkohlenstoff, Gesamtstickstoff, pH – Wert und elektrische Leitfähigkeit verglichen.

Zur Überprüfung der Methode nach Yoder wurde mit den aus der Bestimmung der Stabilität der einzelnen Aggregatklassen ermittelten Zerfallsreihen ein Aggregatzerfall nach der Nasssiebung einer Mischprobe berechnet und mit einem tatsächlichen Zerfall verglichen. Die Abweichungen wurden mit dem „root mean square error“ ausgedrückt. Die Abweichungen sind gering und liegen zwischen 1% für konventionelle Bearbeitung und 3,5% für Direktsaat.

Die Untersuchung bezüglich der konventionellen Bodenbearbeitung ergab einen MWD von 2,02mm bzw. 2,32mm. Die Gesamtprobe der Variante mit Direktsaat hat jedoch eine geringere Abnahme des mittleren Korndurchmessers nach der Nasssiebung mit der Yoder Apparatur (1,73mm und 1,63mm). Das bedeutet, dass eine Mischprobe der Variante mit Direktsaat stabilere Aggregate aufweist, als die der konventionellen Methode.

Die Stabilitäten der einzelnen Aggregatklassen weisen wesentliche Unterschiede in den Bearbeitungsmethoden auf. Die Variante mit Direktsaat hat mit Ausnahme der Aggregatklassen 1-0,63 und 0,2-0,063, immer kleinere Abnahmen des MWD, was auf stabilere Aggregate hinweist.

Die physiko - chemischen Analysen der Aggregatklassen ergaben zwar einen signifikanten Zusammenhang zwischen Messwert und Aggregatklassen. Eine Korrelation mit der Aggregatstabilität konnte jedoch nicht festgestellt werden.

Bezüglich der Gesamtproben ist der Unterschied der Parameter DOC–SAK, organische Substanz, organischer Kohlenstoff, Gesamtkohlenstoff und Gesamtstickstoff je Bearbeitungsvariante signifikant. Die These, dass mehr organischer Kohlenstoff zu höherer Aggregatstabilität führt, ist somit bestätigt.

Die für die Praxis relevante Frage: „ Hat die Bodenbearbeitung einen wesentlichen Einfluss auf die Aggregatstabilität?“ kann nach diesen Untersuchungen positiv beantwortet werden.

This thesis investigates the influence of conventional till and treatment with direct seeding on soil aggregate stability and the relating chemical and physical soil parameters. The research examines the influence of soil treatment on mixed samples as well as on aggregate categories. The aggregate stability was tested via Yoder's Method apparatus. For comparability the „Mean Weight Diameter“ was generated for the mixed samples and each individual aggregate category. These values were compared with chemical parameters like dissolved organic carbon, organic matter, organic carbon, nitrogen, pH value and the electrical conductivity. To verify the reliability of the Yoder Method the determined decay series was compared to the outcome of a lab experiment. The deviations – expressed via „mean root square error“ – are relatively small with 1% for conventional treatment and 3.5% for direct seeding. This demonstrates that a mixed sample of direct seeding includes more stable aggregates than the conventional till. The analysis of aggregate stability on conventional till yields a MWD of 2.02mm and 2.32mm, respectively; on direct seeding a MWD of 1.73mm and 1.63mm.

The stabilities of the single categories show essential differences concerning treatment. Direct seeding, excluding the categories 1- 0.63 and 0.2 – 0.063, indicates smaller decreases of mean weight diameter. The results of the soil chemistry analyses show no significant correlation between the measured value of the parameter in question and the aggregate category, in addition no correlation between organic matter and aggregate stability was found. The values of dissolved organic carbon, organic matter and nitrogen within the soil show a significant difference regarding the treatment. The theory that a higher amount of organic carbon results in a higher stability of aggregates was verified. In terms of practicality, the important question: „Has treatment a significant effect on aggregate stability?“ has been resolved.

1. Einleitung und Abgrenzung der Fragestellung

1.1 Einführung

Ein Aggregat ist eine Gruppe von Primärpartikeln, die sich untereinander stärker anziehen als andere umgebende Bodenpartikel (KEMPER & ROSENAU, 1986). Diese Anziehung der Partikel ist von chemischen, physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften abhängig. Die große Anzahl an variablen Faktoren macht die Aggregatstabilität zu einem Summenparameter für die Bodengesundheit. In der Praxis hat die Stabilität der Bodenstruktur direkten Einfluss auf die Widerstandsfähigkeit gegenüber mechanischer Beanspruchung, dem Erosionsverhalten bei Regen und Wind und dem Verhalten gegen Oberflächenverschlammung (SCHEFFER et al., 2008).

1.2 Problemstellung

Der Anteil der organischen Substanz, die biologische Aktivität und bodenphysikalische Parameter wie Infiltrationsrate, Wasserspeichervermögen, Bodendurchlüftung, Nährstoffverfügbarkeit, etc. sind Faktoren, die die Aggregatstabilität beeinflussen (SIX et al., 2004). Es gibt eine Menge aufwendiger Methoden zur Bestimmung und Interpretation dieses komplexen und zeitlich variablen Summenparameters. Alle bisher entwickelten Methoden versuchen die Kräfte, denen die Bodenkrümel unter natürlichen Einflüssen im Feld tatsächlich ausgesetzt sind, nachzubilden. Da bereits die Probennahme zu Veränderungen der Bodeneigenschaften führt und es nicht möglich ist, naturnahe Bedingungen im Labor zu schaffen, gilt die Aggregatstabilität als umstrittener Bodenmesswert. Außerdem führen Mängel in den mathematischen Ansätzen und Ausdrucksformen der verschiedenen Messergebnisse zu meist nicht repräsentativen und untereinander nicht vergleichbaren Resultaten (LAIR, 2002).

Die meisten Verfahren untersuchen die Stabilität des gesamten Bodens, also einer Mischprobe mit allen Aggregatgrößen. Es werden dabei Veränderungen der Aggregatgrößenverteilung vor und nach der Einwirkung einer standardisierten Kraft bestimmt. Um das Verfahren zu vereinfachen versuchen andere Methoden die Stabilität nur einer bestimmten Aggregatgröße zu erfassen. KEMPER & ROSENAU (1986) schreiben: *“Die Aggregatstabilität der Aggregatklasse 1-2mm, korreliert sehr gut mit allen wichtigen Phänomenen im Feld.“* Eher selten werden die Aggregatgrößenverteilung und die Aggregatstabilität einzelner Aggregatklassen kombiniert und in Zusammenhang gebracht.

Ein Problem besteht darin, dass die Ergebnisse - Aggregatgrößenverteilung und Aggregatstabilität - schlechte quantitative Aussagen über die Bodenqualität treffen (ALLISON, 1968). Die Bodenqualität ist davon abhängig, welche chemischen, biologischen oder physikalischen Parameter gemessen werden und wie diese interpretiert werden (KARLEN et al., 2003). Die Bodeneigenschaften und die Qualität variieren nicht nur von Boden zu Boden, sondern ändern sich in der räumlichen Struktur eines Bodens ständig. Das Porenvolumen und -kontinuität ist von der Aggregatgrößenverteilung abhängig (SIX, 2004). Makroaggregate mit mehr als 0,25 mm Durchmesser haben einen höheren Anteil an organischer Substanz, sind weniger erosionsanfällig und erhöhen das Porenvolumen für bessere Infiltration von Wasser und Bodenatmung (ELLIOT, 1986; SIX, 2004). Würde der Boden zu 100% aus Makroaggregaten bestehen, wäre seine Funktion als Pflanzenstandort aber trotzdem äußerst ungeeignet, da durch das geringe Retentionsverhalten das Wasser und somit die Nährstoffe in

tiefere Schichten des Bodens infiltrieren (NICHOLS & TORO, 2011). So ist die Aggregatstabilität zwar ein Summenparameter, scheint aber zur Beurteilung der Bodenqualität weniger gut geeignet. Ein ausgeglichenes Verhältnis von Makro- und Mikroaggregaten ist für die Funktion des Bodens als Pflanzenstandort äußerst wichtig (ELLIOT et al., 1986).

OADES (1984) schreibt, dass Mikroaggregate in Makroaggregaten gebildet werden. Außerdem entstehen Mikroaggregate aus dem Zerfall von Makroaggregaten. So soll es nach dem Einwirken einer aggregatzerstörenden Kraft zur Anhäufung von Mikroaggregaten kommen (ANGERS et al., 1997). Die Veränderung der Aggregatgrößenverteilung - also das Verhältnis von Makro- zu Mikroaggregaten - ist nach der Einwirkung einer Kraft von der Stabilität jedes einzelnen Aggregates abhängig.

1.3 Das Ziel dieser Arbeit

Am Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft wurden bereits in mehreren Bachelorarbeiten Aggregatstabilitäten von verschiedenen Ackerböden mit dem Tauchverfahren nach Yoder bestimmt. Im Vordergrund standen dabei die Verbesserung und Optimierung der Methode von Yoder. Die bisherigen Arbeiten zeigten eine schlechte Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit soll die Aggregatstabilität mit der Methode nach Yoder (1938) bestimmt werden.

Die Aufgabenstellung dieser Diplomarbeit lässt sich in folgende Arbeitsschritte gliedern:

- Durch die Bestimmung der Aggregatstabilität und der Zerfallsreihe einzelner Aggregatklassen (8–4 mm, 4-2 mm, 2-1 mm, 1-0.63 mm, 0.63-0.2 mm, 0.2-0.0063 mm) sollen die Veränderungen der Aggregatgrößenverteilung bei Einwirkung einer standardisierten Kraft auf einen Gesamtboden aus Mistelbach (kalkhaltiger Kulturboden) bestimmt werden.
- Es soll die Vergleichbarkeit der Aggregatstabilität, chemischer und physikalischer Parameter von einem Ackerboden der Versuchsflächen in Mistelbach mit verschiedener Bodenbearbeitung überprüft werden.
- Es soll ermittelt werden, ob ein Zusammenhang zwischen Aggregatgröße bzw. Stabilität und chemischen bzw. physikalischen Parametern besteht.
- Die Messergebnisse der Aggregatstabilität des Gesamtbodens und einzelner Aggregatklassen sollen miteinander verknüpft und verglichen werden, um eine Verlässlichkeit der Messergebnisse zu errechnen.

Für die Durchführung der Untersuchungen im Labor des Instituts für Landeskulturelle Wasserwirtschaft der Universität für Bodenkultur, wurden jeweils zwei unabhängige Mischproben der Versuchsfläche in Mistelbach mit unterschiedlicher Bodenbearbeitung (No Till, Conventional Till) entnommen.

Die Probennahme sowie die Versuchsdurchführung erfolgten im Frühjahr 2016.

2. Allgemeine Grundlagen (inklusive Literaturstudie)

2.1 Die verschiedenen Messmethoden der Aggregatstabilität

Nachfolgend werden einige Untersuchungsmethoden beschrieben, um einen Überblick über die unterschiedlichen Verfahren und Methoden zu bekommen. Einige der Verfahren sind nicht mehr zeitgemäß oder haben sich in der Praxis nicht bewährt (HARTGE et al., 2014).

Alle Messverfahren zur numerischen Darstellung der Aggregatstabilität basieren auf demselben Prinzip. Es wird gemessen, wie sich Aggregate unter der Einwirkung einer standardisierten Kraft (Wasser beim Nasssieben, Beregnung, Ultraschallwellen, Lösungsmittel etc.) verändern. Der Vergleich zwischen dem Zustand vor und nach der Messung bringt das Ergebnis.

Die Aggregatstabilität ist von unzähligen variablen Faktoren abhängig. Dadurch gibt es zu deren Bestimmung eine Vielfalt unterschiedlicher Verfahren mit sehr vielseitigen Interpretationsmöglichkeiten. Luftsprennung („slacking“), Dispersion, Aufquellen der Bodenkrümel und der Aufprall von Regentropfen sind die wesentlichen Ursachen für Aggregatzerfall (GOEBEL et al., 2005; LE BISSONNAIS, 2016A). Die Wahl nach der richtigen Methode erfordert eine Definition in der Fragestellung, welcher Prozess in welchem Umfang untersucht werden sollte. Neuere Verfahren versuchen auf einen bis wenige Effekte zu reduzieren, um präzisere Aussagen über den komplexen Vorgang der Aggregatzerstörung treffen zu können.

Einige Messmethoden wurden in der Masterarbeit von LAIR (2002) bereits angeführt und hier übernommen.

2.1.1 Verschlammungsbild nach Sekera/Emerson

SEKERA & BRUMMER (1943) entwickelten eine sehr einfache qualitative Methode, um die Aggregatstabilität abzuschätzen. Sie beruht auf dem Prinzip des Zerfließens bzw. des Zerfallens der Aggregate in deionisiertem Wasser.

Es werden ca. 10 g luftgetrocknetes Probenmaterial in einer Schale mit deionisiertem Wasser vermischt. Nach anschließendem Umrühren lässt sich nach 10 Minuten die Aggregatstabilität nach dem „Verschlammungsbild“ feststellen. Das Verschlammungsbild wird mit einer 6-stufigen Beurteilungsskala verglichen und daraus ein Wert generiert.

Eine sehr ähnliche Methode zur Klassifizierung von Aggregaten wurde von EMERSON (1967) entwickelt. Die Aggregate werden dabei in Wasser getaucht und nach der Reaktion mit Wasser in sieben verschiedene Klassen eingeteilt.

2.1.2 Trockensiebung

Ein Verfahren zur Messung der Größenverteilung und des mechanischen Abriebes wurde von CHEPIL (1950) entwickelt und ist immer wieder überarbeitet worden. KEMPER & ROSENAUER (1986) verwendeten, empfahlen und erweiterten das Verfahren. Die Proben werden auf Sieben gerieben, was den Reibungskräften auf die Bodenkrümel bei der Winderosion entsprechen sollte.

Beim Versuch wird der luftgetrocknete Boden schonend zerkleinert und die Aggregate < 4 mm auf eine rotierende Siebanordnung mit 2; 1; 0.5; 0.25; 0.12 und 0.05 mm Maschenweite, ca. zehn Minuten lang gesiebt. Die Rückstände auf den Sieben werden als „resistente Aggregate“ bezeichnet. Aus den jeweiligen Gewichtsanteilen der Rückstände kann schließlich der „mean weight diameter“ nach KEMPER & ROSENAU, (1986) und VAN BAVEL, (1949) berechnet werden. Bei mehreren Wiederholungen kann aus den Gewichtsanteilen der einzelnen Siebe eine Aggregatverteilungskurve gebildet werden.

$$MWDd = \sum_{i=n}^n (\phi_i * m_i)$$

MWDd	= mean weight diameter dry [mm]
ϕ_i	= mittlerer Durchmesser der Aggregatklasse [mm]
m_i	= Siebrückstand i [g]

2.1.3 Nasssiebverfahren

Es gibt mehrere Nasssiebverfahren, die alle einem gleichen Prinzip folgen: Bei den Nasssiebverfahren möchte man Effekte, die bei einem Starkregenereignis auftreten und schließlich zur Wassererosion führen, nachbilden. Bei allen Methoden werden trockene Aggregate wiederbefeuchtet bzw. auf einem Sieb liegend als Ganzes unter Wasser getaucht. Die Aggregate werden mit genau festgelegter Geschwindigkeit, Häufigkeit und Dauer im Wasser bewegt, was durch die Scherspannung zwischen Aggregatoberfläche und Wasser zum Bruch der Aggregate führt (HARTGE & HORN, 2009).

Einen großen Einfluss auf die Stabilität der Aggregate haben bei den Nasssiebungsverfahren die auftretenden Effekte der Luftsprennung. Autoren, schreiben, dass bei den Nasssiebungsverfahren überhaupt eher die Luftsprennungs-Charakteristik als die Aggregatstabilität gemessen wird (ROBINSON & PAGE, 1951). Bei der schnellen Befeuchtung wird in den Poren befindliche Luft eingeschlossen. Der Strömungsdruck in den Kapillaren erhöht den Druck im Inneren des Bodenpartikels bis zum Bruch. Eine Einstellung eines definierten Wasserpotentials vor der Versuchsdurchführung sollte die Luftsprennung vereinheitlichen, um die großen Unterschiede bei schneller Befeuchtung zu nivellieren (KEMPER et al., 1936). LE BISSONNAIS (2016a) schreibt von einem Stability Index SI der aus Messungen der Stabilität von langsam und schnell befeuchteten Aggregaten hervorgeht. EMERSON, (1967) schreibt, dass das Quellverhalten des Bodens einen wesentlichen Einfluss auf die Luftsprennung durch Wasser hat. Beim Aufquellen des Bodens entsteht zusätzlicher Druck im Inneren des Aggregates. Um der Luftsprennung entgegenzuwirken und eine bessere Vergleichbarkeit der Proben zu erreichen, wurden später Verfahren entwickelt, bei denen die Aggregate in ein Ethanol-Wassergemisch getaucht werden. Ethanol hat eine geringere Oberflächenspannung, wodurch der Druck auf das Aggregatinnere verringert wird. Aus diesen Verfahren ging hervor, dass die Benetzbarkeit, also das Verhalten von Oberflächen fester Körper beim Kontakt mit Flüssigkeiten, ein weiterer Faktor für die Luftsprennung ist (GOEBEL, 2005). Um die Luftsprennung zu unterbinden wurden die Proben mit organischen Lösungsmitteln (MERZOUK & BLAKE, 1991) behandelt oder mit Aerosolen besprüht.

2.1.3.1 Nasssiebung mit mehreren Sieben, Tauchsiebung nach YODER, (1936).

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde das Verfahren nach Yoder verwendet welches im Kapitel 3 Material und Methoden, näher beschrieben.

Beim Tauchsiebverfahren werden 50 g des luft- oder ofengetrockneten Probenmaterials auf das oberste und weitmaschigste einer Siebturmapparatur mit sechs Sieben aufgebracht. Der Siebturm wird mit einem Hub von 3,18 mm genau 30-mal pro Minute, in vertikaler Richtung fünf Minuten lang bewegt. Das Bodenmaterial zerfällt durch die Scherkraft und teilt sich auf alle Siebe auf. Die Gewichtsanteile der getrockneten Siebrückstände werden ausgewertet und ergeben die Größenverteilung der stabilen Aggregatanteile. Nach VAN BAVEI, (1949) kann die Größenverteilung sehr gut in einen „Mean Weight Diameter“ umgerechnet werden.

2.1.3.2 Nasssiebung mit zwei Sieben (BRYANT et al., 1948)

CHRISCI ET AL. (1989) schreiben, dass durch die Teilung in mehrere Gewichtsklassen die Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit des Verfahrens nach Yoder nicht gegeben ist. Die Aussage über die Aggregatstabilität ist präziser, wenn nur die Festigkeit einer bestimmten Aggregatgröße gemessen wird. BRYANT (1948) verwendeten ein Verfahren mit nur zwei Sieben, welches eine höhere Reproduzierbarkeit verspricht.

Bei dieser Methode werden nur die Aggregate mit 3 – 5 mm der luftgetrockneten Probe auf zwei Sieben mit 2 und 0,5 mm Maschenweite, bei einem Hub von 35 pro Minute, unter Wasser gesiebt. Der Rückstand auf den Sieben wird getrocknet, gewogen und als Prozentanteil der Gesamtprobe angegeben.

2.1.3.3 Nasssiebung mit einem Sieb

Die wohl bekannteste Methode mit nur einem Sieb ist die von KEMPER & ROSENAU, (1986). Der Vorteil liegt hier in der Einfachheit des Verfahrens.

Bei dem Versuch werden 4 g des luftgetrockneten Bodenmaterials mit 1 – 2 mm Durchmesser auf das Sieb mit 0,25 mm Maschenweite aufgebracht. Das Sieb wird in die Apparatur gesteckt und in destilliertem Wasser 5 Minuten geschwenkt. Die Aggregate sollten dabei stets mit Wasser bedeckt bleiben und dürfen nicht aufschwimmen. Der Siebrückstand wird anschließend gewogen und der Anteil der Einzelkörner nach weiterer Siebung bestimmt. Die Aggregatstabilität wird in Prozent angegeben und entspricht dem Masseanteil des Siebrückstandes des Siebes mit 0,25 mm, abzüglich der Einzelkörner, die größer als 0,25 sind (KEMPER & ROSENAU, 1986).

$$AS(\%) = \frac{(Masse\ der\ stabilen\ Aggregate\ inkl.\ Sand) - (Masse\ Sand)}{(Masse\ der\ Gesamtprobe) - (Masse\ Sand)}$$

2.1.4 Berechnungsverfahren, Rainfall Impact Methode RIM (Truman, Bradford & Ferris, 1990)

Bei den Berechnungsverfahren erfolgt die Zerstörung der Bodenaggregate durch die kinetische Energie der Regentropfen. Die Kombination aus Regentropfen-Aufprall („splashing“) und Oberflächenabfluss ist den realen Bedingungen im Feld sehr ähnlich. Im Gegensatz zu den Tauchverfahren wird das Bodenmaterial nur von einer Seite und dadurch langsamer befeuchtet. Der Energieinput kann durch die Regenintensität und die Berechnungsdauer gesteuert werden. Die Aggregatstabilität kann anhand des Rückstands auf dem berechneten Sieb (YOUNG, 1984) oder mit dem Gesamtbodenabtrag auf einer definierten Fläche ermittelt werden. Der Siebrückstand wird bei der modifizierten Rainfall Impact Methode anschließend in einem Siebturm nassgesiebt. Der Aggregatzerfall im Gesamtbodenabtrag kann im Absinkzylinder mittels Gesetz von Stokes analysiert werden (LAIR, 2002).

2.1.5 Perkulationsmessungen

Das Verfahren der Perkulationsmessung wurde von SEKERA & BRUNNER (1943) entwickelt. Die Bodenprobe mit Aggregatdurchmesser von 1 – 2 mm wird in ein Röhrchen mit 10 cm Länge und 15 mm Durchmesser gefüllt. Bei der Messung wird Wasser durch das Röhrchen gespült und der Abfluss gravimetrisch bestimmt. Aus der perkolierten Wassermenge pro Zeiteinheit und der gravimetrischen Messung werden Summenkurven gebildet, welche ein Maß für die Aggregatstabilität sind. Die Aggregate gelten als stabil, wenn der Durchfluss über die Zeit konstant bleibt. Nimmt der Durchfluss stark zu, ist der Boden instabil (LAIR, 2002).

2.1.6 Spülmethode

Die Spülmethode ist ähnlich der Perkolationsmessung. Die Aggregate werden in einem Metallrohr von unten nach oben mit Wasser mit bestimmter Geschwindigkeit durchströmt. Die wasserresistenten Aggregate, die im Röhrchen vorbeigehen, werden getrocknet, gewogen und in Prozent des Gesamtprobengewichts ausgedrückt.

2.1.7 Ultraschalldispersion (MENTLER et al., 2004a)

Bekanntlich werden Ultraschallwellen zur Dispersion des Bodens in seine Fraktionen beim Verfahren zur Bestimmung der Korngröße verwendet. Bei der Ultraschalldispersion wird diese Methode weiterentwickelt und die Reaktion der Aggregate nach definierter Energieeinwirkung und definierter Beschallungszeit untersucht. Durch den dosierten und schwachen Energieinput kann der Zerfallsprozess der Aggregate sehr genau beschrieben werden.

Bei der Methode werden 10 g des luftgetrockneten Probenmaterials mit 1 – 2 mm Durchmesser in einem Gefäß mit 200 ml destilliertem Wasser, mit einem Magnetrührer in Schwebelage gehalten. Die Energie wird dem Boden mit Ultraschallstab zugeführt. Der Stab wird 10 mm tief in das Gefäß getaucht. Um die Temperatur konstant zu halten wird zusätzlich gekühlt. Nach definierter Beschallungszeit, nach 60 s wird eine Nasssiebung mittels Siebturm mit 1000 µm, 630 µm, 250 µm, 200 µm, und 63 µm durchgeführt.

2.2 Die Bildung von Bodenaggregaten und deren Einflussfaktoren auf die Stabilität (BECHER, 2014)

Um die auftretenden Kräfte in der Bodenstruktur und somit auch für die Aggregatstabilität leichter zu veranschaulichen, ist es laut Becher 2014 sinnvoll, die Kräfte - je nach ihrer Wirkung und Reichweite - in verschiedenen Skalenbereichen zu klassifizieren. Auf der Mikro- (2 – 2000 µm) Ebene sind nur physikalisch-chemische Kräfte wirksam, während auf Meso- und Makroebene (> 2000 µm) physikalische und mechanische Kräfte wirksam sind. Um die Kräfte der Makroebene besser zu verstehen, werden die vier wichtigsten Kräftegruppen herangezogen: Schwerkraft, Auflast, Strömungsdruck sowie Ko- und Adhäsions-Kräfte. Diese Kräfte unterliegen andererseits sehr stark dem menschlichen Einfluss, andererseits beeinflussen sich jedoch alle Kräfte und Eigenschaften des Bodens auf allen Skalenbereichen gegenseitig. Das heißt, dass alle Parameter komplex ineinandergreifen und nicht isoliert betrachtet werden können.

2.2.1 Die Mikroskala: Aggregatbildung durch physikalische und chemische Prozesse

Die Mikroskala behandelt Grobtonpartikel bis zu einer Größe von <2 µm. Die zwischen den Partikeln wirkenden Kräfte können als Molekularkräfte bezeichnet werden und beeinflussen die Adhäsions- und Kohäsionskräfte auf allen Skalenebenen. Die Molekularkräfte basieren auf dem Prinzip, dass sich gleiche Ladungen abstoßen und ungleiche anziehen. Kleinste Partikel bewirken in Molekülen eine Über- oder Unterschussladung, die durch Bindung an Partikel in gegenübergesetztem Ladungszustand neutralisiert werden können. Die Ionenkonzentration außerhalb der Partikel ist ausschlaggebend für die Beweglichkeit der Partikel. Geringe Konzentrationen führen infolge Brownscher Molekularbewegungen zu Annäherungen, jedoch auf Grund der dicken diffusen Doppelschicht auch zu abstoßenden Kräften der Partikel (BECHER, 2014).

Das Modell der diffusen Doppelschicht beschreibt die Verteilung der Anionen und Kationen in der Bodenlösung die sich um eine geladene Oberfläche wie z.B. Tonminerale bilden.

Tonminerale weisen durch den isomorphen Ersatz eine negative Oberflächenladung auf. Die Kationen konzentrieren sich an der Mineraloberfläche und bilden nach Gouy-Chapman die innere Sternschicht. Die Kationen in der Sternschicht werden durch die starke negative Ladung angezogen und sind zum Teil dehydratisiert. Die Ionen-Konzentration nimmt mit zunehmender Entfernung ab. Die äußere diffuse Doppelschicht wird durch Kationen die voll hydratisiert und rein elektrostatisch gebunden sind gebildet (BECHER, 2014).

Die Reichweite der von der diffusen Doppelschicht ausgehenden abstoßenden Kräfte ist von der Elektrolytkonzentration abhängig. Eine erhöhte Elektrolytkonzentration führt zur Abnahme der diffusen Doppelschicht, was ein Annähern der Teilchen ermöglicht. Wenn sich die Teilchen 1,5 nm annähern ist die Abstoßende Wirkung überwunden und anziehende Kräfte werden wirksam (SINKH & UEHARA, 1999; YONG 1966).

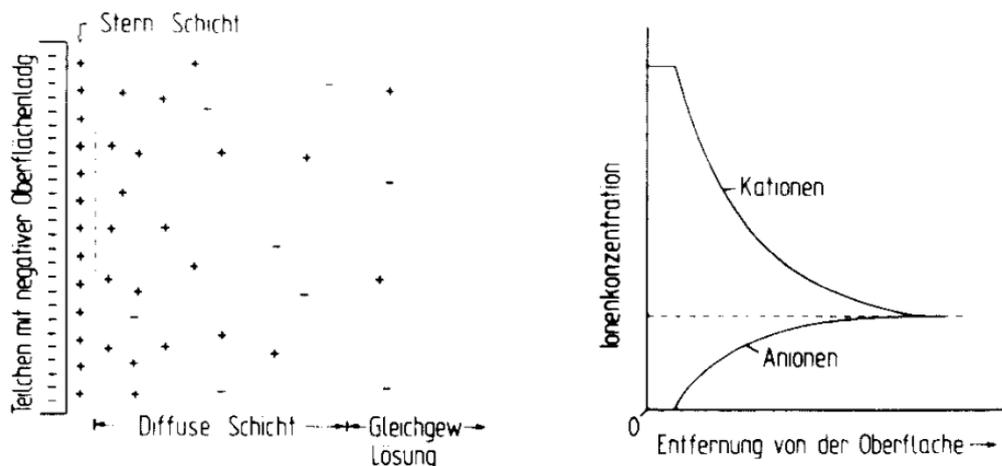


Abbildung 1. Ionenverteilung (links) und Konzentrationsverlauf adsorbierter Ionen eines Austauschers. Sternmodell von SCHEFFER et al, (2008).

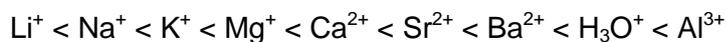
2.2.1.1 Bildung der Aggregate durch Peptisation und Koagulation

Ein wichtiger Prozess für die Aggregation, also die Aggregatbildung, ist die Flockung von kolloiden Stoffen. Das sind verschiedenste Stoffe mit Partikelgröße zwischen 1 – 100nm. Da Tonminerale, Oxide und Huminsäuren verglichen mit ihrer Masse eine sehr große Oberfläche aufweisen, haben diese Stoffe ebenso kolloidale Eigenschaften. In der Bodenkunde spricht man daher bereits bei Partikeln mit 2000nm von Kolloiden (SCHEFFER, 2008).

Die in der Bodenlösung suspendierten Kolloide (Tonminerale, organische Kolloide, Huminstoffe, Oxide und Hydroxide), haben aufgrund ihrer großen spezifischen Oberfläche einen hohen Reibungswiderstand und dadurch eine stark herabgesetzte Absinkgeschwindigkeit. Gleichzeitig unterliegen sie Einflüssen der Diffusion. Auf Grund der Brownschen Molekularbewegung werden die Kolloide angezogen und bilden den Solzustand. Bilden sich unter bestimmten Umständen die Kolloiden zu Flocken, spricht man vom Gelzustand.

Der Solzustand bildet sich, wenn die Kolloide nicht näher als 1,5nm aneinander kommen und basiert auf einer mächtigen Wasserhülle, die sich bildet, wenn an den Tonmineralen ein Teil der adsorbierten Kationen nicht als Sternschicht dicht am negativ geladenen Austauscher haften, sondern ihn als Ionenwolke umgeben. Wo sich die Ionen befinden, hängt von ihrer Oberflächenladung ab. Die Ionenwolke - von Gouy-Chapman als diffuse Schicht bezeichnet - stellt die Ionenlösung dar. Bei sehr dünner Wasserhülle können sich zwei Kolloide auf Grund der Brownschen Molekularbewegung soweit nähern, dass sich ihre diffusen Schichten überlagern und von nun an beide Kolloide umgeben. Dieser Vorgang führt schließlich zur

Flockung und Aggregation von Kolloiden. Die Dicke der diffusen Schicht hängt von der Ionenkonzentration und der Art der sorbierten Ionen ab und beeinflusst direkt die Geschwindigkeit der Aggregation und die Bildung von größeren Aggregaten. Je höher die Ionenkonzentration in der Bodenlösung, desto dünner ist die diffuse Schicht und desto stärker sind die anziehenden Kräfte zwischen den Bodenteilchen. Höherwertige Kationen werden stärker adsorbiert, führen daher zu einer dünnen diffusen Schicht und zur Bildung von größeren Aggregaten. Niedrige Salzkonzentrationen bewirken eine geringe Flockung. Man spricht von einem stabilen Sol, mit zunehmender Ionenkonzentration von einer langsamen bzw. schnellen Flockung. Mit Aluminiumionen belegte Tonminerale besitzen auf Grund der höheren Wertigkeit relativ stabile Aggregate. Tonminerale mit beispielsweise hohen Na - Konzentrationen neigen dazu, auch bei sehr hohen Salzkonzentrationen im Solzustand zu bleiben. Das Na-Ion ist einwertig und mit kleinem Atomradius versehen, der wiederum eine dicke Wasserhülle ermöglicht. Erst mit steigender Salzkonzentration ist Na^+ stärker an den Austauscher gebunden, wodurch die Flockung begünstigt wird. In folgender Reihenfolge begünstigen Kationen, je nach ihrer Wertigkeit den Vorgang der Aggregatbildung (SCHEFFER et al., 2008):



Wird die Bodenlösung zum Beispiel mit Regenwasser verdünnt, sinkt deren Konzentration und es werden wieder Kationen gegen das Na^+ ausgetauscht, da das Oberflächenpotential der Sorbenten mit der Verdünnung steigt und dadurch die Anziehung höherwertiger Kationen verstärkt wird.

Ist der Austauscher hauptsächlich mit höherwertigen Kationen wie Ca^{2+} und Al^{3+} , kommt es bereits bei mittleren Salzkonzentrationen zur Flockung. Die mehrwertigen Kationen der Tonminerale, Huminstoffe und Schluffteilchen bilden zusammen mit Carboxyl-, Carbonyl-, und Aminogruppen durch Brückenbindungen und Colombschen Kräften Mikroaggregate. Diese weisen einen Durchmesser von weniger als 0,25 μm auf. Der Kalkgehalt hat aufgrund der festen Bindung des Ca^{2+} - Ions einen großen Einfluss auf das Aggregatverhalten (SCHEFFER et al., 2008).

Die Gestalt der durch Koagulation entstandenen Aggregate kann durch die Blättchen-Form sehr unterschiedlich sein. Je nach pH-Wert, Salzkonzentration und Tonmineral können sich die Kolloide unterschiedlich aneinanderlagern.

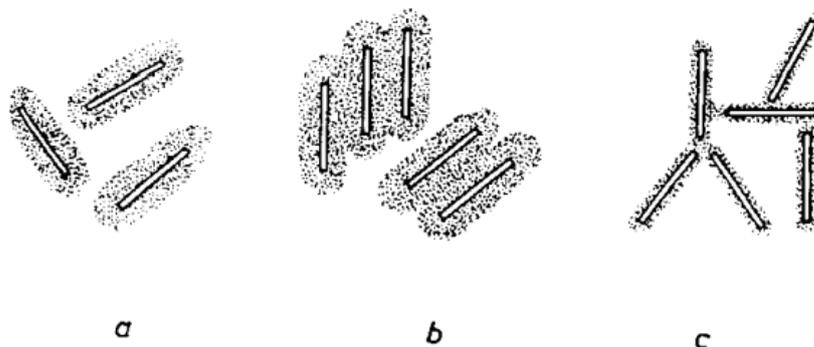


Abbildung 2. Tonkolloide mit Wasserhüllen im Solzustand (a), im hydrophilen Gelzustand (b) (Ausrichtung Fläche an Fläche), und (c) im hydrophoben Gelzustand (Ausrichtung Kante an Kante) (BLUME et al., 2011)

2.2.1.2 Van der Waals'sche Kräfte

Van der Waals'sche Kräfte wirken zwischen Atomen und Molekülen mit Dipolcharakter bzw. entstehen durch Dispersionskräfte. Bei Dipolen fallen die Ladungsschwerpunkte der positiven und negativen Ladungen nicht auf einen Punkt. Neben permanenten Dipolen wie Wasser, gibt es auch temporäre Dipole die bei Annäherung an andere Moleküle entstehen. Normalerweise sind dies unpolare Moleküle. Kommt es zur Annäherung an ein Nachbarmolekül, gehen sie eine elektrostatische Wechselwirkung ein. Die Dispersionskräfte wirken auf Grund der Kopplung von zwei Molekülen. Ein weiteres Verständnis erfordert Kenntnisse der Quantenmechanik Stabilität (BECHER, 2014).

2.2.2 Aggregatbildung durch biologische Prozesse (WACHENDORF & POTTHOFF, 2014)

Untere biologischer Aggregation ist die Verbindung von mineralischen Primärpartikeln wie Ton, Sand oder Schluff mit organischen Bodenbestandteilen durch die Aktivität von Mikroorganismen, Pflanzenwurzeln und Pilzen zu verstehen. Im Boden kommt es zu ständigen Wechselwirkungen zwischen den abiotischen Eigenschaften des Bodens und den biotischen Lebensbedingungen für die Bodenorganismen. Das Bodenleben gestaltet nicht nur seinen eigenen Lebensraum, sondern steht in permanenter Interaktion mit allen beteiligten Arten. Die aggregatbildende Aktivität der Bodenorganismen hat direkten Einfluss auf wichtige Bodenparameter, die für die Bodenfruchtbarkeit maßgebend sind. Die Aggregatbildung hat vor allem Einfluss auf Wasser-, Luft- und Wärmehaushalt des Bodens und steht also in direktem Wechselspiel mit allen Bodenparametern (WACHENDORF & POTTHOFF, 2014).

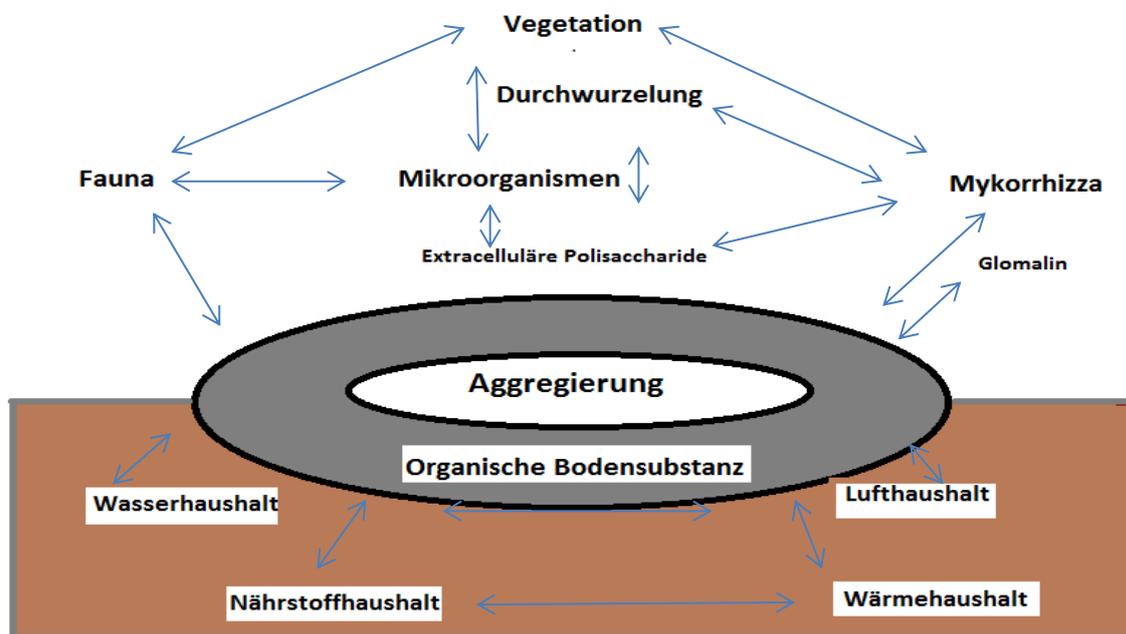


Abbildung 3 Wechselwirkung von biotisch/abiotische Faktoren (WACHENDORF & POTTHOFF, 2014).

Die positive Wirkung der biologischen Prozesse auf die Aggregatbildung und Stabilisierung geht von drei Substanzgruppen aus. Hinsichtlich ihrer Beständigkeit werden sie in kurzfristig, vorübergehend und dauerhaft wirkend unterschieden (TISDALL & OADES, 1982).

Die Ausscheidungen von Mikroorganismen, sowie die als Wurzelexudate bezeichneten Schleimstoffe von Wurzeln, Pilzen und Algen beinhalten Klebesubstanzen wie Polysaccharide und Polyuronide die kurzfristig als aggregatbildend gelten. Die Polysaccharide werden während des Abbaus von Pflanzenresten vor allem von Mikroorganismen verstoffwechselt und wirken in der Interaktion mit weiteren Abbauprodukten wie Phenolsäure aggregatbildend (MARTENS, 2000).

Bei der Zugabe von leicht zersetzbaren organischen Substanzen steigen die Mikroorganismenaktivität und dadurch die Aggregatbildung zunächst stark an. Bei fehlendem Nachschub an organischem Material können die Aggregate wieder auf ihren Grundzustand zurückgebildet werden. Die Wirkungsdauer der aggregatbildenden organischen Substanz ist von der Zersetzbarkeit des düngenden Materials abhängig. Mindestens ist jedoch eine Zeitspanne von einigen Wochen zu erwarten.

Vorübergehend wirkende Substanzen sind Wurzeln und Hyphen und bilden meist Makroaggregate (>250nm). Nach SEKERA & BRUNNER, (1943) wird ein Verkleben anorganischer Bodenteilchen durch Pilzmycele und Bakterienkolonien in Verbindung mit den Haarwurzeln höherer Pflanzen als „Lebendverbauung“ bezeichnet. Hyphen und Wurzelexudate wie beispielsweise der von Mykorrhizae-Pilzen ausgeschiedene Stoff Glomalin, bilden Mikroaggregate. Ca. 90% aller Pflanzen gehen solche Symbiosen mit Pilzen ein. Die verkittenden Substanzen sind wiederum organischer Natur und können von Mikroorganismen abgebaut werden. Die Wirkung von Pilzhypen und Wurzeln ist mit Wachstumsprozessen verbunden. Sie baut sich eher langsamer auf, ist aber auch nach dem Absterben des Pilzes immer noch wirksam und kann über Monate oder sogar Jahre bestehen bleiben. Die stabilisierende Wirkung geht von mikrobiologischen Umwandlungsprozessen stammenden hydrophoben, aliphatischen Substanzen und - wie oben erwähnt - von Hyphen des vesikulär-arbuskulären Mykorrhiza gebildetem Glomalin aus (WRIGHT & UPADHYAYA, 1998). Diese hydrophoben Substanzen schließen leicht abbaubare Stoffe ein und schützen sie vor dem Abbau. RILLING et al., (2002) schreiben hinsichtlich der Aggregatstabilisierung von Makroaggregaten, dem Glomalin sogar eine wichtigere Rolle als den Hyphen der Mykorrhiza zu. Das Glomalin verlangsamt den Abbau der Hyphen.

Die Exudate der Wurzeln - meist Polysaccharide - sind nicht nur das Substrat für die stabilisierend wirkenden Mikroorganismen, sondern können direkt einzelne kleinere Aggregate zu größeren Verbänden verbinden. Die Reißfestigkeit von Wurzeln kann die Festigkeit - ähnlich dem Prinzip von Eisen in Beton - erheblich erhöhen. Durch das Wurzelwachstum werden die Bodenpartikel neu ausgerichtet und somit ihre Kontaktfläche erhöht (DORMAARL & FOSTER, 1991).

Ein positiver Einfluss der Pflanzenwurzeln auf die Aggregatbildung ist besonders bei sehr starker Durchwurzelung wie bei Grasvegetationen zu erwarten. Die verstärkte Mikroorganismenaktivität in der Rhizosphäre, die Lebendverbauung der Wurzeln sowie die Bildung von Hyphen in der vesikulär-arbuskulären Mykorrhiza begünstigt die Aggregatbildung zum Vergleich mit Böden mit Weißklee positiv (TISDALL & OADES, 1982). Bei Grasnarben werden außerdem ständig Vegetationsrückstände angereichert, weshalb die Menge von organischer Klebesubstanz besonders hoch ist. Der mittlere Aggregatdurchmesser nimmt jedoch bei sehr starker Durchwurzelung ab (STONE & BUTTERY, 1989).

Ein weiterer Faktor, der stabilisierend auf die Aggregate wirkt, ist die Entwässerung des Bodens durch die Wurzeln. Bei tonigen und lehmigen Böden werden die Rissbildung und damit die Ausrichtung der Bodenpartikel verändert und somit die Kontaktflächen erhöht. Dies wird durch Mykorrhizawurzeln verstärkt. Auch der Druck der beim radialen Wachstum von Pflanzenwurzeln auf den Boden wirkt, soll Aggregate stabilisieren. Die Bodenteilchen werden aneinandergedrückt und verschoben.

Langfristig wirkende Substanzen sind vor allem organo-mineralische Verbindungen. Die auch als „Ton-Humus-Komplexe“ bezeichneten Verbindungen werden vor allem im Verdauungstrakt von Regenwürmern und Asseln gebildet und sind ausschlaggebend für die sehr stabilen

Kotaggregate. Es werden hier vor allem Ionenbindungen, Wasserstoffbrückenbindungen, und Ion-Doppelbindungen zwischen organischen Polymeren an Tonpartikeln wirksam. Organische Polymere sind Mucopolysaccharide, die über den Darm der Regenwürmer ausgeschieden werden. Die Polysaccharide, die von den Würmern aufgenommen werden, zählen ebenfalls zu den organischen Polymeren. Neben der bindenden Wirkung zwischen organischer Substanz und Mineralpartikel ist besonders die Resistenz der organischen Substanz gegen mikrobiellen Abbau von Bedeutung. Besonders das verstärkte Wachstum von Pilzhyphen in den Kotaggregaten sorgt für zusätzliche Stabilität (WINSOME & MCCOLL, 1998). Die neue Ausrichtung der Tonpartikel in der Darmpassage und der dadurch bessere Kontakt der bindenden Substanz erhöht die Aggregatstabilität (MARINISSEN et al., 1996). Die frischen Kotaggregate weisen eine eher geringe Aggregatstabilität auf. Erst nach einem Trocknungs- und Alterungsprozess kann die stabilisierende Wirkung der Regenwürmer beobachtet werden.

Ein weiterer aggregatbildender Prozess ist die mechanische Arbeit von wühlenden Bodentieren (Regenwürmer, kleine Nagetiere, Schnecken, etc.).

2.2.3 Organische Substanz (BECHER, 2014)

Die organischen Substanz, das sind pflanzliche, tierische und mikrobielle, meist tote Biomasse, begünstigt die Entstehung und Stabilisierung von Aggregaten. Die aggregierende Wirkung geht nicht von der organischen Substanz selber, sondern von deren mikrobiellen Ab- und Umbauprodukten aus. Vor allem für die Aggregatbildung wirksame organische Makromoleküle entstehen beim mikrobiellen Ab- und Umbau der organischen Substanz. Der Grund für ihre Bedeutung für die Aggregatbildung ist die Tatsache, dass sie so wie Tonminerale, positive, negative oder beide Ladungen gleichzeitig aufweisen (BECHER, 2014).

Auf Grund der Ladung können sie wie Kationen an Tonminerale adsorbiert werden und dabei mehrere Tonminerale miteinander verbinden. Sie können sich auch - durch ihre teilweise positive Ladung - nur an ein Tonmineral an mehreren Stellen binden (Murray & Quirk, 1990). Die negativen Ladungen können sehr starke Verbindungen zwischen den organischen Großmolekülen und den Tonmineralen sogar verhindern. Zusätzlich macht die Tatsache, dass organische Moleküle - je nach ihrer Art - als Säuren oder Basen vorkommen können, die Bindungen stark vom pH-Wert abhängig. Die pH-Wert-abhängige Ladungsänderung unterscheidet sich jedoch für jedes Molekül und so machen die große Anzahl der unterschiedlichen Moleküle es schwierig abzuschätzen, bei welchem pH-Wert Flocken oder Mikroaggregate gebildet werden oder wieder zerfallen.

Wiederholt konnte gezeigt werden, dass sich der Gehalt an organischem Kohlenstoff positiv auf die Stabilität von Aggregaten auswirkt.(CHANEY & SWIFT, 1984) Wobei die Korrelationen auf Grund von verschiedensten Möglichkeiten nicht immer hoch sind: Nicht der Gesamtgehalt an organischem Kohlenstoff ist ausschlaggebend für die stabilisierende Wirkung, sondern nur der Teil, der für die Mikroorganismen und Bodentiere als Substrat für ihre verklebend und dadurch aggregatbildenden Stoffwechselprodukte dient. Außerdem gibt es einen Schwellenwert, bei dem die Stabilisierung nicht mehr zunimmt. Die Verteilung der organischen Substanz spielt eine große Rolle. Das macht sich schon dadurch bemerkbar, da Aggregate mit einem Durchmesser von < 0,5 mm meist reicher an organischer Substanz sind als der Gesamtboden. Vor allem die bei mikrobiellem Abbau entstehenden organischen Substanzen fördern die Festigkeit von Aggregaten > 1 mm. Die aggregierende Wirkung von Mikroorganismen und deren Stoffwechselprodukten ist sehr unterschiedlich und nicht nur von der organischen Substanz abhängig. Sie sind durch einen hohen Ca – Sättigungsgrad begünstigt. Mit steigendem Gehalt an Ca in der Bodenlösung, steigt die Anreicherung von wasserlöslichen organischen Substanzen an der Oberfläche von anorganischen Kolloiden. Außerdem bewirkt ein steigender

Ca-Gehalt, eine Anhebung des pH-Wertes und fördert wiederum die biologische Aktivität im Boden (BECHER, 2014).

2.2.4 Aggregatbildung (Verkittung) durch Eisen-, Mangan-, und Aluminiumhydroxide

Vor allem in Böden mit geringer organischer Substanz spielt die Aggregatbildung durch Verkittung eine wichtige Rolle. Die als „freie Oxyde“ zusammengefassten Stoffe haben die Korngröße der Tonfraktion und könne sich auf Grund ihrer hohen Oberflächenaktivität an die Oberflächen anderer Mineralkörner anlagern. Die Oxide sind unter mitteleuropäischen Verhältnissen im allgemeinen positiv geladen und können dadurch wie Kationen an die Oberfläche von Tonmineralen adsorbiert werden. Da sie 2- oder 3-wertig geladen sind, können sie auch mehrere Tonteilchen miteinander verbinden. Wie die organischen Makromoleküle können die Oxide als Säure oder Base auftreten. Wobei der vom pH-Wert abhängige Ladungszustand hier leichter zu definieren ist. Bei pH-Werten >7 ist eine negative Ladung der Oxide zu erwarten. Jedoch kann der Ladungsnullpunkt durch die Adsorption von Silikaten und Phosphaten bis auf pH 5 heruntergesetzt werden. (CORNELL & SCHWERTMANN, 2003)

Die zwischen den Mineralkörnern haftende Kittsubstanz unterliegt einem Alterungsprozess, der zur Umstrukturierung in eine auskristallisierte Form führt.

3. Material und Methoden

Der Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Aggregatstabilität wurde am Versuchsstandort der LFS Mistelbach anhand von zwei verschiedenen Bearbeitungsvarianten untersucht.

3.1 Beschreibung des Untersuchungsstandortes Mistelbach

3.1.1 Lage

Der Bezirk Mistelbach liegt im östlichen Teil des Weinviertels ungefähr 80 km nördlich von Wien in Niederösterreich. Der Untersuchungsstandort liegt auf 228m ü. Adria und ist in Richtung Südwesten ausgerichtet. Man fährt mit dem Auto ca. 1 km östlich vom Ortskern Mistelbach in Richtung Eibesthal, wo sich der Standort auf der rechten Seite befindet. Siehe Abbildung 4.

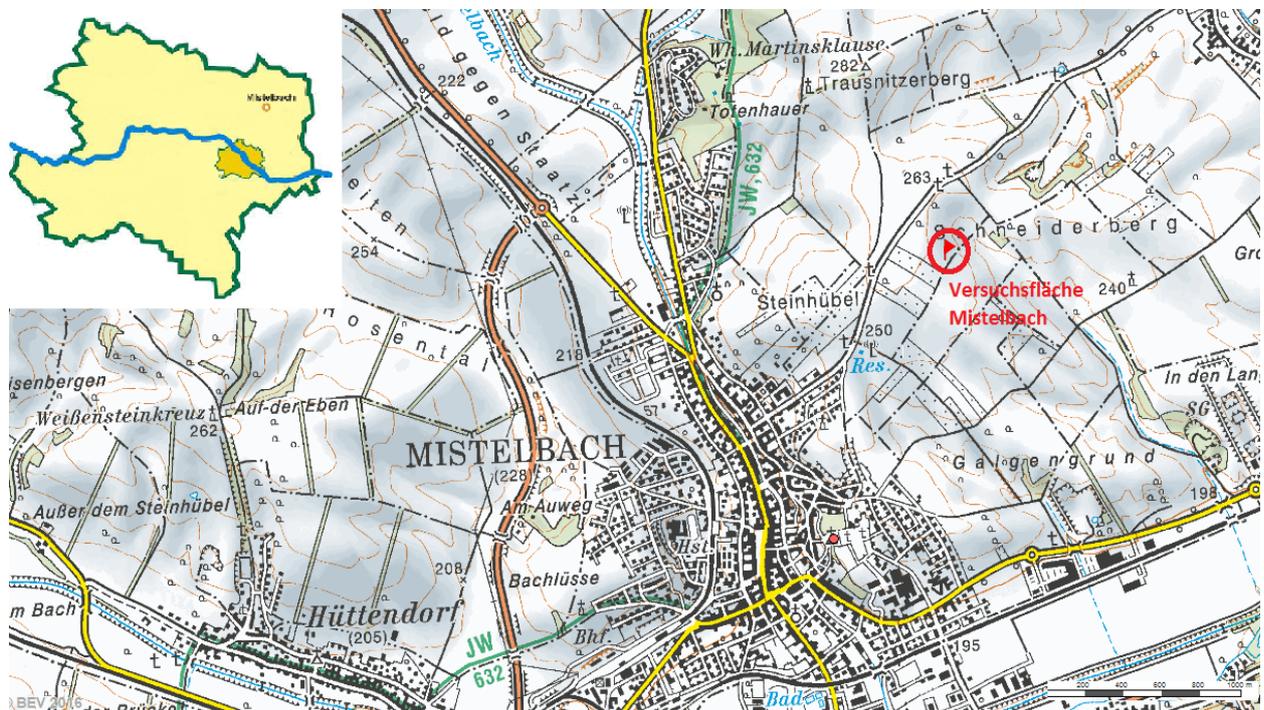


Abbildung 4 Lage der Versuchsfläche Mistelbach („AMAP Austria“, o.

Tabelle 1. Geographische Koordinaten der Versuchsfläche

Dezimalgrad	Lat	48.583573° Nord	Lng	16.587757° Ost
Grad Dezimalminuten	Lat	48° 35.014380' Nord	Lng	16° 35.265420' Ost
Grad Minuten Dezimalsekunden	Lat	48° 35' 0.8628" Nord	Lng	16° 35' 15.9252" Ost
UTM (WGS84)	E	617096 Ostwert	N	5382382 Nordwert
UTMREF / MGRS (WGS84) Z 33U	E	17096 Ostwert	N	82382 Nordwert
NAC (Natural Area Coding, WGS84)	X	JCG2FK Nord	Y	R2WJ2B Ost

Untersucht wurde ein Boden der Versuchswirtschaft der Landwirtschaftlichen Fachschule in Mistelbach, welche nicht weit vom Versuchsfeld entfernt liegt. Die Felder werden von der LFS bewirtschaftet und betreut. Ein Teil der Versuche wurden ebenfalls von der LFS Mistelbach durchgeführt.

Die Versuchsfläche ist in acht Versuchsvarianten aufgeteilt, die sich durch die Bodenbearbeitung, (konventionelle -, konservierende- Bodenbearbeitung und Direktsaat), den

Anbau und der Art einer Zwischengründecke (ohne bzw. mit Gründecke, Zusammensetzung des Saatguts, die Saatmenge, die Art der Abtötung der Zwischengründecke mittels Herbizid oder natürlich durch abfrostern) unterscheiden.

Die für die Probennahme gewählten Flächen befinden sich in Hanglagen mit einer Hangneigung von 13,2%.

Auf der Fläche befinden sich am Hangfuß Einrichtungen für Erosionsmessungen, die von der Universität für Bodenkultur betrieben werden. Dabei werden auch Daten wie der Tagesniederschlag und die Temperatur gemessen.

3.1.2 Klima

Das Weinviertel und somit die Region um Mistelbach gehört zum trockenen pannonischen Klimagebiet, welches dem Kontinentalen Klima zugeordnet werden kann. Es gibt darum sehr heiße Sommer und eher kalte, aber nicht sehr schneereiche Winter. Die mittlere Jahressumme der Niederschläge beträgt ca. 600 mm, wobei die Jahresdurchschnittstemperatur bei 9,8 Grad liegt. Nach pflanzengeographisch-klimatologischen Gesichtspunkten gehört der Raum bereits zur Gänze dem Pannonikum an (ÖSTERREICHISCHE BODENKARTIERUNG, 1985).

Es kommt an 90 bis 100 Tagen zu Niederschlägen pro Jahr, davon an durchschnittlich 22 Tagen mit Gewitter. Die Winter sind mit 15 – 20 Tagen mit Niederschlag besonders trocken. Durch die niedrigen Temperaturen bleibt der Schnee jedoch 40 – 50 Tage im Jahr liegen. Mistelbach zählt zu den trockensten Gebieten in Österreich.

Tabelle 2 Mittlere Monats- und Jahresniederschläge in (mm) der Jahre 2001 - 2013 für Mistelbach an der NLV Messstelle Mistelbach (Kläranlage) Zaya, HZBNR: 116541 des Hydrografischen Dienstes. („EHYD – DER ZUGANG ZU HYDROGRAPHISCHEN DATEN ÖSTERREICHS“, o. J.)

2001-2013	Jän.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Nov.	Dez.	Summe
	40,76	32,27	47,61	32,05	67,67	77,68	73,11	60,57	36,66	33,44	35,56	617,1

Tabelle 3 Mittlere Jahrestemperatur in Grad Celsius der Jahre 2001 - 2013 für Mistelbach an der NLV Messstelle Mistelbach (Kläranlage) Zaya, HZBNR: 116541 des Hydrografischen Dienstes. („EHYD – DER ZUGANG ZU HYDROGRAPHISCHEN DATEN ÖSTERREICHS“, o. J.)

Zeitraum	Durchschnittstemperatur Jahresmittel	Mittleres Tagesmaximum	Mittleres Tagesminimum
2001 - 2003	9,8	29,9 (15.07.2001)	-28 (23.4.1973)

3.1.3 Boden

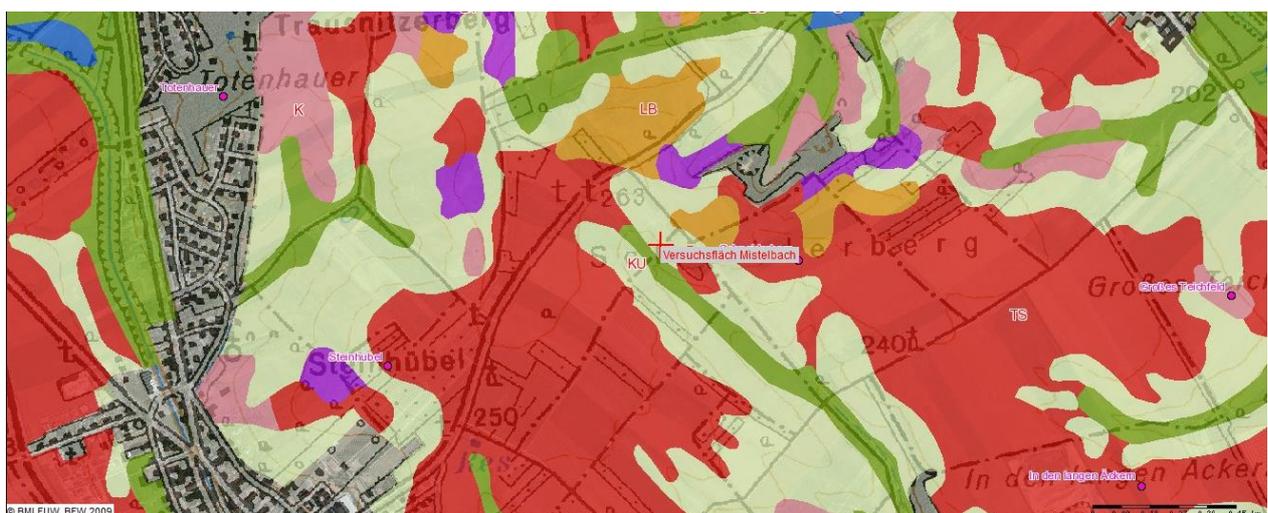


Abbildung 5 Bodenkarte von Mistelbach aus („MB2 - eBOD“, o. J.).

Laut Österreichischer Bodenkartierung fällt die Versuchsfläche in den Kartierungsbereich 157 und in die Bodenform 50. Der Boden ist ein kalkhaltiger Kulturboden (ÖSTERREICHISCHE BODENKARTIERUNG, 1985).

Profilbeschreibung der Profilstelle 157050 (ÖSTERREICHISCHER BODENKARTIERUNG, 1995)

Die Profilstelle für die Bodenform 50 liegt westlich von Aspern an der Zaya, ca. 700m nördlich von Schletz.

	<p>AP: 0-25 cm:</p>	<p>Erdfrisch; lehmiger Schluff; schwach humos (Mull), stark kalkhaltig; deutlich mittelkrümelig; mittelporös; leicht zerdrückbar; olivbraun (2,5 4/4); gut durchwurzelt; mäßige Regenwurmmaktivität, kein Übergang – absetzend.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Entnahmetiefe[c m]</th> <th>Sand [%]</th> <th>Schluff [%]</th> <th>Ton [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>9</td> <td>71</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td></td> <th>Humus [%]</th> <th>Kalk [%]</th> <th>Ph [nKCl]</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,4</td> <td>19,2</td> <td>7,5</td> </tr> </tbody> </table>	Entnahmetiefe[c m]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	15	9	71	20		Humus [%]	Kalk [%]	Ph [nKCl]		1,4	19,2	7,5
	Entnahmetiefe[c m]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]														
15	9	71	20															
	Humus [%]	Kalk [%]	Ph [nKCl]															
	1,4	19,2	7,5															
<p>C: ab 25 cm:</p>	<p>Erdfrisch; lehmiger Schluff; stark kalkhaltig; Kaltnester und Lößkindl; undeutlich feinblockig/Kanten gerundet; mittelporös (Lößgefüge); leicht zerdrückbar; lichtgelblich-braun (2,5 Y 6/4), einzelne Lößkindeln mit 5mm Durchmesser; wenig durchwurzelt; geringe Regenwurmmaktivität.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Entnahmetiefe[c m]</th> <th>Sand [%]</th> <th>Schluff [%]</th> <th>Ton [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>80</td> <td>10</td> <td>72</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td></td> <th>Humus [%]</th> <th>Kalk [%]</th> <th>Ph [nKCl]</th> </tr> <tr> <td></td> <td>0,2</td> <td>21,8</td> <td>7,7</td> </tr> </tbody> </table>	Entnahmetiefe[c m]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	80	10	72	18		Humus [%]	Kalk [%]	Ph [nKCl]		0,2	21,8	7,7	
Entnahmetiefe[c m]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]															
80	10	72	18															
	Humus [%]	Kalk [%]	Ph [nKCl]															
	0,2	21,8	7,7															

Abbildung 6 Profilbeschreibung (ÖSTERREICHISCHE BODENKARTIERUNG, 1985), Bild („MB2 - eBOD“, o. J.)

3.2 Bodenbearbeitung

Folgende Bodenbearbeitungsvarianten wurden untersucht:

KV: Konventionelle Bearbeitung mit Pflug, Saatbeetbereitung mit Scheibenegge, keine Gründecke.

Das wichtigste Kennzeichen der konventionellen Bodenbearbeitung ist die jährliche Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug. Dieser wendet und lockert den Boden bis zur Krumentiefe. Durch das Wenden wird der Boden besser durchlüftet. Ernterückstände, Dünger und Unkraut werden in den Boden eingearbeitet und können dort schnell abgebaut werden. Somit hat das Pflügen neben der Belüftung des Bodens auch eine wichtige Funktion in der Unkrautregulierung sowie der Schädlings- und Krankheitsbekämpfung.

DS: Direkte Schlitzaat in den von der abgestorbenen Gründecke bedeckten Boden.

Die Bodenbearbeitung entfällt hier komplett. Es gibt hier keinen Einsatz des Pfluges, wodurch der Boden nicht gewendet wird. Je nach Hauptfrucht wird fallweise der Oberboden mit dem Grubber bearbeitet bzw. mit der Scheibenegge die Stoppeln in den Boden eingearbeitet. Erntereste bleiben auf oder nahe der Oberfläche. Es werden zwischen den Hauptfrüchten immer Zwischengründecken angebaut. Vor der Aussaat muss die Gründecke abgespritzt werden oder frostet im Winter ab. Die Saat der Hauptfrucht erfolgt mittels Schlitzaat direkt in die abgestorbene Gründecke.

Die folgenden Informationen über die Versuchsprogramme der einzelnen Felder, wurden der Homepage www.lako.at/versuche/planzenbau/index.htm die vom Amt der NÖ Landesregierung Abteilung Landwirtschaftliche Bildung betrieben wird, entnommen. Dort befinden sich noch mehr Informationen zu anderen Bearbeitungsversuchen und Versuchen der landwirtschaftlichen Fachschulen Niederösterreich.

Tabelle 4 Bodenbearbeitungsmaßnahmen in Mistelbach im Zeitraum von 2009 bis 2015 aus („Landwirtschaftliche Bildung in NÖ - Versuche“, o. J.)

Datum	Arbeitsschritt	Bewirtschaftung	
		KV	DS
22.7.2009	Stoppelbearbeitung	Scheibenegge	
07.08.2009	Bodenbearbeitung	Grubber	
17.08.2009	Aussaat Begrünung	-	x
19.11.2009	Grundbodenbearbeitung	Pflug	-
22.04.2010	Grundbodenbearbeitung	Kreiselegge	-
22.04.2010	Anbau	Körnermais – Die Sanna (DKC 3759), RZ 280, 75000 Körner /m ²	
28.04.2010	Düngung	370 kg/ha NAC (100 kg N/ha) zu BBCH 04	
	Kulturpflege und Pflanzenschutz	Totalherbizid mit 4l/ha Roundup Ultra Max zu BBCH 05	
10.05.2010	Düngung	140 kg/ha NAC (40 kg N/ha) zu BBCH 14	
11.06.2010	Kulturpflege und Pflanzenschutz	Fritfliegenbekämpfung mit 75ml/ha Karate Zeon zu BBC 13	
09.06.2010	Kulturpflege und Pflanzenschutz	Unkrautbekämpfung mit 2l/ha Monsoon + 1l/ha Mikaso + 0,3 l/ha Buctril zu BBCH 14	
19.10.2010	Ernte		
20.10.2010	Grundbodenbearbeitung	Pflug	Scheibenegge

20.10.2012	Aussaat	Winterweizen Sorte Energo, 350 Körner/m ²	
2011		Bewirtschaftung	
Datum	Arbeitsschritt	KV	DS
15.07.2011	Stoppelsturz	Scheibenegge	-
16.03.2011	Düngung	185 kg/ha NAC (40 kg N/ha) zu BBCH 12	
16.04.2011	Pflanzenschutz	Unkrautbekämpfung mit 125 g/ha Broadway + 0,5 l/ha Netzmittel zu BBCH 23	
19.04.2011	Düngung	185 kg/ha NAC (40 kg N/ha) zu BBCH 25	
24.05.2011		185 kg/ha NAC (40 kg N/ha) zu BBCH 52	
13.07.2011	Ernte		
02.08.2011	Bearbeitung	Scheibenegge	-
23.08.2011	Aussaat Begrünung	-	X
16.11.2011	Grundbodenbearbeitung	Pflug	-
2012		Bewirtschaftung	
Datum	Arbeitsschritt	KV	DS
06.03.2012	Düngung	220 kg/ha NAC (60 kg N/ha) zu VS	
10.04.2012	Bearbeitung	Kreiselegge	-
11.04.2012	Aussaat	Sonnenblumen Sorte NK Neoma: 6,3 Körner/m ²	
18.04.2012	Pflanzenschutz	Unkrautbekämpfung mit 4,5 Bandur + 2,5l/ha Roundup Ultra Max zu BBCH 03	
24.09.2012	Bodenbearbeitung	Pflug	-
05.10.2012	Bodenbearbeitung	Scheibenegge	-
11.10.2012	Aussaat	Winterweizen Sorte Energo, 350 Körner/m ²	
2013		Bewirtschaftung	
Datum	Arbeitsschritt	KV	DS
11.03.2013	Düngung	185 kg/ha NAC (40 kg N/ha)	
14.04.2013		185 kg/ha NAC (40 kg N/ha)	
22.04.2013	Pflanzenschutz	125g/ha Broadway + 0,6 l/ha Netzmittel	
14.5.2013	Düngung	185 kg/ha NAC (40 kg N/ha)	
23.07.2013	Ernte	Nursery MasterElite	
14.08.2013	Bodenbearbeitung	Grubber	-
		Pflug	-
19.08.2013	Aussaat Begrünung	x	x
2014		Bewirtschaftung	
Datum	Arbeitsschritt	KV	DS
28.03.2014	Pflanzenschutz, Totspritzen	2,5l/ha Roundup Ultra Max	
14.04.2014	Aussaat	Sorte: KWS 2323	
17.04.2014	Düngung	520 kg/ha NAC (40 kg N/ha)	
23.05.2014	Pflanzenschutz und Kulturpflege	2.25 l/ha Zintan Platin + 100 g/ha Mais Banvel Wg	
10.10.2014	Ernte		
28.10.2014	Bodenbearbeitung	Pflug	-
12.11.2014	Aussaat Begrünung	x	x
2015		Bewirtschaftung	
Datum	Arbeitsschritt	KV	DS
05.03.2015	Düngung	185 kg/ha NAC (50 kg N/ha)	
10.04.2015		185 kg/ha NAC (50 kg N/ha)	
12.04.2015	Anbau	Energo	
15.04.2015	Kulturpflege und Pflanzenschutz	125 g/ha Broadway + 15 g/ha Express	
01.06.2015	Düngung	185 kg/ha NAC (50 kg N/ha)	
07.07.2015	Ernte	Nursery Master Elite	

Einen Überblick über die Bewirtschaftungsmaßnahmen im Zeitraum von 2009 bis 2015 soll die anschließende Tabelle geben.

Tabelle 5 Bewirtschaftungsmaßnahmen im Überblick in Mistelbach: Intensität der Grundboden- und Stoppelbearbeitung sowie Anzahl der Zwischengründecken.

Arbeitsschritt	Bearbeitungstiefe	Wirkungsweise	Bewirtschaftung	
			KV	KV
Plug	20 – 25	wendend - lockernd	6x	-
Grubber	10 - 15	mischend – lockernd	2x	1x
Scheibenegge	Bis 5 cm	mischend – lockernd	5x	2x
Zwischengründecke			2x	4x

3.2.1 Fruchtfolge

Tabelle 6 Zeigt die Fruchtfolge für die Messstelle Mistelbach von 2009 bis 2015

2009/2010	2010	2010/2011	2012	2012/2013	2014	2015
Winterweizen	Körnermais	Winterweizen	Sonnenblumen	Winterweizen	Körnermais	Winterweizen

3.3 Probenentnahme und Probenaufbereitung

Für die Aggregatstabilitätsuntersuchung wurden zwei Mischproben, je eine pro Variante entnommen. Das Erdmaterial wurde bis zu einer Tiefe von 20 cm aus dem Ap-Horizont an mehreren Stellen ausgegraben. Es wurde darauf geachtet, dass das Material heterogen gemischt ist. Von jeder Variante wurden ca. 20kg Material in einen Plastiktrog geschaufelt.

Ein Unterschied zwischen den Varianten war bereits hier zu erkennen: auffallend war die hohe Regenwurmaktivität bei der Variante Direktsaat. Außerdem blieb hier das Material kompakt auf der Schaufel liegen und zerbröselte nicht. Beim Boden der Direktsaat war ein deutlicher Eindringwiderstand beim Eindrücken der Schaufel zu spüren. Erntestereste sowie die abgestorbene Zwischenbegrünung lagen auf der Oberfläche auf.

Zum Zeitpunkt der Probennahme war das Feld bereits bestellt und somit die Grundbodenbearbeitung bereits erfolgt. Die Probe der konventionellen Variante wurde somit dem fertigen Saatbeet entnommen. Regenwürmer waren hier keine vorhanden. Das entnommene Material hielt auf der Schaufel nicht zusammen und zerfiel sofort.



Abbildung 7 Probennahme der Variante Konventionell



Abbildung 8 Probennahme der Variante Direktsaat

Nach der Probennahme im Feld wurde das Probenmaterial im Labor aufgebracht und mehrere Wochen luftgetrocknet. Während der Trocknung wurden die Proben mehrmals durchgemischt und gewendet. In den Proben war reichlich organisches Material enthalten, welches so gut wie möglich händisch entfernt wurde.

Um Messungenauigkeiten auszugleichen und die Daten vergleichbar zu machen, wurden die Proben anschließend in zwei Teile aufgeteilt. Die beiden Proben pro Variante wurden im Versuch unabhängig behandelt und am Schluss durch Mittelwerte verglichen.

Da der maximale Aggregatdurchmesser bei der Aggregatstabilitätsmessung 8 mm beträgt, mussten die Aggregate > 8 mm sowie Steine und grobes Material entfernt bzw. zerkleinert werden. So wurde der Boden mit einem Nudelholz, das auf zwei Plastik - Schienen mit 8 mm Stärke geführt wird, bearbeitet. Aggregate, die sich nicht zerkleinern ließen, als auch Steine, wurden entfernt.



Abbildung 9 Zerkleinerung des Probenmaterials auf 8mm mithilfe eines Nudelholzes, auf zwei Kunststoffleisten geführt.

3.4 Bodenphysikalische Untersuchungen

3.4.1 Bestimmung der Aggregatstabilität

3.4.1.1 Bestimmung der Aggregatstabilität des Gesamtbodens - Gesamtbodenuntersuchung

Die Aggregatstabilität des Gesamtbodens wurde durch die Veränderung der Aggregatgrößenverteilung vor und nach einer Nasssiebung bestimmt. Anschließend wurde die Abnahme der mittleren Durchmesser nach VAN BAVEL, (1949) als „Mean Weight Diameter“ ausgedrückt.

Trockensiebung

Die Anfangs-Aggregatgrößenverteilung wurde mittels Trockensiebung bestimmt. Das luftgetrocknete und bereits aufbereitete Material wurde in einen Siebturm mit 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0.63 mm, 0.2 mm und 0,063 mm gegeben. Durch vorsichtiges Sieben mit dem Rüttler und per Hand wurden die Fraktionen getrennt. Die ca. 1000 g schweren Mischproben wurden so lange gesiebt, bis kein Durchgang mehr zu beobachten war. Das Gewicht der Rückstände der einzelnen Siebe wurde bestimmt. Nun wurden die Aggregatfraktionen in Prozentanteile (%) der Gesamtprobe umgerechnet und in Diagrammen als Summenkurven dargestellt. Die Summenkurve kann als Durchsatzkurve bezeichnet werden, da die Fraktion <8 mm 100% der Gesamtprobe entspricht. Das Gegenteil - die Rückstandskurve - beginnt mit 100% und der Fraktion 0 mm. Fraktionen < 0.063 mm wurden aus der Differenz zur Gesamtprobe ermittelt.

Die Korngrößenverteilung der Trockensiebung wurde aus Mittelwerten von drei Wiederholungen pro Probe gebildet.

Nach der Ermittlung der Summenkurven wurden die Fraktionen für die Nasssiebung der Gesamtbodenuntersuchung wieder vermischt.

Nasssiebung

Die Nasssiebung wurde mit dem Verfahren von Yoder durchgeführt. Dabei werden 50g des Gesamtbodenmaterials auf das oberste und weitmaschigste Sieb eines Siebturms mit 8, 4, 2, 1, 0.63, 0.2, 0.063 gelegt und jener in einem 25l deionisiertem Wasser fassendem Zylinder mit 42 Hüben pro fünf Minuten bewegt. Der Siebturm bewegt sich je Hub 5cm in vertikale Richtung. Die Scherspannung, die das Wasser auf das bewegte Probenmaterial ausübt, bringt jenes zum Zerfall und zur Aufteilung auf die restlichen Siebe. Ein Sieb mit Maschenweite 0,02mm dient als Deckel des Siebturmes und soll die Probe am Entweichen nach oben hindern. Beim Eintauchen der Siebapparatur ist besonders auf Lufteinschlüsse im Siebturm zu achten. Ein schräghalten und leichtes Rütteln beim Eintauchen lässt Luft leichter entweichen. Der Rückstand der einzelnen Siebe wird in Keramikschälchen bis zur Massenkonstanz bei 105 °C getrocknet und das Gewicht ermittelt. Zur Bestimmung der Einzelkörner, also der nicht - Aggregate, wird jede Probe mit Wasserstoffperoxid vermengt, durch das jeweilige Sieb gesiebt und das Gewicht des Siebrückstandes von dem vorher ermittelten Gewicht abgezogen.

Die Gewichte der einzelnen Aggregatklassen, umgerechnet in Prozent der Gesamtproben, werden, wie nach der Trockensiebung, als Summenkurven dargestellt.

Der „Mean Weight Diameter“ entspricht der Fläche zwischen der Summenkurve der Trockensiebung und der Nasssiebung. Er wurde mit den prozentuellen Gewichtsanteilen je Aggregatgröße und den mittleren Aggregatdurchmessern nach folgender Formel berechnet.

$$MWD (mm) = \frac{\sum(n_{i1} * di) - (n_{i2} * di)}{\sum n_{i1}}$$

d_i = mittlerer Aggregatdurchmesser einer Klasse (i) in mm

n_{i1} = Gewicht der Aggregatfraktion nach der Trockensiebung

n_{i2} = Gewicht der Aggregatfraktion nach der Nasssiebung

Da der Mean Weight Diameter in mm angegeben wird, muss durch die gesamte Bodenprobe dividiert werden.

Es wurden Mittelwerte aus den drei Wiederholungen je Probe, bei zwei Proben pro Variante, gebildet.

3.4.1.2 Bestimmung der Stabilität der einzelnen Aggregatklassen – Aggregatstabilitätstest

Beim Aggregatstabilitätstest wurde die Stabilität jeder Aggregatklasse mit dem Tauchsiebverfahren nach Yoder, wie in Kapitel 3.4.2.1, beschrieben bestimmt.

Mittels Trockensiebung wurden die einzelnen Aggregatklassen aus einer Mischprobe getrennt. Für den Aggregatstabilitätstest wurden je 50g Probenmaterial pro Aggregatklasse mit der Tauchsiebapparatur nach Yoder nach demselben Vorgang wie oben beschrieben, nassgesiebt. Das weitmaschigste und oberste Sieb des Siebturms hat immer die gleiche Maschenweite wie der minimale Durchmesser der Aggregatklasse. Jede Aggregatklasse zerfällt dadurch in eine unterschiedliche Anzahl an Sieben. Zum Beispiel zerfällt die Aggregatklasse 8 – 4 mm auf die Siebe mit Maschenweite 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0.63 mm, 0.2 mm und 0.063 mm. Aggregate größer 8mm wurden hier nicht berücksichtigt. Aggregate <0,063 wurden durch die Differenz auf 50g Probenmenge ermittelt. Die Rückstände der einzelnen Siebe wurden bis zur Gewichtskonstanz im Ofen bei 105 °C getrocknet und gewogen. Das Gewicht der Einzelkörner wurde wie oben beschreiben ermitteln und abgezogen.

Der Zerfall jeder Aggregatklasse in die verschiedenen Aggregatgrößen wird in Prozent der Probe in Diagrammen dargestellt und bildet für jede Aggregatklasse eine bestimmte Verteilung. Jede Verteilung wurde aus Mittelwerten aus drei Wiederholungen pro Aggregatklasse gebildet.

Um die Stabilität der einzelnen Aggregatklassen zu bewerten, wurden aus den Verteilungen für jede Klasse ein „Mean Weight Diameter“ berechnet.

3.4.1.3 Überprüfung der Kongruenz der Ergebnisse der Gesamtbodenuntersuchung und des Aggregatstabilitätstests

Die Zerfallsreihen der einzelnen Aggregatklassen werden als Aggregatverteilungen angesehen. Die Aggregatverteilung der einzelnen Aggregatklassen wird auf eine Gesamtbodenprobe angewendet und mit der im Labor gemessenen Verteilung verglichen.

Es wurden die Verteilungen für jede Aggregatklasse aus dem Aggregatstabilitätstest auf eine Gesamtprobe, in der alle Aggregatklassen gemischt vorkommen angewendet und mit den Ergebnissen aus der Gesamtbodenuntersuchung verglichen.

Anschließend wurde zum Vergleich der Messreihen der „Root Mean Square Error“ nach folgender Formel berechnet.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}$$

3.4.2 Bestimmung der Korngrößenverteilung

Die Bestimmung der Korngröße (Textur) wurde laut dem Handbuch der LV - „Physical and selected chemical methods of soil analysis“ des Institutes für Hydraulik und Landeskulturelle Wasserwirtschaft durchgeführt. Die Bestimmung laut Handbuch richtet sich nach der ÖNORM L 1061-2, 2002 und ÖNORM L 1050, (2004).

Die Bestimmung teilt sich in drei verschiedene Arbeitsvorgänge:

- Der Grobboden (Korndurchmesser > 2mm) wird durch eine Trockensiebung bestimmt. Diese ist nur nötig, wenn der Anteil > 2mm mehr als 10% der Gesamtmasse ist. Nach der Trocknung wurde das Material durch ein 2mm Sieb gesiebt, was zeigte, dass keine Trockensiebung nötig ist.
- Die Korngrößenverteilung des Feinbodens, (Korndurchmesser < 2mm), wird mit einer Kombination aus Nasssiebung für die Sandfraktion und dem Pipettierverfahren nach Kubiena für Ton und Schluff bestimmt. Die Proben müssen für beide Bestimmungen vorher aufbereitet werden. Eine Menge von ca. 100g für die Nasssiebung bzw. 20g für das Absetzverfahren wird durch ein 2mm Sieb gesiebt und anschließend mit dem Mörser zerkleinert. Die organischen Bestandteile werden entfernt. Fortführend wird das Material mit Dispergierungsmittel aufgeschlossen und anschließend mit deionisiertem Wasser acht Stunden lang geschüttelt. Die Proben mit 100g Feinboden sind dann fertig für die Nasssiebung.
- Die Nasssiebung erfolgt mit einem Siebsatz von 2.0 mm, 1.0 mm, 0.63 mm, 0.2 mm, 0.125mm und 0.065mm. Mit Hilfe von Spritzflaschen mit deionisiertem Wasser wird zuerst die Probe durch das engmaschigste Sieb gesiebt, um den Ton- und Schluff-anteil durchzuschwemmen. Dieser Rückstand wird durch den ganzen Siebturm, der auf einer Rüttelmaschine mit Spülkopf befestigt ist, in die einzelnen Korngrößen aufgeteilt. Wenn das Spülwasser klar ist, ist die Siebung fertig. Die einzelnen Siebrückstände werden anschließend in Abdampfschalen gespült und im Trockenschrank bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Nach dem Abkühlen werden die Schalen gewogen.
- Die Proben für das Pipettierverfahren nach Kubiena werden nach dem Dispergieren und Schütteln in Sedimentationsgefäße umgeschüttet und auf 1000ml mit deionisiertem Wasser aufgefüllt. Die Sedimentationsgefäße werden im Wasserbad der Pipettiereinrichtung montiert. Wichtig ist die Temperatur der Proben. Das Pipettierverfahren ist ein Absetzverfahren und folgt dem Gesetz von Stok, welches die Fallgeschwindigkeit von Kugeln bestimmter Größe in Flüssigkeiten beschreibt. Die Pipettierung wurde auf einer computergesteuerten Vorrichtung (Marke Eigenbau) durchgeführt und erfolgt entsprechend dem Verfahren von Kubiena zu vier verschiedenen Zeitpunkten und in einer Tiefe von 10- bzw. die letzte in 5cm. Nach 20 Sekunden erfolgt die Pipettierung für 0,2 – 0,063mm, und nach 4 m 32 s für 0,063 – 0,02, nach 50 m 19 s für 0,02 – 0,006 und schließlich nach 3 h 46 min für <0,002. Die Pipettier Vorrichtung legt die entnommenen Proben in Abdampfschalen ab, welche anschließend im Trockenschrank Massenkonstanz getrocknet und nach dem Abkühlen gewogen werden.

Die Feinsiebung und das Absetzverfahren wurden je Probe dreimal wiederholt. Aus den Massenanteilen der einzelnen Kornfraktionen bildet sich schließlich die Kornsummenlinie, die sich auf den Gesamtboden bezieht.

3.5 Chemische Untersuchungen

3.5.1 pH-Wert

Für die Bestimmung des pH-Wertes und der elektrischen Leitfähigkeit wurden nicht extra Proben im Feld, sondern aus dem bereits entnommenen Material Mischproben erstellt. Für die Messung ist nur der Feinboden (< 2 mm) relevant.

Die Bestimmung des pH-Wertes erfolgte nach ÖNORM L 1083, (1989).

Der Feinboden wird mit destilliertem Wasser im Massen- oder Volumenverhältnis 1:2,5 vermischt und drei Stunden geschüttelt. Die Messung erfolgt mit einer Glaselektrode der Firma Metrohm. Die Elektrode wird vor jeder Messung mit der Pufferlösung (pH = 7) geeicht. Nach jeder Messung wird die Elektrode gereinigt.

Es erfolgt eine Dreifach – Bestimmung aller Proben.

3.5.2 Elektrische Leitfähigkeit

Die Bestimmung der Leitfähigkeit erfolgte nach ÖNORM L 1083, (1989).

Es wurden Mischproben aus dem bereits vorhandenem Material erstellt und durch ein Sieb < 2mm gesiebt. Der Feinboden wurde mit destilliertem Wasser im Verhältnis von 1:5 vermischt, 3 Stunden geschüttelt und schließend gefiltert. Aus dem Filtrat erfolgte die Messung mit einem Conductivity Meter LF537. Die Leitfähigkeit entspricht dem Salzgehalt des Bodens und wird in MikroSiemens pro Zentimeter angegeben.

Es erfolgt eine Dreifach – Bestimmung aller Proben.

3.5.3 Bestimmung der organischen Substanz - Glühmethode

Es werden pro Probe 2-3g in kleine Porzellantiegel eingewogen und im Trockenschrank bei 105 °C getrocknet. Nach der Trocknung werden die Schälchen auf eine Genauigkeit von 1/1000 gewogen und anschließend im Muffelofen bei 550 °C bis zur Gewichtskonstanz, ca. 6 Stunden, geglüht. Durch die hohe Temperatur verbrennen alle organischen Bestandteile. Nach dem Glühen werden die Proben nochmals gewogen. Durch die Gewichtsdiﬀerenz vor und nach dem Glühen wird auf die organische Substanz geschlossen. Der organische Anteil wurde wie folgt berechnet:

$$OS (\%) = (Boden_{105} - Boden_{550}) / Boden_{105} * 100 \%$$

OS Organische Substanz

Boden₁₀₅ Gewicht der Probe in g nach der Trocknung bei 105 °C

Boden₅₅₀ Gewicht der Probe in g nach dem Glühen bei 550 °C

3.5.4 Gesamtkohlenstoff und Gesamtstickstoff

Die Messungen von Gesamtkohlenstoff und Gesamtstickstoff wurden mit einem C/N – Elementaranalyser vom Typ Vario MAX der Firma Elementar durchgeführt. Die Funktion des Elementaranalyser basiert auf dem Prinzip der katalytischen Verbrennung bei 850°C bis 1150°C. Durch Zufuhr von Sauerstoff wird die Rohrverbrennung kontrolliert. Als Spül- und Trägergas wird Helium verwendet. Nach dem Aufschluss gelangen die Verbrennungsgase zum Reduktionsofen, wo NO_x zu N₃ reduziert und außerdem der restliche Sauerstoff gebunden wird

Das Trägergas mit dem Stickstoff und Kohlenstoff wird gereinigt, dem Wärmeleitfähigkeitsdetektor zugeführt und dort quantitativ bestimmt.

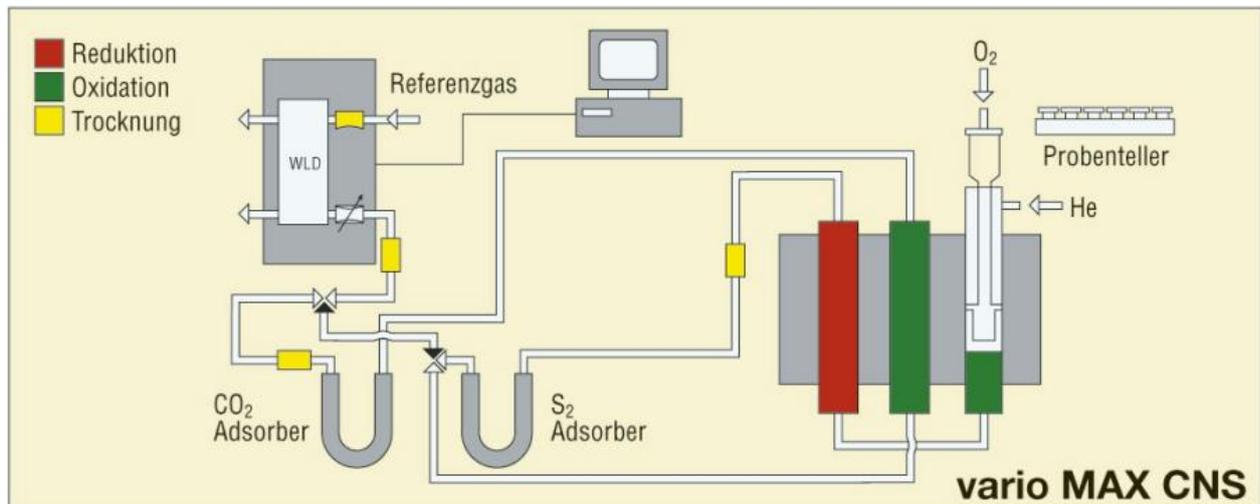


Abbildung 10 Vereinfachtes Funktionsschema des Vario MAX CNS

Der Gesamtkohlenstoff und der Gesamtstickstoff wurden für jede Aggregatgröße pro Probe in Doppelbestimmung erfasst.

3.5.5 Anorganischer Kohlenstoff

Die Bestimmung des anorganischen Kohlenstoffs erfolgte mit der Scheibler-Apparatur der Firma Eijkelkamp und folgt der ÖNORM L 1083, (2006). Da der anorganische Kohlenstoff in Form von CO_2 in den Carbonaten gebunden ist, werden die Verbindungen CaCO_3 , MgCO_3 , FeCO_3 und Na_2CO_3 mit Salzsäure aufgelöst, das dabei entweichende CO_2 im Messinstrument aufgefangen und das Volumen als Maß für den anorganischen Kohlenstoff verwendet. Das Gasvolumen wird, abhängig vom Luftdruck und der Temperatur, in mg CO_2 umgerechnet.

3.5.6 Organischer Kohlenstoff

Der organische Kohlenstoff wird nicht gemessen sondern aus der Differenz aus Gesamtkohlenstoff und der anorganischem berechnet.

$$C_{\text{org}} = C_{\text{tot}} - C_{\text{anorg}}$$

C_{org} organischer Kohlenstoff

C_{anorg} anorganischer Kohlenstoff

C_{tot} Gesamtkohlenstoff

3.5.7 Gelöster Kohlenstoff – SAK

Der gelöste organische Kohlenstoff wurde, weil sonst zu aufwendig, nicht direkt bestimmt, sondern ein zu ihm proportionaler Wert der Spektrale - Absorptions-Koeffizient SAK.

Der SAK ist ein Summenparameter für die Gewässerbelastung durch gelöste organische Substanzen wie aromatische Verbindungen und Huminstoffe aus dem Bodenbereich. Bei einer Messwellenlänge von 254 nm wird der Spektrale Absorptions-Koeffizient auf Extinktion pro Meter umgerechnet, Ergebnisangabe $\text{SAK}_{254 \text{ nm}}$ in 1/m. (DIN 38404-10:2012-12, 2012)

Die Bodenproben werden in Zentrifugenröhrchen eingewogen (2g) und anschließend mit destilliertem Wasser im Verhältnis 1:10 versetzt. Anschließend werden die Proben am Horizontalschüttler über 2h hinweg geschüttelt und dann in der Zentrifuge bei 10000 U/min 10 min. lang zentrifugiert. Der Überstand wird mit einer Spritze abgesaugt und durch einen 0,45µm Filter filtriert. Die filtrierte Flüssigkeit wird mittels Photometer bei 254nm gegen Deionat als Blank gemessen.

Das Ergebnis muss bezogen auf eine Schichtdicke von 1m angegeben werden.

Der SAK wurde für jede Aggregatgröße pro Probe in Doppelbestimmung erfasst.

3.6 Statistische Auswertung

Auf Ausreißertests wurde aufgrund der wenigen Messwiederholungen (3x pro Probe, = 6x pro Boden) verzichtet und die Daten auf Erfahrung und Plausibilität überprüft. Offensichtliche Ausreißer auf Grund von Messfehlern, wurden aus den Datenreihen gelöscht.

3.6.1 Varianzanalysen

Einfaktorielle Varianzanalysen wurden einerseits verwendet um die Messreihen der Bearbeitungsmethoden miteinander zu vergleichen, andererseits wurden die Messergebnisse der Aggregatklassen auf signifikante Unterschiede untersucht.

Ein Signifikanzniveau von $p = > 0.05$ bedeutet, dass es keine systematischen Abweichungen zwischen Messreihen gibt.

Signifikanzniveaus von $p = < 0.05$ und < 0.01 deuten auf signifikante bzw. hochsignifikante Abweichungen zwischen Messreihen hin.

Die Einfaktoriellen Varianzanalysen wurden mit dem Statistikprogramm SPSS durchgeführt.

SPSS überprüft die Messreihen zuerst mittels Levene Test auf ihre Varianzhomogenität. Im zweiten Schritt werden die Mittelwerte der zu vergleichenden Messreihen mittels T – Test auf signifikante Unterschiede überprüft.

4. Messergebnisse und Interpretation

Die in den nachfolgende Tabellen und Diagrammen vorkommenden Kürzel sind wie folgt zu interpretieren:

V1 (Variante 1) → konventionelle Bodenbearbeitung

V6 (Variante 6) → Direktsaat

G1 → Gesamtboden konventionelle Bodenbearbeitung

G2 → Gesamtboden Direktsaat

W1, W2, → Wiederholung 1, Wiederholung 2...

4.1 Physiko – Chemische Analysen

4.1.1 Gesamtstickstoff

Die Ergebnisse aus der Bestimmung mit dem C/N – Elementaranalyser wurden nach zwei Fragestellungen ausgewertet.

- Gibt es einen signifikanten Unterschied des Gesamtstickstoffes in den Aggregatklassen?
- Gibt es einen Unterschied in der Bearbeitungsmethode?

Mit den aus der Messung erhaltenen Daten wurden Mittelwerte und Standardabweichung pro Aggregatklasse und Bearbeitungsmethode ermittelt und in der Tabelle unten zusammengefasst.

Tabelle 7 Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (S) des Gesamtstickstoffes je Aggregatklasse und Bearbeitungsvariante.

Aggregat - klasse	Gesamtstickstoff in %			
	Konventionell		Direktsaat	
	MW	S	MW	S
<0.063	0,12	0,01	0,12	0,03
0.2-0.063	0,14	0,02	0,16	0,02
0.63-0.2	0,15	0,02	0,16	0,02
1-0.63	0,14	0,01	0,16	0,02
2-1	0,15	0,01	0,16	0,18
4-2	0,15	0,03	0,16	0,01
8-4	0,15	0,01	0,14	0,02
>8	0,16	0,02	0,15	0,02
P - Wert	0,02		0,0001	
Variante	Mw _{ges}	S _{ges}	Mw _{ges}	S _{ges}
	0,14	0,02	0,16	0,03
P - Wert	0,008			

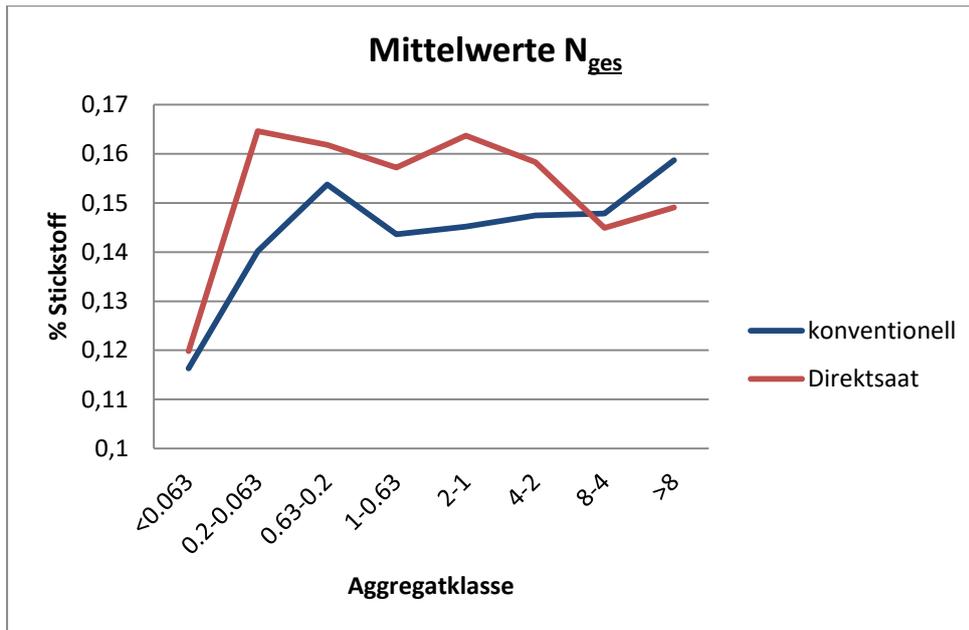


Abbildung 11 Gesamtstickstoff in % je Aggregatklasse und Bearbeitungsvariante

Mit einem p-Wert von 0,02 für die konventionelle Bodenbearbeitung und einem Wert von 0,0001 für Direktsaat, besteht für beide Bearbeitungsmethoden ein hoch signifikanter Zusammenhang zwischen Aggregatklasse und Stickstoffgehalt.

Der p-Wert von 0,008 beschreibt einen nicht signifikanten Zusammenhang zwischen Bearbeitungsmethode und Gesamtstickstoff.

4.1.2 Gesamtkohlenstoff

Die Messung enthält alle Kohlenstoffe aus organischen und anorganischen Verbindungen. Der organische Kohlenstoff unterliegt ständigen Um- und Abbauprozessen, was sich auf den Gesamtkohlenstoffgehalt auswirkt.

Eine genauere Beschreibung folgt nach der Trennung des Gesamtkohlenstoffes in organischen und anorganischen Kohlenstoff.

Die Ergebnisse aus der Bestimmung mit dem C/N – Elementaranalyser wurden nach zwei Fragestellungen ausgewertet.

- Gibt es einen signifikanten Unterschied des Gesamtkohlenstoffes in den Aggregatklassen?
- Gibt es einen Unterschied in der Bearbeitungsmethode?

Mit den aus der Messung erhaltenen Daten wurden Mittelwerte und Standardabweichungen pro Aggregatklasse und Bearbeitungsmethode ermittelt und in der Tabelle unten zusammengefasst.

Tabelle 8 Mittelwerte und Standardabweichungen des Gesamtkohlenstoffes je Aggregatklasse und Bearbeitungsvariante.

Aggregat - klasse	Gesamtkohlenstoff in %			
	Konventionell		Direktsaat	
	MW	S	MW	S
<0.063	2,52	0,14	2,55	0,12
0.2-0.063	2,94	0,12	3,13	0,06
0.63-0.2	3,01	0,04	3,00	0,04
1-0.63	2,97	0,05	2,99	0,06
2-1	2,96	0,08	2,99	0,08
4-2	2,91	0,06	3,00	0,10
8-4	2,94	0,10	2,95	0,09
>8	2,93	0,08	2,91	0,18
p - Wert	0,0001		0,001	
Variante	Mw _{ges}	S _{ges}	Mw _{ges}	S _{ges}
	2,90	0,17	2,94	0,18
p - Wert	0,247			

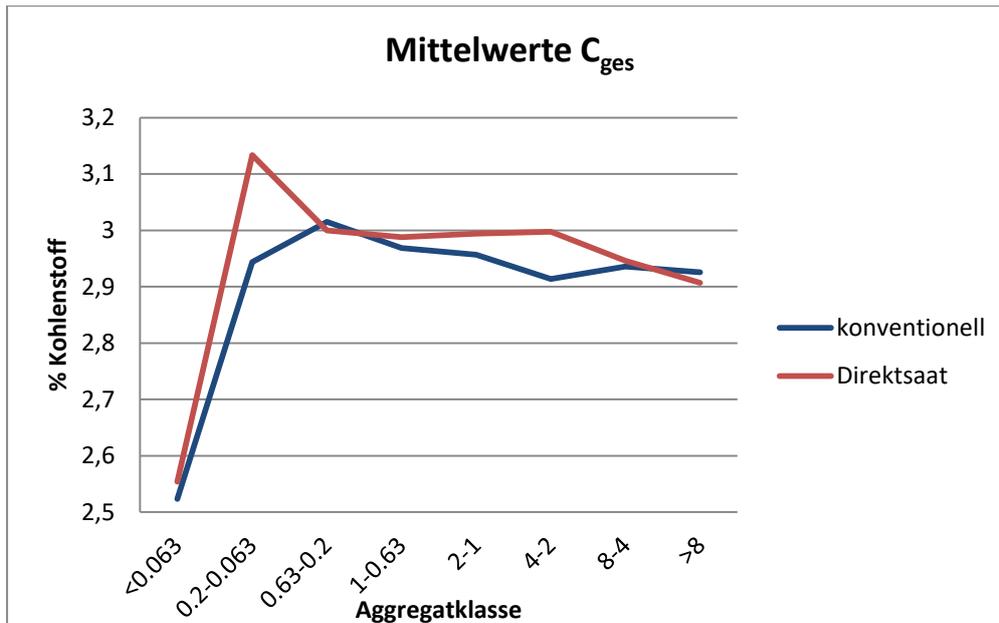


Abbildung 12 Gesamtkohlenstoffe in % je Aggregatklasse und Bearbeitungsvariante.

Mit einem p-Wert von 0,0001 für die konventionelle Bodenbearbeitung und einem Wert von 0,001 für Direktsaat, besteht für beide Bearbeitungsmethoden ein hoch signifikanter Zusammenhang zwischen Aggregatklasse und Kohlenstoffgehalt. Bei Direktsaat gibt es ein Maximum mit 3,13% Kohlenstoff. Die kleinste Aggregatklasse <math><0,063</math> weist für beide Bearbeitungsvarianten sehr niedrige Werte auf (2,5%), sie sind aber im Mittel gleich für beide Methoden.

Der p-Wert von 0,247 beschreibt einen nicht signifikanten Zusammenhang zwischen Bearbeitungsmethode und Gesamtkohlenstoff.

4.1.3 Anorganischer Kohlenstoff

Der anorganische Kohlenstoff ist im Boden in Kalzium- und Magnesiumkarbonaten gebunden. Der Gehalt an Karbonaten ist vor allem vom Ausgangsmaterial der Bodenbildung abhängig. Da Kalk wasserlöslich ist, kann er durch Auswaschung aus dem Boden gespült werden.

So wie Oxide können Karbonate Bodenteilchen miteinander verkitten und haben dadurch eine aggregierende Wirkung. Vor allem frisch ausgefälltes Karbonat hat eine stark aggregierende Wirkung, wobei es auch am leichtesten wieder ausgewaschen werden kann. Erst mit zunehmender Kristallisierung geht deren Löslichkeit zurück und es können sich Kalziumkarbonat-Konkretionen bilden.

Eine wichtigere Wirkung der Karbonate liegt der Tatsache zu Grunde, dass jene 2-wertige Kationen insbesondere Ca^{2+} an die Bodenlösung abgeben. Dies führt zu einem Anstieg des pH-Wertes was sich indirekt auf die mikrobiologische Aktivität und damit auf den Ab-, Um- und Aufbau von organischen Makromolekülen auswirkt.

Außerdem wird durch die Karbonate die Ca^{2+} -Sättigung in der Bodenlösung erhöht. Höhere Elektrolytgehalte bewirken eine dünnere diffuse Schicht und begünstigen die Flockung von Tonmineralien.

Brückenbildungen zwischen zwei Tonmineralien werden durch die Zweiwertigkeit der Kationen gefördert (SCHEFFER, 2010).

Die Ergebnisse aus der Karbonat-Bestimmung nach Scheibler wurden nach zwei Fragestellungen ausgewertet.

- Gibt es einen signifikanten Unterschied des Karbonatgehaltes in den Aggregatklassen?
- Gibt es einen Unterschied in der Bearbeitungsmethode?

Mit den aus der Messung erhaltenen Daten wurden Mittelwerte und Standardabweichungen pro Aggregatklasse und Bearbeitungsmethode ermittelt und in folgender Tabelle unten zusammengefasst.

Tabelle 9 Mittelwerte und Standardabweichungen des anorganischen Kohlenstoffes je Aggregatklasse und Bearbeitungsvariante.

Aggregat - klasse	Anorganischer Kohlenstoff in %			
	Konventionell		Direktsaat	
	MW	S	MW	S
<0.063	1,80	0,22	1,62	0,23
0.2-0.063	1,87	0,22	1,47	0,21
0.63-0.2	1,89	0,29	1,49	0,20
1-0.63	1,89	0,19	1,56	0,20
2-1	1,88	0,23	1,52	0,08
4-2	1,80	0,24	1,49	0,11
8-4	1,92	0,11	1,51	0,11
>8	1,84	0,10	1,62	0,32
p-Wert	0,963		0,811	
Variante	Mw _{ges}	S _{ges}	Mw _{ges}	S _{ges}
	1,86	0,20	1,54	0,19
p-Wert	0,0001			

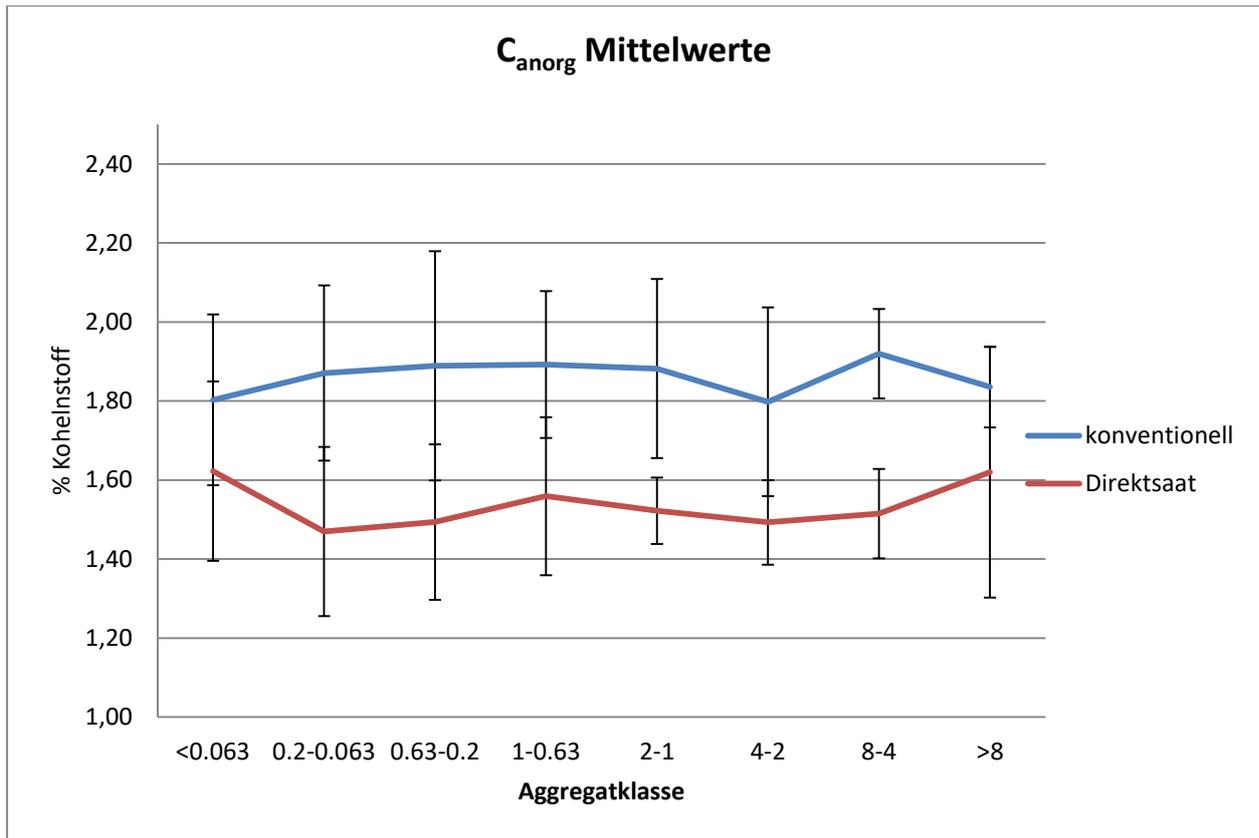


Abbildung 13 Anorganischer Kohlenstoff in je Aggregatklasse und Bearbeitungsvariante.

Mit einem p-Wert von 0,963 für die konventionelle Bodenbearbeitung und einem Wert von 0,811 für Direktsaat, besteht für keine der beiden Bearbeitungsmethoden ein signifikanter Zusammenhang zwischen Aggregatklasse und Kalkgehalt.

Mit einem p-Wert von 0,0001 besteht ein hoch signifikanter Zusammenhang zwischen Bearbeitungsmethode und dem Karbonatgehalt.

Da der Kalkgehalt vorwiegend vom Ausgangsgestein abhängt, war nicht zu erwarten, dass die verschiedenen Bearbeitungsmethoden verschiedene Kalkgehalte aufweisen. Der Kalkgehalt für konventionelle Bodenbearbeitung liegt im Mittel bei 1,86% und ist geringfügig höher als bei Direktsaat. Die höheren Werte für konventionelle Bearbeitung ergeben sich vermutlich durch die durchmischende Wirkung des Pflugs. Durch das Pflügen wird aus tieferen Bodenschichten Karbonat an die Oberfläche befördert. Die Auswaschung der Karbonate ist für beide Bearbeitungsmethoden gleich.

Die Werte für den anorganischen Kohlenstoff weichen von der Arbeit von HOFMANN, (2005) stark ab. (6,09% für KV und 2,66 für DS)

4.1.4 Organischer Kohlenstoff

Der organische Kohlenstoff an den größten Anteil an der organischen Substanz und hat wesentlichen Einfluss auf die Strukturstabilität von Mineralböden im Oberboden. Er begünstigt die Bildung des sehr stabilen Aggregatgefüges. Wenn organische Substanzen an Oberflächen von Tonmineralien und Hydroxyden gebunden werden, kommt es zur Anreicherung von sehr stabilen Mikroaggregaten (<0,25mm), die zu den weniger stabilen Makroaggregaten aufgebaut werden (SCHEFFER, 2010).

Der Gehalt des organischen Kohlenstoffes hat Einfluss auf die Kationenaustauschkapazität, die Speicher- und Pufferfunktion von Wasser und vor allem auf die biologische Aktivität, die die Aggregatstabilität maßgebend beeinflusst.

Der organische Kohlenstoff wird nicht direkt gemessen, sondern aus den Ergebnissen des Gesamtkohlenstoffes und des anorganischen Kohlenstoffes berechnet.

Die Ergebnisse des organischen Kohlenstoffes wurden nach zwei Fragestellungen ausgewertet.

- Gibt es einen signifikanten Unterschied des organischen Kohlenstoffes in den Aggregatklassen?
- Gibt es einen Unterschied in der Bearbeitungsmethode?

Mit den aus der Messung erhaltenen Daten wurden Mittelwerte und Standardabweichungen pro Aggregatklasse und Bearbeitungsmethode ermittelt und in folgender Tabelle unten zusammengefasst.

Tabelle 10 Mittelwerte und Standardabweichungen des organischen Kohlenstoffes je Aggregatklasse und Bearbeitungsvariante.

Aggregat - klasse	Organischer Kohlenstoff in %			
	Konventionell		Direktsaat	
	MW	S	MW	S
<0.063	0,72	0,18	0,93	0,93
0.2-0.063	1,07	0,24	1,66	1,66
0.63-0.2	1,13	0,28	1,51	1,50
1-0.63	1,08	0,20	1,43	1,43
2-1	1,07	0,21	1,47	1,47
4-2	1,12	0,24	1,50	1,50
8-4	1,02	0,12	1,43	1,43
>8	1,09	0,10	1,29	1,29
p-Wert	0,032		0,0001	
Variante	Mw _{ges}	S _{ges}	Mw _{ges}	S _{ges}
	1,04	0,23	1,40	0,27
p-Wert	0,001			

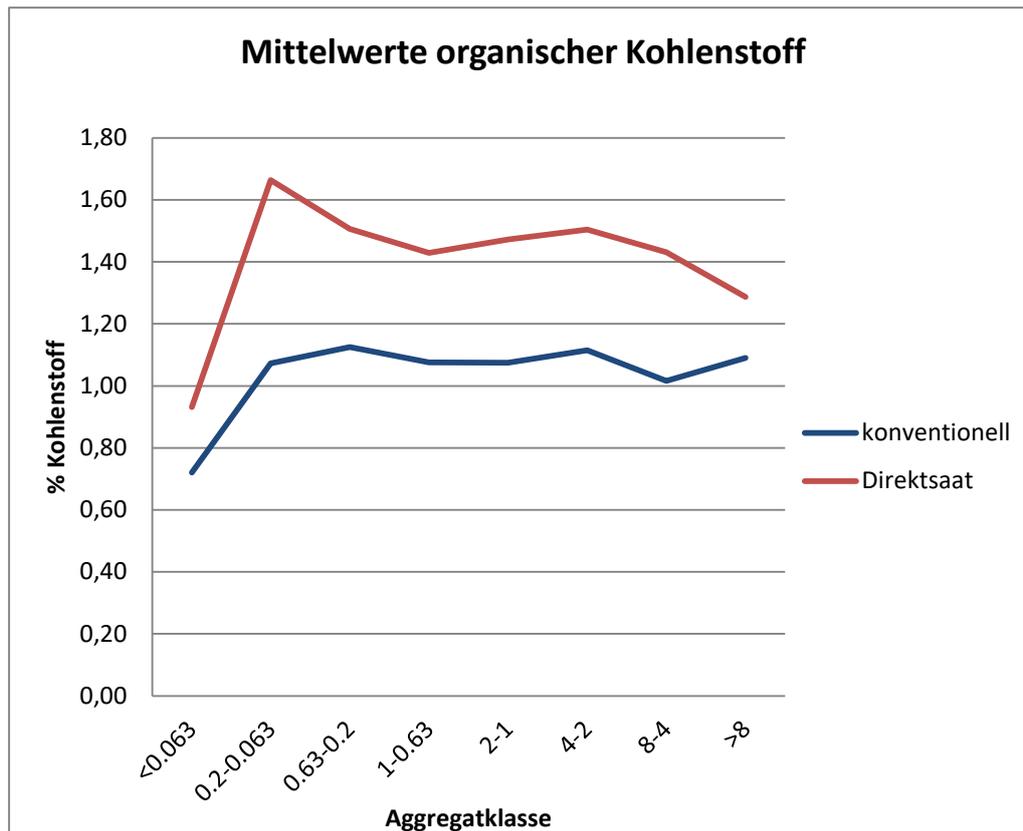


Abbildung 14 Anorganischer Kohlenstoff in % je Aggregatklasse und Bearbeitungsvariante.

Mit einem p-Wert von 0,032 für die konventionelle Bodenbearbeitung und einem Wert von 0,0001 für Direktsaat, besteht für beide Bearbeitungsmethoden ein hoch signifikanter Zusammenhang zwischen Aggregatklasse und organischem Kohlenstoff.

Beide Varianten haben den Minimalwert bei der kleinsten Aggregatklasse <0,063 mit 0,72% für konventionelle Bearbeitung und 0,93% für Direktsaat. Das Maximum an organischem Kohlenstoff liegt bei der Direktsaat in der Aggregatklasse 0,2 – 0,063mm bei 1,66% und in der Aggregatklasse 0,63 – 0,2mm für konventionelle Bearbeitung 1,13%. In den größeren Aggregatklassen bleibt der organische Kohlenstoffgehalt annähernd konstant.

Der p-Wert von 0,001 beschreibt einen hoch signifikanten Zusammenhang zwischen Bearbeitungsmethode und organischem Kohlenstoff.

Im Mittel ist der organische Kohlenstoff für die konventionelle Bodenbearbeitung 1,04% und für Direktsaat 1,4%.

BAUER (2001) beschreibt in seiner Arbeit einen höheren Anteil an organischem Kohlenstoff für die konventionelle Bodenbearbeitung (1,11%) als für die Direktsaat (0,99%). Jedoch sind dies gemittelte Werte von organischen Kohlenstoffgehalten über eine Tiefe von 0 – 30 cm. Für die höheren Werte bei konventioneller Bearbeitung fand er keine Erklärung. Nur an der Oberfläche ist der organische Kohlenstoffgehalt für Direktsaat (1,256%) höher als für konventionelle Bodenbearbeitung (1,105%).

HOFMANN (2005) stellte für konventionelle Bearbeitung 0,75% und für Direktsaat 1,25% fest.

4.1.5 Organische Substanz – Glühverlust

Die organische Substanz beinhaltet das gesamte organische Material auf der Oberfläche und im Boden. Dazu gehören alle abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Streustoffe und deren organischen Umwandlungsprodukte, sowie bereits stark umgewandelte Substanzen, die Huminstoffe. Zu den Streustoffen zählen abgestorbene Pflanzenreste, Wurzeln und Mikroorganismen. Sie bilden die nicht sehr lange im Boden verweilenden Stoffgruppen der Lipide, Proteine, Polysaccharide und Lignine. Die Streustoffe sind Lebensgrundlage der heterotrophen Mikroorganismen und begünstigen die Aggregatbildung auf indirektem Weg. Die Stoffwechselprodukte der Mikroorganismen (Schleimstoffe) können anorganische Teilchen verkleben. Da dieser „Kleber“ aber wieder von Mikroorganismen abgebaut wird, ist die stabilisierende Wirkung nur von begrenzter Dauer. Außerdem sind sie im Boden nicht stabil und werden schnell mineralisiert.

Huminstoffe sind bereits gegen Mineralisierung stabilisiert und haben eine lange Verweilzeit im Boden. Sie bilden organo–mineralische Verbindungen und können im Aggregatinneren gespeichert werden.

Es ist eine große Wechselwirkung zwischen der organischen Substanz und der biologischen Aktivität im Boden zu verzeichnen. Sie ist Nahrung der heterotrophen Bakterien sowie von kleineren Bodentieren. Regenwürmer und Enchytraeiden bilden durch Aufnahme von organischen und anorganischen Stoffen und mechanische Durchmischung im Darmtrakt die gegen Verschlammung sehr resistenten Kottaggregate. Wenn diese durch zwischenzeitliche Austrocknung hydrophobisiert werden, wird ihre Resistenz zusätzlich erhöht.

Organische Stoffe haben einen großen Einfluss auf die Stabilität der Aggregate, speziell im Oberboden. Dies zeigt sich darin, dass die resistenteren Aggregate meist einen höheren Kohlenstoff-Gehalt aufweisen. Außerdem steigt bei langjähriger organischer Düngung der Anteil der kleineren stabilen Aggregate (SCHEFFER, 2010)

Die Ergebnisse aus der Glühmethode wurden nach zwei Fragestellungen ausgewertet.

- Gibt es einen signifikanten Unterschied der organischen Substanz in den Aggregatklassen?
- Gibt es einen Unterschied in der Bearbeitungsmethode?

Mit den aus der Messung erhaltenen Daten wurden Mittelwerte und Standardabweichungen pro Aggregatklasse und Bearbeitungsmethode ermittelt und in der Tabelle unten zusammengefasst.

Tabelle 11 Mittelwerte und Standardabweichungen der organischen Substanz in (%) je Aggregatklasse und Bearbeitungsvariante

Aggregat - klasse	Glühverlust in %			
	Konventionell		Direktsaat	
	MW	S	MW	S
<0.063	4,55	0,67	5,32	1,11
0.2-0.063	5,44	0,99	5,71	0,75
0.63-0.2	5,55	0,52	6,51	0,61
1-0.63	5,88	0,58	5,92	0,86
2-1	6,23	0,85	6,41	1,26
4-2	5,43	0,85	6,11	1,06
8-4	5,60	0,40	5,90	0,90
>8	5,57	0,36	5,72	0,32
p-Wert	0,01		0,38	
Variante	Mw _{ges}	S _{ges}	Mw _{ges}	S _{ges}

	5,53	0,78	5,95	0,91
p-Wert	0,017			

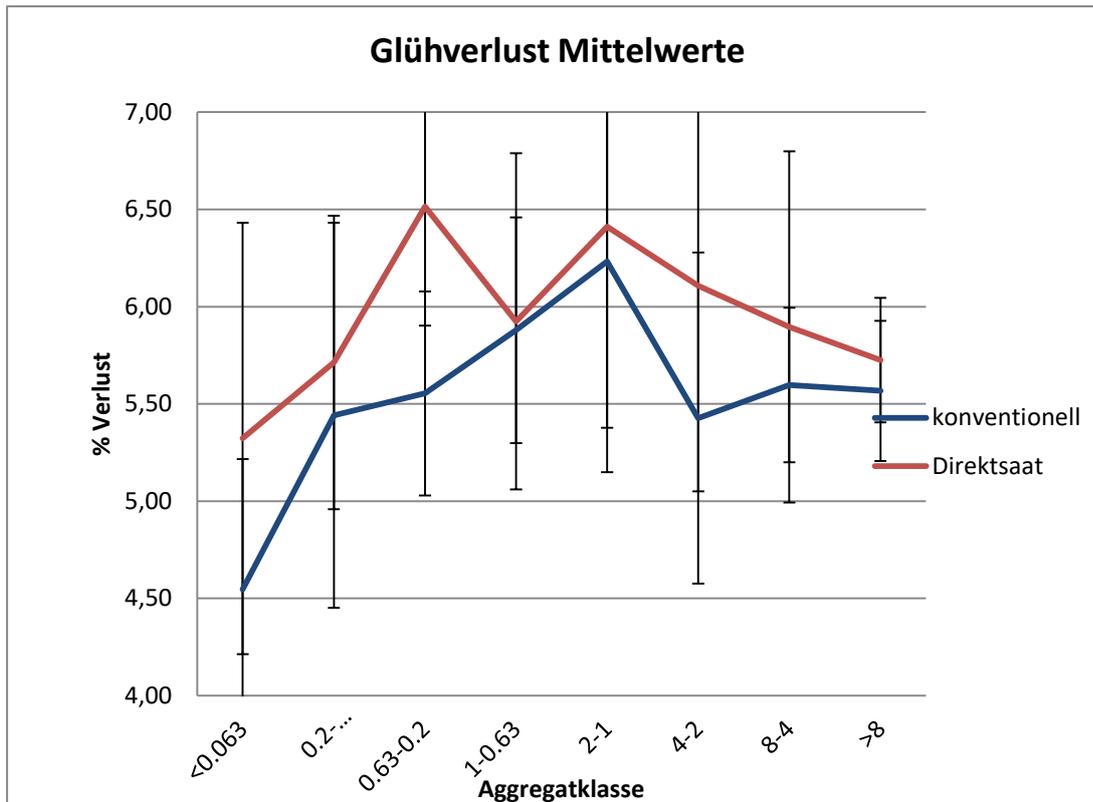


Abbildung 15 Organische Substanz in % pro Bearbeitungsvariante und Aggregatklasse

Das Signifikanzniveau von 0,05 wird bei der konventionellen Bearbeitungsmethode mit 0,01 unterschritten. Das heißt, dass hier ein Zusammenhang zwischen der Aggregatgröße und der organischen Substanz besteht. Auffällig sind hier die sehr kleinen Werte beider Bearbeitungsmethoden bei den Aggregatklassen < 0,063.

Bei der Direktsaat besteht mit einem p-Wert von 0,01 kein signifikanter Zusammenhang zwischen Aggregatklasse und Humusgehalt. Jedoch ist ein höherer Anteil in der Aggregatklasse 1-0,63mm ersichtlich.

Der p-Wert von 0,017 zeigt, dass hier ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Bearbeitungsmethoden besteht. Bei der Direktsaat wird die Streu nur mit dem Grubber von Zeit zu Zeit in den Oberboden eingearbeitet. Das organische Material wird dadurch in den oberen Schichten angereichert.

Die Werte der organischen Substanz sind mit 5,55%; 5,75% und 5,53% in etwa gleich wie in der Arbeit von HOFMANN, (2005).

4.1.6 Gelöster organischer Kohlenstoff – SAK

Dissolved Organic Carbon DOC entsteht bei der Zersetzung organischer Substanz durch Mikroorganismen und abiotische Prozesse. Er kann aber auch von den Wurzeln der Pflanzen ausgeschieden werden. Die gelösten organischen Substanzen sind im Bodenwasser in Form von Huminstoffen, organischen Säuren und Sacchariden enthalten. Außerdem zählen auch organische Metallkomplexe und Ton–Humus–Komplexe dazu solange sie als Kolloide vorliegen.

Generell und speziell in diesem Fall sind DOC alle organischen Kohlenstoffverbindungen die einen Filter von 0,45 µm Porenweite passieren können (Thurman, 1985). Das heißt, dass hier nicht nur gelöste Makromoleküle, sondern auch kolloidale Partikel enthalten sind. Die Konzentration sowie die chemische Zusammensetzung von DOC unterliegen je nach Variation der biologischen Aktivität von Pflanzen und Mikroorganismen jahreszeitlichen Schwankungen.

DOC dient als Nahrung für Mikroben deren Stoffwechselprodukte Einfluss auf die Aggregatstabilität haben.

Neben den hydrophilen Substanzen wie Sacchariden, Carbonsäuren und verschiedenen Aldehyden kann DOC auch aus beträchtlichen Anteilen zwischen 30 und 60% aus hydrophoben Verbindungen bestehen. Es handelt sich dabei meist um polymere Zersetzungsprodukte von Polysacchariden, Lignocellulose und Lignin aus Pflanzenresten. Hydrophiles DOC verhindert das Eindringen von Wasser in das Aggregatinnere und kann somit stabilisierend auf den Boden wirken.

Wie weit Bodenbearbeitungsmethoden den gelösten organischen Kohlenstoff beeinflussen, ist bislang wenig untersucht.

Die Werte für den organischen Kohlenstoff wurden nach zwei Fragestellungen ausgewertet.

- Gibt es einen signifikanten Unterschied des organischen Kohlenstoffs in der Aggregatklasse?
- Gibt es einen Unterschied in der Bearbeitungsmethode?

Tabelle 12 Mittelwerte und Standardabweichung Spektrale-Absorptions-Koeffizient – SAK in (1/m) je Aggregatklasse und Bearbeitungsvariante

Aggregat - klasse	SAK – Wert in (1/m)			
	Konventionell		Direktsaat	
	MW	S	MW	S
<0.063	0,52	0,14	0,60	0,16
0.2-0.063	0,74	0,07	0,71	0,13
0.63-0.2	0,35	0,03	0,68	0,04
1-0.63	0,31	0,05	0,65	0,08
2-1	0,30	0,06	0,54	0,04
4-2	0,32	0,06	0,57	0,03
8-4	0,31	0,12	0,58	0,03
>8	0,31	0,14	0,54	0,04
p-Wert	0,016		0,001	
Variante	Mw _{ges}	S _{ges}	Mw _{ges}	S _{ges}
	0,40	0,17	0,61	0,11
p-Wert	0,00013			

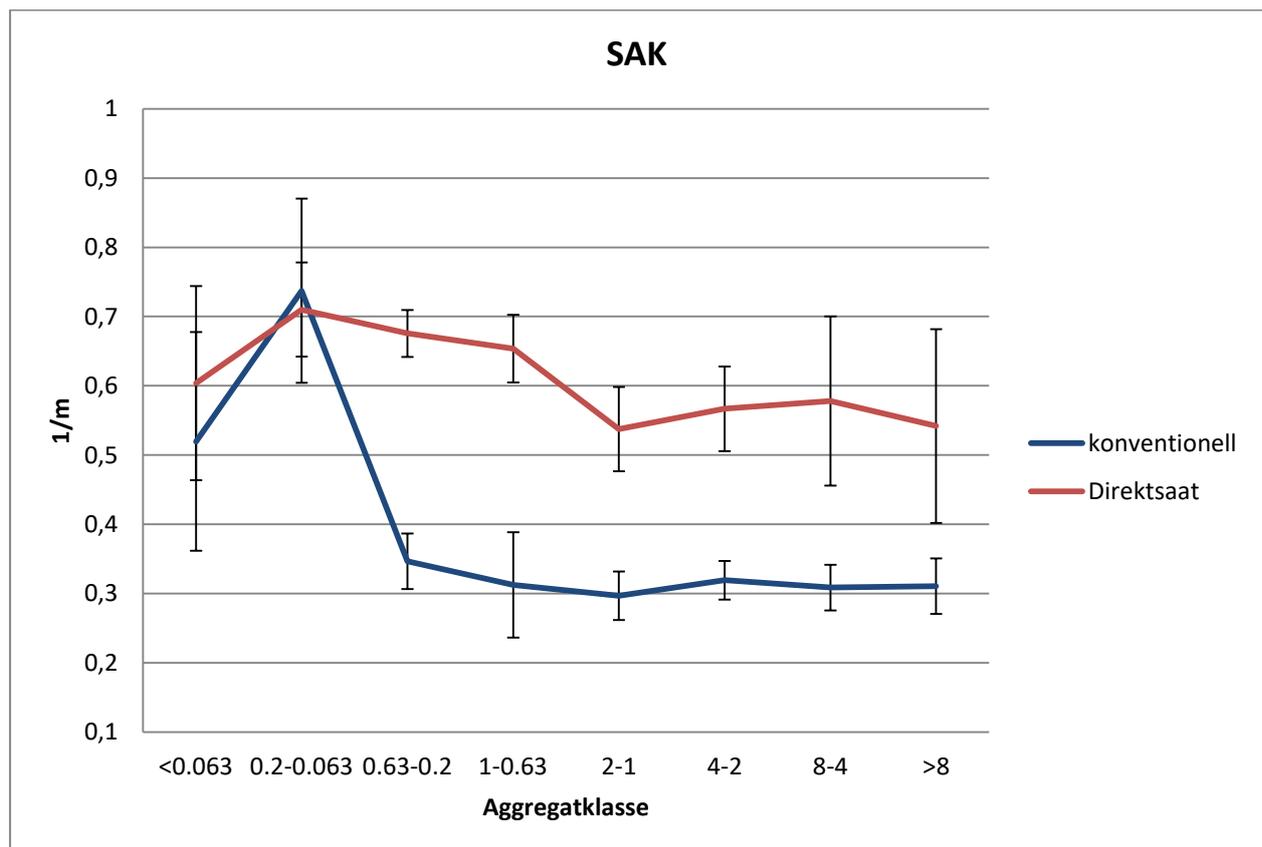


Abbildung 16 Äquivalent des gelösten organischen Kohlenstoffes: Spektrale-Absorptions-Koeffizient – SAK in 1/m

Bei der Variante mir Direktsaat zeigt der statistische Test mit einem p-Wert von 0,016 einen signifikanten Unterschied zwischen den Aggregatklassen an. Das heißt, dass ein statistischer Zusammenhang zwischen Aggregatklasse und dem gelösten organischen Kohlenstoff besteht. Der SAK ist in den größeren Aggregatklassen 2-1 mm, 8–4mm, größer als bei den kleineren.

Dies könnte auf die größere Oberfläche der Aggregate zurückzuführen sein. Außerdem werden die organischen Reste bei der Direktsaat nur beim Grubbern in die ersten 15cm Bodens eingearbeitet und akkumulieren sich daher am Oberboden. Feuchtere Verhältnisse bzw. bessere Wasserspeicherfähigkeit des Oberbodens lassen auf langsamere Mineralisierung und schließlich auf höhere Werte schließen.

Der p-Wert von 0,001 zeigt für die konventionelle Methode einen noch größeren Zusammenhang zwischen gelösten organischem Kohlenstoff und der Aggregatklasse. Besonders die Aggregatklasse 0,2 – 0,063 weist auf einen erhöhten Gehalt von gelösten organischem Kohlenstoff auf. Das organische Material wird dabei in den Boden eingearbeitet. Die Mikroorganismen haben hier nur beschränkte Nahrung und greifen auf den Kohlenstoff im DOC zurück. Außerdem beschleunigt die bessere Durchlüftung die Mineralisierung der organischen Streustoffe.

Der Unterschied zwischen den Bearbeitungsmethoden bezüglich gelösten organischen Kohlenstoffes ist mit dem p-Wert von 0,00013 signifikant.

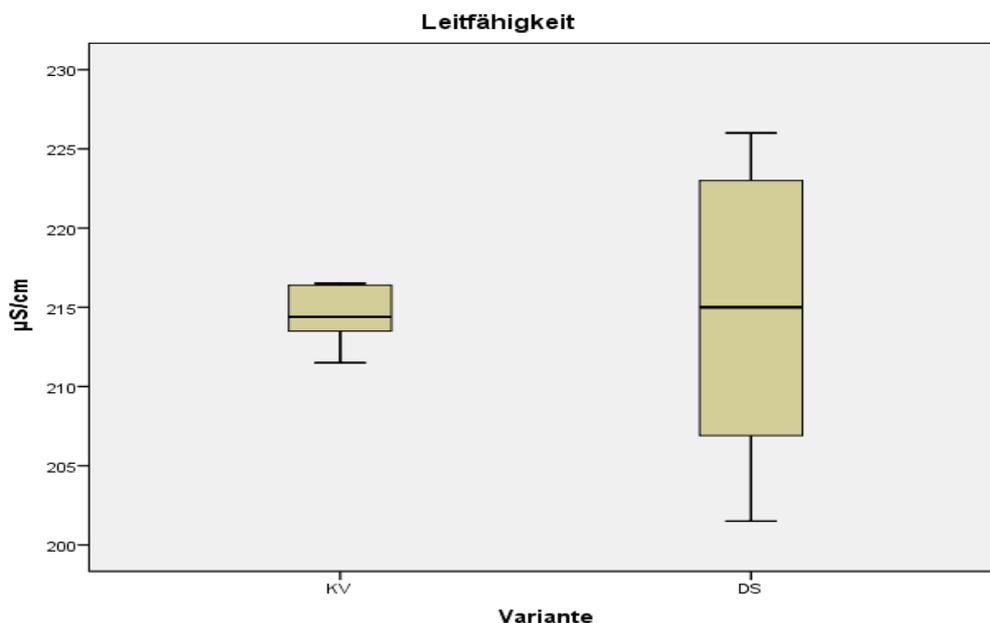
4.1.7 Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit ist ein Summenparameter für die gelösten Salze in der Bodenlösung und ist vom Dissoziationsgrad, der Konzentration, der Temperatur und der Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen abhängig. Jeder Boden enthält Salze, welche für das Pflanzenwachstum essentiell sind. Die Leitfähigkeit gibt darum Auskunft über das landwirtschaftliche Nutzungspotential von Böden.

Die Ionenkonzentration hat Einfluss auf die Dicke der diffusen Schicht, die das Flockungsverhalten bzw. die Aggregation von kolloidalen Stoffen bestimmt. Je geringer die Ionenkonzentration, desto dicker ist die diffuse Schicht und desto eher kommt es zu abstoßenden Kräften zwischen den Teilchen und schließlich zur Aggregation. Die Wertigkeit der Ionen spielt hier jedoch eine wichtige Rolle. Siehe Kapitel: 2.2.1.

Tabelle 13 Mittelwerte und Standardabweichungen der elektrischen Leitfähigkeit in ($\mu\text{S}/\text{cm}$) je Bearbeitungsvariante

Leitfähigkeit	Mistelbach			
	Direktsaat		Konventionell	
	MW	S	MW	S
	214,45	1,878	214,57	9,292
P - Wert	0,977			



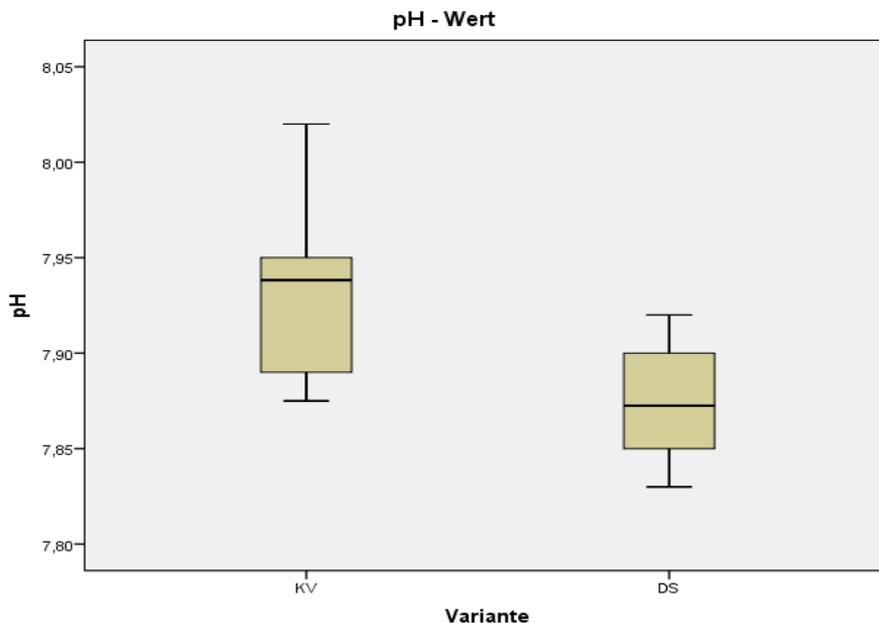
Der p-Wert von 0,977 lässt keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der Leitfähigkeit und den beiden Bearbeitungsmethoden zu. Die Werte der Direktsaat weisen aber eine sehr viel größere Streuung auf, wodurch auf eine starke Variabilität der elektrischen Leitfähigkeit geschlossen werden kann. Hier könnte eine Untersuchung der einzelnen Aggregate interessant sein. Die Werte liegen etwas unter den von BAUER (2001) mit 320 und 206 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und HOFMANN (2005) mit 248 und 328 $\mu\text{S}/\text{cm}$ untersuchten Studien. In beiden Arbeiten konnte kein statistischer Zusammenhang zwischen den Bearbeitungsvarianten festgestellt werden.

4.1.8 pH – Wert

Der pH – Wert beschreibt den negativen dekadischen Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration und beträgt im Wasser 7,0. Er ist ein Maß für das Gleichgewicht der H^+ und OH^- Ionen im Wasser. Während der Bodenzerersetzung gebildete Huminsäuren machen die Bodenlösung sauer und verschieben den pH- Wert unter 7, in den sauren Bereich. Maßgebend für den pH – Wert sind die Austauscheroberflächen von Ton und Schluffmineralien bzw. von Humus und Oxiden.

Der pH – Wert ist als Maß für die Bodenversauerung eine der wichtigsten und meist verwendeten Bodenkenngrößen. Er hat Einfluss auf die chemischen, physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften und somit direkten Einfluss auf das Pflanzenwachstum bzw. auf die Bodengesundheit. Er bestimmt die Verfügbarkeit von Nährstoffen für die Pflanzen, hat Einfluss auf die Nitrifikation im Boden und das Auftreten von toxisch wirkenden Al^+ und Schwermetallionen. Der pH-Wert hat Einfluss auf die Ladung der Eisenoxide. Dadurch ist er ein wichtiger Parameter für die Aggregation. Das Bodengefüge und folglich der Wasser- und Lufthaushalt sind vom pH-Wert ebenso abhängig, wie schließlich die Lebensbedingungen der Bodenorganismen.

pH-Wert	Mistelbach			
	Direktsaat		Konventionell	
	MW	S	MW	S
	7,87	0,036	7,94	0,051
p-Wert	0,698			



Das Signifikanzniveau von $p=0,05$ wird bei Weitem von dem p-Wert = 0,698 überschritten. Das heißt, dass der Unterschied des pH – Werts zwischen den beiden Bearbeitungsmethoden nicht signifikant ist. Es lässt sich kein wesentlicher Unterschied bezüglich pH – Wert und Bewirtschaftungsmethode feststellen.

4.2 Aggregatstabilität nach Yoder

4.2.1 Aggregatstabilität des Gesamtbodens – Gesamtbodenuntersuchung

4.2.1.1 Trockensiebung

Die Entnahme der Proben sowie deren Aufbereitung sind im Kapitel 3.3 Probennahme und Aufbereitung, näher beschrieben

Die ein Kilogramm schweren Proben wurden je fünf Minuten mit der Rüttelmaschine und anschließend per Hand durch die Siebe mit Maschenweite 8mm, 4mm, 2mm, 1mm, 0.63mm, 0.2mm, 0.063mm, 0.002mm gesiebt. Die Rückstände wurden gewogen und in Gewichtsprozent der Gesamtprobe angegeben.

Jede Probe wurde insgesamt sechsmal gesiebt. Aus den jeweils sechs Werten pro Aggregatklasse wurden Mittelwerte berechnet.

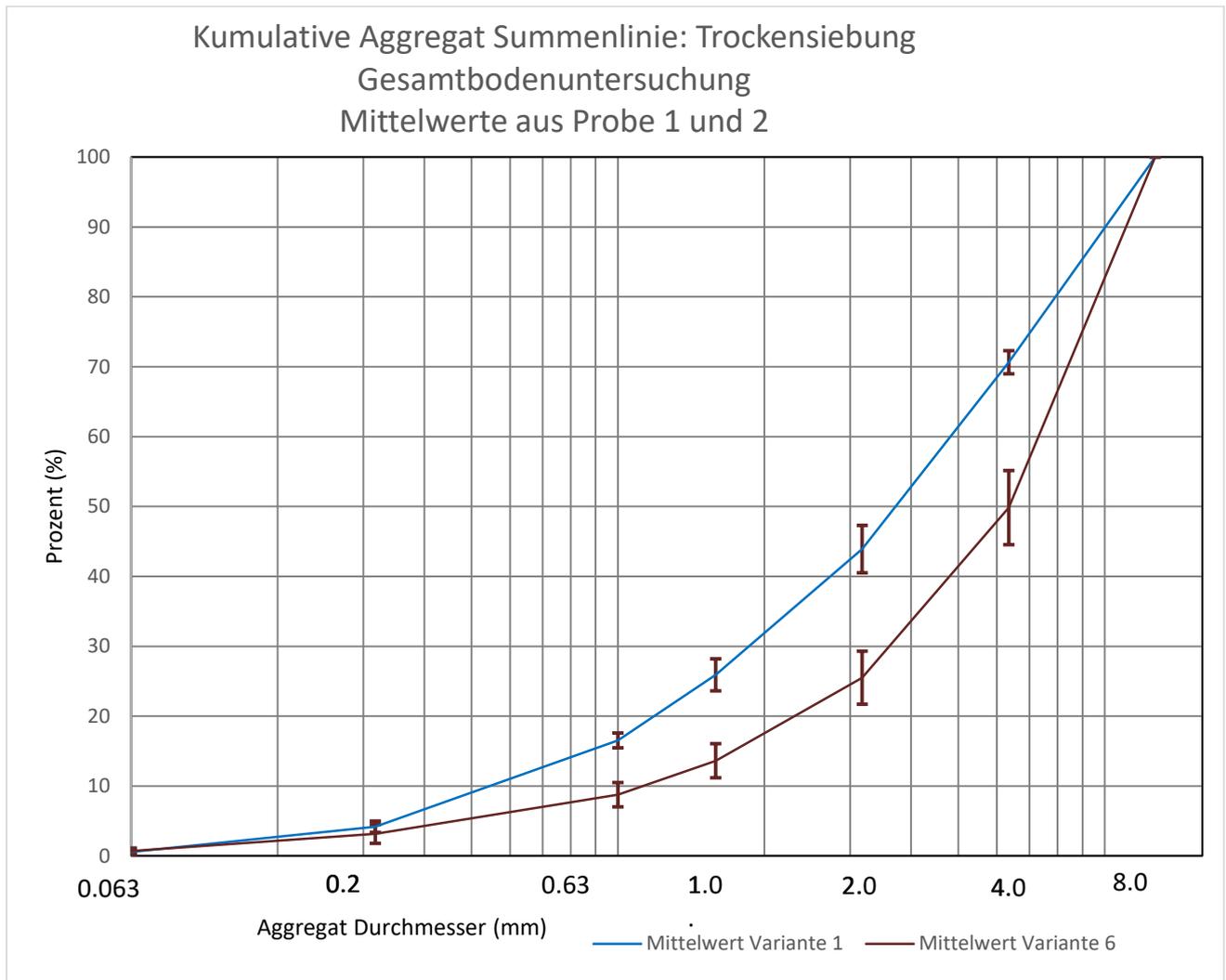


Abbildung 17 Die kumulativen Summenlinien der Aggregatverteilung nach der Trockensiebung der Varianten 1 und 6 aus den Mittelwerten der Proben 1 und 2.

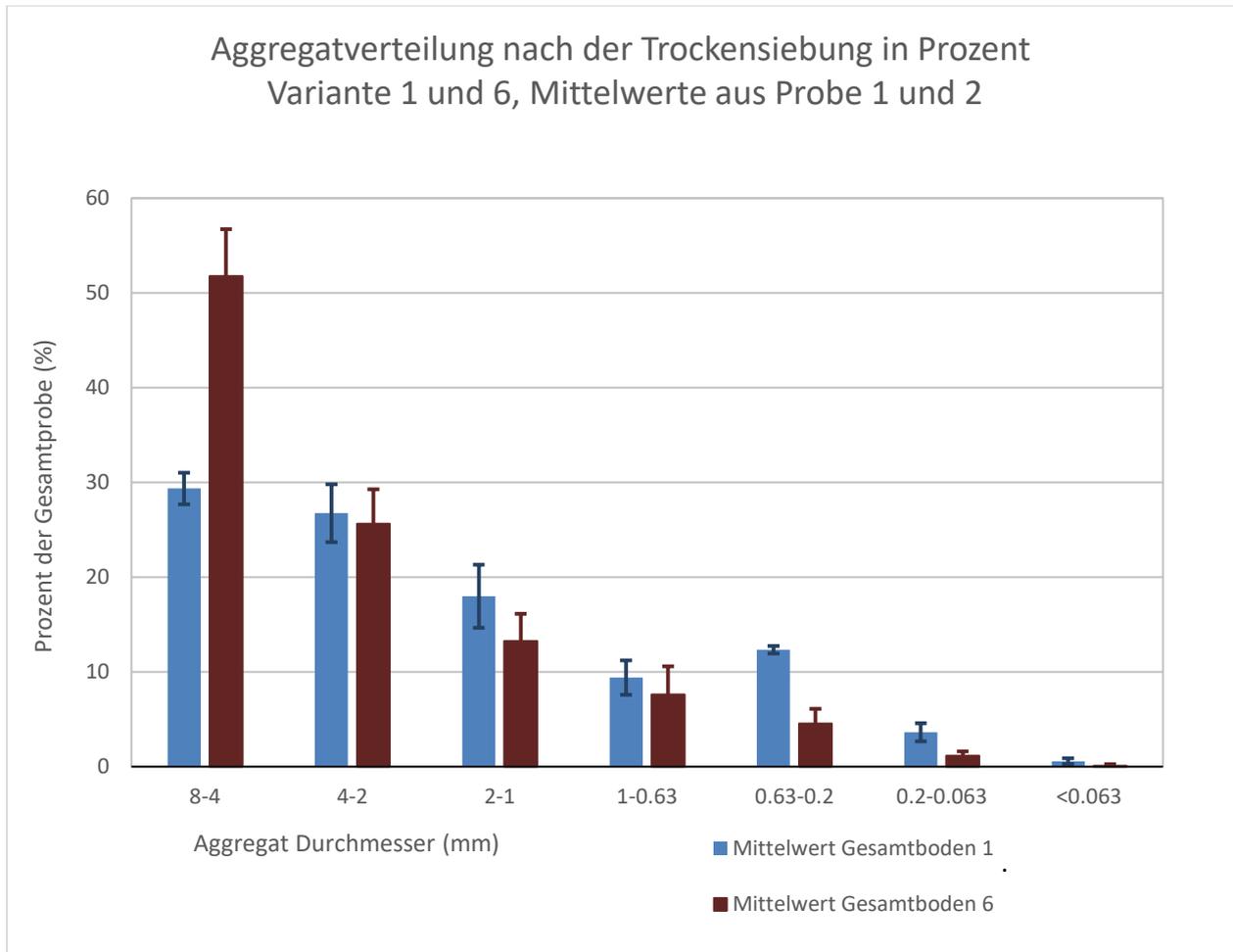


Abbildung 18 prozentuelle Verteilung der Aggregate nach der Trockensiebung

Auffällig ist hier der Unterschied bei den Aggregatklassen 8 – 4mm. Der Boden mit pflugloser Bodenbearbeitung weist um 20% mehr Aggregate in der Klasse 8 – 4mm auf. In den restlichen Aggregatklassen ist nahezu kein Unterschied in den prozentuellen Anteilen der Aggregatklassen zu erkennen.

Es zeigt sich, dass die Werte des Bodens mit Direktsaat eine größere Streuung aufweisen, als die des konventionellen. Es sind signifikante Unterschiede zwischen Probe 1 und Probe 2 zu erkennen. Der maximale Unterschied der Mittelwerte liegt bei Variante 6 bei 4% mit einer Streuung von 6%.

4.2.1.2 Nasssiebung

50g aus den 1 Kilogramm schweren Mischproben wurden pro Probe mit dem Tauschsiebverfahren nach Yoder gesiebt.

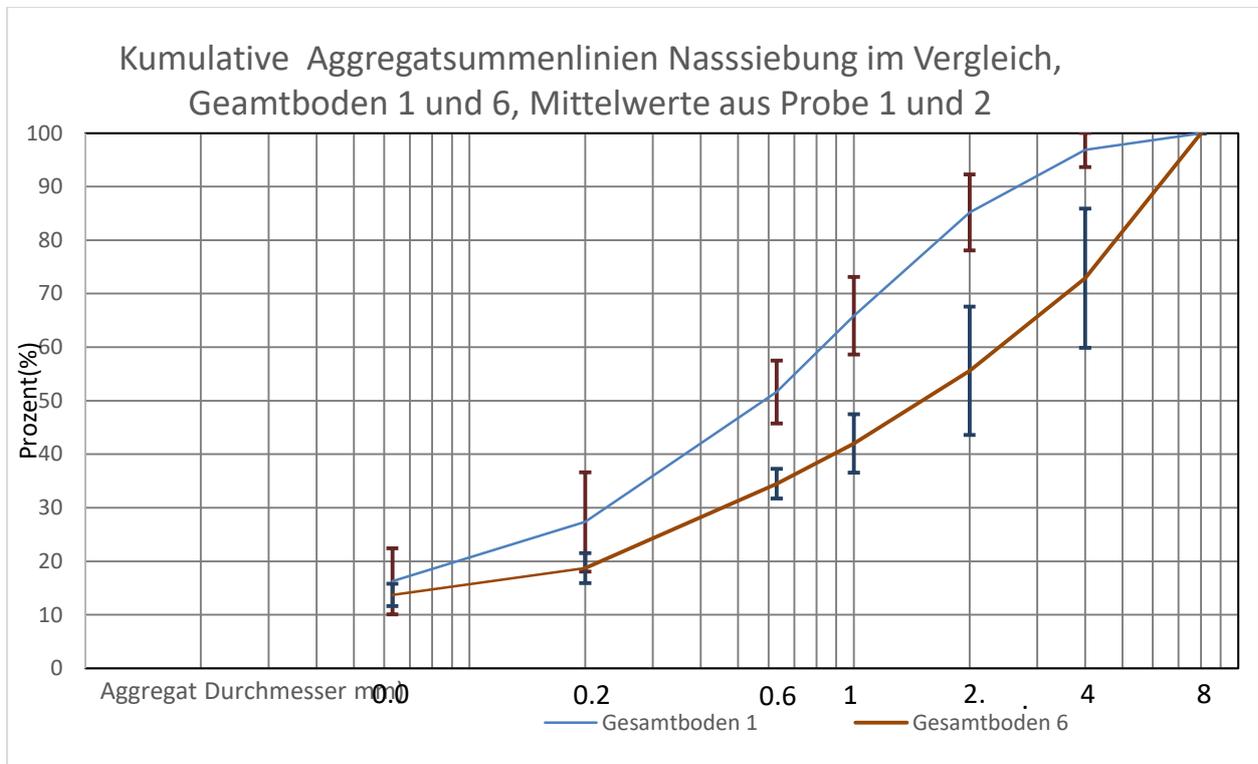


Abbildung 19. Die Verteilung der Aggregatklassen in Form der Summenlinie

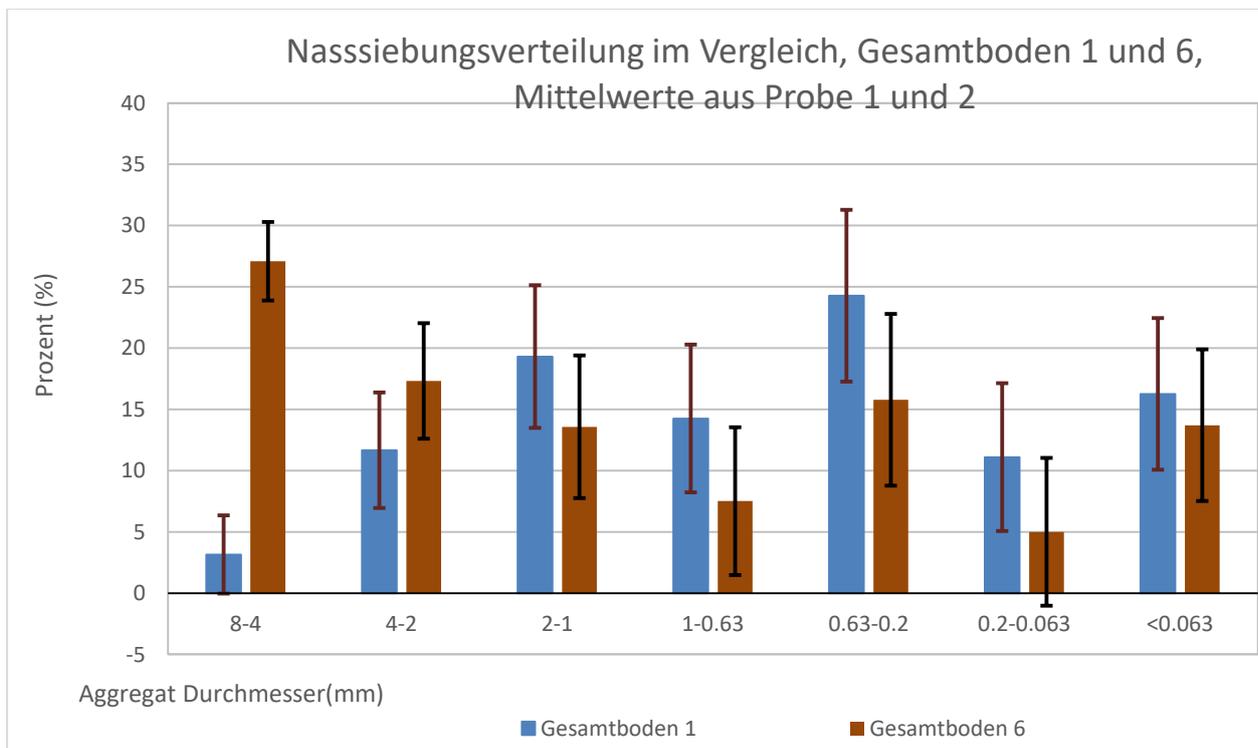


Abbildung 20 Die prozentuelle Verteilung der Aggregatklassen nach der Nasssiebung

Abbildung 14 zeigt, dass der Boden mit pflugloser Bodenbearbeitung zu 27% aus wasserresistenten Aggregaten in der Aggregatklasse 8-4mm besteht. Man beachte die große Schwankungsbreite der Messergebnisse. Die größte Varianz liegt bei Probe 1 bei 15%. Der Boden mit konventioneller Bodenbearbeitung hat nur 3% stabile Aggregate in der Klasse 8-4mm. Die Messergebnisse streuen hier nicht so stark wie beim Boden mit pflugloser Bodenbearbeitung. In der Aggregatklasse 4-2mm sind um durchschnittlich 5% mehr stabile Aggregate im Vergleich zum Boden mit Direktsaat. Aufgrund der großen Messvarianzen lassen sich in den übrigen Aggregatklassen keine Unterschiede zwischen den beiden Bewirtschaftungsmethoden feststellen.

4.2.1.3 Vergleich von Trocken und Nasssiebung – „Mean Weight Diameter“ (MWD)

Um die Ergebnisse der Trocken- und Nasssiebung vergleichbar zu machen und einen tatsächlichen Wert für die Aggregatstabilität zu erhalten, wird der „Mean Weight Diameter“ generiert, der die Stabilität aller Aggregatklassen zusammenfasst.

Der „Mean Weight Diameter“ berechnet sich aus der Summe der mittleren Aggregatklassendurchmesser multipliziert mit den prozentuellen Gewichtsanteilen jeder Aggregatklasse.

Er beschreibt also die Veränderung des mittleren Durchmessers der Aggregate vor und nach einer Nasssiebung (KEMPER, ROSENAU, 1986; VAN BAVEL, 1949). Je mehr der mittlere Durchmesser nach der Nasssiebung abnimmt, desto weniger stabil sind die Aggregate.

Tabelle 21 Die „Mean Weight Diameter“ und Gegenüberstellung der Trockensiebungs- und Nasssiebungsprozentanteile der Gesamtböden von Variante 1 - konventionell, Probe 1 und 2, und Variante 6 - Direktsaat Probe 1 und 2.

Anteile in (%)	G1/P1/Trocken	G1/P1/Nass	G1/P2/Trocken	G1/P2/Nass
8-4	29,21	1,87	36,73	3,15
4-2	27,21	10,86	27,61	11,67
2-1	17,16	16,52	16,80	19,31
1-0.63	10,41	16,60	9,49	14,25
0.63-0.2	12,07	25,71	5,54	24,27
0.2-0.063	3,09	8,45	3,27	11,10
<0.063	0,85	19,98	0,55	16,26
	2,97	0,95	3,39	1,07
	ΔMWD (mm)	2,02	ΔMWD (mm)	2,32
Anteile in (%)	G6/P1/Trocken	G6/P1/Nass	G6/P2/Trocken	G6/P2/Nass
8-4	53,23	30,52	50,35	23,66
4-2	27,85	16,12	23,40	18,53
2-1	14,98	11,50	11,53	15,65
1-0.63	9,70	7,07	5,49	7,96
0.63-0.2	4,23	16,22	4,84	15,35
0.2-0.063	1,04	5,89	1,23	4,12
<0.063	0,00	12,67	0,18	14,73
	4,35	2,62	3,96	2,35
	ΔMWD (mm)	1,73	ΔMWD (mm)	1,61

Laut HARTGE UND HORN (1986) liegen die Werte für stabile Böden zwischen 1 und 2mm. 4 bis 5 mm würden für einen Boden mit instabiler Struktur stehen. Der Messfehler der Bestimmung sollte bei der durchgeführten Arbeitsweise $\pm 0,35$ mm betragen. Bei dem Nasssiebungsverfahren von HARTGE UND HORN (1986) werden die Proben vor der Nasssiebung jedoch künstlich auf einen bestimmten Feuchtegehalt gebracht. Dies sollte das Phänomen der Luftsprennung unterdrücken. Es heißt: „Die Vorbehandlung (Trocknung bzw. Einstellung der Wasserspannung) verändert den Bereich des MWD nicht, wohl aber die Lage des Wertes für einen gegebenen Boden innerhalb dieses Bereiches, weil eine Trocknung die Stabilität sowohl erhöhen als auch erniedrigen kann.“ (HARTGE & HORN, 2009).

Die Änderung des mittleren Aggregatdurchmessers ist bei dem Boden mit pflugloser Bodenbearbeitung mit 1,73mm und 1,61 deutlich geringer als die des Bodens mit konventioneller Bearbeitung. Die Werte liegen hier bei 2,02 mm und 2,32mm und sind laut HARTGE UND HORN, (2009) noch weit im stabilen Bereich. Die große Streuung der Werte bei der Nasssiebung wurde hier nicht miteinberechnet. Der MWD wurde nur mit den Mittelwerten berechnet. Die Wiederholungswerte liegen in den von HARTGE UND HORN, (2009) genannten Fehlertoleranzen. Auffällig ist jedoch, dass die Abweichung des Messergebnisses beim konventionellen Boden mit 0,3 mm deutlich höher ist als bei Direktsaat (= 0,1mm).

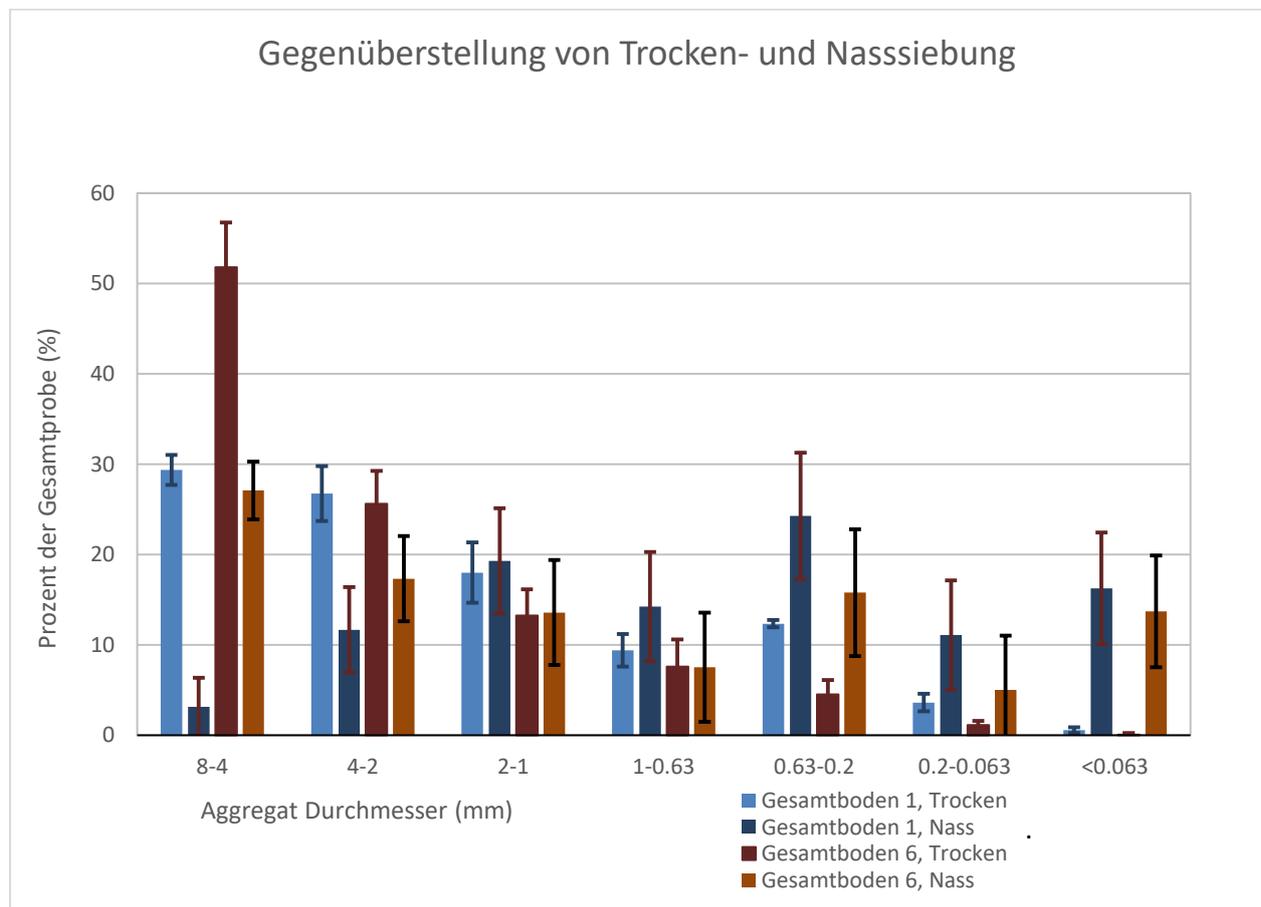


Abbildung 22 Die Gegenüberstellung von Trocken und Nasssiebung in Prozent

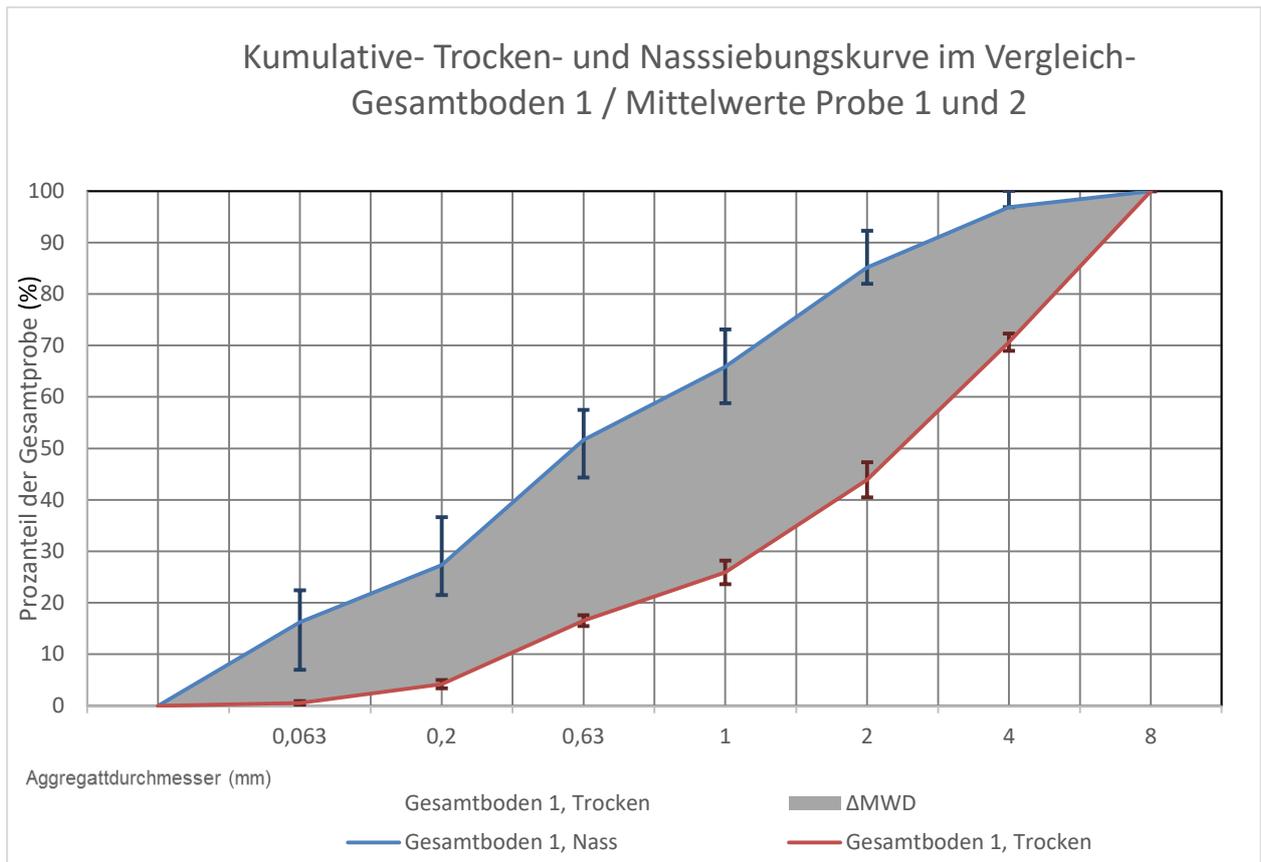


Abbildung 23

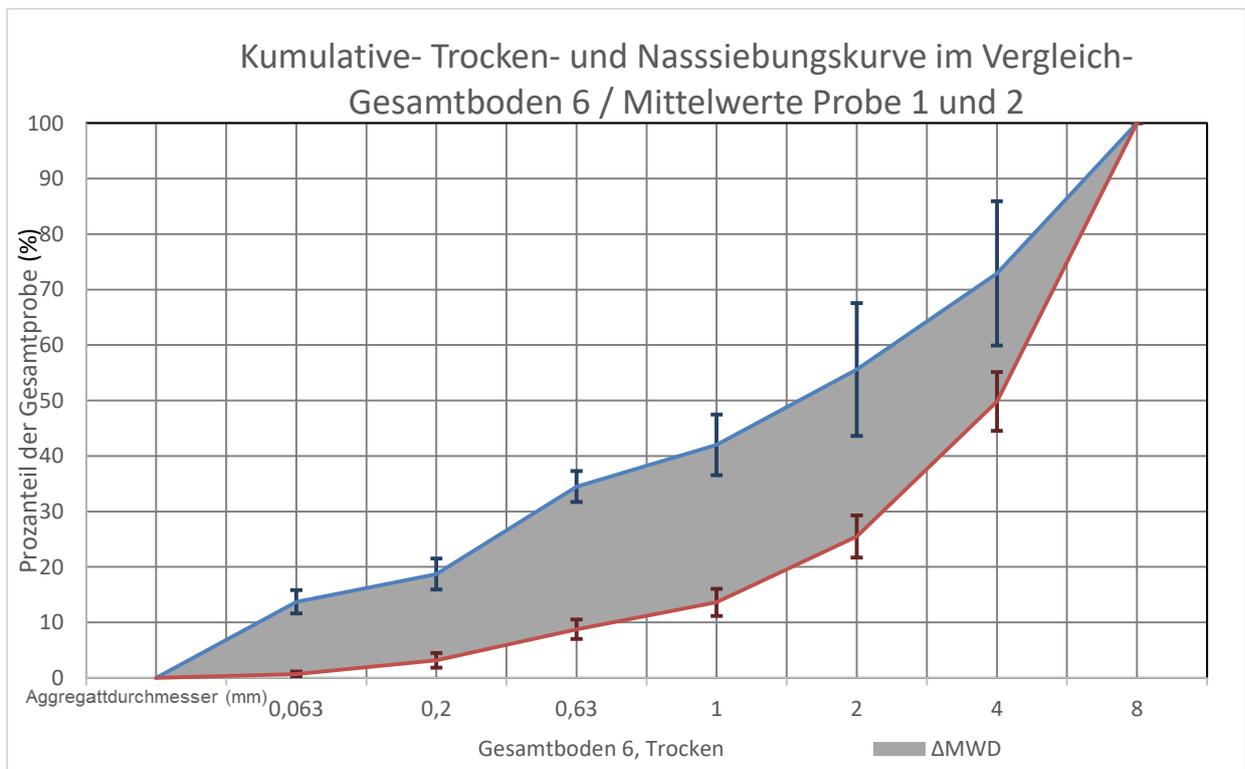


Abbildung 24 + 7 Zeigen die Summenkurven der Nasssiebung und der Trockensiebung. Die Flächen zwischen den Summenkurven entsprechen dem „Mean Weight Diameter“.

4.2.2 Bestimmung der Stabilität der einzelnen Aggregatklassen – Aggregatstabilitätstest

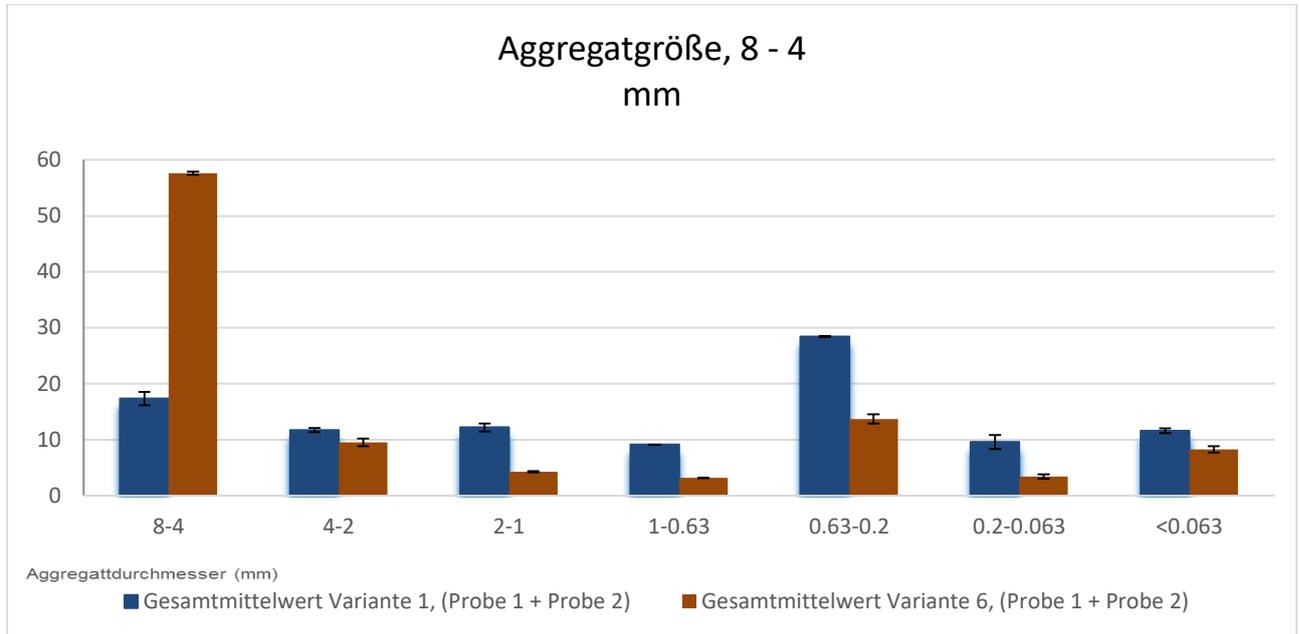


Abbildung 25 Messung der Aggregatstabilität der Aggregatklasse 8 - 4 mm

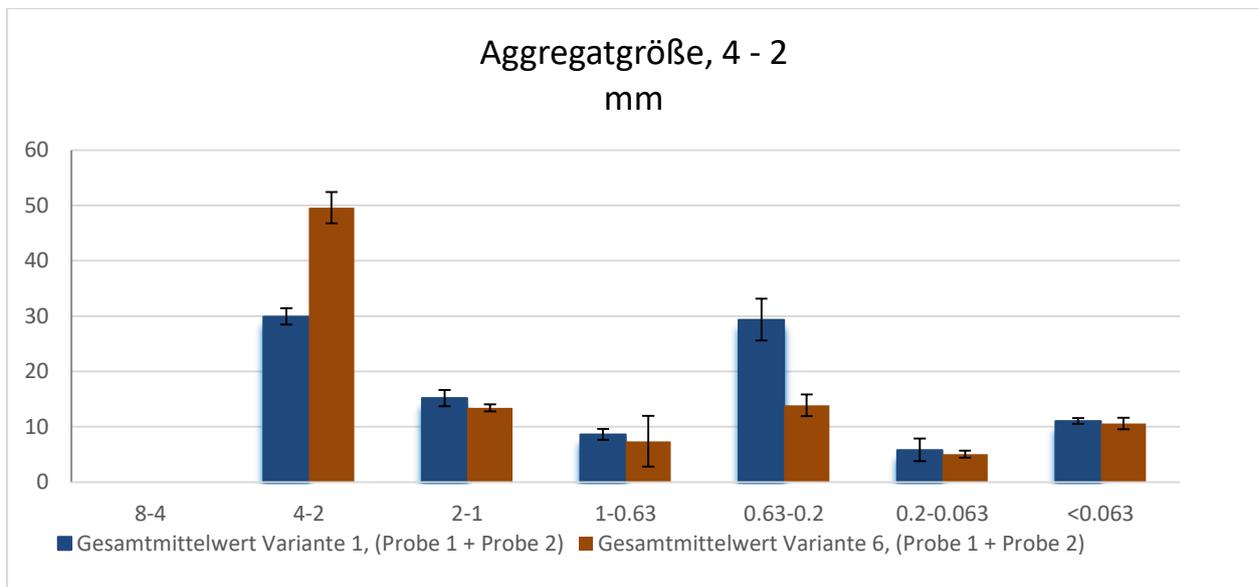


Abbildung 26 Messung der Aggregatstabilität der Aggregatklasse 4 - 2 mm

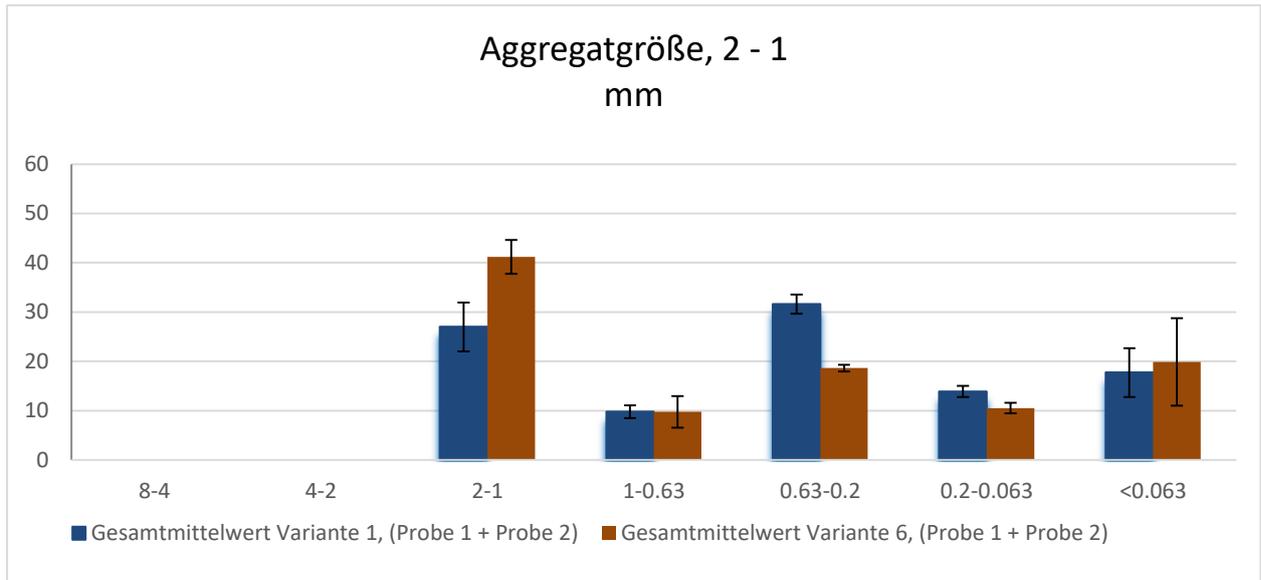


Abbildung 27 Messung der Aggregatstabilität der Aggregatklasse 2 - 1 mm

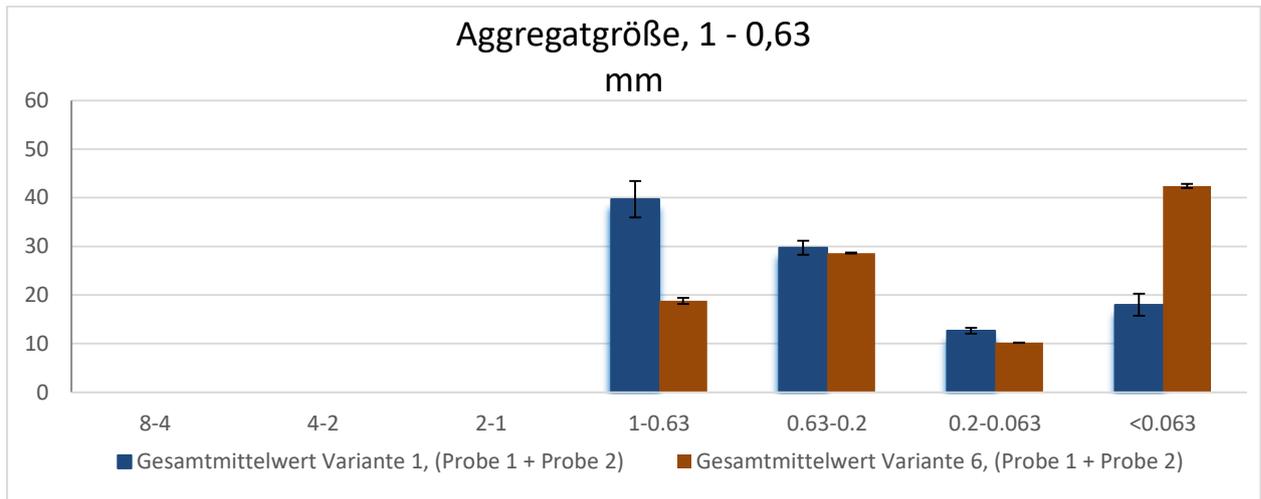


Abbildung 28 Messung der Aggregatstabilität der Aggregatklasse 1 - 0,63 mm

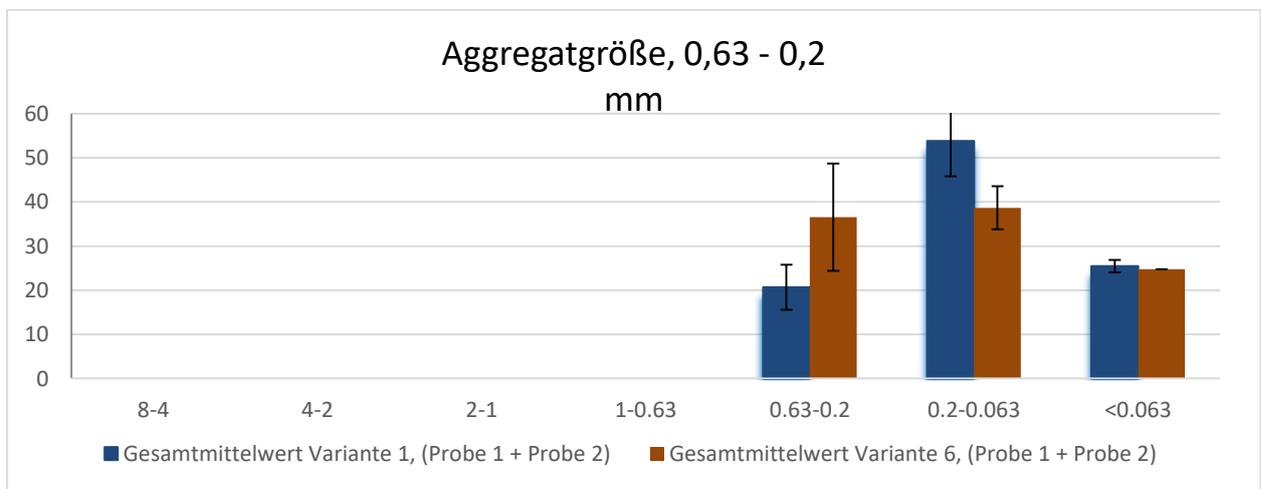


Abbildung 29 Messung der Aggregatstabilität der Aggregatklasse 0,063 - 0,2 mm

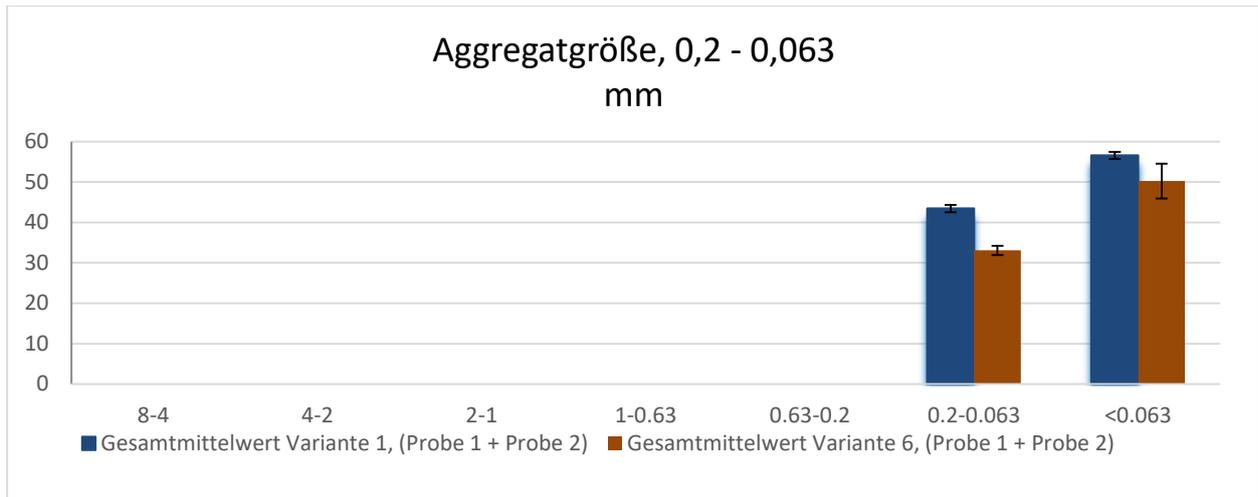


Abbildung 30 Messung der Aggregatstabilität der Aggregatklasse 0,2 - 0,063 mm

4.2.2.1 Zusammenführung der Ergebnisse des Aggregatstabilitätstests

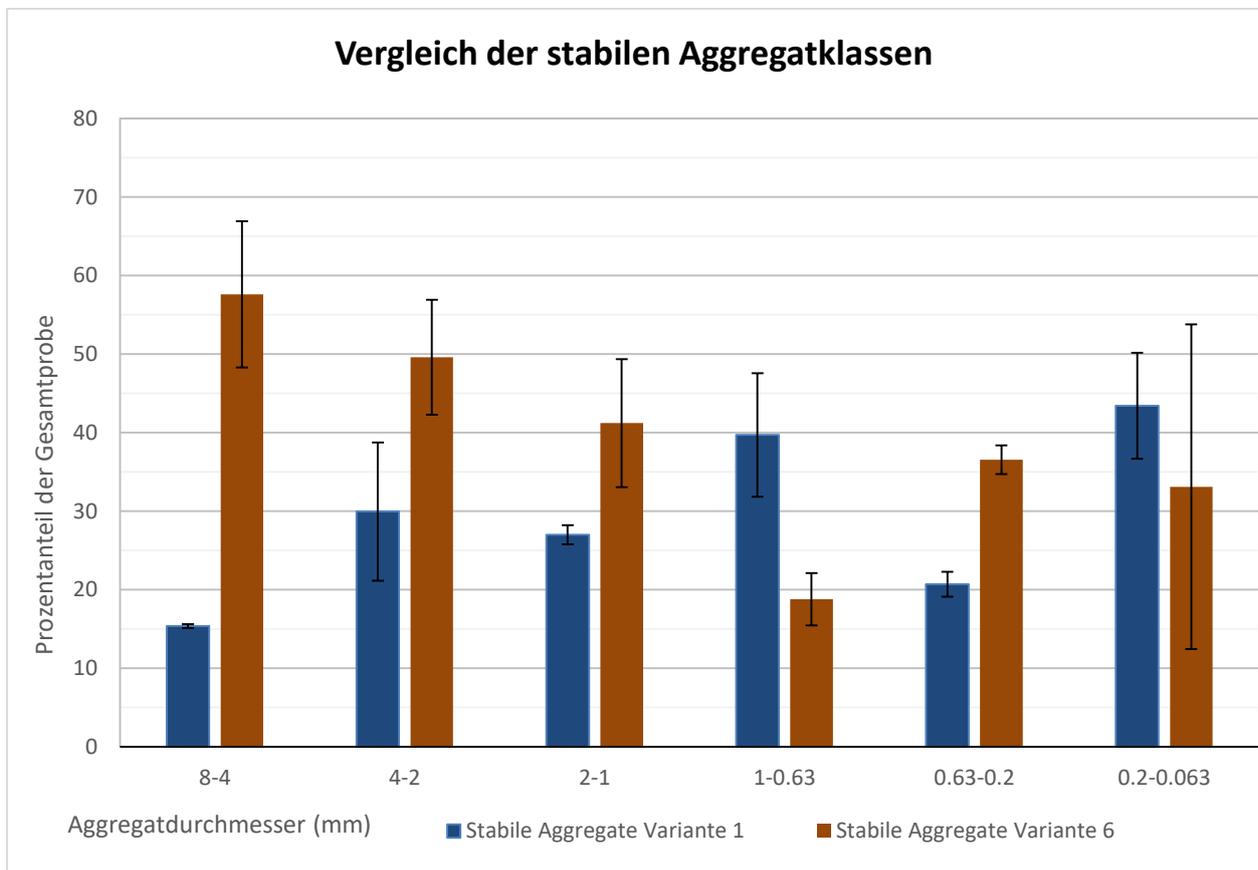


Abbildung 31 Die prozentuellen Massenanteile der Aggregate jeder Aggregatklasse, die beim Aggregatstabilitätstest nicht zerfallen, also stabil sind.

Abbildung 25 zeigt, dass die größeren Aggregatklassen 8-4mm, 4-2mm, 2-1mm, bei der Direktsaat um bis zu 40%, 20% und 14% stabiler sind. Für die Aggregatklasse 1 – 0,63mm ist die konventionelle Bearbeitungsmethode um 22% stabiler. Die Aggregatklasse 0,63 – 0,2mm hat bei der Direktsaat um 15% mehr stabile Aggregate. Bei Aggregatklasse 0,2 – 0,063 gibt es keine wesentlichen Unterschiede im Stabilitätsvergleich. Die Streuung der Messergebnisse der konventionellen Bodenbearbeitung ist hier sehr hoch und könnte auf einen Messfehler hinweisen.

4.2.3 MWD für jede Aggregatklasse

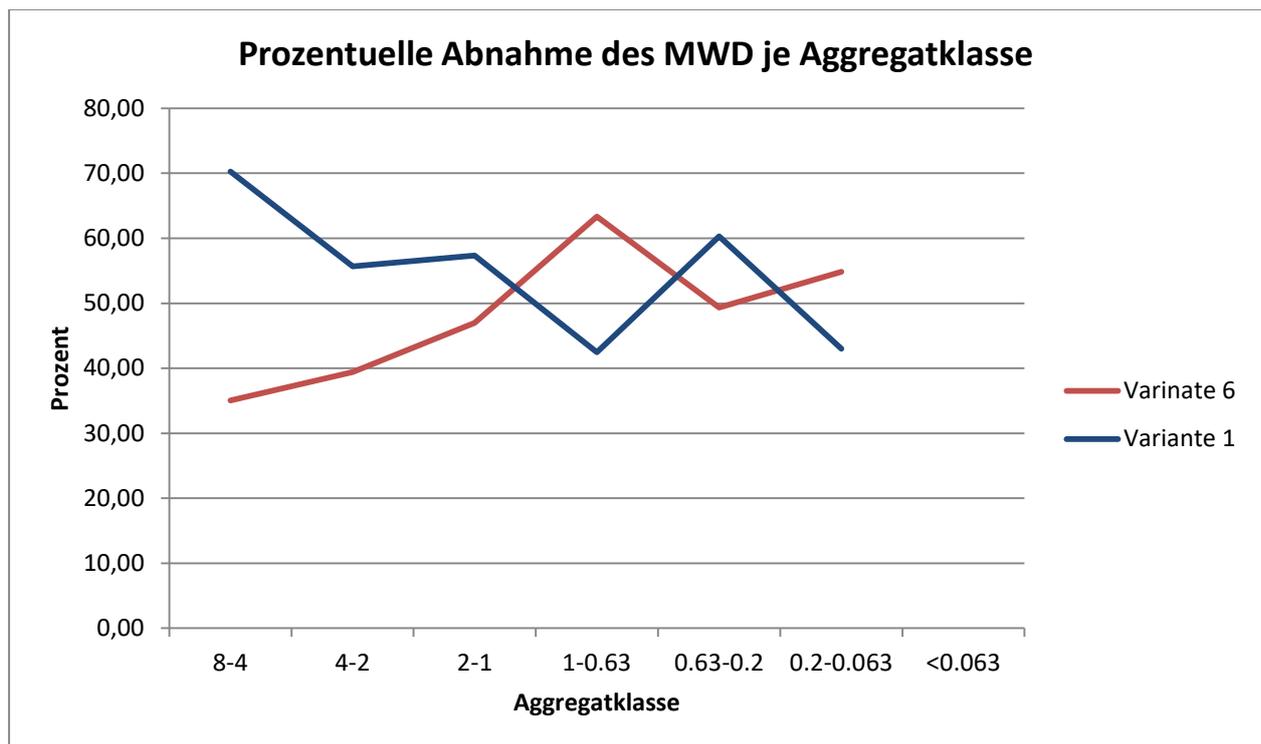


Abbildung 32 Abnahme des MWD je Aggregatklasse in Prozent

Es wurde aus den Ergebnissen des Aggregatstabilitätstest pro Aggregatklasse ein MWD berechnet. Um den MWD pro Aggregatklasse vergleichbar zu machen wurden hier nicht die Absolut -Werte in (mm), sondern die Abnahme des mittleren Aggregatdurchmessers in Prozent berechnet und dargestellt. Abbildung 26 zeigt eine deutliche Abnahme des MWD in den Aggregatklassen 8-4mm, 4-2mm und 2-1mm zwischen den beiden Bearbeitungsvarianten. Eine prozentuell hohe Abnahme des MWD weist auf instabile Aggregate hin. Auffällig ist, dass sich der MWD in den kleineren Aggregatklassen zwischen den beiden Bearbeitungsvarianten genau gegengleich verhält.

Bei der Berechnung des MWD werden die prozentuellen Anteile nach dem Zerfall je nach Aggregatklasse gewichtet. Die größeren Aggregate wirken sich stärker auf den MWD aus als kleinere. Die Aggregate, die nicht zerfallen, beeinflussen den MWD am stärksten. So weist die Kurve in Abbildung 23 einen gegengleichen Verlauf, wie die Prozentanteile der nicht zerfallenen Aggregate aus Abbildung 22 auf.

4.2.4 Überprüfung der Kongruenz der Gesamtbodenuntersuchung und Aggregatstabilitätstests

Da die Messergebnisse der Messmethode nach Yoder großen Messfehlern und dadurch großen Varianzen unterliegen, werden die erhaltenen Messergebnisse auf ihre Genauigkeit überprüft. Die Genauigkeit der Gesamtbodenuntersuchung sowie des Aggregatstabilitätstest müsste mit größerem Probenumfang gemessen werden. Dies würde sehr viel Zeit in Anspruch nehmen. So werden die Messreihen einzelner Messverfahren verknüpft um eine eingeschränkte Überprüfung durchführen zu können.

Es wird auch der Frage nachgegangen ob ein viel aufwendigeres Verfahren, die Messung der Zerfallsreihen aller Aggregatklassen überhaupt mehr Information bringen kann.

Im Kapitel 4.1.2 wurden die Ergebnisse des Aggregatstabilitätstest dargestellt. Für jede Aggregatklasse wurde mit der Methode nach Yoder eine Zerfallsreihe ermittelt, welche beschreibt in welche Größen die Aggregatklassen zerfallen. Mit diesen Zerfallsreihen kann zur Überprüfung der Ergebnisse, der Zerfall einer Bodenprobe von der die Verteilung der trockenen Aggregate bereits bekannt ist, berechnet bzw. theoretisch rekonstruiert werden.

Die Berechnung wurde für beide Bearbeitungsmethoden durchgeführt. Anschließend wurde zum Vergleich der Messreihen der „root mean square error“ berechnet.

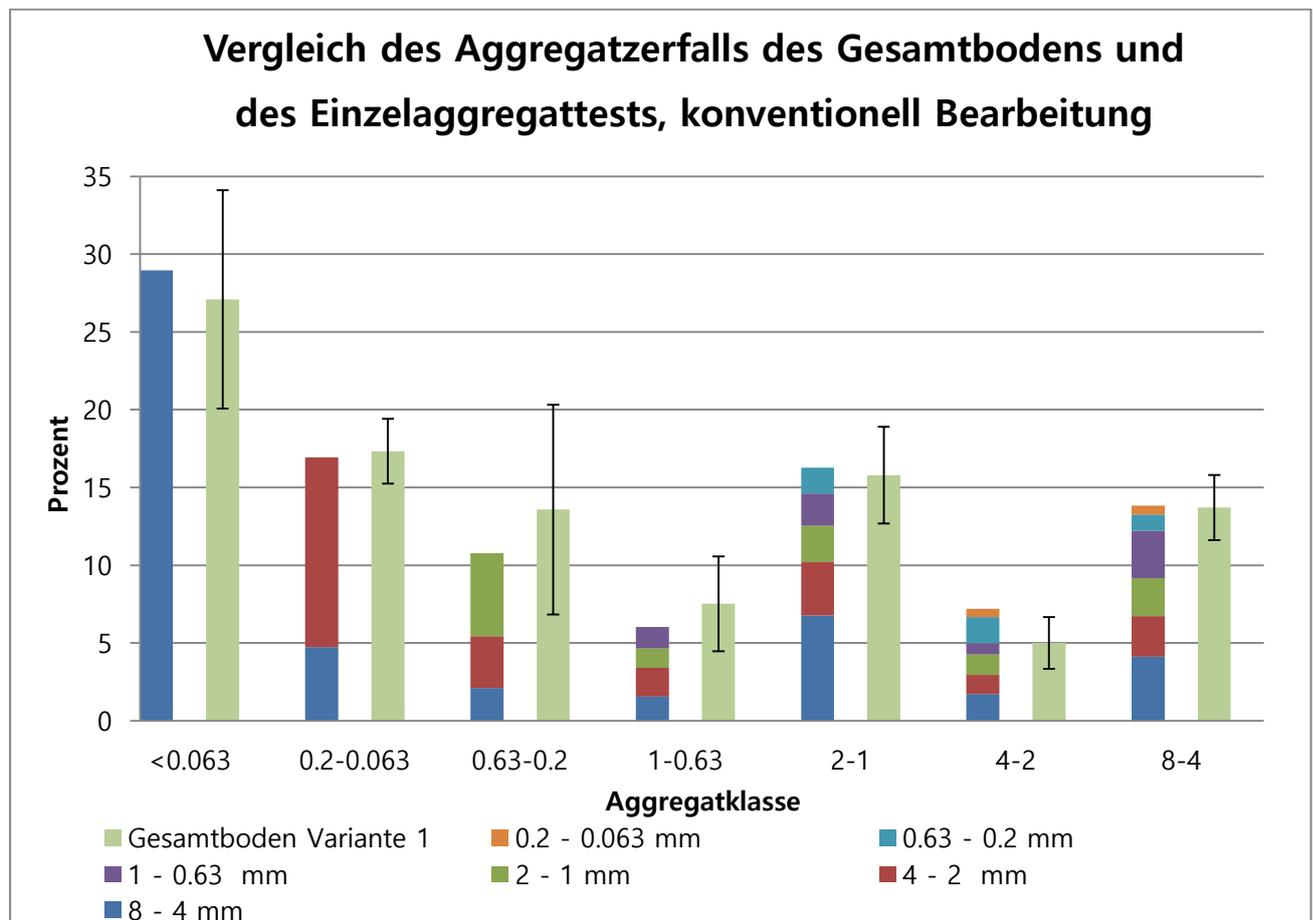


Abbildung 33 Vergleich der Zerfallsreihe der Nasssiebung des Gesamtbodens und der aus Zerfallsreihen des Einzelaggregatstests rekonstruierten Verteilung. Konventionelle Bodenbearbeitung. Die Zerfallsreihen aus dem Einzelaggregatstest sind hier farblich dargestellt.

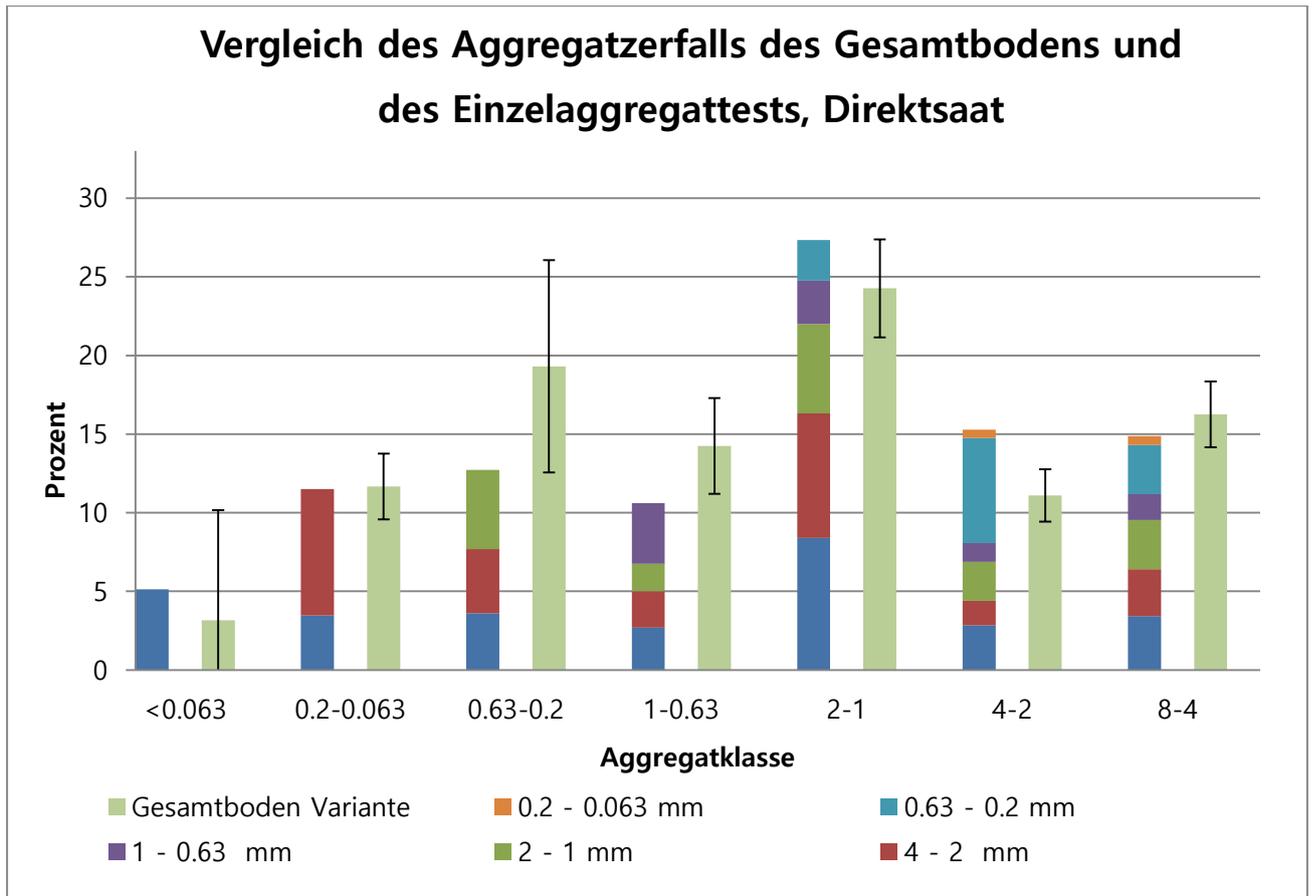


Abbildung 34 Vergleich der Zerfallsreihe der Nasssiegung des Gesamtbodens und der aus Zerfallsreihen des Einzelaggregattests rekonstruierten Verteilung, Direktsaat. Die Zerfallsreihen aus dem Einzelaggregattest sind hier farblich dargestellt.

Der „root mean square error“ beschreibt den mittleren Fehler der Messergebnisse. Für konventionelle Bodenbearbeitung beträgt der mittlere Fehler 1,63%. Für die Direktsaat 3,72%. Um eine fundierte Aussage über die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit geben zu können sind Vergleichswerte nötig.

4.3 Bestimmung der Korngrößenverteilung

Die Verteilung der Primärteilchen also der Körner bestimmt den Charakter eines Bodens. Der Anteil der kleinen Korngrößen Ton und Schluff haben durch die großen inneren Oberflächen einen großen Einfluss auf das Sorptionsvermögen der Böden. Die Kornverteilung kann auch auf eine Sortierung der Kornfraktion durch verschiedene Bodenbewirtschaftung hinweisen. Die Proben wurden in einem Hang mit leichtem Gefälle entnommen und sind dadurch durch Erosion beeinträchtigt. Aggregatstabilisierende Bodenbearbeitung wirkt der Erosion direkt entgegen. Das Fehlen von kleineren Kornfraktionen kann ein Hinweis auf instabile Aggregate je Bearbeitungsvariante sein, da kleine Kornfraktionen leichter erodierbar als große sind.

Der Boden in Mistelbach ist ein schluffiger Lehm bis lehmiger Schluff.

Kornverteilung	Mistelbach			
	Direktsaat		Konventionell	
	MW	S	MW	S
Sand:	9,29	1,12	10,45	1,66
Schluff:	72,22	3,9	69,96	2,17
Ton:	18,49	3,51	19,59	2,52

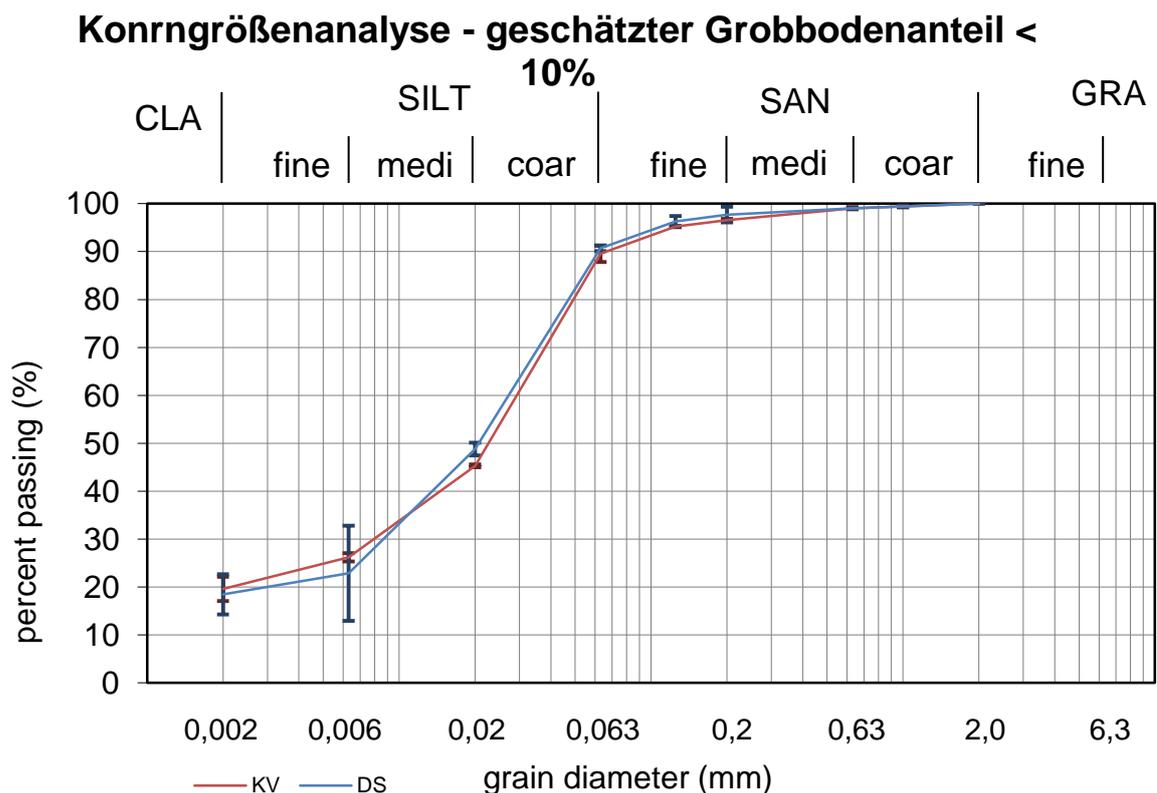


Abbildung 35 Die Kornverteilungskurve bei DS und KV

In Abbildung 24 ist die Kornverteilung des schluffigen Lehms der beiden Bearbeitungsvarianten dargestellt. Es sind keine wesentlichen Unterschiede in der Korngrößenverteilung zu erkennen. Der Tongehalt ist bei der konventionellen Methode etwa um 2% höher, wobei die Werte bei Direktsaat mehr streuen. Es könnte bei der DS der Schluffanteil durch den Oberflächenabfluss verringert worden sein. Proben von unterhalb der Oberfläche weisen höhere Schluffanteile auf

da der Boden weniger durchmischt wird. Um hier wesentliche Unterschiede herausarbeiten zu könne, würde es mehr Wiederholungen aus verschiedenen tiefen benötigen.

4.3.1 Texturdreieck

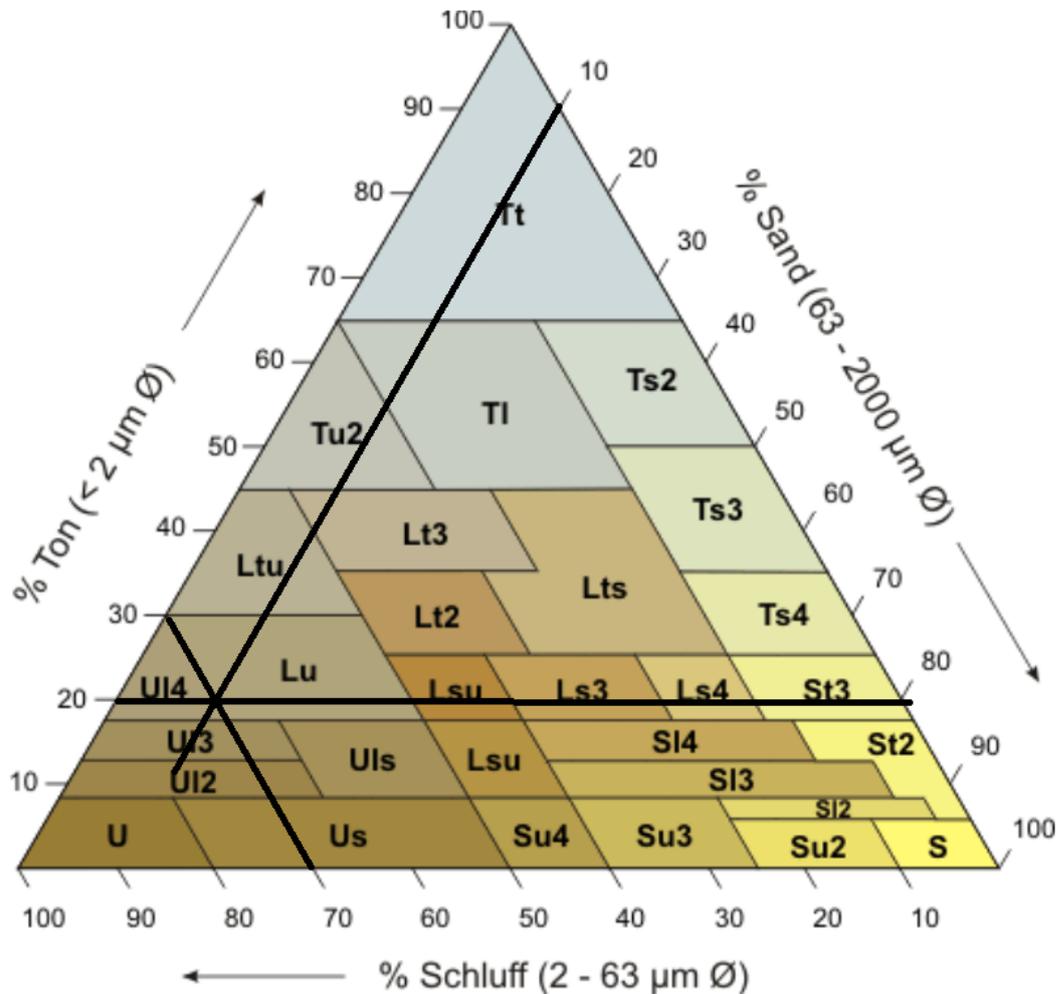


Abbildung 36 Texturdreieck zu Bodenbestimmung. → lehmiger Schluff.

4.4 Vergleich der chemischen Parameter und Aggregatstabilität - MWD

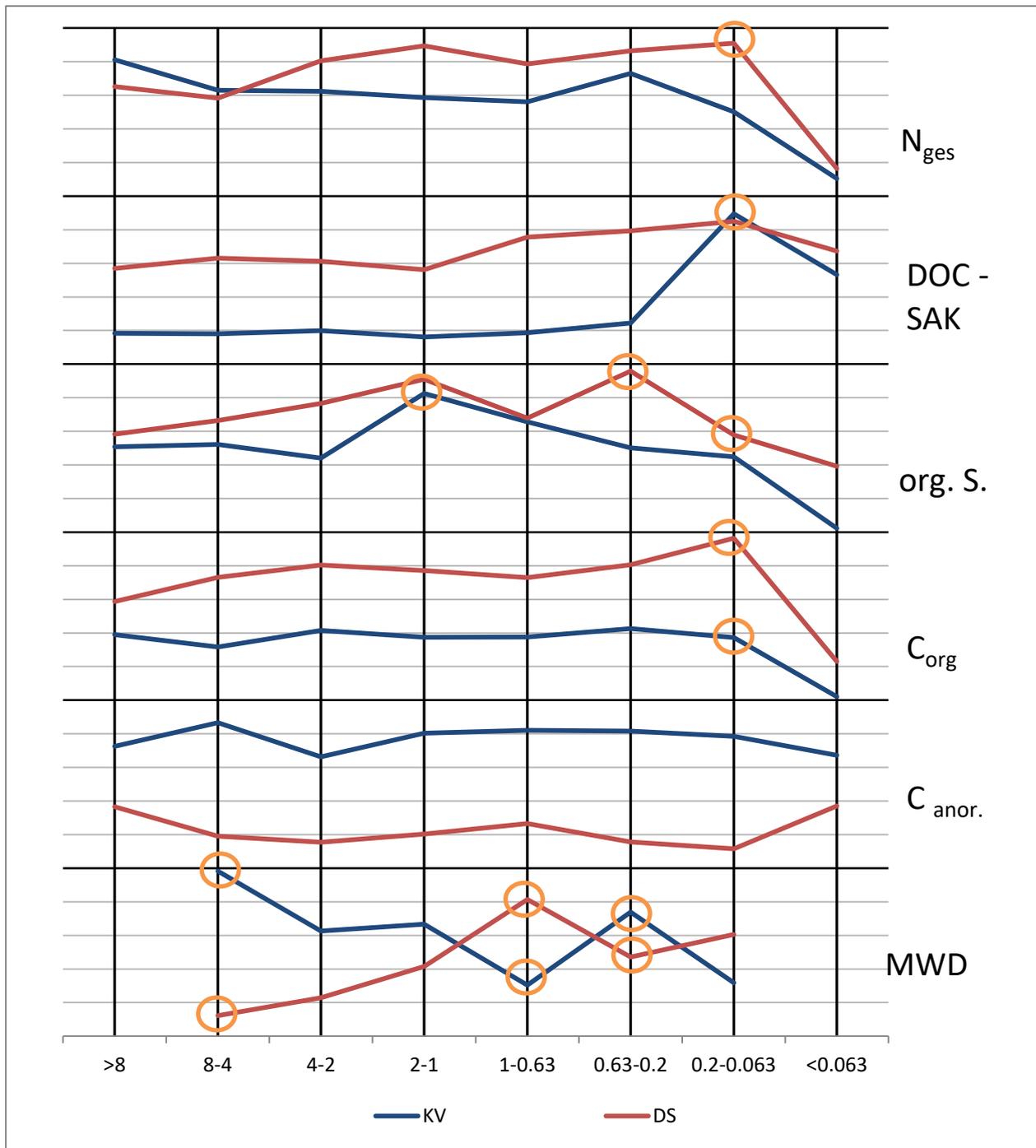


Abbildung 37 zeigt die chemischen Parameter Gesamtstickstoff, gelöster organischer Kohlenstoff, organische Substanz, organischer Kohlenstoff, anorganischer Kohlenstoff und die Aggregatstabilität in Form des prozentuellen Wertes des MWDs. Hier soll ein Überblick über die Maximal- und Minimalwerte geschaffen werden und Auffällige Korrelationen veranschaulicht werden. Markante Punkte sind markiert und werden im Text beschrieben. Die Absolutwerte sind den vorigen Diagrammen der Messergebnisse zu entnehmen.

Abbildung 37 zeigt einen Überblick über die chemischen Parameter und die durch die prozentuelle Abnahme des MWD ausgedrückte Aggregatstabilität. Aus der Statistik geht hervor, dass bei den Parametern DOC-SAK, organische Substanz, organischer Kohlenstoff, Gesamtkohlenstoff und Gesamtstickstoff ein signifikanter Zusammenhang zwischen Messwert und Aggregatklasse besteht.

In der Literatur wird auf Korrelationen zwischen organischem Kohlenstoffgehalt, bzw. organischer Substanz und der Aggregatstabilität hingewiesen (CHANEY & SWIFT, 1984; GOEBEL et al., 2005; LE BISSONNAIS, 2016B; SCHEFFER et al., 2010; SIX et al., 2004; TISDALL & OADES, 1982; ZHANG & HARTGE, 1992). Welche Aggregate bei bestimmten Kohlenstoffgehalten stabil oder instabil sind, ist vor allem von der Bodenart und deren spezifischen Eigenschaften abhängig. Prinzipiell wird Mikroaggregaten (<0,25mm) eine höhere Stabilisierung durch organische Stoffe zugesprochen (Scheffer, 2010). Ein Verband aus vielen Mikroaggregaten bilden die weniger stabilen Makroaggregate. Der organischen Kohlenstoffe sowie des DOCs haben tatsächlich für die Aggregatklasse <0,2mm die Maximalwerte bei Direktsaat. Die hohen Werte des organischen Kohlenstoffes und des DOCs, korrelieren aber nur schwach bis gar nicht mit erhöhter Aggregatstabilität.

Direktsaat:

Die stabilsten Aggregatklassen für Direktsaat sind 8-4mm, 4-2mm und 0,63–0,2mm. Für die stabilste Aggregatklasse 8-4mm ist hier keine Übereinstimmung mit erhöhten Kohlenstoffgehalten zu erkennen. Die instabilste Aggregatklasse 1-0,63mm weist in der Kurve des organischen Kohlenstoffes einen rückläufigen Wert auf. Der org. Kohlenstoff ist jedoch höher als bei Aggregatklasse 8-4mm, wo die Aggregatstabilität am höchsten ist.

Bewirtschaftungsformen, die mehr organisches Material im dem Boden zur Verfügung stellen und dadurch höhere Kohlenstoffgehalte im Boden aufweisen, haben einen positiven Effekt auf die Aggregatstabilität (DON et al., 2011; JOHN et al., 2005). Diese Aussage trifft hier nur für gewisse Aggregatklassen zu. Die Aggregatklasse 1-0,63mm für Direktsaat weist eine geringere Stabilität als dieselbe Aggregatklasse für konventionelle Bearbeitung auf. Der organische Kohlenstoffgehalt ist aber für DS viel höher als für konventionelle Bearbeitung. Maximalwerte im gelösten organischen Kohlenstoff und im organischen Kohlenstoff in Aggregatklasse 0,2-0,063 wirken sich scheinbar negativ auf die Aggregatstabilität aus.

Konventionelle Bearbeitung:

Die größeren Aggregatklassen 8-4mm, 4-2mm und 2-1mm sind instabiler als bei DS. Die instabilste Klasse 8-4mm weist ein schwaches Minimum beim organischen Kohlenstoffgehalt auf. Die stabilste Aggregatklasse 1-0,63mm hat keine erhöhten Kohlenstoffgehalte. Auffällig ist ein Maximum im gelösten organischen Kohlenstoff welches auch mit einem Maximum in der Aggregatstabilität korreliert.

Zusammenfassend kann hier keine Korrelation zwischen dem Kohlenstoffgehalt in den verschiedenen Aggregatklassen und deren Aggregatstabilität festgestellt werden. Jedoch gibt es sehr deutliche Unterschiede des Kohlenstoffgehaltes zwischen den beiden Bearbeitungsvarianten, die sich signifikant auf die Aggregatstabilität auswirken. Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Bearbeitungsvarianten konnten für Stickstoff, organischer- und anorganischer Kohlenstoff, die organische Substanz und gelöstem organischem Kohlenstoff festgestellt werden.

5. Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde der Einfluss von konventioneller Bodenbearbeitung und der Bewirtschaftung mit Direktsaat auf die Aggregatstabilität und damit in Zusammenhang stehenden bodenphysikalische und chemische Bodenparameter untersucht. Die Untersuchungen sollten Aufschluss über den Einfluss der Bodenbearbeitung auf Mischproben also dem Boden als Ganzes, und auf einzelne Aggregatklassen geben.

Untersucht wurden Versuchsflächen der landwirtschaftlichen Fachschule in Mistelbach. Seit 1994 werden die Versuchsschläge nach dem gleichem Bearbeitungsschema bewirtschaftet. Bei der Variante mit Direktsaat wird jährlich eine Zwischenbegrünung angebaut.

Für die Untersuchung wurden mehrere gestörte Bodenproben aus oberflächennahen Schichten (0-15cm) im Frühling 2016, entnommen und zu einer Mischprobe je Bearbeitungsvariante vermengt.

Die Aggregatstabilität wurde mit der Methode nach Yoder untersucht. Dabei wurde die Stabilität von Mischproben mit allen Aggregatklassen und von einzelnen Aggregatklassen bestimmt und anschließend miteinander verglichen. Um die Messergebnisse vergleichbar zu machen und einen tatsächlichen Wert für die Aggregatstabilität zu erhalten, wird der „Mean Weight Diameter“ (VAN BAVEL, 1949) generiert, der die Stabilität aller Aggregatklassen zusammenfasst.

Laut Literatur ist der Boden beider Varianten als stabil zu beurteilen. Die Probe der konventionellen Bodenbearbeitung hat einen MWD von 2,02mm bzw. 2,32mm. Die Gesamtprobe der Variante mit Direktsaat hat eine geringere Abnahme des mittleren Korndurchmessers nach der Nasssiebung mit der Yoder Apparatur (1,73mm und 1,63mm). Das bedeutet, dass eine Mischprobe der Variante mit Direktsaat stabilere Aggregate aufweist, als die der konventionellen Methoden.

Die Stabilität der einzelnen Aggregatklassen weisen wesentlichen Unterschieden in der Bearbeitungsmethode auf. Für jede Aggregatklasse wurde ein MWD berechnet. Die Variante mit Direktsaat hat mit Ausnahme der Aggregatklasse 1-0,63 und 0,2-0,063, immer kleinere Abnahmen des MWD, was auf stabilere Aggregate hinweist.

Da die Messergebnisse der Messmethode nach Yoder großen Messfehlern und dadurch großen Varianzen unterliegen, wurde die Messergebnisse auf ihre Genauigkeit überprüft. Aus der Bestimmung der Stabilität der einzelnen Aggregatklassen ermittelten Zerfallsreihen wurde ein Aggregatzerfall nach der Nasssiebung einer Mischprobe berechnet und mit einem tatsächlichen Zerfall verglichen. Die Abweichungen wurden mit dem „root mean square error“ ausgedrückt. Die Abweichungen sind gering und liegen zwischen 1% für konventionell Bearbeitung und 3,5% für Direktsaat.

Aus den physiko - chemischen Analysen geht hervor, dass bei den Parametern DOC-SAK, organische Substanz, organischer Kohlenstoff, Gesamtkohlenstoff und Gesamtstickstoff ein signifikanter Zusammenhang zwischen Messwert und Aggregatklasse besteht. Eine Korrelation mit der Aggregatstabilität konnte jedoch nicht festgestellt werden.

Der Unterschied der Parameter DOC-SAK, organische Substanz, organischer Kohlenstoff, Gesamtkohlenstoff und Gesamtstickstoff je Bearbeitungsvariante ist signifikant. Die Unterschiede zeigen sich in der Aggregatstabilität der Gesamtproben wieder. Die These, dass mehr organischer Kohlenstoff zu höherer Aggregatstabilität führt, ist somit bestätigt.

Die für die Praxis relevante Frage: „ Hat die Bodenbearbeitung einen wesentlichen Einfluss auf die Aggregatstabilität?“ kann nach diesen Untersuchungen positiv beantwortet werden.

6. Literatur

- ALLISON, F. E. (1968). Soil aggregation-some facts and fallacies as seen by a microbiologist. *Soil Science*, 106(2), 136–143.
- ANGERS, D. A., RECOUS, S., & AITA, C. (1997). Fate of carbon and nitrogen in water-stable aggregates during decomposition of ¹³C¹⁵N-labelled wheat straw in situ. *European Journal of Soil Science*, 48(2), 295–300. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1997.tb00549.x>
- Becher, H. H. (2014). Kräfte und Spannungen in Böden. In *Handbuch der Bodenkunde*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. <https://doi.org/10.1002/9783527678495.hbbk2005002>
- BRYANT, J. C., BENDIXEN, T. W., & SLATER, C. S. (1948). Measurement of the water-stability of soils. *Soil Science*, 65(4), 341–346.
- CHANEY, K., & SWIFT, R. S. (1984). The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. *Journal of Soil Science*, 35(2), 223–230. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1984.tb00278.x>
- Cornell, R. M., & Schwertmann, U. (2003). *The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrences, and uses* (2nd, completely rev. and extended ed Aufl.). Weinheim: Wiley-VCH.
- DIN 38404-10:2012-12. (2012). Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Physikalische und physikalisch-chemische Stoffkenngrößen (Gruppe C) - Teil 10: Berechnung der Calcitsättigung eines Wassers (C 10). Beuth Verlag.
- DON, A., SCHUMACHER, J., & FREIBAUER, A. (2011). Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks – a meta-analysis. *Global Change Biology*, 17(4), 1658–1670. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02336.x>
- Dormaarl and Foster. (1991). Nascent aggregates in the rhizosphere of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Soil Science*, (71), 465–474.
- Elliot, E.T. (1986). Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native soils. *Soil Science Society of America Journal*, (50 (3)), 627–633.
- Emerson, W. (1967). A classification of soil aggregates based on their coherence in water. *Soil Research*, 5(1), 47–57.
- Goebel, M.-O., Bachmann, J., Woche, S. K., & Fischer, W. R. (2005). Soil wettability, aggregate stability, and the decomposition of soil organic matter. Mechanisms and regulation of organic matter stabilisation in soils, 128(1–2), 80–93. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.12.016>
- Hartge, K. H., & Horn, R. (2009). *Die physikalische Untersuchung von Böden: [Praxis, Messmethoden, Auswertung]* (4., vollst. überarb. Aufl.). Stuttgart: Schweizerbart.
- Hartge, K.-H., Horn, R., & Bachmann, J. (2014). *Einführung in die Bodenphysik: mit 24 Tabellen* (4., vollst. überarb. und erw. Aufl.). Stuttgart: Schweizerbart.
- Hofmann, J. (2005). Auswirkung unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf die

Bodengesundheit. Dissertation, Institut für Hydraulik und Landeskulturelle Wasserwirtschaft, Universität für Bodenkultur Wien.

John, B., Yamashita, T., Ludwig, B., & Flessa, H. (2005). Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. Mechanisms and regulation of organic matter stabilisation in soils, 128(1), 63–79. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.12.013>

Karlen, D.L., Andrews, S.S., Weinhold, . (2003). Soil quality: human kind's foundation for survival. *Soil Water Conserv.*, (58), 171–179.

Kemper, W. D., & Rosenau, R. C. (1986). Aggregate stability and size distribution.

Kemper WD, Rosenau RC. (1986). Aggregate stability and size distribution. In: *Methods of Soil Analysis Part 1. Physical and mineralogical methods.*, S. 425–442.

Lair, G. J. (2002). Bestimmung der Aggregatstabilität mittels Starkregensimulation. Diplomarbeit, Institut für Hydraulik und Landeskulturelle Wasserwirtschaft, Universität für Bodenkultur Wien.

Le Bissonnais, Y. (2016a). Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*, 67(1), 11–21. https://doi.org/10.1111/ejss.4_12311

Le Bissonnais, Y. (2016b). Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*, 67(1), 11–21. https://doi.org/10.1111/ejss.4_12311

M. Thurman, E. (1985). *Organic Geochemistry of Natural Water.* https://doi.org/10.1007/978-94-009-5095-5_13

Marinissen, J. C. Y., Nijhuis, E., & van Breemen, N. (1996). Clay dispersability in moist earthworm casts of different soils. *Applied Soil Ecology*, 4(1), 83–92. [https://doi.org/10.1016/0929-1393\(96\)00095-9](https://doi.org/10.1016/0929-1393(96)00095-9)

Martens, D. A. (2000). Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(3), 361–369. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00162-5](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00162-5)

MB2 - eBOD. (o. J.). Abgerufen 27. Oktober 2016, von http://gis.lebensministerium.at/eBOD/frames/index.php?&146=true&gui_id=eBOD

Mentler, A., Mayer, H., Blum, W.E.H., (2004a). Characterization of soil aggregate stability by ultrasonic dispersion. *Agrophys.*, (18), 39–45.

Merzouk, A., & Blake, G. R. (1991). Indices for the estimation of interrill erodibility of Moroccan soils. *CATENA*, 18(6), 537–550. [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(91\)90037-X](https://doi.org/10.1016/0341-8162(91)90037-X)

Murray, R. S., & Quirk, J. P. (1990). Interparticle Forces in Relation to the Stability of Soil Aggregates. In M. F. De Boodt, M. H. B. Hayes, A. Herbillon, E. B. A. De Strooper, & J. J. Tuck (Hrsg.), *Soil Colloids and Their Associations in Aggregates* (S. 439–461). Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-2611-1_16

Nichols, K. A., & Toro, M. (2011). A whole soil stability index (WSSI) for evaluating soil aggregation. *Soil and Tillage Research*, 111(2), 99–104. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.08.014>

Österreichische Bodenkartierung. (1985). *Bodenkarte und Erläuterungen zu bodenkarte*

1:25000, Kartierungsbereich Mistelbach.

Robinson, D. O., & Page, J. B. (1951). Soil Aggregate Stability. *Soil Science Society of America Journal*, 15(C), 25–29. <https://doi.org/10.2136/sssaj1951.036159950015000C0005x>

Scheffer, F., Schachtschabel, P., & Blume, H.-P. (2008). *Lehrbuch der Bodenkunde* (15. Aufl., [Nachdr.]). Heidelberg: Spektrum, Akad. Verl.

Scheffer, F., Schachtschabel, P., Blume, H.-P., Brümmer, G., Horn, R., Kandeler, E., ... Wilke, B.-M. (2010). *Lehrbuch der Bodenkunde* (16. Auflage). Heidelberg: Springer, Spektrum, Akademischer Verlag.

Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., & Denef, K. (2004). A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Advances in Soil Structure Research*, 79(1), 7–31. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.03.008>

STONE, J. A., & BUTTERY, B. R. (1989). Nine forages and the aggregation of a clay loam soil. *Canadian Journal of Soil Science*, 69(1), 165–169. <https://doi.org/10.4141/cjss89-015>

TISDALL, J. M., & OADES, J. M. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33(2), 141–163. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x>

Truman, C. C., Bradford, J. M., & Ferris, J. E. (1990). Antecedent Water Content and Rainfall Energy Influence on Soil Aggregate Breakdown. *Soil Science Society of America Journal*, 54(5), 1385–1392. <https://doi.org/10.2136/sssaj1990.03615995005400050030x>

Van Bavel, C. H. M. (1949). Mean weight-diameter of soil aggregation. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 14, 20–23.

Wachendorf, C., & Potthoff, M. (2014). Einfluss des Bodenlebens auf Streuabbau und Aggregatbildung. In *Handbuch der Bodenkunde*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. <https://doi.org/10.1002/9783527678495.hbbk2014001>

Winsome, T., & McColl, J. G. (1998). Changes in chemistry and aggregation of a california forest soil worked by the earthworm *Argilophilus papillifer* eisen (megascolecidae). *Soil Biology and Biochemistry*, 30(13), 1677–1687. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(97\)00262-9](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00262-9)

Wright, S. F., & Upadhyaya, A. (1998). A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 198(1), 97–107.

Yoder, R. E. (1936). A Direct Method of Aggregate Analysis of Soils and a Study of the Physical Nature of Erosion Losses. *Agronomy Journal*, 28(5), 337–351. <https://doi.org/10.2134/agronj1936.00021962002800050001x>

Young R.A., (1984). A Method of measuring aggregate stability under waterdrop impact (Bd. 27, S. 1351–1353). ASAE.

Zhang, H., & Hartge, K. H. (1992). Zur Auswirkung organischer Substanz verschiedener Humifizierungsgrade auf die Aggregatstabilität durch Reduzierung der Benetzbarkeit. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 155(2), 143–149. <https://doi.org/10.1002/jpln.19921550212>

7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Ionenverteilung (links) und Konzentrationsverlauf adsorbierter Ionen eines Austauschers. Sternmodell von SCHEFFER et al, (2008).	7
Abbildung 2. Tonkolloide mit Wasserhüllen im Solzustand (a), im hydrophilen Gelzustand (b) (Ausrichtung Fläche an Fläche), und (c) im hydrophoben Gelzustand (Ausrichtung Kante an Kante) (BLUME et al., 2011).....	8
Abbildung 3 Wechselwirkung von biotisch/abiotische Faktoren (WACHENDORF & POTTHOFF, 2014).	9
Abbildung 4 Lage der Versuchsfläche Mistelbach („AMAP Austria“, o.	13
Abbildung 5 Bodenkarte von Mistelbach aus („MB2 - eBOD“, o. J.).....	15
Abbildung 6 Profilbeschreibung (ÖSTERREICHISCHE BODENKARTIERUNG, 1985), Bild („MB2 - eBOD“, o. J.).....	16
Abbildung 7 Probennahme der Variante Konventionell.....	20
Abbildung 8 Probennahme der Variante Direktsaat	20
Abbildung 9 Zerkleinerung des Probenmaterials auf 8mm mithilfe eines Nudelholzes, auf zwei Kunststoffleisten geführt.	21
Abbildung 10 Vereinfachtes Funktionsschema des Vario MAX CNS	26
Abbildung 11 Die kumulativen Summenlinien der Aggregatverteilung nach der Trockensiebung der Varianten 1 und 6 aus den Mittelwerten der Proben 1 und 2.	43
Abbildung 12 Die prozentuelle Verteilung der Aggregate nach der Trockensiebung.....	44
Abbildung 13. Die Verteilung der Aggregatklassen in Form der Summenlinie	45
Abbildung 14 Die prozentuelle Verteilung der Aggregatklassen nach der Nasssiebung	45
Tabelle 15 Die „Mean Weight Diameter“ und Gegenüberstellung der Trockensiebungs- und Nasssiebungsprozentanteile der Variante 1 - konventionell, Probe 1 und 2, und Variante 6 - Direktsaat Probe 1 und 2.	46
Abbildung 16 Die Gegenüberstellung von Trocken und Nasssiebung in Prozent.....	47
Abbildung 17	48
Abbildung 18 + 7 Zeigen die Summenkurven der Nasssiebung und der Trockensiebung. Die Flächen zwischen den Summenkurven entsprechen dem „Mean Weight Diameter“.....	48
Abbildung 19 Messung der Aggregatstabilität der Aggregatklasse 8 - 4 mm	49
Abbildung 20 Messung der Aggregatstabilität der Aggregatklasse 4 - 2 mm	49
Abbildung 21 Messung der Aggregatstabilität der Aggregatklasse 2 - 1 mm	50
Abbildung 22 Messung der Aggregatstabilität der Aggregatklasse 1 - 0,63 mm	50
Abbildung 23 Messung der Aggregatstabilität der Aggregatklasse 0,063 - 0,2 mm.....	50
Abbildung 24 Messung der Aggregatstabilität der Aggregatklasse 0,2 - 0,063 mm.....	51
Abbildung 25 Die prozentuellen Massenanteile der Aggregate jeder Aggregatklasse, die beim Aggregatstabilitätstest nicht zerfallen, also stabil sind.	51
Abbildung 26 Abnahme des MWD je Aggregatklasse in Prozent.....	52
Abbildung 27 Vergleich der Zerfallsreihe der Nasssiebung des Gesamtbodens und der aus Zerfallsreihen des Einzelaggregatstests rekonstruierten Verteilung. Konventionelle	

Bodenbearbeitung. Die Zerfallsreihen aus dem Einzelaggregatstest sind hier farblich dargestellt.	53
Abbildung 28 Vergleich der Zerfallsreihe der Nasssiegung des Gesamtbodens und der aus Zerfallsreihen des Einzelaggregatstests rekonstruierten Verteilung. Direktsaat. Die Zerfallsreihen aus dem Einzelaggregatstest sind hier farblich dargestellt.	54
Abbildung 29 Die Kornverteilungskurve bei DS und KV.....	55
Abbildung 30 Texturdreieck zu Bodenbestimmung.....	56
Abbildung 31 Gesamtstickstoff in % je Aggregatklasse und Bearbeitungsvariante	29
Abbildung 32 Gesamtkohlenstoffe in % je Aggregatklasse und Bearbeitungsvariante.....	31
Abbildung 33 Anorganischer Kohlenstoff in % je Aggregatklasse und Bearbeitungsvariante.....	33
Abbildung 34 Anorganischer Kohlenstoff in % je Aggregatklasse und Bearbeitungsvariante....	35
Abbildung 35 Organische Substanz in % pro Bearbeitungsvariante und Aggregatklasse	37
Abbildung 36 Äquivalent des gelösten organischen Kohlenstoffes: Spektrale-Absorptions-Koeffizient – SAK in 1/m.....	39
Abbildung 37 zeigt die chemischen Parameter Gesamtstickstoff, gelöster organischer Kohlenstoff, organische Substanz, organischer Kohlenstoff, anorganischer Kohlenstoff und die Aggregatstabilität in Form des prozentuellen Wertes des MWDs. Hier soll ein Überblick über die Maximal- und Minimalwerte geschaffen werden und Auffällige Korrelationen veranschaulichen. Markante Punkte sind markiert und werden im Text beschrieben. Die Absolutwerte sind den vorigen Diagrammen der Messergebnisse zu entnehmen.	57

8. Anhang

8.1 Chemische Untersuchungen

8.1.1 pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit

8.1.2 Elektrische Leitfähigkeit

Proben	MW pH - Wert KV	MW Leitfähigkeit KV
V1 P1 W1	7,945	216,4
V1 P1 W2	7,95	214,3
V1 P1 W3	8,02	214,5
V1 P2 W1	7,87	216,5
V1 P2 W2	7,93	213,5
V1 P2 W3	7,89	211,5
V6 P1 W1	7,85	201,5
V6 P1 W2	7,92	206,9
V6 P1 W3	7,9	215
V6 P2 W1	7,83	226
V6 P2 W2	7,895	215
V6 P2 W3	7,85	223
V1 P1	7,97	215,07
V1 P2	7,90	213,83
V6 P1	7,89	207,80
V6 P2	7,86	221,33
KV	7,94	214,45
DS	7,87	214,57

8.1.3 Organische Substanz - Glühmethode

organische Substanz - Glühverlust								
Aggregatgröße	<0.063	0.2-0.063	0.63-0.2	1-0.63	2-1	4-2	8-4	>8
V1 P1 W1	4,34	5,32	5,30	6,34	7,39	6,48	6,18	5,21
V1 P1 W2	3,98	4,53	6,23	6,58	5,37	4,03	5,72	5,95
V1 P1 W3	4,60	6,94	6,03	5,27	5,87	4,95	5,48	5,93
V1 P2 W1	3,96	4,36	4,78	5,12	5,44	5,87	5,12	5,08
V1 P2 W2	5,78	5,28	5,59	5,93	6,20	5,80	5,85	5,63
V1 P2 W3	4,62	6,22	5,39	6,04	7,13	5,43	5,24	5,61
V6 P1 W1	5,83	6,34	5,86	5,46	6,81	7,18	6,93	5,13
V6 P1 W2	3,45	5,25	7,07	6,65	6,77	6,81	6,59	5,92
V6 P1 W3	6,29	5,36	6,56	5,17	5,14	5,08	5,02	5,68
V6 P2 W1	6,29	5,36	6,56	5,17	5,14	5,08	5,02	5,68
V6 P2 W2	5,46	6,94	7,27	7,28	6,10	7,20	6,61	5,95
V6 P2 W3	4,62	5,02	5,77	5,82	8,50	5,30	5,20	5,98
V1 P1	4,31	5,60	5,85	6,06	6,21	5,15	5,79	5,69
V1 P2	4,79	5,29	5,25	5,70	6,25	5,70	5,40	5,44
V6 P1	5,19	5,65	6,49	5,76	6,24	6,36	6,18	5,58
V6 P2	5,46	5,77	6,53	6,09	6,58	5,86	5,61	5,87

MW - KV	4,55	5,44	5,55	5,88	6,23	5,43	5,60	5,57
MW - DS	5,32	5,71	6,51	5,92	6,41	6,11	5,90	5,72
S - KV	0,67	0,99	0,52	0,58	0,85	0,85	0,40	0,36
S - DS	1,11	0,75	0,61	0,86	1,26	1,06	0,90	0,32

8.1.4 Gesamtstickstoff

Gesamtstickstoff								
Aggregatgröße	<0.063	0.2-0.063	0.63-0.2	1-0.63	2-1	4-2	8-4	>8
V1 P1 W1	0,12	0,16	0,13	0,15	0,13	0,13	0,16	0,14
V1 P1 W2	0,11	0,13	0,16	0,14	0,16	0,14	0,14	0,17
V1 P1 W3	0,11	0,17	0,19	0,16	0,16	0,19	0,15	0,19
V1 P2 W1	0,14	0,14	0,16	0,14	0,15	0,16	0,16	0,14
V1 P2 W2	0,12	0,12	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
V1 P2 W3	0,10	0,12	0,14	0,12	0,13	0,12	0,14	0,16
V6 P1 W1	0,16	0,20	0,18	0,18	0,19	0,19	0,15	0,13
V6 P1 W2	0,10	0,16	0,15	0,15	0,17	0,19	0,14	0,15
V6 P1 W3	0,16	0,17	0,18	0,13	0,15	0,19	0,13	0,15
V6 P2 W1	0,11	0,17	0,17	0,18	0,17	0,19	0,18	0,17
V6 P2 W2	0,08	0,16	0,14	0,14	0,14	0,19	0,13	0,13
V6 P2 W3	0,11	0,13	0,15	0,16	0,16	0,19	0,15	0,17
V1 P1	0,11	0,15	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,17
V1 P2	0,12	0,13	0,15	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15
V6 P1	0,14	0,18	0,17	0,16	0,17	0,19	0,14	0,14
V6 P2	0,10	0,15	0,16	0,16	0,16	0,19	0,15	0,16
MW - KV	0,12	0,14	0,15	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16
MW - DS	0,12	0,16	0,16	0,16	0,16	0,19	0,14	0,15
S - KV	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02
S - DS	0,03	0,02	0,17	0,21	0,18	0,00	0,02	0,02

8.1.5 Gesamtkohlenstoff

Gesamtkohlenstoff								
Aggregatgröße	<0.063	0.2-0.063	0.63-0.2	1-0.63	2-1	4-2	8-4	>8
V1 P1 W1	2,69	3,15	3,02	3,00	2,99	2,93	2,97	2,93
V1 P1 W2	2,29	2,81	2,95	2,94	2,88	2,87	2,87	2,83
V1 P1 W3	2,44	2,87	2,98	2,88	2,91	2,95	2,85	2,86
V1 P2 W1	2,54	2,99	3,04	2,98	2,89	2,83	2,87	2,88
V1 P2 W2	2,61	2,93	3,04	3,01	3,02	2,92	3,11	3,01
V1 P2 W3	2,57	2,90	3,06	3,01	3,06	2,98	2,95	3,03
V6 P1 W1	2,49	3,18	2,96	3,01	2,96	3,05	2,77	2,82

V6 P1 W2	2,43	3,13	2,95	2,92	3,07	2,85	2,98	2,74
V6 P1 W3	2,69	3,01	3,03	3,06	3,11	2,97	3,00	2,97
V6 P2 W1	2,44	3,17	3,01	2,92	2,91	2,93	3,00	2,74
V6 P2 W2	2,57	3,17	3,02	3,02	2,96	3,08	2,93	3,22
V6 P2 W3	2,70	3,13	3,03	3,00	2,96	3,10	2,99	2,95
V1 P1	2,47	2,95	2,98	2,94	2,93	2,92	2,90	2,88
V1 P2	2,57	2,94	3,05	3,00	2,99	2,91	2,98	2,98
V6 P1	2,54	3,11	2,98	2,99	3,05	2,96	2,92	2,84
V6 P2	2,57	3,16	3,02	2,98	2,94	3,04	2,97	2,97
MW - KV	2,64	3,05	3,03	3,02	3,01	3,00	2,99	3,02
MW - DS	2,55	3,13	3,00	2,99	2,99	3,00	2,95	2,91
S - KV	0,14	0,12	0,04	0,05	0,08	0,06	0,10	0,08
S - DS	0,12	0,06	0,04	0,06	0,08	0,10	0,09	0,18

8.1.6 Anorganischer Kohlenstoff

anorganischer Kohlenstoff								
Aggregatgröße	<0.063	0.2-0.063	0.63-0.2	1-0.63	2-1	4-2	8-4	>8
V1 P1 W1	2,09	1,95	2,06	1,88	1,95	1,85	1,91	1,70
V1 P1 W2	1,67	1,93	1,81	1,67	1,69	1,93	1,70	1,76
V1 P1 W3	1,63	1,83	1,83	2,02	2,07	2,07	1,94	1,94
V1 P2 W1	1,87	1,97	1,62	1,74	1,74	1,79	2,00	1,80
V1 P2 W2	1,56	1,45	1,63	1,84	1,64	1,36	1,98	1,86
V1 P2 W3	2,00	2,09	2,38	2,21	2,20	1,79	1,99	1,96
V6 P1 W1	1,36	1,31	1,40	1,82	1,46	1,45	1,52	1,80
V6 P1 W2	1,75	1,65	1,63	1,52	1,47	1,36	1,42	1,38
V6 P1 W3	1,36	1,30	1,31	1,40	1,52	1,47	1,45	1,43
V6 P2 W1	1,57	1,37	1,40	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45
V6 P2 W2	1,82	1,82	1,83	1,79	1,56	1,67	1,73	2,19
V6 P2 W3	1,87	1,37	1,39	1,36	1,67	1,56	1,51	1,47
V1 P1	1,80	1,90	1,90	1,85	1,90	1,95	1,85	1,80
V1 P2	1,81	1,84	1,88	1,93	1,86	1,65	1,99	1,87
V6 P1	1,49	1,42	1,45	1,58	1,48	1,43	1,46	1,54
V6 P2	1,75	1,52	1,54	1,54	1,56	1,56	1,57	1,70
MW - KV	1,80	1,87	1,89	1,89	1,88	1,80	1,92	1,84
MW - DS	1,62	1,47	1,49	1,56	1,52	1,49	1,51	1,62
S - KV	0,22	0,22	0,29	0,19	0,23	0,24	0,11	0,10
S - DS	0,23	0,21	0,20	0,20	0,08	0,11	0,11	0,32

8.1.7 Organischer Kohlenstoff

organischer Kohlenstoff								
Aggregatgröße	<0.063	0.2-0.063	0.63-0.2	1-0.63	2-1	4-2	8-4	>8
V1 P1 W1	0,60	1,20	0,96	1,12	1,04	1,08	1,05	1,23

V1 P1 W2	0,62	0,88	1,14	1,27	1,19	0,94	1,17	1,08
V1 P1 W3	0,81	1,04	1,15	0,86	0,84	0,89	0,90	0,92
V1 P2 W1	0,67	1,02	1,42	1,24	1,15	1,04	0,88	1,09
V1 P2 W2	1,05	1,48	1,41	1,17	1,38	1,56	1,13	1,15
V1 P2 W3	0,57	0,81	0,68	0,80	0,85	1,19	0,96	1,08
V6 P1 W1	1,13	1,87	1,56	1,19	1,50	1,60	1,25	1,02
V6 P1 W2	0,68	1,48	1,31	1,40	1,60	1,49	1,56	1,36
V6 P1 W3	1,33	1,71	1,71	1,65	1,59	1,50	1,55	1,54
V6 P2 W1	0,87	1,80	1,61	1,46	1,46	1,48	1,55	1,29
V6 P2 W2	0,75	1,35	1,19	1,23	1,39	1,41	1,19	1,04
V6 P2 W3	0,83	1,77	1,64	1,64	1,29	1,54	1,47	1,48
V1 P1	0,68	1,04	1,08	1,08	1,02	0,97	1,04	1,08
V1 P2	0,76	1,10	1,17	1,07	1,13	1,26	0,99	1,10
V6 P1	1,05	1,69	1,53	1,41	1,56	1,53	1,46	1,31
V6 P2	0,81	1,64	1,48	1,45	1,38	1,48	1,41	1,27
MW - KV	0,72	1,07	1,13	1,08	1,07	1,12	1,02	1,09
MW - DS	0,93	1,66	1,51	1,43	1,47	1,50	1,43	1,29
S - KV	0,18	0,24	0,28	0,20	0,21	0,24	0,12	0,10
S - DS	0,93	1,66	1,50	1,43	1,47	1,50	1,43	1,29

8.1.8 Gelöster Kohlenstoff – SAK

SAK - gelöster organischer Kohlenstoff								
Aggregatgröße	<0.063	0.2-0.063	0.63-0.2	1-0.63	2-1	4-2	8-4	>8
V1 P1 W1	0,55	0,82	0,37	0,28	0,26	0,31	0,33	0,38
V1 P1 W2	0,34	0,81	0,28	0,30	0,30	0,36	0,35	0,32
V1 P1 W3	0,61	0,83	0,33	0,30	0,25	0,35	0,26	0,31
V1 P2 W1	0,67	0,78	0,35		0,32	0,30	0,32	0,30
V1 P2 W2	0,65	0,73	0,40	0,44	0,33	0,31	0,32	0,29
V1 P2 W3	0,31	0,48	0,35	0,24	0,33	0,29	0,28	0,26
V6 P1 W1	0,67	0,65	0,68	0,61	0,60	0,56	0,64	0,56
V6 P1 W2	0,65	0,82	0,68	0,68	0,54	0,55	0,56	0,40
V6 P1 W3	0,70	0,71	0,68	0,62	0,62	0,66	0,79	0,52
V6 P2 W1	0,33	0,73	0,73	0,74	0,46	0,55	0,46	0,77
V6 P2 W2	0,69	0,63	0,63	0,63	0,50	0,48	0,54	0,40
V6 P2 W3	0,59	0,74	0,65	0,64	0,51	0,61	0,48	0,61
V1 P1	0,50	0,82	0,33	0,29	0,27	0,34	0,31	0,34
V1 P2	0,54	0,66	0,37	0,34	0,33	0,30	0,31	0,28
V6 P1	0,67	0,72	0,68	0,64	0,58	0,59	0,66	0,49
V6 P2	0,53	0,70	0,67	0,67	0,49	0,54	0,49	0,59
MW - KV	0,52	0,74	0,35	0,31	0,30	0,32	0,31	0,31
MW - DS	0,60	0,71	0,68	0,65	0,54	0,57	0,58	0,54
S - KV	0,14	0,07	0,03	0,05	0,06	0,06	0,12	0,14
S - DS	0,16	0,13	0,04	0,08	0,04	0,03	0,03	0,04

9. Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die Masterarbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.

Weiters versichere ich, dass ich diese Masterarbeit weder im Inland noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Ort, Datum, Vorname Nachname, Unterschrift

