

Ergebnisse Kleine Farm - Steiermark

Arbeitspaket 3 – Bodenfruchtbarkeit

Vergleich von Beetformen (Flachbeet versus Häufelbeet)

Resümee - Handlungsempfehlungen für die Praxis

Auf dem Praxisversuch Kleine Farm in der Südsteiermark wurde auf einem erosionsgefährdeten Boden die beiden Beetformen Flachbeet versus Häufelbeet miteinander hinsichtlich Ihres Einflusses auf Bodeneigenschaften und -temperatur verglichen. Flachbeete werden ebenerdig angelegt, es wird lediglich der vorhandene Boden für das Beet durch das Entfernen der Grasnarbe und der Unkräuter vorbereitet und die Bodenbearbeitung durchgeführt, mit relativ wenig Arbeitsaufwand. Häufelbeete sind mindestens 20-30 cm hoch, die Anbaufläche erhöht sich gegenüber einem Flachbeet durch die dreidimensionale Struktur. Bei nach Süden ausgerichteten Flächen kann eine Saisonverlängerung des Gemüseanbaus möglich werden, da die Bodentemperatur hier noch mehr erhöht werden kann. Die Unterschiede hinsichtlich der Bodentemperatur zwischen Flach- und Häufelbeet sind im Sommer geringer und nehmen in den Wintermonaten zu. Flachbeete trocknen im Sommer am selben Standort schneller aus als Häufelbeete. Bei den Häufelbeeten selbst gibt es einen Unterschied zwischen südlich ausgerichteten Flächen und schattigen Flächen, erstere weisen eine geringere Bodenfeuchtigkeit auf. Im Spätherbst kehrt sich dies um. In Regionen mit Staunässe werden Häufelbeete verwendet, da durch die erhöhte Struktur das Wasser besser abfließen kann und das gut durchlüftete Häufelbeet einen besseren Schutz vor Bodenerosion bietet. Häufelbeete erodieren über die Vegetationsperiode und müssen immer wieder nachgehäufelt werden.

Die wichtigsten Kernbotschaften, die aus den Ergebnissen des Praxisversuches abzuleiten sind, nachstehend zusammenfassend:

- Flachbeete neigen stärker zu Bodenverdichtungen als Häufelbeete, vor allem wenn sie regelmäßig begangen werden

- Durch die spezielle Form der Häufelbeete kann Wasser besser abfließen, die Bodenverdichtung wird geringer, die Erosionsgefahr wird geringer

Generell eignen sich Häufelbeete sehr gut für wärmeliebende Kulturen wie z.B. Kürbis, Tomaten oder Paprika, weil sie im Frühjahr schneller wärmer werden als Flachbeete. In sehr heißen Sommern kann die höhere Temperatur und die Austrocknung im Häufelbeet auch negativ wirken, hier ist eine Mulchabdeckung empfehlenswert.

Da mögliche Unterschiede zwischen den Beetformen wahrscheinlich erst mittel- bis langfristig erkennbar werden, ist als weiterer Forschungsbedarf hier eine längere Versuchsdauer zu nennen.

Verwendete Methoden

Die verwendeten Methoden wurden ausgehend von Feldmethoden, die im klassischen Ackerbau angewendet werden, an die Parzellen- bzw. Beetgröße der Praxis-Versuchsflächen auf den Marktgarten-Betrieben angepasst. Aufgrund der geringen Beetgröße war es notwendig, Methoden zu entwickeln, zu adaptieren und zu testen (Herbst 2022 bis zum Frühjahr 2023). Folgende Methoden wurden ausgewählt:

Bodentemperatur

Die Erfassung der Bodentemperatur (in °C) erfolgte mit Sensoren des Typs Teros 21 und Datenloggern Type ZL6 der Firma Meter. Die Messung erfolgt alle 30 Minuten. Die Anzahl der Sensoren pro Versuchsfläche erfolgte betriebsindividuell. Die Sensoren wurden 5 cm unter der Bodenoberfläche waagrecht installiert.



Abbildung 1: Sensoren zur Messung der Bodentemperatur

Eindringwiderstand

Die Messung des Eindringwiderstandes erfolgte mit einem Penetrologger der Firma Eijkelkamp (Sondenlänge 80 cm, 60° -Konus 2 cm², Messintervall 1 cm) mit 4 Einstichen pro Parzelle. Stößt die Sonde bis 40 cm auf einen Stein, so wurde die Messung wiederholt. Bei einer Störung unterhalb von 40 cm oder bei einer zweiten Mess-Störung (Stein oder Eindringwiderstand > 7 MPa), wurde die Messung abgebrochen. Die Einstufung der Schadverdichtung erfolgte nach Presler et al. (2013). Bei einem Eindringwiderstand von >3.5 Mpa (Maßnahmenwert) wird der Boden als stark verdichtet eingestuft, zwischen <3.5 Mpa und >2 Mpa als schwach verdichtet und bei <2 Mpa (Richtwert) als nicht verdichtet (Schmidt et al. 2015). Angezeigt wird für jede Messung der Cone Index (CI),

der einen Mittelwert des Eindringwiderstandes in den Tiefen 1, 15, 30 und 45 cm darstellt. Dieser wird ebenso nach Presler et al. 2013 eingestuft.



Abbildung 2: Penetrologger-Einstich, Parzelle 4 (Betrieb Krautwerk): Eindringwiderstand (in MPa), Cone Index (CI); Mittelwert der gemessenen Eindringwiderstände in Megapascal (MPa), 16.3.2023

Bodenwassergehalt volumetrisch

Die Erfassung erfolgte mit Sensoren des Typs EC5 und Datenloggern Type ZL6 der Firma Meter (Messung alle 30 Minuten). Die Sensoren wurden in einer Tiefe von 15 cm waagrecht installiert. Die Tiefe von 15 cm wurde aufgrund der geringen Bearbeitungstiefe der Betriebe, die hauptsächlich bis maximal 15 cm stattfindet, festgelegt. Die Anzahl der Sensoren pro Versuchsfläche erfolgte betriebsindividuell.



Abbildung 3: Sensor EC5

Eine zusätzliche Messung des volumetrischen Wassergehalts erfolgte mittels des Handgerätes „Hydra Go“ der Firma Eijkelkamp in einer Tiefe von 0-10 cm und 25 - 30 cm bei jedem Probenahmetermin.



Abbildung 4: Messgerät Hydra Go bei Messung von 0-10 cm Tiefe



Abbildung 5: Messgerät Hydra bei Messung im Bodenwürfel

Gefügeindex

Die Bewertung des Boden-Gefüges wurde anhand der Feldmethode für den Gefügeindex (nach Beste 2009, verändert nach Junge et al. 2019, verändert nach Friedel und Wohlmuth 2023) durchgeführt. Der Gefügeindex beurteilt Proben nach den beiden Bodenparametern **Bodenstruktur** und **Aggregatstabilität**. Der Wert berechnet sich aus der Bodenstruktur und der Aggregatstabilität, sowohl aus der Ober- als auch aus der Unterkrume. Der Gefügeindex wird nach folgender Formel ermittelt:

$$\text{Gefügeindex} = \left(\frac{OK_{BG} \times OK_{AS}}{2} \right) + \left(\frac{UK_{BG} \times UK_{AS}}{2} \right)$$

Abbildung 6: Formel Gefügeindex (Junge 2021)

Bodenstruktur: Es werden jeweils Werte von 0-100 in 25er Schritten für die Bodenstruktur in der Oberkrume 0-3 cm und 4-15 cm und in der Unterkrume von 16-30

cm vergeben. Die Gefügebönetur nach Beste (2009; verändert nach Junge 2019) stellt eine schnelle, einfache Methode dar, um den Zustand eines Bodens zu erfassen. Die Einstufung erfolgt für tonige, lehmige oder sandige Böden nach einem jeweils eigenen Boniturschema. Der Bodenwürfel wird in Oberkrume und Unterkrume gegliedert. Für jeden Bearbeitungshorizont liegen Beschreibungen vor, welche einer Note der Beurteilungsskala von 100 (optimaler Gefügezustand/ Sollwert) bis 0 (ökologische Funktionsfähigkeit gestört/ Belastungswert) entsprechend zugeordnet sind (Beste 2009, verändert nach Junge 2019). Auf den Versuchsflächen wurden ein Bodenwürfel pro Parzelle mit dem Spaten ausgestochen. Die Bodenwürfel messen in der Länge eine Spatenbreite und in der Breite eine halbe Spatenbreite (Abbildung 7).



Abbildung 7: Ausstechen der Bodenwürfel



Abbildung 8: Bodenwürfel - Beurteilung der Bodenstruktur

Die Boniturmethode nach Beste 2009 (verändert nach Junge 2019) wurde weiter verändert, die Oberkrume über 1-3 cm und 4-15 cm beurteilt und anteilmäßig summiert (Methode verändert nach Friedel und Wohlmuth 2023). Um die subjektive

Wahrnehmung, die bei einer visuellen Methode vorliegt, so gering wie möglich zu halten, wird die Bonitur immer von derselben Person durchgeführt.

Aggregatstabilität: Auch hier wird die Methode nach Beste 2009 (verändert nach Junge 2019) verwendet. Die Methode nach Beste (2009) stellt eine Weiterentwicklung des Aggregatstabilitätstests nach Sekera & Brunner (1943) dar. Die Methode wurde weiter verändert, um die natürlichen Verhältnisse der Aggregate zu erhalten. Es erfolgte keine Vortrocknung und die Untersuchung wurde mit Regenwasser durchgeführt. Im Labor werden die Bodenproben aus den Bodenwürfeln auf Wasserstabilität getestet. Dazu wird das Material aus der Oberkrume (0- 15 cm) und Unterkrume (15-30 cm) getrennt beprobt. Mittels 5 mm und 3 mm-Sieben wurden die Aggregate der Größe 3- 5 mm ausgesiebt. 40 Aggregate wurden mit der Pinzette einzeln in Eiswürfelbehälter gelegt. Die Aggregate wurden eine Minute mit Regenwasser überstaut, dreimalig gerüttelt und bonitiert.



Abbildung 9: Aggregatstabilitätstest (Krautwerk, Parzelle 4, Oberkrume)

Die Bonitur erfolgte durch Vergleich des Aggregatzustandes mit den Boniturbildern (siehe Abbildung 10: Zerfallsbilder Aggregatstabilitätstest (Beste 2009)). Die Hauptzerfallsstufen 0, 1, und 2 werden erhoben und der Anteil stabiler Aggregate an der Gesamtstichprobe errechnet.

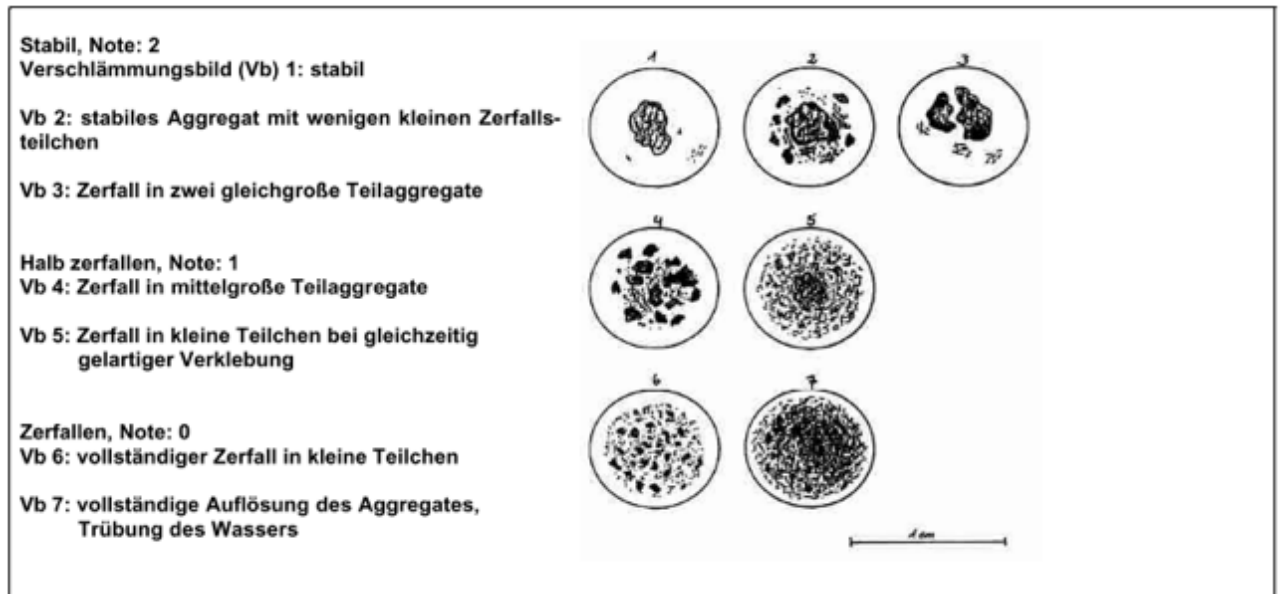


Abbildung 10: Zerfallsbilder Aggregatstabilitätstest (Beste 2009)

Lagerungsdichte

Die Lagerungsdichte wurde nach der ÖNORM B 4414-2 1979 10 01 bestimmt. Für die Ermittlung des Volumens der Bodenprobe wurde ein Stechzylinder mit einem Durchmesser von 5 cm und einer Höhe von 5,1 cm verwendet. Diese Proben werden jeweils ein Mal pro Variante auf einer ausgewählten Parzelle entnommen.



Abbildung 11: Probennahme zur Ermittlung der Lagerungsdichte mit dem Stechzylinder

Statistik

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit der Software IBM SPSS Statistics 29.0.2.0 mittels einer univariaten Varianzanalyse inkl. Post-hoc Tukey-Test für Betriebe mit 3 Varianten, bzw. mittels t-Test für Betriebe mit nur 2 Varianten (sign. Niveau p : 0.05).

Abbildung 12: links: Versuchsplan Betrieb Kleine Farm; rechts: Versuchsbeginn (Mai 2023)

Von Projektbeginn Mai 2023 bis Dezember 2024 wurden die in Tabelle 2 angeführten Tätigkeiten im Praxisversuch durchgeführt.

Tabelle 2: Tätigkeiten Versuchsteam und Marktgärtner:in von Projektbeginn bis Juni 2024, Betrieb Kleine Farm

Tätigkeit	Marktgärtner:in	BOKU	Datum
Häufeln mit Traktor	x		Anfang Mai 2023
Bodenbeprobungstermin 1		x	5. Mai 2023
Ausbringen Kompost	x		Mai 2023
Auspflanzung Mangold	x		Mai 2023
Beprobungstermin 2		x	24. Oktober 2023
Beprobungstermin 3		x	2. April 2024
Häufeln mit Traktor, Kompost	x		2. April 2024
Pflanzung Sellerie	x		5. April 2024
Beprobungstermin 4		x	5. November 2024
Abbau Versuchsanlage		x	5. November 2024

In jeder Vegetationsperiode wurden zwei Erhebungstermine durchgeführt. Die beprobten Parameter am Betrieb Kleine Farm sind in Tabelle 3 ersichtlich.

Tabelle 3: Erhebungstermine und Prüfparameter am Betrieb Kleine Farm

Prüfparameter	5.5.2023	24.10.23	2.4.2024	5.11.2024
Gefügeindex (Bodenstruktur, Aggregatstabilität)	X	X	X	X
Bodenwassergehalt (mittels Sensoren)	Ab 5.5.2023			X Ende
Bodenwassergehalt (Hydra-Probe)	X	X	X	X
Wasserinfiltration	X	X beendet		
Lagerungsdichte	X			
Bodentemperatur	Ab 5/2023			X Ende
Eindringwiderstand	X	X	X	X

Ergebnisse Felderhebungen

2023 war ein sehr feuchtes Jahr mit ca. 25% mehr Jahresniederschlag als im Mittel der letzten Jahre. Vom Niederschlag war 2024 ein durchschnittliches Jahr. Bei den Temperaturen lagen beide Jahre über den Mittelwerten der letzten Jahre. Hervorzuheben ist, dass die Niederschlagsverteilung 2023 speziell in den Monaten

Jänner, April, Juli, August Spitzenwerte aufwies, während 2024 der Mai und September sehr hohen Werte zeigte.

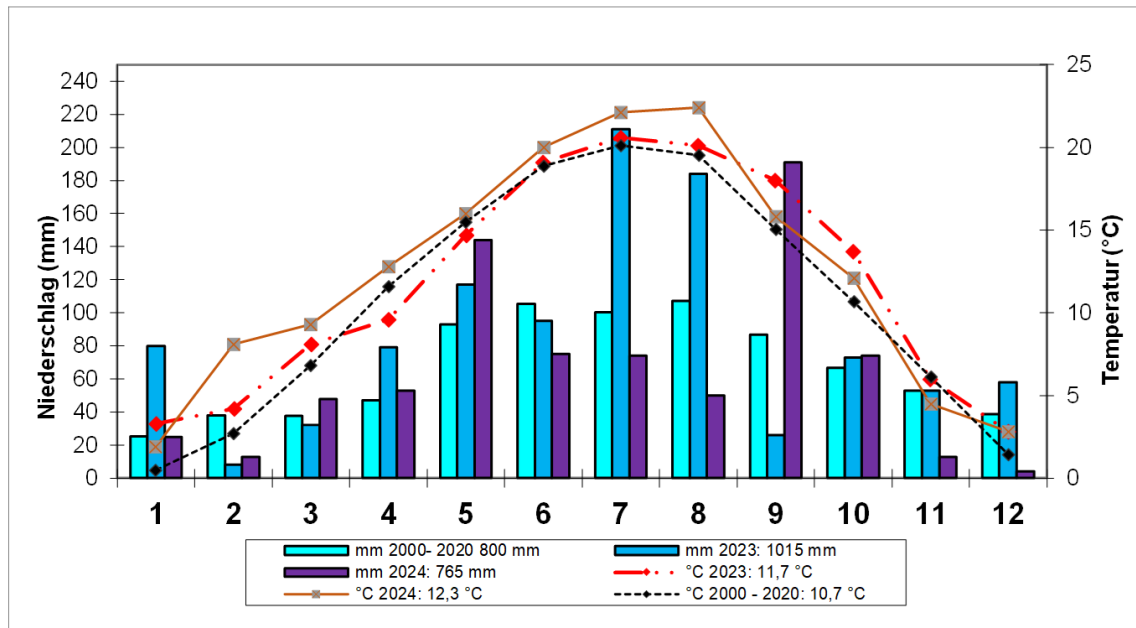


Abbildung 13: Klimadiagramm Feldbach (nächste Klimastation zur Kleinen Farm); Langzeitwerte für mittlere Niederschläge (mm) sowie Lufttemperatur (°C) von 2000-2020 sowie Klimadaten im Jahre 2023 und 2024

Bodenverdichtung

Um eventuell bestehenden Verdichtungsschichten im Profil sichtbar zu machen, wurde für die Anfangsbeprobung ein Profilbild mit den Eindringwiderständen je cm erstellt. Es zeigte, dass es zwischen den beiden Varianten keine Unterschiede gibt. Bis zu einer Tiefe von 39 bzw. 40 cm war der Boden unverdichtet.

Tabelle 4: Penetrologgerbild je Variante, Betrieb Kleine Farm Mai 23

Tiefe	Var1	Var2
cm	Hügelbeet	Flachbeet
1	0,4	0,2
2	0,4	0,2
3	0,5	0,2
4	0,6	0,3
5	0,6	0,3
6	0,6	0,4
7	0,7	0,4
8	0,7	0,4
9	0,7	0,5
10	0,7	0,5
11	0,7	0,5
12	0,7	0,5
13	0,7	0,6
14	0,7	0,6
15	0,8	0,6
16	0,8	0,6
17	0,8	0,6
18	0,8	0,7
19	0,9	0,7
20	1,0	0,7
21	1,0	0,8
22	1,0	0,8
23	1,1	0,9
24	1,1	1,0
25	1,1	1,1
26	1,2	1,2
27	1,2	1,2
28	1,2	1,2
29	1,2	1,3
30	1,3	1,4
31	1,2	1,4
32	1,3	1,6
33	1,3	1,6
34	1,4	1,6
35	1,5	1,7
36	1,7	1,7
37	1,7	1,8
38	1,9	1,9
39	2,1	1,8
40	2,1	2,1
41	2,2	2,1
42	2,2	2,1
43	2,2	2,2
44	2,2	2,2
45	2,1	2,1

grün = unverdichteter Boden, orange = schwach verdichteter Boden, rot = stark verdichteter Boden (Presler et al. 2013).

Der CI-Wert wurde für den Betrieb Kleine Farm aus den Mittelwerten der Tiefen 1, 10 und 20 cm (CI20) und aus den Mittelwerten der Tiefen 1, 15, 30 cm (CI30) errechnet. Eindringwiderstände unter 2 MPa kennzeichnen unverdichtete Böden. Beide Böden sind als unverdichtet einzustufen.

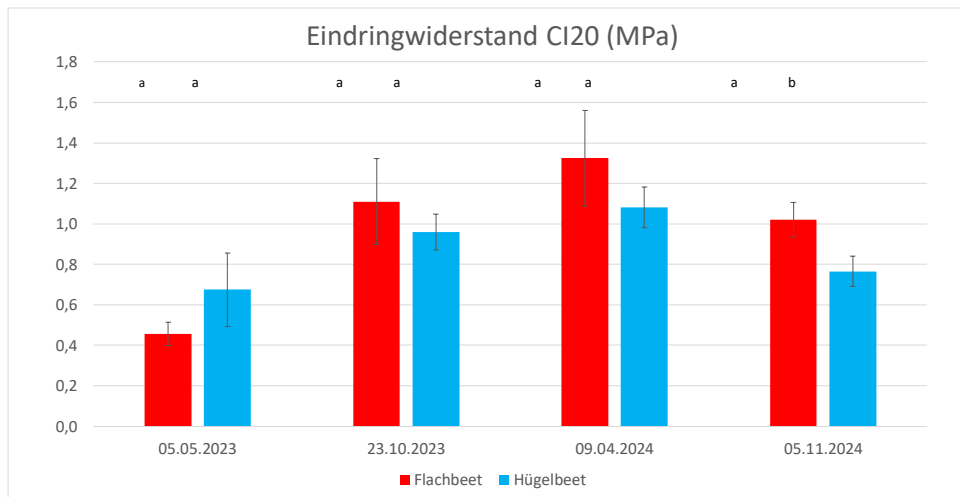


Abbildung 14: Eindringswiderstand CI20 Versuch Kleine Farm, Mai 2023 bis November 2024 (Mittelwerte mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant voneinander, Tukey-Test)

Die beiden Varianten unterscheiden sich sowohl beim CI20 als auch beim CI30 nur am 05.11.24, wo das Flachbeet einen signifikant höheren Wert beim CI20 und beim CI30 im Vergleich zum Hochbeet aufweist.

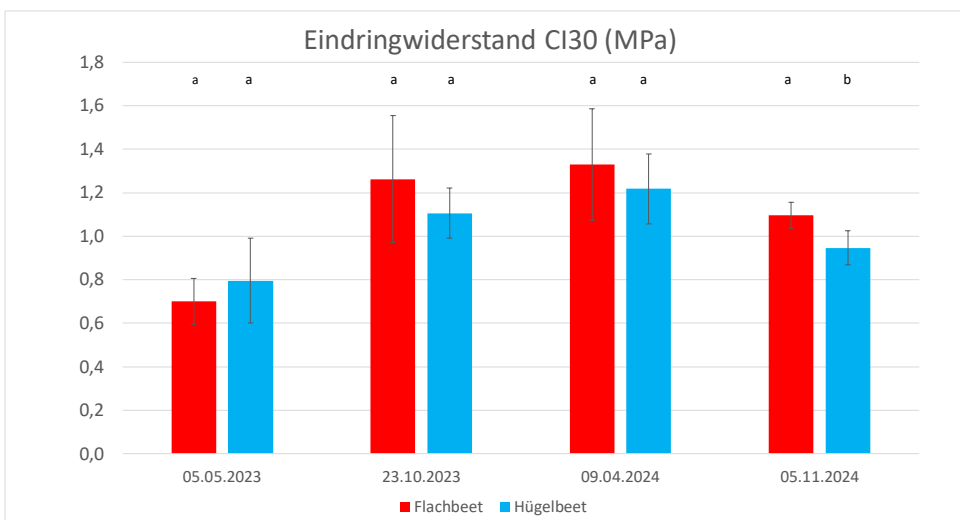


Abbildung 15: Eindringswiderstand CI30 Versuch Kleine Farm, Mai 2023 bis November 2024 (Mittelwerte mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant voneinander, Tukey-Test)

Lagerungsdichte

Die Lagerungsdichte war im Hügelbeet etwas geringer als im Flachbeet. Beide Ergebnisse können als sehr locker eingestuft werden (Sponagl et al. 2005). Hier ist anzumerken, dass

das Flachbeet im März 2023 aus Hügelbeeten angelegt wurde, d.h. erst kurz vor der Beprobung.

Tabelle 5: Lagerungsdichte Versuch Kleine Farm, Mai 2023

Variante	LD (g/cm ³)	
	MW	STA
Var.1 Hügelbeet	1,02	0,10
Var.2 Flachbeet	1,12	0,09

LD = Lagerungsdichte

Bodengefüge

Der Gefügeindex ist eine Kombination aus Bodenstrukturbewertung und Aggregatstabilität. Sowohl die Bodenstruktur als auch die Aggregatstabilität wurden in der Oberkrume OK (0-15 cm) und in der Unterkrume UK (15-30 cm) erhoben, ein Gesamtwert über 0 – 30 cm wurde als Mittelwert errechnet.

Beide Varianten zeigten sich über den Beobachtungszeitraum von Mai 2023 bis November 2024 keine Unterschiede im Gefügeindex. Im zweiten Versuchsjahr zeigten beide Varianten höhere Werte als in ersten Beprobungsjahr 2023.

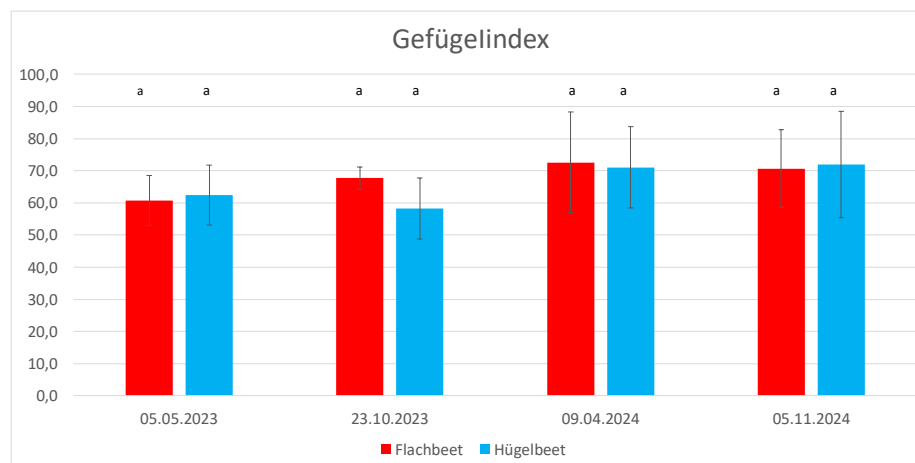


Abbildung 16: Gefügeindex Versuch Kleine Farm, Mai 2023 bis November 2024; Mittelwerte mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant voneinander, Tukey-Test)

Sowohl in der Oberkrume als auch in der Unterkrume zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Struktur. Bei der Anfangs- und der letzten Beprobung war die Struktur im Hügelbeet etwas besser als im Flachbeet.

Bei der Aggregatstabilität zeigte sich weder in den Werten der Oberkrume noch bei der Unterkrume ein Unterschied zwischen den Varianten. Die Entwicklung zeigt einen positiven Trend und liegt beim letzten Beprobungstermin mit über 94 % auf einem sehr hohen Niveau.

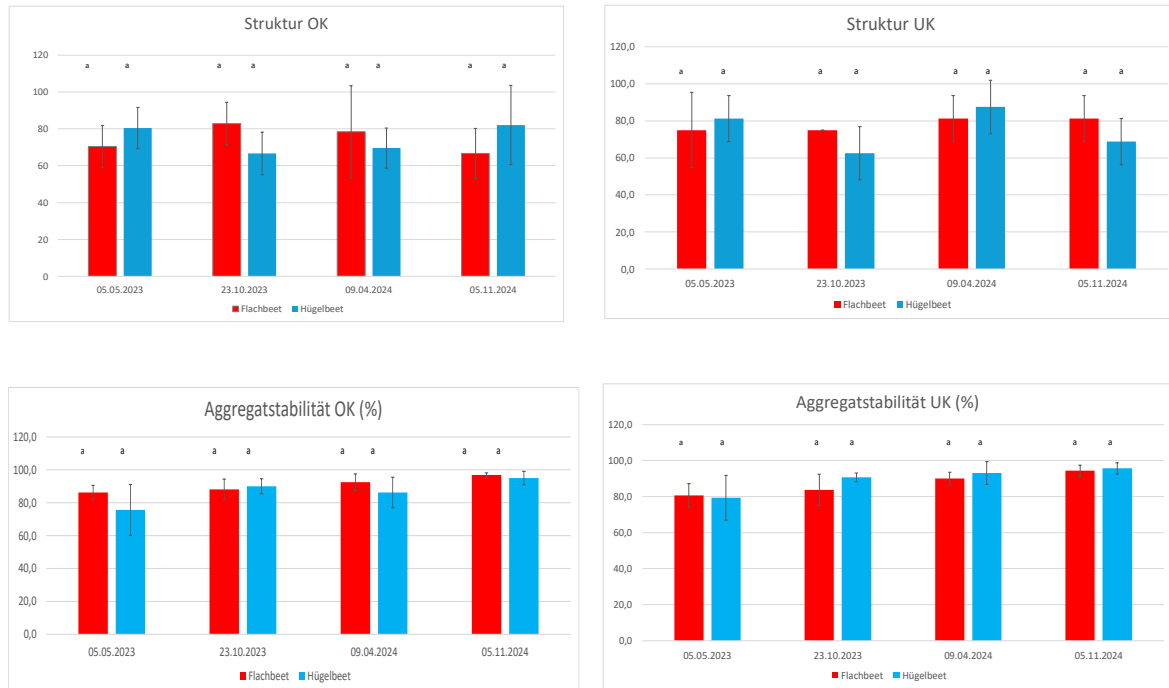


Abbildung 17: Bodenstruktur Oberkrume, Bodenstruktur Unterkrume, Aggregatstabilität Oberkrume, Aggregatstabilität Unterkrume, Versuch Kleine Farm, Mai 2023 bis November 2024 (Mittelwerte mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant voneinander, Tukey-Test)

Bodenwassergehalt

Zu allen vier Beprobungsterminen wurde der Bodenwassergehalt sowohl an der Oberfläche als auch in 30 cm Tiefe gemessen.

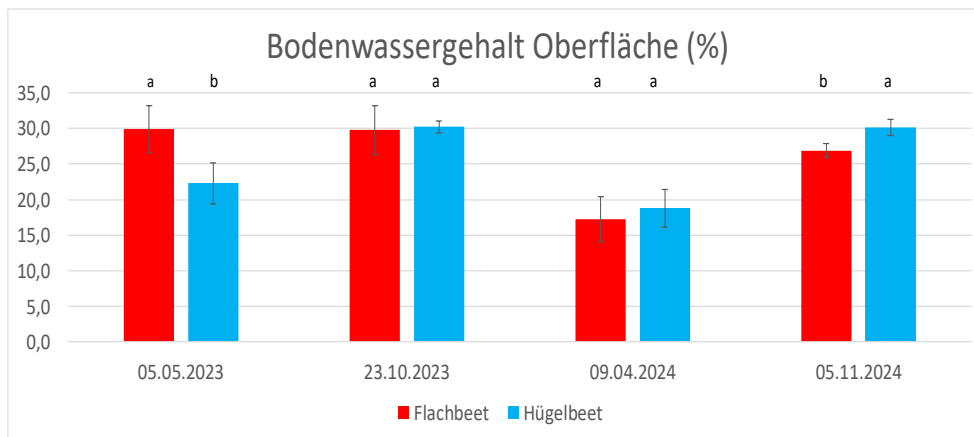


Abbildung 18: Bodenwassergehalt Oberfläche, Versuch Kleine Farm (Mittelwerte mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant voneinander, Tukey-Test)

Der Bodenwassergehalt an der Oberfläche war in Frühling 2023 bei der Anfangsbeprobung im Flachbeet höher als im Hügelbeet, im Herbst 2024 jedoch geringer als im Hügelbeet.

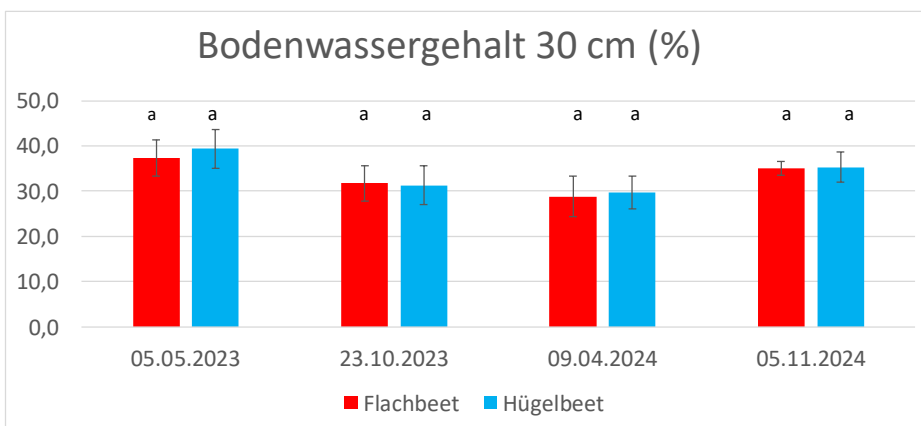


Abbildung 19: Bodenwassergehalt 30 cm, Versuch Kleine Farm (Mittelwerte mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant voneinander, Tukey-Test)

In 30 cm Bodentiefe gab es beim Bodenwassergehalt keine Unterschiede zwischen den Versuchs-Varianten.

Bodentemperatur- und Bodenwassergehalt im zeitlichen Verlauf

Die Sensorwerte der Bodentemperatur und des Bodenwassergehaltes für beide Varianten sind nur von Oktober 2023 bis Herbst 2024 vorhanden, da es zu Versuchsbeginn zu Ausfällen kam.

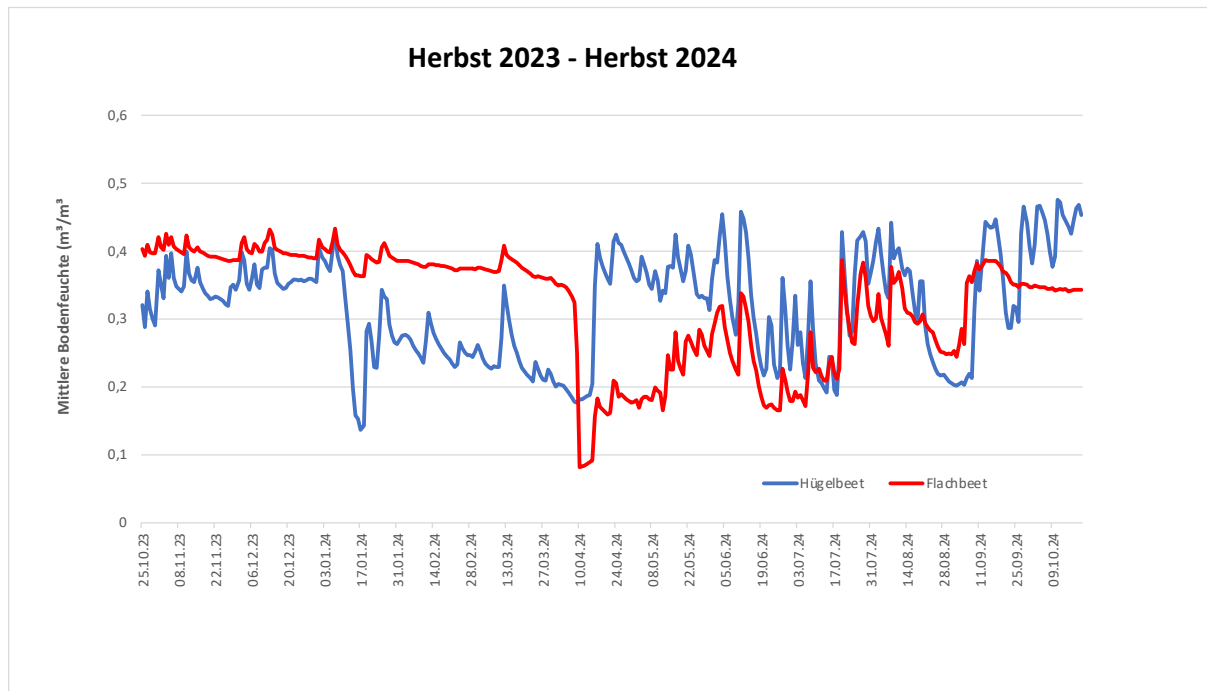


Abbildung 20: Bodenwassergehalt in 15 cm Tiefe von Oktober 2023 – Oktober 2024, Versuch Kleine Farm

Im ersten Versuchsjahr, es handelte sich um ein überdurchschnittlich feuchtes Jahr, war der Bodenwassergehalt in 15 cm Tiefe im Flachbeet höher als im Hügelbeet. Im Jahr 2024, einem Jahr gemäß dem langjährigen Mittel, war der Bodenwassergehalt im Hügelbeet über einen großen Zeitraum höher als der im Flachbeet (siehe Abbildung 20).

Fazit Ergebnisse Felderhebungen

Das Hügelbeet zeigte im Vergleich zum Flachbeet kaum Unterschiede bei den erhobenen Parametern. Lediglich bei der Struktur zeigte sich im Herbst 2023 ein signifikant höherer Wert im Flachbeet. Im Herbst 2024 zeigte das Hügelbeet höhere Wassergehalte an der Oberfläche.

Eine Diskussion mit Ergebnissen aus der Literatur ist schwierig, da die Dammkultur im Kartoffelbau sich großteils unterscheidet, da diese Dämme in den meisten Versuchen jährlich neu aufgebaut werden. In diesem Betrieb handelt es sich um Dämme, die weder versetzt und auch nur nachgehäufelt werden. Das bedeutet, dass es keinerlei Bodenbearbeitung im Unterboden gibt. Auch muss festgestellt werden, dass die Flachbeete zu Versuchsbeginn künstlich durch Einebnung der Dämme erzeugt wurden.

In der Literatur zeigen Versuche aus Westaustralien mit einem Häufelbeet über eine gewisse Periode höhere Wassergehalte als im Flachbeet (Bakker et al. 2005). Ähnliche Trends zeigen auch Ergebnisse in den USA (Hazan 2020).

Ergebnisse Labor Unterfrauner

Im November 2022 fand die erste Beprobung (Mischproben von allen Varianten) zu Versuchsbeginn vom Labor Unterfrauner auf allen Versuchsbetrieben statt, im Oktober 2024 wurden dann weitere Bodenproben zum Versuchsende entnommen (variantenspezifische Beprobung, 1 Mischprobe pro Variante, daher keine Statistik möglich). Eine Beschreibung der wichtigsten Ergebnisse aus der fraktionierten Nährstoffanalyse sowie die detaillierten Untersuchungsergebnisse liegen pro Betrieb vor. Nachstehend eine kurze Zusammenfassung der wesentlichsten Erkenntnisse:

- Kalium im Boden ist im Flachbeet höher bzw. mehr pflanzenverfügbar als im Hügelbeet
- Die Spurenelementzusammensetzung war bei beiden Varianten vergleichbar
- Generell bieten Hügelbeete viele Vorteile aufgrund von Durchlüftung hinsichtlich der klimatischen Verhältnisse, sind deshalb auch für die Pflanzengesundheit von Vorteil. Bodenkundlich wurden im Rahmen des Projektes nur wenige Unterschiede festgestellt. Durch die bessere Durchwurzelung in Hügelbeeten ist anzunehmen, dass unter dem Einfluss von höheren Niederschlagsmengen die Hügel stabiler sein könnten als Flachbeete, die zu Verschlämmungen neigen.

Weitere Handlungsempfehlungen für die Praxis sind der Broschüre „Praxisguide Markt gärtnerei“ zu entnehmen (siehe Anlage).

Literaturverzeichnis

- Bakker, D. M.; Hamilton, G. J.; Houlbrooke, D. J.; Spann, C. (2005): The effect of raised beds on soil structure, waterlogging, and productivity on duplex soils in Western Australia. In: Soil Res. 43 (5), S. 575. DOI: 10.1071/SR03118.
- Beste, A. (2009): Gefügeuntersuchungen -Bodenbearbeitungsvergleich. Büro für Bodenschutz & Ökologische Agrarkultur https://www.gesunde-erde.net/media/beste_gefuegeuntersuchungen_fill_2009.pdf
- Beste, A (2002): Weiterentwicklung und Erprobung der Spatendiagnose als Feldmethode zur Bestimmung ökologisch wichtiger Gefügeeigenschaften landwirtschaftlich genutzter Böden. Universität Gießen, Dissertation.

- Haug, A.; Biegert, K.; McCormick, R.; Keutgen, N.; Tagliavini, M.; Keutgen, A. (2023): Mulching as alternative orchard floor management in apple orchards positively affects water availability and weed control. In: *Acta Hort.* (1373), S. 187–196. DOI: 10.17660/ActaHortic.2023.1373.25.
- Hazan, C. (2020): Establishing hügelkultur for season extension research, specialty crop production, and permaculture education. In: *Urban Food Systems Symposium*.
- Junge, S.M. (2021): *Erweiterte Spatendiagnose nach Andrea Beste 2003* *Erweiterte Spatendiagnose. Weiterentwicklung einer Feldmethode zur Bodenbeurteilung*, 1. Aufl. ed, Schriftenreihe Agrarwissenschaft. Köster, Berlin. unveröffentlicht
- Junge, S.M.; Pfister, J.; Wedemeyer, R. & Finckh, M.R (2019): Regenerative Landwirtschaft – Bewertung des Systems durch die erweiterte Spatendiagnose am Beispiel Kartoffel 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau Beitrag https://orprints.org/id/eprint/36190/1/Beitrag_263_final_a.pdf
- Larkin, R.P., 2020a. Effects of Selected Soil Amendments and Mulch Type on Soil Properties and Productivity in Organic Vegetable Production. *Agronomy* (10).
- Lassabatère, L.; Angulo-Jaramillo, R.; Soria Ugalde, J. M.; Cuenca, R.; Braud, I. & Haverkamp, R. (2006): Beerkan Estimation of Soil Transfer Parameters through Infiltration Experiments -BEST. *Soil Science Society of America Journal* Mar/Apr 2006; 70, 2; Natural Science Collection. p. 521
- Liu, Z., Zhao, C., Zhang, P., Jia, Z., 2023. Long-term effects of plastic mulching on soil structure, organic carbon and yield of rainfed maize. *Agricultural Water Management* 287, 108447.
- ÖNORM, 01.10.1979: Bestimmung der Dichte im Boden. https://lesesaal-1austrian-2standards-1at-1iqhah8cy07ed.pisces.boku.ac.at/action/de/private/details/1639/OENORM_B_4414-2_1979_10_01
- Presler, J., Carrizoni, M., Widmer, D. (2013): Gemeinsame Bodenüberwachung der Zentralschweizer Kantone (KABO-ZCH), Projekt Ila-4.1 / 5.1 Erfassung von Bodenverdichtung, Beprobungsrunde 2010. <https://docplayer.org/44286504-Beprobungsrunde-2010-bericht.html>
- Riegler-Nurscher, P.; Prankl, J.; Bauer, T.; Strauss, P. & Prankl, H. (2016): An Integrated Image Analysis System for the Estimation of Soil Cover CIGR-AgEng conference Jun. 26–29, 2016, Aarhus, Denmark
- Schmidt, H.; Bruns, C. & Wilbois, K. (2014): Eindringwiderstand ökologisch bewirtschafteter Ackerböden - Einfluss von Standort und Bewirtschaftung sowie Auswirkungen auf den Ertrag von Wintergetreide. 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau
- Sponagel, H.; Grottenthaler, W.; Hartmann, K.-J.; Hartwich, R.; Janetzko, P.; Joisten, H.; Kühn, D.; Sabel, K.-J.; & Traidl, R. (2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung*. KA5. Hrsg. Eckmann W.; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten; Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden. 5. verbesserte u. erweiterte Auflage
- Villamil, M.B., Bollero, G.A., Darmody, R.G., Simmons, F.W., Bullock, D.G., 2006. No-Till Corn/Soybean Systems Including Winter Cover Crops. *Soil Science Soc of Amer J* 70 (6), 1936–1944.
- Walsh, Brice D.; Angus F. MacKenzie; S. Salmins; and Deborah J. Buszard (1996): Impact of soil management systems on organic dwarf apple orchards and soil aggregate stability, bulk density, temperature and water content. *Canadian Journal of Soil Science*, 05.1996 <https://doi.org/10.4141/cjss96-028>
- Wortmann, S.E., Kadoma, I., Crandall, M.D., 2016. Biodegradable Plastic and Fabric Mulch Performance in Field and High Tunnel Cucumber Production. *Hort Technology*.

Quellen Fotos: Studierende des Bachelorseminars IFÖL SS 2023, Martin Mayerhofer, Marie-Luise Wohlmuth