

Minimale Bodenbearbeitung mit dem Geohobel: Erste Effekte auf Erträge und Bodeneigenschaften feststellbar

Die Ergebnisse – kurzgefasst

Im Jahr 2023 wurde am Gemüsebauversuchsbetrieb Bamberg der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau ein Langzeitversuch begonnen, in dem eine intensive „Standardbodenbearbeitung“ (Pflügen, Grubbern, Fräsen, etc.) einer minimalen, flachen Bodenbearbeitung mit dem sogenannten Geohobel gegenübergestellt wird. Neben den Effekten der verschiedenen Bearbeitungsvarianten auf die Entwicklung verschiedener Kulturen und deren Ertragsbildung wurden im Jahr 2024 außerdem Auswirkungen auf die Bodenphysik, -chemie und -biologie untersucht. Einheitlich festzustellen war, dass sich die Kulturen unter der minimalen Bodenbearbeitung zügiger entwickelten und besser wuchsen, was sich vor allem in den Pflanzkulturen wie Porree und Kopfsalat auch im Ertrag widerspiegelte. Auch auf die Bodeneigenschaften hatte die minimale Bearbeitung bereits nach zwei Anbaujahren überwiegend positive Effekte: Neben einer höheren Infiltrationsleistung und Aggregatstabilität konnte auch eine höhere N_{\min} -Verfügbarkeit gemessen werden. Nachgewiesen werden konnte ein höheres Vorkommen an Bakterien, die Stickstoff im Boden fixieren, und eine höhere mikrobielle Biomasse.

Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Eine schonende Bodenbearbeitung unter möglichst geringer Störung des Bodenlebens wird derzeit noch wenig praktiziert. Welche Auswirkungen hat demnach eine minimale, flache Bodenbearbeitung mit dem Geohobel im Vergleich zu einer tieferen und intensiven „Standardbearbeitung“? Während im ersten Versuchsjahr 2023 zunächst erste Erfahrungen und Beobachtungen gesammelt wurden, standen im Jahr 2024 erste konkrete Aspekte im Fokus: Zum einen wurde der Effekt der beiden Bodenbearbeitungsvarianten auf verschiedene Sä- und Pflanzkulturen untersucht und Kulturentwicklung sowie Ertragsleistung verglichen. Zum anderen wurde aber auch erfasst, welche Unterschiede sich in der Bodenchemie, -physik und -biologie entwickelt haben.

Vorgehensweise und Ergebnisse im Detail

Der Versuch wurde im Jahr 2023 als Langzeitversuch angelegt, indem eine Parzelle in zwei Hälften geteilt wurde (siehe Abbildung 1): Auf der einen Hälfte wird seitdem lediglich eine minimale, flache Bodenbearbeitung durchgeführt, während auf der anderen Hälfte nach dem derzeitigen Standard am Versuchsbetrieb bearbeitet wird. Das bedeutet eine intensive Bearbeitung mit Pflügen, Grubbern, Fräsen, Eggen, je nachdem, was Kultur und Bodenzustand gerade erfordern. Dagegen wird die



Abbildung 1: Luftbildaufnahme der Versuchspartizelle

Minimale Bodenbearbeitung mit dem Geohobel: Erste Effekte auf Erträge und Bodeneigenschaften feststellbar

Minimalbearbeitung ausschließlich mit dem Geohobel (Fa. Rath Maschinen) praktiziert: Dieser kann mithilfe eines speziell geformten Hobelmessers mit aktivem Antrieb eine Gründüngung oder Erntereste zerkleinern und einarbeiten, der Boden wird dabei nur flach (ca. 3-5 cm) bearbeitet, sodass Wurzelgänge der unteren Schichten erhalten bleiben. Ein Säaufsatz an der Maschine ermöglicht die gleichzeitige breitwürfige Aussaat. Zudem wurden auf der Teilparzelle der Minimalbearbeitung feste Fahrspuren mit dauerbegrüntem Graswegen angelegt, um die Bodenverdichtung in den Beeten zu reduzieren und das Bodenleben partiell zu fördern. Auf beiden Teilparzellen werden verschiedene Sä- und Pflanzkulturen kultiviert, jedoch stets auf beiden Hälften die gleichen Kulturen mit der gleichen Bewirtschaftung. Im Jahr 2024 wurden stellvertretend für die Säkulturen Zwiebeln und Rote Bete angebaut, als Pflanzkulturen Kürbis, Porree und Kopfsalat.

1. Säkulturen

Die Aussaat der Zwiebeln erfolgte am 19.03.2024 auf den gespateten und anschließend gekreiselten Beeten der Standardvariante, bzw. den mit dem Geohobel bearbeiteten Beeten. Der Feldaufgang der Zwiebeln fiel in beiden Varianten ähnlich aus. Besonders zu Kulturbeginn war der Beikrautdruck in der Minimalbearbeitungsvariante deutlich höher, sodass hier mehr Kulturarbeiten erforderlich wurden (Bürstenmaschine und Handhacke) als in der Standardvariante. Zudem mussten die Graswege regelmäßig gemäht werden, um vor allem die Randreihen der Zwiebeln nicht einzuwachsen. Dennoch zeigte sich, dass die Pflanzen in der Minimalbearbeitungsvariante, denen in der Standard-Variante etwa ein BBCH-Stadium in der Entwicklung voraus waren. Aufgrund der Witterung im Anbaujahr mit mehreren Starkregen- und Hagelereignissen gab es zunehmend Ausfälle in der Kultur, sodass nur ein Teil bis zur Ernte heranreifte. Diese erfolgte am 04.09.2024, wobei die Zwiebeln aus den Kernparzellen unterteilt nach Größen erfasst wurden (Abbildung 2). Während in der Minimalbearbeitungsvariante insgesamt 194 dt/ha marktfähiger Ertrag zu ernten war, waren es in der Standardvariante 215 dt/ha (statistisch nicht signifikant). Aufgrund des großen Ausfalls in beiden Varianten ist davon auszugehen, dass das Ergebnis für diese Kultur nicht sehr belastbar ist.

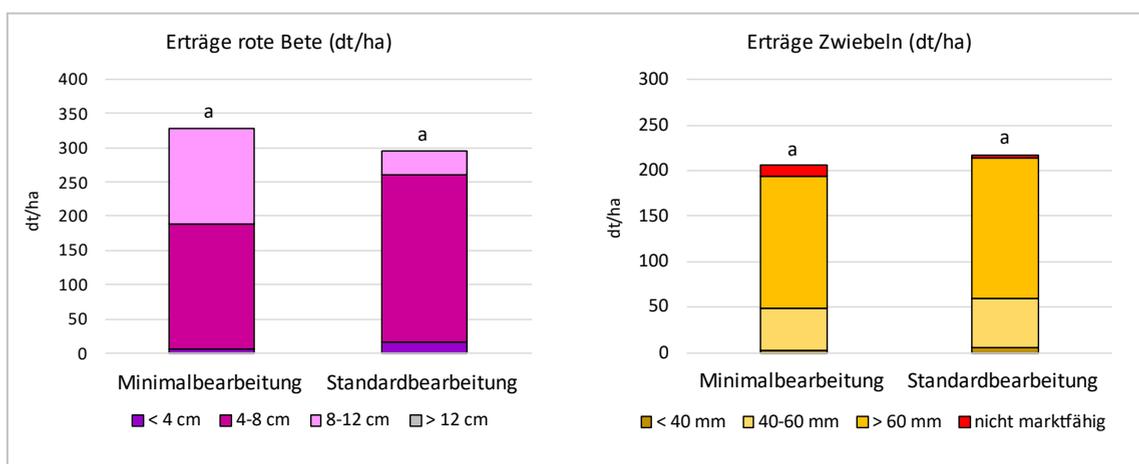


Abbildung 2: Erträge rote Bete (links), bzw. Zwiebel (rechts) unterteilt nach Durchmesser

Minimale Bodenbearbeitung mit dem Geohobel: Erste Effekte auf Erträge und Bodeneigenschaften feststellbar

Vor Aussaat der roten Bete am 15.05.2024 wurde nach einer vorangegangenen abfrierenden Zwischenfrucht die Standardvariante mit der Scheibenegge, dem Grubber und zuletzt mit der Kreiselegge bearbeitet. Auf der Minimalbearbeitungsvariante dagegen erfolgten zwei Überfahrten mit dem Geohobel im Abstand von etwa einer Woche und einem Striegelgang dazwischen. Während nach der Bearbeitung mit der Kreiselegge noch gröbere Brocken zurückblieben, erzeugte der Geohobel auf dem sandigen Ton der Versuchsparzelle ein feineres Saatbett. Bereits kurz nach der Aussaat zeigte sich auch hier die Tendenz, dass die Pflanzen in der Minimalbearbeitungsvariante sich schneller entwickeln und demnach auch schneller erntefähig waren. Allerdings konnte auch hier wieder beobachtet werden, dass der Beikrautdruck etwas höher war, was hier jedoch weniger ins Gewicht fiel als bei der Zwiebel. Die Ernte der roten Bete erfolgte einheitlich über beide Varianten am 31.07.2024, wobei die Knollen der Kernparzellen einzeln nach Größensortierung gewogen wurden (Abbildung 2). Dabei zeigte sich im Gesamtertrag mit 327 dt/ha ein Mehrertrag in der Minimalbearbeitungs-Variante von 33 dt/ha (statistisch nicht signifikant), welcher auf die größeren Knollen in der Variante zurückgeht. Auffällig war jedoch, dass in dieser Variante weniger Rüben zum Erntezeitpunkt auf den Beeten standen, wodurch die Knollen natürlich größer werden können. Da beide Varianten in gleicher Saatstärke gesät wurden, liegt die Vermutung nahe, dass der Aufgang und die Startentwicklung hier gehemmt wurden, auch wenn es augenscheinlich nicht den Eindruck machte. Zu prüfen ist in den Folgejahren, ob die oberflächennahe organische Masse in der Minimalbearbeitungsvariante hierauf einen Einfluss hat.

2. Pflanzkulturen

Zur Vorbereitung der Beete für den Kürbis wurde der üppige Aufwuchs der winterharten Gründüngung in der Standardvariante zunächst mit der Messerwalze zerkleinert, dann erfolgte zwei Wochen später die weitere Bearbeitung mit Grubber und Scheibenegge. In der Minimalbearbeitungsvariante kam der Geohobel wieder zweimal mit einem Abstand von einer Woche zum Einsatz, die Zerkleinerung und Einarbeitung der Gründüngung erfolgte dabei problemlos durch den Geohobel. Gepflanzt wurde der Kürbis ('Bush Delicata') am 15.05.2024, bald zeichnete sich auch hier ab, dass sich die Kultur unter einer minimalen Bodenbearbeitung gesünder und üppiger entwickelte. Bezüglich der Kulturarbeiten zeigte

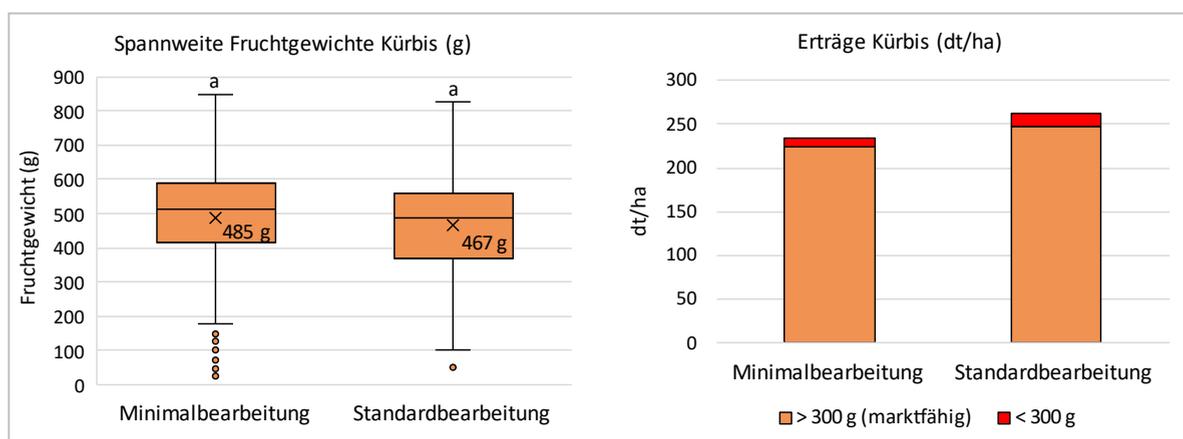


Abbildung 3: Spannweite und mittlere Fruchtgewichte (links), bzw. Erträge Kürbis (rechts)

Minimale Bodenbearbeitung mit dem Geohobel: Erste Effekte auf Erträge und Bodeneigenschaften feststellbar

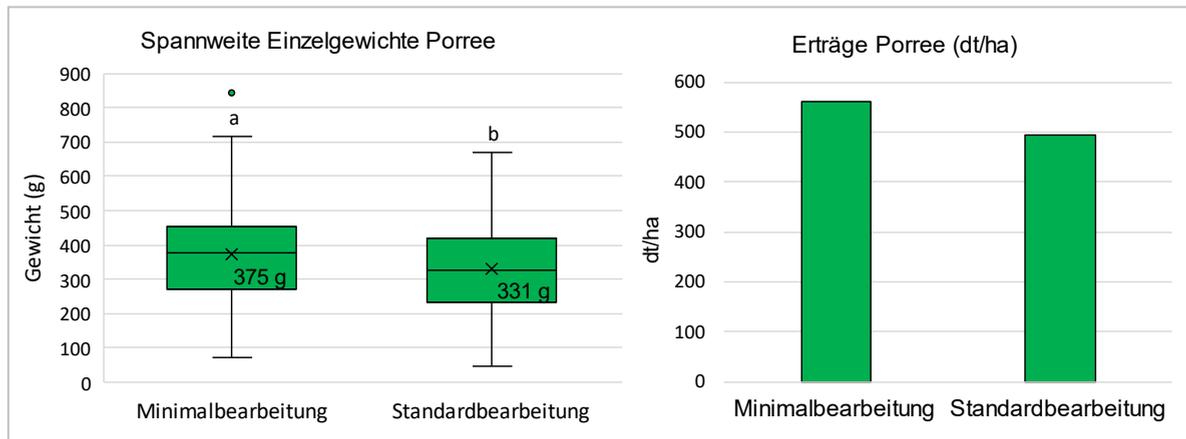


Abbildung 4: Spannweite und mittlere Stangengewichte (links), bzw. Erträge Porree (rechts) (Varianten mit unterschiedlichen Kennbuchstaben unterscheiden sich signifikant)

sich in diesem Fall, dass eine ziehende Beikrautregulierung in dieser Variante Schwierigkeiten machte (vor allem Maschinenhacke), da sich durch die lediglich oberflächennahe Einarbeitung der Zwischenfruchtreste mehr organisches Material an der Oberfläche befand, welches durch die Maschine mitgezogen wurde. Zur Ernte des Kürbisses am 04.09.2024 wurden die Fruchtgewichte der Pflanzen einzeln erfasst. Dabei konnte bei beiden Varianten eine große Spannbreite festgestellt werden (Abbildung 3), im Durchschnitt war das Fruchtgewicht mit 485 g in der Minimalbearbeitungsvariante etwas höher als jenes in der Standardvariante (467 g, statistisch nicht signifikant). Da die Pflanzen unter Minimalbearbeitung allerdings im Durchschnitt weniger Früchte je Pflanze produzierten als unter Standardbearbeitung (3,5 zu 4,1 je Pflanze), fielen die Gesamterträge je Hektar demnach etwas höher aus unter der Standardbearbeitung (248 dt/ha im Vergleich zu 224 dt/ha, Abbildung 3).

Vor Pflanzung des Porrees am 28.05.2024 wurde eine Woche zuvor mit dem Geohobel die im Frühjahr gesäte Zwischenfrucht eingearbeitet, die zweite Überfahrt erfolgte vor der Pflanzung. Dagegen wurde die Zwischenfrucht in der Standardvariante zunächst gemulcht, die weitere Bearbeitung erfolgte mit

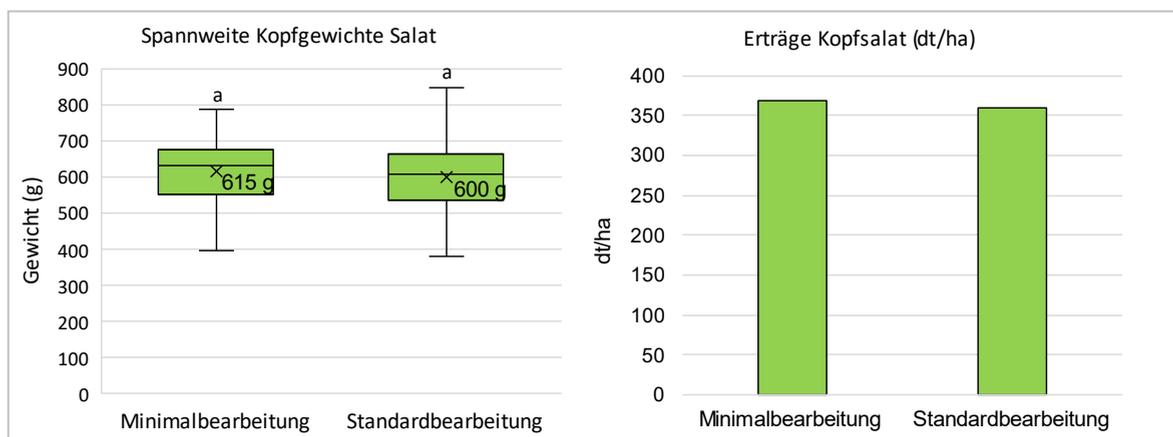


Abbildung 5: Spannweite und mittlere Kopfgewichte (links), bzw. Erträge Kopfsalat (rechts)

Minimale Bodenbearbeitung mit dem Geohobel: Erste Effekte auf Erträge und Bodeneigenschaften feststellbar

der Beetfräse bis in 15 cm Tiefe. Aufgrund des relativ nassen Bodens und der Neigung zur Klumpenbildung des sandigen Tons in der Parzelle gelang in diesem Fall in der Standardvariante die bessere Beetvorbereitung. Dennoch entwickelte sich der Porree auch hier wieder unter Minimalbearbeitung besser. Das spiegelte sich auch in einem kräftigeren Grünton und den Stangengewichten wider, die bei der Ernte am 04.11.2024 erfasst wurden. Mit einem durchschnittlichen Stangengewicht (Blätter nicht eingekürzt) von 375 g in der Minimalbearbeitungsvariante im Vergleich zu 331 g unter Standardbearbeitung waren die Porreestangen statistisch signifikant schwerer. Dies zeigte sich auch im Ertrag (hochgerechnet mit ungekürzten Stangen): Die Minimalvariante erreichte einen Mehrertrag von 66 dt/ha. Zusätzlich wurde außerdem die Schaftlänge und Schaftdicke verglichen: Während die Schaftlänge bei beiden Varianten im Durchschnitt gleich war, fielen die Stangen der Minimalbearbeitung minimal dicker (1 mm) aus. Die Beete mit roter Bete erhielten im Spätsommer noch eine Zweitbelegung mit Kopfsalat. Dieser wurde am 22.08.2024 gepflanzt und entwickelte sich recht ähnlich in den beiden Varianten. Zum Erntetermin am 08.10.2024 wurden wieder die einzelnen Kopfgewichte erfasst, deren Spannweite in Abbildung 5 dargestellt ist. Im Mittel lag das Kopfgewicht in der Minimalbearbeitungsvariante bei 615 g, bei der Standardvariante bei 600 g, was in der minimalen Variante einen leichten Mehrertrag bewirkte (Abbildung 5).

3. Bodenchemie

Neben den notwendigen Bodenproben zur Berechnung des Düngedarfs wurden in den Beeten, die die Doppelbelegung mit roter Bete und Kopfsalat hatten, zusätzlich weitere Proben im Jahresverlauf gezogen und auf N_{min} untersucht (Abbildung 6). Während beim ersten Termin zu Saisonstart im März die N_{min} -Gehalte in beiden Varianten auf dem gleichen Niveau waren, wurde zu allen weiteren Probenahmeterminen ein deutlich höherer Gehalt in der Minimalbearbeitungsvariante gemessen. Da beide Varianten stets gleich gedün

gt wurden, ist die größere Menge an Nitrat und Ammonium im Boden somit auf eine Entstehung im Boden zurückzuführen. Diese Entwicklung zeigte sich auch in den anderen Beeten, die nicht so häufig beprobt wurden. Möglicherweise ist dies eine Erklärung für die bessere Pflanzenentwicklung und tendenziell höheren Erträge in der Minimalbearbeitungsvariante.

Ebenso wurden weitere Nährstoffe sowie der Humusgehalt im März und Oktober untersucht und verglichen, wobei es dabei keine nennenswerten Unterschiede gab. Lediglich der Humusgehalt war zu beiden Zeitpunkten in der Minimalbearbeitungsvariante um 0,2 % höher in der oberen Schicht von 0-30 cm.

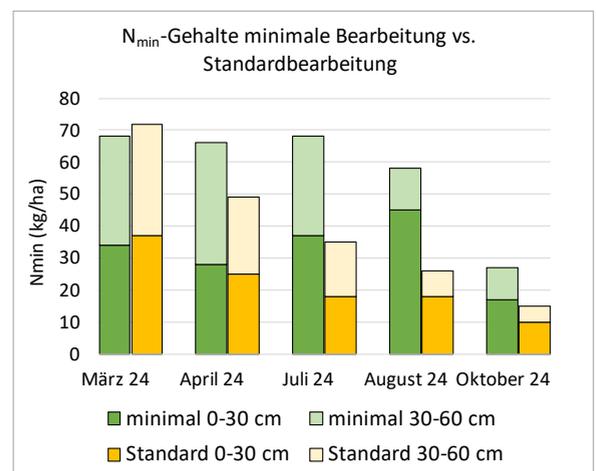


Abbildung 6: N_{min} -Gehalte (0-60 cm) unter Minimalbearbeitung und Standardbearbeitung

Minimale Bodenbearbeitung mit dem Geohobel: Erste Effekte auf Erträge und Bodeneigenschaften feststellbar

4. Bodenphysik

Wie bei der Bodenchemie wurde auch die Messung der bodenphysikalischen Parameter wieder in den Beeten mit Doppelbelegung durchgeführt, da diese die häufigste Bearbeitung erfuhren. Lagerungsdichte, Infiltration und Aggregatstabilität wurden jeweils vor der Saison im März und nach Ernte der letzten Kultur im November gemessen. Die Lagerungsdichte wurde dabei durch die Entnahme von ungestörten Bodenproben mit Hilfe von Stechzylindern und Trocknen der Bodenproben im Trockenschrank (24 h bei 105 °C) ermittelt. Zu beiden Zeitpunkten war die Lagerungsdichte des minimal bearbeiteten Bodens in den oberen 5 cm etwas höher als bei Standardbearbeitung. In 12-17 cm dagegen befand sie sich auf dem gleichen Niveau (Abbildung 7). Da die Lagerungsdichte ein Maß für die Verfestigung des Bodens darstellt, lässt sich festhalten, dass der Boden durch die minimale Bearbeitung in den obersten Zentimetern somit geringfügig mehr verfestigt war.

Die Infiltrationsrate wurde mithilfe eines Infiltrometers an mehreren Punkten in den entsprechenden Beeten bestimmt. Im März, aber vor allem im November, wurde im Durchschnitt eine höhere Infiltrationsrate in jenen Beeten gemessen, in denen die minimale Bodenbearbeitung umgesetzt wurde (Abbildung 7). Dies passt zu den Beobachtungen im Laufe der Saison, dass nach Starkregenereignissen die Beete mit Minimalbearbeitung stets schneller wieder abtrockneten und befahrbar waren im Vergleich zu den Beeten mit Standardbearbeitung, in denen sich das Wasser staute. Vermutlich führt der Erhalt der Wurzelkanäle durch den Geohobel hier durch die Entstehung von Bioporen zu einer besseren Versickerung des Wassers im Boden. Dies ist ein weiterer Erklärungsansatz für die bessere Entwicklung der Pflanzen in dieser Variante. Wie stabil die einzelnen Bodenaggregate in den beiden Varianten sind, wurde mithilfe eines „Schütteltests“ abgeschätzt. Dabei werden zusammenhängende Bodenaggregate aus verschiedenen Tiefen entnommen, in ein Glas gegeben und nach zwei Minuten Standzeit leicht geschüttelt. Dann wird der Zustand des Aggregates und die Trübung des Wassers beurteilt. Im März unterschieden sich dabei die Proben von der minimalen Bearbeitung deutlich von denen aus der Standardbearbeitung (Bild 2): die Aggregate der Minimalbearbeitung blieben stabiler zusammen, das Wasser darüber blieb klar. In der Standardbearbeitungsvariante dagegen zerfielen die Aggregate deutlich mehr und Feinpartikel gingen in das Wasser über und trübten es ein. Für die Fläche

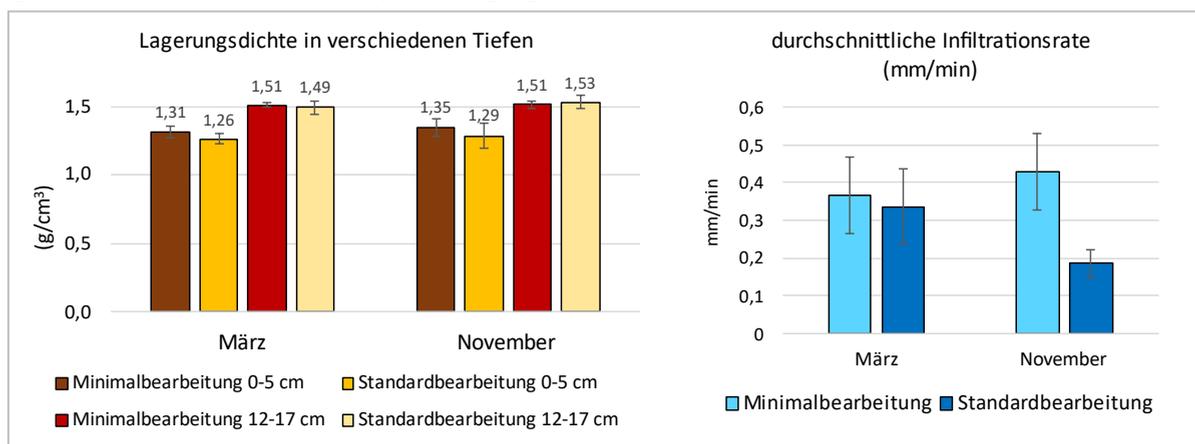


Abbildung 7: Lagerungsdichte (links) und Infiltrationsrate (rechts) im März und November (n=3)

Minimale Bodenbearbeitung mit dem Geohobel: Erste Effekte auf Erträge und Bodeneigenschaften feststellbar

bedeutet das in der Praxis tendenziell instabilerer Boden, Staunässe und Verdichtung. Dass im November der Unterschied deutlich geringer ausfiel, könnte z.B. an dem kürzeren Abstand zur letzten Bodenbearbeitung liegen.

5. Bodenbiologie

Um eine Aussage über die Bodenbiologie treffen zu können, wurden Ende Oktober Bodenproben in 0-15 cm Tiefe genommen und auf die Zusammensetzung des Mikrobioms (Bakterien, Pilze, Bodenfauna) untersucht. Auffällig war zunächst, dass die gesamte mikrobielle Biomasse unter Bearbeitung mit dem Geohobel signifikant höher war als bei der Standardbearbeitung (46 ng/μl im Vergleich zu 36 ng/μl, Abbildung 8). Betrachtet man das Pilz-Bakterien-Verhältnis, so ist dieses in der Minimalvariante leicht erhöht, wenn auch nicht signifikant, d.h. im Vergleich zur Standardvariante ist der Anteil an Pilzen leicht erhöht (nicht dargestellt). Des Weiteren konnte ein Unterschied im Vorkommen verschiedener Bakterien, die am Stickstoffkreislauf beteiligt sind, festgestellt werden (Abbildung 9): Eindeutig zeigte sich z.B., dass in der Minimalbearbeitungsvariante mehr Bakterien nachgewiesen werden konnten, die zu einer N-Fixierung beitragen (Abbildung 9). Einen großen Teil davon machen die im Boden lebenden stickstofffixierenden Bakterien der Gattung *Bradyrhizobium* aus, die ein signifikant höheres Vorkommen an der Gesamtheit der Bakterien aufwiesen (Abbildung 8). Dies könnte die höheren N_{min} -Gehalte im Boden erklären. Es zeigte sich aber auch, dass in der Minimalbearbeitungsvariante verstärkt Bakterien vertreten sind, die an anaeroben Prozessen wie der Denitrifikation beteiligt sind. Eine Ausgasung des Stickstoffs wäre hierdurch begünstigt. Dagegen finden sich in der Standardvariante mehr Bakterien, die in aerobe Prozesse wie der Nitrifikation involviert sind, sodass die Umwandlung von Ammonium zu Nitrat hier begünstigt ist. Denkbar wäre, dass die Verschiebung hin zu mehr anaeroben Bedingungen bei der Bearbeitung mit dem Geohobel daraus resultiert, dass zunächst einmal durch den Verzicht auf eine tiefere Bearbeitung weniger Luft in den Boden gebracht wird wie sie in der Standardbearbeitungsvariante stattfand. Ob bei einer langjährigen Anwendung des Geohobels womöglich weitere Bioporen erzeugt werden können und dadurch eine bessere Belüftung des Bodens erreichen werden kann, bleibt noch herauszufinden.

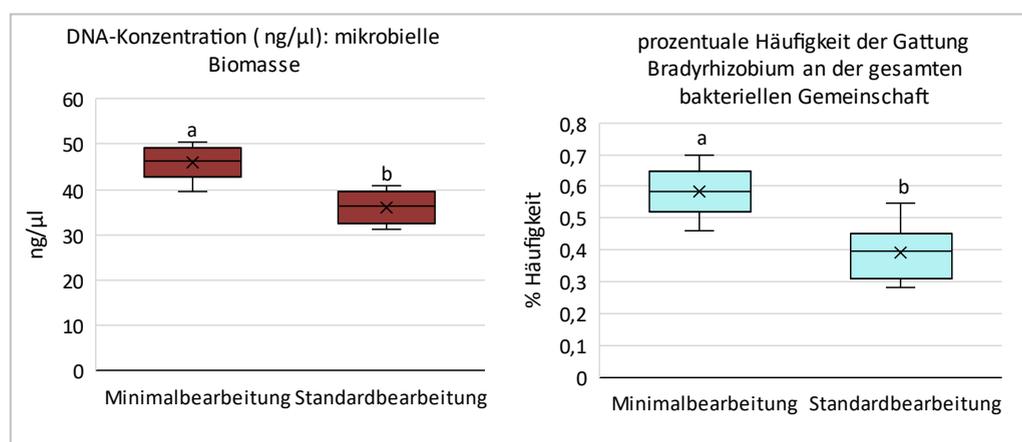


Abbildung 8: mikrobielle Biomasse (links) und stickstofffixierende Bakterien der Gattung *Bradyrhizobium* (rechts)

Minimale Bodenbearbeitung mit dem Geohobel:
Erste Effekte auf Erträge und Bodeneigenschaften feststellbar



Bild 1: Porree, rote Bete, Kürbis und Zwiebeln in der Minimalbearbeitungsvariante (oben) und der Standardvariante (unten)

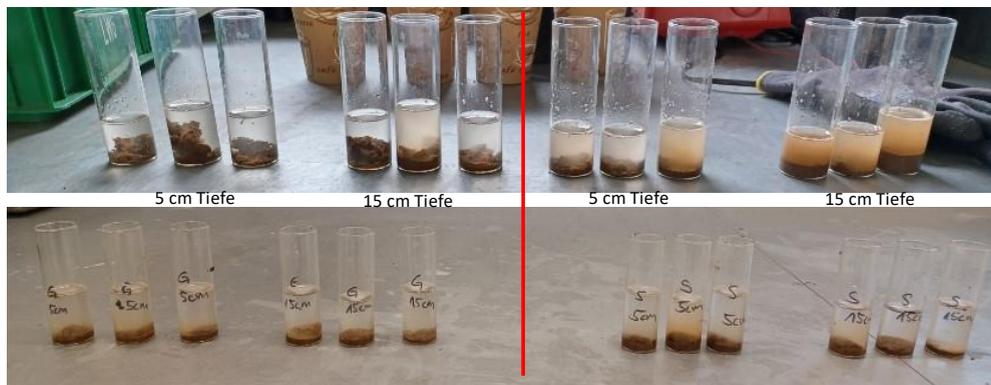


Bild 2: Aggregatstabilitätstest: Untersuchung der Aggregatstabilität in 5 cm Tiefe und 15 cm Tiefe bei der Minimalbearbeitungsvariante (linke Hälfte) und der Standardvariante (rechte Hälfte) im März (oben) und November (unten)

Minimale Bodenbearbeitung mit dem Geohobel: Erste Effekte auf Erträge und Bodeneigenschaften feststellbar

Kultur- und Versuchshinweis

- Versuchsanlage: Streifenanlage mit vier unechten Wiederholungen
- Parzellengröße: 167 m² je Kultur und Variante
- Boden: sandiger Ton
- Vorkultur: Spinat, Pflanzzwiebel, Endivie, Salat, Mairübe, Zucchini, Möhre
- Sorte: Zwiebel: 'Hylander F1', Rote Bete: 'Rhonda F1', Kürbis: 'Bush Delicata', Porree: 'Oslo F1', Kopfsalat: 'Malis'
- Aussaat / Pflanzung: Zwiebel: 19.03.2024, rote Bete: 15.05.2024, Kürbis: 15.05.2024, Porree: 28.05.2024, Kopfsalat 22.08.2024
- Bestandesdichte: Zwiebel: 800.000 Korn/ha, rote Bete: 600.000 Korn/ha, Kürbis: 12.000 Pfl/ha, Porree: 149.700 Pfl/ha, Kopfsalat: 60.000 Pfl/ha
- Düngung: Zwiebel: 60 kg N/ha (Bioagenasol) + 60 kg/ha K₂O (Kalisop), Rote Bete: 60 kg N/ha (Bioagenasol) + 50 kg N/ha (Haarmehlpellets) + 100 kg/ha K₂O (Patentkali), Kürbis: 70 kg N/ha (Bioagenasol) + 50 kg N/ha (Haarmehlpellets) + 140 kg/ha K₂O (Kalisop), Porree: 90 kg N/ha (Bioagenasol) + 80 kg N/ha (Hauert Manner N12) + 100 kg N/ha K₂O (Kalisop), Kopfsalat: keine Düngung
- Pflanzenschutz: keiner
- Ernte: Zwiebel: 04.09.2024, Rote Bete: 31.07.2024, Kürbis: 04.09.2024, Porree: 04.11.2024, Kopfsalat: 08.10.2024

Kritische Anmerkungen

Erste Veränderungen konnten bereits nach 1-2 Anbaujahren festgestellt werden. Gut möglich ist, dass sich bei einer langjährigen Umsetzung der minimalen Bodenbearbeitung die Unterschiede zur Standardbearbeitung verstärken oder neue Aspekte auftreten. Insbesondere die angestrebte Durchwurzelung tieferer Schichten durch die Kulturen und den intensiven Zwischenfruchtanbau in der Minimalbearbeitungsvariante benötigt Zeit. Kann diese über mehrere Jahre stattfinden, so wäre z.B. auch denkbar, dass sich die Belüftung des Bodens verbessert und im Vergleich zur Standardbearbeitung aerobere Verhältnisse entstehen könnten. Zu erwähnen ist zudem, dass die Effekte sicherlich von der vorliegenden Bodenart abhängig sind.

Bildnachweis: © LWG Veitshöchheim