

-

<p>Zuwendungsempfänger: Versuchs- und Kontrollring für den Integrierten Anbau von Obst und Gemüse im Land Brandenburg e. V. Dr. Andreas Jende Dorfstraße 1, 14513 Teltow OT Ruhlsdorf Email: jende@gartenbau-bb.de</p>
<p>Projektkoordination: Versuchs- und Kontrollring für den Integrierten Anbau von Obst und Gemüse im Land Brandenburg e. V. Dr. Andreas Jende Dorfstraße 1, 14513 Teltow OT Ruhlsdorf Email: jende@gartenbau-bb.de</p>
<p>Mitglieder der Operationellen Gruppe und assoziierte Partner: Name der Organisation, Ansprechpartner (Name, Vorname) Versuchs- und Kontrollring für den Integrierten Anbau von Obst und Gemüse im Land Brandenburg e. V. [LEAD - Partner], Andreas Jende Markendorf Obst e. G., Daniel Schneider Obstgut Steffen Schulz, Steffen Schulz Bauernhof Dohrmann, Christian Dohrmann Naturobsthof (Bioland) Heidrun Hauke Spargel- und Gemüsehof Simianer u. Söhne Gerald Simianer Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren e.V., Carmen Feller, Roxana Djalali Farahani-Kofoet</p>
<p>Projektlaufzeit: 13.12.2016 - 31.12.2022</p>
<p>Budget: 828.103,96 €</p>
<p>Datum: 31.03.2023</p>
<p>Autoren: Carmen Feller (IGZ), Roxana Djalali Farahani-Kofoet (IGZ), Daniel Schneider (Markendorf Obst eG)</p>



Inhalt

.....	1
1 Kurzfassung in deutscher Sprache.....	3
2 Kurzfassung in englischer Sprache.....	3
3 Situation zu Projektbeginn	4
3.1 Ausgangssituation.....	4
3.2 Aufgabenstellung und Ziele des Vorhabens	4
4 Projektverlauf	5
5 Projektergebnisse	7
5.1 Ergebnisse.....	7
Ergebnisse aus den Gefäßversuchen.....	7
Ergebnisse - Apfelanlagen - Hauptversuche.....	9
Ergebnisse - Spargel.....	14
Ergänzende Untersuchungen	21
5.2 Diskussion der Ergebnisse	24
5.3 Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen.....	26
5.4 Beitrag der Ergebnisse zu förderpolitischen EIP-Zielen.....	27
5.5 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis.....	27
5.6 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen	28
5.7 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit und weiterführende Fragestellungen	28
6 Zusammenarbeit der operationellen Gruppe.....	28
7 Kommunikations- und Disseminationskonzept.....	29
Quellen	30
8 Anhang.....	34
8.1 Verwendung der Zuwendung	34
8.2 Nutzung des Innovationsdienstleisters (IDL)	34
8.3 Nachweis der Veröffentlichungen	35
8.4 Practice abstracts.....	37

1 Kurzfassung in deutscher Sprache

Im Rahmen des Projekts NewSoil21 wurden Möglichkeiten zur Optimierung des Anbaus von Spargel und Apfel auf Nachbauböden unter brandenburgischen Standortbedingungen untersucht. Das Problem ist die sogenannte Nachbaukrankheit mit Ertragsdepressionen und Schwierigkeiten bei der Etablierung der Anlage. An dem Ursachenkomplex für diese Probleme wird intensiv geforscht. Erste Erkenntnisse sollten für die Anwendung in der Praxis geprüft werden. Hierzu wurden Gefäßversuche im IGZ Großbeeren mit dem Boden, entnommen von den späteren betrieblichen Versuchsflächen, durchgeführt. Wuchsdepressionen konnten im Vergleich von sterilisierten Boden zur unbehandelten Kontrolle für alle Standorte nachgewiesen werden, wobei die Stärke der Ausprägung vor allem in Abhängigkeit von Bodeneigenschaften variierte.

In den Feldversuchen wurden Möglichkeiten zur Minderung der Wachstums- und Ertragsdepressionen geprüft. Der Zusatz von Additiven und Sorten-Unterlagen-Kombinationen bzw. Sorten standen im Mittelpunkt der Untersuchung. Insbesondere die Zugabe von organischem Material (Champost) bei Spargel und das Anbauverfahren ‚Müncheberger Damm‘ bei Apfel erwiesen sich als erfolgversprechend.

Die Ergebnisse sind in einer Broschüre praxisnah zusammengefasst und im Detail unter <http://newsoil21.igzev.de/> abzurufen.

2 Kurzfassung in englischer Sprache

As part of the NewSoil21 project, possibilities for optimizing the cultivation of asparagus and apple on replanting soils were investigated. The problem is the so-called replant disease with yield depression and difficulties in establishing the plant. Intensive research on the complex of causes for these problems is still going on. First findings were tested for application in practice. For this purpose, pot experiments were carried out in greenhouses in IGZ Großbeeren with soil taken from the later field experiment plots. Compared to untreated control growth depressions were recorded in steamed soils for all locations. The strength of the expression varied mainly depending on soil properties.

Possibilities to mitigate growth and yield depression were examined in field trials. The focus of the investigations were made on addition of additives and cultivar rootstock combinations or varieties. In particular, the addition of organic material (champost) to asparagus soil and the cultivation method 'Müncheberger Damm' proved to be promising.

The results are summarized in a practical brochure and are available in detail at <http://newsoil21.igzev.de/>.

3 Situation zu Projektbeginn

3.1 Ausgangssituation

Apfel- und Spargelanlagen sind Dauerkulturanlagen mit einer Nutzungsdauer von durchschnittlich 20 Jahren bei Apfel und acht bis zehn Jahren bei Spargel. In den Obstbaubetrieben Brandenburgs muss gegenwärtig der Aufbau der nächsten Generation Obstanlagen erfolgen. Die Problematik hierbei sind die vorhandenen Wuchs- und Ertragsdepressionen im Nachbau. Diese betragen je nach Bodenverhältnissen (vor allem auf den Sandböden Brandenburgs) und Sortenwahl 20-60% (Paschold 2009) und bei Apfel 30-50% (Baab & Henfrey, 2015). Aus Beobachtungen bei Apfel in Brandenburg ist bekannt, dass auf den sandigen Flächenanteilen der Felder die Auswirkungen stärker sind als auf lehmigen Flächen. Die bisher genutzte chemische Bodenbehandlung war zum Zeitpunkt der Antragstellung in Deutschland nicht zugelassen. Ein Hauptanteil der Anpflanzungen muss in Zukunft auf Flächen getätigt werden, auf denen zuvor ein bis zwei Generationen Apfelbäume wuchsen. Für Spargelbetriebe in Brandenburg ist die Nutzbarmachung geeigneter Flächen, auf denen bisher kein Spargel angebaut wurde, ebenfalls schwierig und sehr kostenaufwendig, da angrenzende Betriebe zum Flächentausch für die Kulturdauer von acht oder mehr Jahren nicht bereit sind oder extrem hohe Pachtpreise fordern. Zusätzlich ist für die Spargelbetriebe eine Neuergründung von Spargelflächen mit erheblichen Investitionen verbunden. Zu den Ursachen für die Nachbauproblematik (spezifische Bodenmüdigkeit - specific apple or asparagus replant disease - SARD) gibt es seit vielen Jahren umfangreiche Forschungsarbeiten und die mögliche Ursache ist nach wie vor nicht vollständig geklärt. Es wird von einem Ursachenkomplex ausgegangen, der zu großen Teilen mikrobieller Natur ist, dazu gehören pilzliche Schaderreger (*Fusarium* spp., *Rhizoctonia* u.a.), Oomyceten (*Pythium*, *Phytophthora*), Bakterien (Aktinomyzeten, *Pseudomonas* spec.) und Bildung von Autotoxinen und Allelochemikalien.

3.2 Aufgabenstellung und Ziele des Vorhabens

Das Ziel des Vorhabens war, durch geeignete Anbaustrategien den Ertrag von Apfel und Spargel im Nachbau unter Brandenburger Boden- und Klimaverhältnissen zu erhöhen und Apfel- und Spargelbetrieben in Brandenburg durch Umstellung auf erfolgreichere Nachbau- bzw. Anbaustrategien, die Möglichkeit der weiteren Produktion ohne Flächeneinschränkungen zu ermöglichen. Die aus bisherigen wissenschaftlichen Studien als potentiell erfolgreich beschriebenen Anbaustrategien sollten in Gefäßversuchen und den Betriebsflächen geprüft und deren Effektivität bewertet werden (Tabelle A1, S. 31). Nach Abschluss der praktischen Arbeiten sollten die erreichten Ertragssteigerungen den nötigen Zusatzkosten gegenübergestellt und eine ökonomische Bewertung vorgenommen werden. Da aufgrund der Projektlaufzeit nur für die ersten Jahre die Ertragsmenge erfasst werden konnte, wurde der Ertrag für die Folgejahre geschätzt.

Um die Voraussetzungen für einen Transfer der Ergebnisse in die Region zu schaffen, sollten Kulturführung und alternative Bodenbehandlungsvarianten zur Minderung der Nachbauschäden an Dauerkulturen für Brandenburger Boden- und Klimaverhältnisse in der Praxis geprüft werden. Der

Fokus der Projektziele lag auf Optimierung pflanzenbaulicher Rahmenbedingungen für den Nachbau, wie z.B. Bodenvorbereitung hinsichtlich Struktur, Humusgehalt und Nährstoffverhältnisse, als auch Sorte bzw. Sorten-Unterlagen-Kombination und Fertigation. In Gefäßversuchen sollten die Stärke und Ausprägung von zu erwartenden Wuchsdepressionen sowie die Effektivität von Bodenbehandlungen in den Betrieben verifiziert werden.

4 Projektverlauf

Das Programm startete 13.12.2016, wobei der tatsächliche Durchführungszeitraum ab 01.01.2017 beginnt. Nach dem Kick-off Meeting wurde das weitere Vorgehen entsprechend Zeitplan besprochen. Besonderer Schwerpunkt lag in den ersten 1,5 Jahren auf der Charakterisierung der Versuchsstandorte, der Etablierung und Auswertung der Gefäßversuche und der Anlage der Betriebsversuche. Hier spielte, neben der Bodenanalytik die Beschaffung der einzusetzenden Bodenhilfsstoffe eine wichtige Rolle. Neben den geplanten Hauptversuchen bei Apfel (vier Bodenbehandlungen und vier Sorten-Unterlagen-Kombinationen) musste in einem der drei Betriebe eine Variation der Bodenbehandlungen durchgeführt werden, da in dem Betrieb mit ökologischem Anbau zwei Varianten nicht der Betriebsmittelliste für den ökologischen Anbau entsprachen. Aus diesem Grund wurde dort eine Variante mit Leonardit (Oxidationsprodukt von Lignit) aufgenommen. Diese Variante und weitere mögliche Behandlungen (betriebseigener Kompost, Mikroorganismen und Tonminerale) wurden in den Apfelbetrieben in Form von Zusatzversuchen mit nur einer Sorten-Unterlagen-Kombination zur Erweiterung des Aussagebereiches geprüft.

Nach Anlage der Betriebsversuche für den Apfelanbau (2017) und für Spargel (2018) gab es bei beiden Fruchtarten 2019 ein problematisches Jahr mit Spätfrösten, die die Blüten der Äpfel stark beschädigten und beim Spargel die ersten Triebe abtöteten. In dem Folgejahr 2020 führten die Einschränkungen bedingt durch die COVID 19 Pandemie und fehlende Erntehelfer auf einer der zwei Spargelflächen zur Nichterfassung der versuchsbedingten Ertragsmengen.

Der aktualisierte Zeitplan mit den Arbeitspaketen ist in Tabelle A2 (Seite 33) abgelegt.

Arbeitspaket 1 – Versuchsstandortcharakterisierung

In 2017 erfolgte die Charakterisierung der bodenchemischen Eigenschaften (Makro- und Mikronährstoffe, pH-Wert, Kationenaustauschkapazität) und die Bestimmung des Spektrums bekannter Bodenpathogenen per DNA Multiscan. Es wurde außerdem die Nematoden-Dichte von entnommenen Apfelböden bestimmt und der Test auf Bodenmüdigkeit nach OTTO und WINKLER (1977) von entnommenen Bodenproben aus allen Versuchsstandorten der teilnehmenden Betriebe (Apfel) durchgeführt. Für die Bodenuntersuchungen wurde von jeder Fläche 1 m³ Boden (aus dem Bodenhorizont 0-30 cm zufällig verteilt auf der späteren Versuchsfläche) entnommen und in Großbeeren für spezifische Analysen und die Gefäßversuche genutzt. Die Daten zur Bodenmüdigkeit und zu den vorhandenen bodenbürtigen Wurzelpathogenen bei Apfel und Spargel wurden mittels DNA Multiscan (externes Labor) erfasst (siehe Arbeitspaket 2). Basierend auf den Nährstoff-Analysen erfolgte die Empfehlung für erforderliche flächenspezifische Düngung für die nachfolgenden

Feldversuchsaufbauten bei Apfel und Spargel. Im Weiteren erfolgte eine 3D-Bodenkartierung bezüglich der Bodenarten und Wassergehalte in 0-150 cm Tiefe mit dem Geophilus-Messsystem für die Flächen Schulz und Dohrmann.

Arbeitspaket 2 - Gefäßversuche

In 2017 wurden im IGZ die Apfel-Gefäßversuche mit Boden aus den Versuchsflächen der jeweiligen Apfelbetriebe unter Verwendung zweier unterschiedlicher Apfelunterlagen durchgeführt. Die Bodenmüdigkeit wurde quantifiziert und vorhandene typische Pilzpathogene mittels DNA Multiscan erneut identifiziert sowie die Effektivität der jeweiligen Bodenbehandlungsvarianten evaluiert. Behandlungen, die verglichen mit unbehandelten Kontrollen ein höheres Potential für erhöhtes Apfel-Pflanzenwachstum zeigten, wurden zusätzlich in den Feldversuchsstandorten untersucht. Für Spargel wurden die Gefäßversuche zur Ermittlung der vorhandenen Bodenmüdigkeit und bodenbürtigen Wurzelpathogenen im Jahr 2018 abgeschlossen.

Arbeitspaket 3 – Vorbereitung, Etablierung, Pflege der Anlagen

In 2017 wurden an den Apfel-Versuchsstandorten die geplanten sowie weitere ausgewählte Varianten im Feldversuchsmaßstab vorbereitet und angelegt. Zur Erfassung der Bodenheterogenität erfolgte vor der Versuchsanlage die kleinräumige Charakterisierung mit dem Geophilus-Messsystem. Die Flächendüngung bei den Apfel-Versuchsflächen Dohrmann und Schulz erfolgte gemäß dem spezifisch ermittelten Bedarf in Form einer Zusatzdüngung vor Versuchsbeginn, um das Jungpflanzenwachstum im frühen Stadium auf allen Flächen optimal zu unterstützen. Die weitere Zusatzdüngung erfolgte per Fertigation im Versuchsverlauf anhand von Berechnungen eines Brandenburger Anbauberaters. In den Apfelbetrieben wurde auf den Versuchsflächen im Herbst 2017 eine Tiefenlockerung durchgeführt, die Pflanzgerüste aufgestellt und die Apfelbäume in der geforderten Unterlagen-Sorten-Kombination entsprechend dem abgestimmten Versuchsplan gepflanzt. Es handelte sich bei allen Anlagen um Exaktversuche mit vier Wiederholungen.

Die Pflege der Apfelanlagen in den Betrieben erfolgte von 2018 bis 2022 in Absprache mit dem Brandenburger Anbauberater für den Obstbau. Dies betrifft sowohl die Analytik von Makronährstoffen, die Düngung und den Einsatz von Mitteln zur Pflanzengesundheit.

In den zwei Spargelbetrieben wurden in 2018 die Felder mit den entsprechenden Additiven behandelt. Vorbereitungen und Pflege der Spargeldämme im Versuchsbetrieb und im Betrieb erfolgten in jedem Jahr von 2018 bis 2022. Die Pflege der Anlagen erfolgte hier in Absprache mit dem Brandenburger Spargelberater. Das Spektrum der Beratung entspricht dem im Apfelanbau.

Arbeitspaket 4 – Datenerfassung und Dokumentation

Von 2018 bis 2022 wurden in den Apfelanlagen der Pflanzenzuwachs (Stammdurchmesser (alle Jahre) und Triebhöhenzuwachs 2019) sowie Blüten- und Fruchtstände, Fruchtanzahl je Baum und Fruchtgewicht (2019 - 2022) erfasst.

In den Spargel-Anlagen wurden in dem Pflanzjahr (2018) die Anzahl der Triebe, die Höhe des längsten Triebes und der Durchmesser der ersten Triebe erfasst. 2019 erfolgte die Zählung der Triebe. In den

Jahren 2019 - 2021 wurden Proben von Speicherwurzeln zur Bestimmung des Reservekohlenhydrate-Status entnommen, um die Vitalität der Pflanzen für die Ernte im Folgejahr zu bestimmen. Von 2020 – 2022 wurde der Spargel geerntet und sowohl Gesamt- und Marktertrag erfasst. Zusätzlich erfolgte die Einteilung in verschiedene Durchmesser-Klassen. Entsprechend der Sicherung einer optimalen Spargelkultur und dem Aufbau ertragsfähiger Spargelanlagen wurde in Analogie zur Praxis die Ernteperiode von 2020 an jeweils jährlich um ein bis zwei Wochen verlängert.

Arbeitspaket 5 – Datenauswertung und Publikation

Von 2018 bis 2022 wurden die Daten ausgewertet und publiziert bzw. in Seminaren etc. vorgestellt.

Von 2018 bis 2022 wurden die Ergebnisse auch regelmäßig auf die NewSoil21 Homepage (<http://newsoil21.igzev.de/>) gestellt. Die Ergebnisse zu Apfel und Spargel wurden u.a. in Hortigate: Versuche im deutschen Gartenbau (Gemüsebau und Obstbau) und VDLUFA Schriftenreihe (2021) publiziert. Zudem wurde das Projekt NewSoil21 auf nationalen und internationalen Tagungen präsentiert und die Ergebnisse in „Book of abstracts“ der jeweiligen Tagung publiziert.

Die Veröffentlichungen sind vollständig unter 8.3 (Anlage) erfasst.

5 Projektergebnisse

5.1 Ergebnisse

Ergebnisse aus den Gefäßversuchen

Nach Abschluss aller Apfel-Gefäßversuche zeigt sich eine Übereinstimmung der Ergebnisse über die Stärke der Bodenmüdigkeit durch den langjährigen Apfelanbau in den Betrieben mit den Berichten über Bodenmüdigkeit in der Fachliteratur. Mit den Gefäßversuchen wurden unterschiedliche Grade von Bodenmüdigkeit in den drei Betrieben Dohrmann, Hauke und Schulz ermittelt. Ausgeschlossen wurde ein signifikanter Einfluss durch zu hohe Dichten pathogener Nematoden oder etwaige Unterschiede im Nährstoffzustand der Betriebsböden. Dies konnte mittels Zählung der Nematodendichte (LELF, Abteilung Pflanzenschutz; Frankfurt/Oder) sowie durch 50°C-Behandlung und Zusatzdüngung im Gefäßversuch bestätigt werden. Per DNA Multiscan wurden typische Vertreter bodenbürtiger, pilzlicher Pathogene in teilweise hoher Dichte detektiert. Die Ergebnisse deuten auf eine spezifische Gruppe pilzlicher Wurzelpathogene und Oomyceten hin, die mit der in den Betriebsböden ermittelten Bodenmüdigkeit einhergehen könnten.

In den Gefäßversuchen mit Apfel (Abb. 2A) wurden Bittenfelder (Sämling) und die Malus-Unterlage M26 verwendet. Am stärksten ausgeprägt war die Wuchshemmung bei den Böden der Betriebe mit niedrigeren Bodenwertzahlen. So wurden in den ersten acht Wochen im unbehandelten Boden zweier Betriebe nur etwa halb so hohe Pflanzentrockenmassen gebildet, verglichen mit denen im gedämpften Äquivalent (Abb.1). Damit war von einer Nachbauschädigung auszugehen, aber in der kurzen zur Verfügung stehenden Entwicklungszeit in den Gefäßversuchen konnte kein signifikanter Einfluss verschiedener Additive nachgewiesen werden. Lediglich der im Gefäßversuch untersuchte 'Mikrobiell

Carbonisierte (MC) Kompost' erzeugte im Vergleich mit der unbehandelten Variante die höchste Wachstumsförderung (wenn auch nicht signifikant) gegenüber anderen getesteten Additiven.

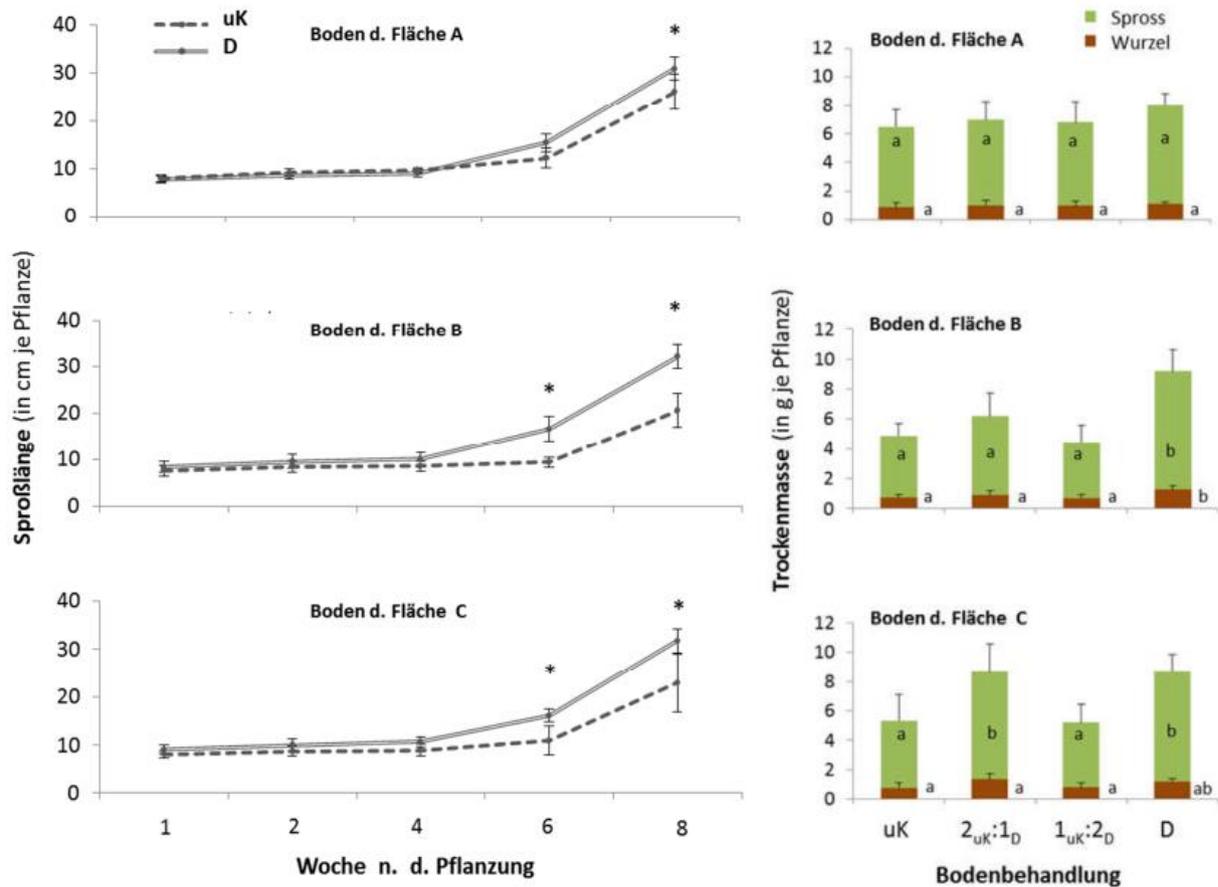


Abb. 1: Pflanzensprosslänge (cm) im Kulturverlauf, dargestellt für die Böden der Fläche A (Dohrmann), B (Schulz) und C (Hauke), sowie Spross- und Wurzeltrockenmassen nach acht Wochen Kulturdauer. Balken zeigen Mittelwert + Standardabweichung in den Bodenbehandlungen unbehandelt (uK), gedämpft (D) sowie der Mischungen aus beiden (2uK:1D bzw. 1uK:2D). Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind statistisch nicht signifikant verschieden (Tukey-Test, $P \leq 0,05$).

In Spargelgefäßversuchen (Abb. 2B) mit Böden vom Versuchsbetrieb IGZ Großbeeren und dem Beelitzer Spargelbetrieb wurde geprüft, ob der Boden ebenfalls nachbaubelastet ist. Dies konnte bestätigt werden. Die im gedämpften Boden der beiden Versuchsfelder kultivierten Spargeljungpflanzen bildeten deutlich höhere Wurzel- und Gesamtpflanzenbiomassen. Die Wurzeltrockenmassen waren bis zu 25% höher verglichen mit den Pflanzen aus dem unbehandelten Boden. In einem Biofumigation-Gefäßversuch konnte eine deutliche Erhöhung der Spargelbiomasse im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle festgestellt werden.



Abb. 2: Aufstellung der Gefäßversuche zu Apfel (A) und Spargel (B) im Gewächshaus in Großbeeren

Ergebnisse - Apfelanlagen - Hauptversuche

Der Hauptversuch wurde in drei Apfelbetrieben Dohrmann (Abb. 3), Schulz, Hauke/Biobetrieb - alle nachweislich mit SARD belastete Böden - angelegt. Es wurden randomisierte Streifenanlagen mit 4 Wiederholungen je Faktorkombination: Bodenbehandlung*Sorten-Unterlagen-Kombination mit M9 und G11 als Unterlage sowie Gala und GalaRed (nur Dohrmann) als Sorte aufgebaut. In einem Teil der Apfelanlagen wurden folgende Varianten angelegt: (1) Kontrolle; (2) Champost: abgeerntetes und homogenisiertes Substrat nach der Champignonproduktion, 66 t/ha; (3) MC Kompost: Mikrobiell Carbonisierter Kompost, 70 t/ha und (4) Müncheberger Damm (M-Damm): Zwanzig Prozent abgelagerter Nadelholzspäne wurden in den Boden eingearbeitet, 80 % wurden nach der Pflanzung in die Baumreihe als Damm aufgeschüttet. Ein Nachlegen der halben Menge Späne (ca. 40 l/m²) erfolgte im Jahr 2020.



Abb. 3: Impressionen von der Apfelversuchsanlage im Betrieb Dohrmann, beginnend mit dem Aufschütten des M-Damms über die Messung der baumtypischen Merkmale, reife Äpfel der Sorte GalaRed

Eine Ausnahme stellte der Biobetrieb Hauke dar. Hier konnte weder der M-Damm noch MC Kompost vollständig Bio-zertifizierbar hergestellt bzw. verwendet werden. Diese Varianten wurden durch den Bio-zertifizierten „Dauerhumus Rösl“ (Leonardit-Mischung mit Grünschnittkompost) und ‚Perlhumus‘ (standardisiertes und zertifiziertes Leonardit-Pellet) ersetzt. Die geplante Sorten-Unterlagen-

Kombination Gala auf M9 war nicht Bio-zertifiziert verfügbar, daher wurde die Kombination Topaz auf M9 etabliert.

Im Folgenden werden die Ergebnisse für die Betriebe Dohrmann und Schulz über die Jahre 2019 bis 2022 dargestellt:

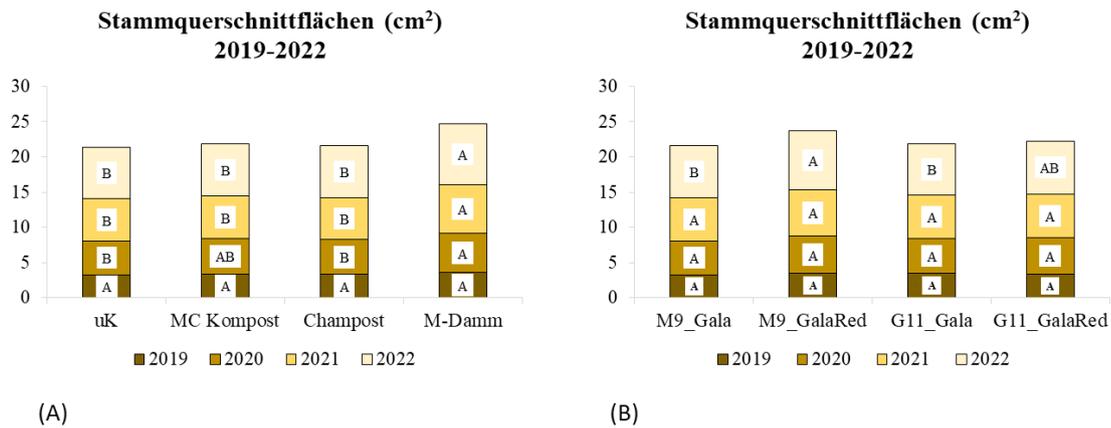


Abb. 4 Standort Dohrmann: Wirkung von (A) unbehandelter Kontrolle, Champost, MC Kompost und M-Damm und (B) Unterlagen-Sorten-Kombinationen auf Stammquerschnittflächen (cm²) von Apfelbäumen gemessen von 2019 – 2022. Unterschiedliche Buchstaben stellen signifikante Unterschiede innerhalb des jeweiligen Jahres dar; uK = unbehandelte Kontrolle

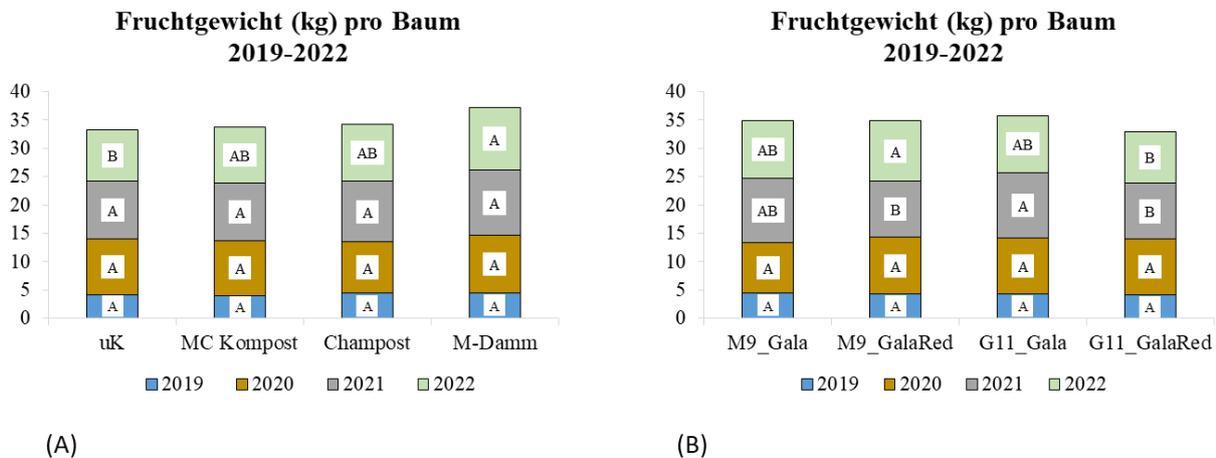
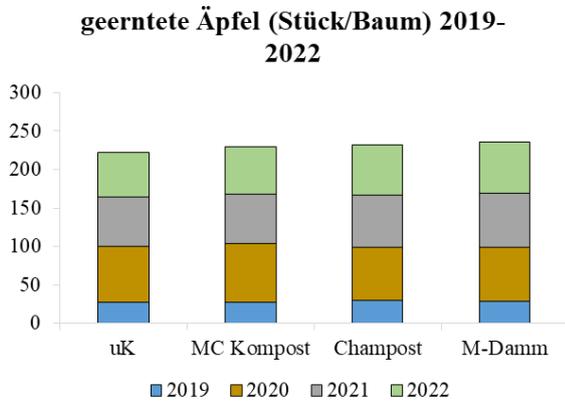
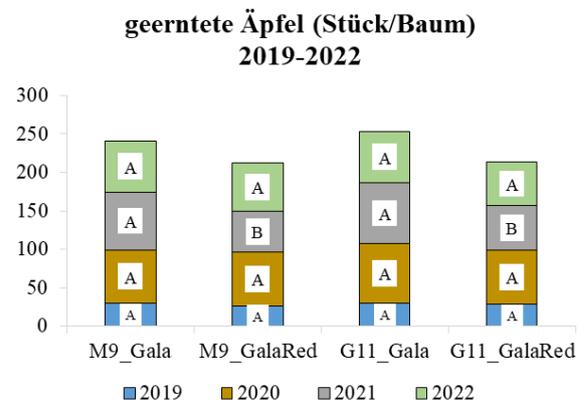


Abb. 5. Standort Dohrmann: Wirkung von (A) unbehandelter Kontrolle, Champost, MC Kompost und M-Damm und (B) Unterlagen-Sorten-Kombinationen auf Fruchtgewicht (kg) pro Baum gemessen von 2019 – 2022. Unterschiedliche Buchstaben stellen signifikante Unterschiede innerhalb des jeweiligen Jahres dar; uK = unbehandelte Kontrolle

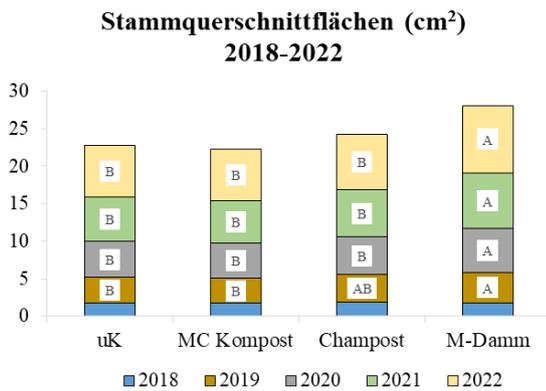


(A)

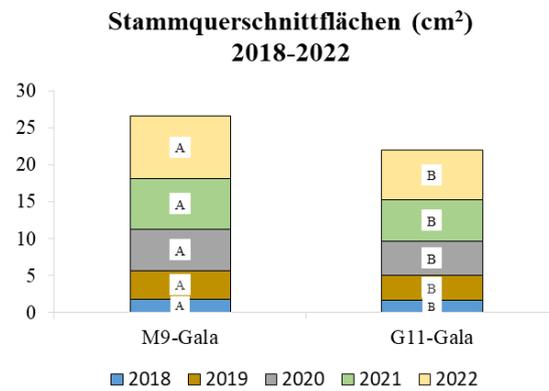


(B)

Abb. 6. Standort Dohrmann: Wirkung von (A) unbehandelter Kontrolle, Champost, MC Kompost und M-Damm und (B) Unterlagen-Sorten-Kombinationen auf geerntete Äpfel pro Baum gemessen von 2019 – 2022. Unterschiedliche Buchstaben stellen signifikante Unterschiede innerhalb des jeweiligen Jahres dar. Keine Buchstaben in Balken bedeuten keine Signifikanz unter den Variante; uK = unbehandelte Kontrolle

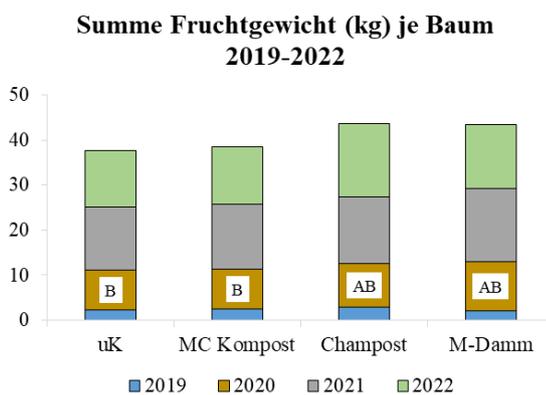


(A)

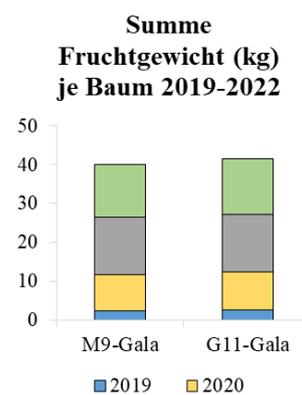


(B)

Abb. 7 Standort Schulz: Wirkung von (A) unbehandelter Kontrolle, Champost, MC Kompost und M-Damm und (B) Unterlagen-Sorten-Kombinationen auf Stammquerschnittflächen (cm²) von Apfelbäumen gemessen von 2019 – 2022. Unterschiedliche Buchstaben stellen signifikante Unterschiede innerhalb des jeweiligen Jahres dar; uK = unbehandelte Kontrolle



(A)



(B)

Abb. 8. Standort Schulz: Wirkung von (A) unbehandelter Kontrolle, Champost, MC Kompost und M-Damm und (B) Unterlagen-Sorten-Kombinationen auf Fruchtgewicht (kg) pro Baum gemessen von 2019 – 2022. Unterschiedliche Buchstaben stellen signifikante Unterschiede innerhalb des jeweiligen Jahres dar. Keine Buchstaben in Balken bedeuten keine Signifikanz unter den Varianten; uK = unbehandelte Kontrolle

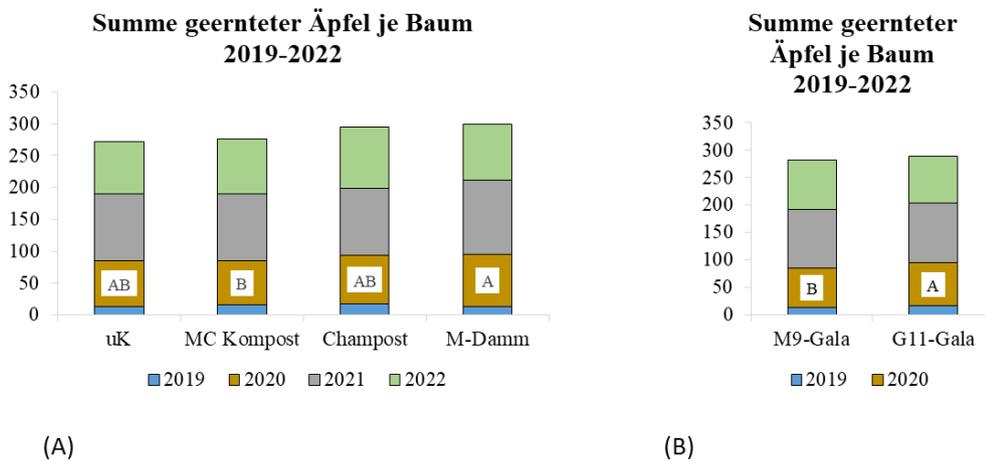


Abb. 9. Standort Schulz: Wirkung von **(A)** unbehandelter Kontrolle, Champost, MC Kompost und M-Damm und **(B)** Unterlagen-Sorten-Kombinationen auf geerntete Äpfel pro Baum gemessen von 2019 – 2022. Unterschiedliche Buchstaben stellen signifikante Unterschiede innerhalb des jeweiligen Jahres dar. Keine Buchstaben in Balken bedeuten keine Signifikanz unter den Varianten; uK = unbehandelte Kontrolle

Kernaussagen - Apfelanlagen:

Die von 2018 bis 2022 Jahren erlangten Ergebnisse aus den Hauptversuchen bei Dohrmann und Schulz lassen darauf schließen, dass der Müncheberger Damm den größten positiven Einfluss auf die Stammentwicklung von Apfelbäumen hatte (Abb. 4A und 7A). Auch der Triebgrößenzuwachs in der Vegetationsperiode 2018 war in beiden Betrieben durch den Müncheberger Damm stärker ausgeprägt als in den anderen Varianten.

Der Einfluss von Müncheberger Damm auf das Fruchtgewicht war nur im Betrieb Dohrmann im Jahr 2022 signifikant höher als die Kontrolle (Abb. 5A). In allen anderen Jahren konnte nur eine leichte Tendenz erkannt werden. Im Betrieb Schulz war kaum ein Unterschied zwischen Müncheberger Damm und Champost bezüglich Fruchtgewicht und Erntemenge zu erkennen (Abb. 8A, 9A).

Die Unterlagen-Sorten-Kombinationen reagierten unterschiedlich stark. M9-Gala schnitt hinsichtlich der Stammquerschnittfläche im Betrieb Schulz über alle Jahre besser ab. Im Betrieb Dohrmann wies die Sorte GalaRed, vor allem auf der Unterlage M9 im Jahr 2022 ein signifikant stärkeres Stammwachstum als der Sortentyp Gala. Die Unterlage G11 zeigte im Betrieb Dohrmann ein signifikant stärkeres Triebgrößenzuwachstum, im Betrieb Schulz konnte man eine ähnliche Tendenz erkennen. Bei Dohrmann erbrachte die Unterlagen-Sorten-Kombination G11-Gala die höheren Erträge und Fruchtgewichte (Abb. 5B; 6B). Im Betrieb Schulz bestätigte sich dies nur im Jahr 2020 (Abb. 8B; 9B).

Die Versuchsanlage in dem ökologisch wirtschaftenden Betrieb (Hauke) ist nicht direkt vergleichbar mit den beiden anderen Betrieben. Bei Champost konnte kein positiver Effekt im Vergleich zur Kontrolle nachgewiesen werden. Aber der Einsatz von Leonardit führte tendenziell zu höheren Erträgen (Abb. 10).

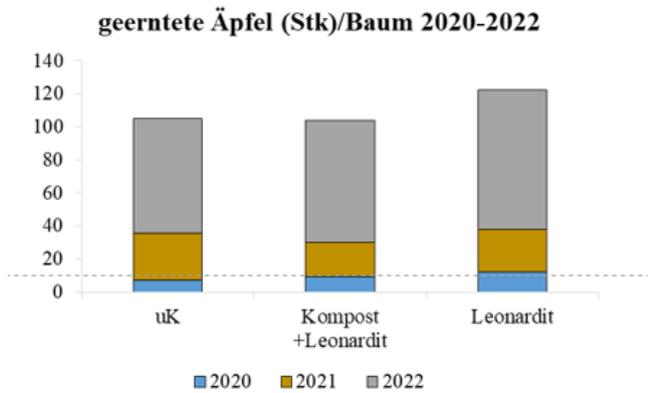


Abb. 10. Standort Hauke: Wirkung von unbehandelter Kontrolle, Kompost +Leonardit und Leonardit auf geerntete Äpfel pro Baum, gemessen von 2020 – 2022.

Ein ähnliches Ergebnis liefert der zusätzliche Versuch bei Dohrmann, wo die Variante Leonardit im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle tendenziell ebenfalls zu höheren Erträgen führte (Abb. 11).

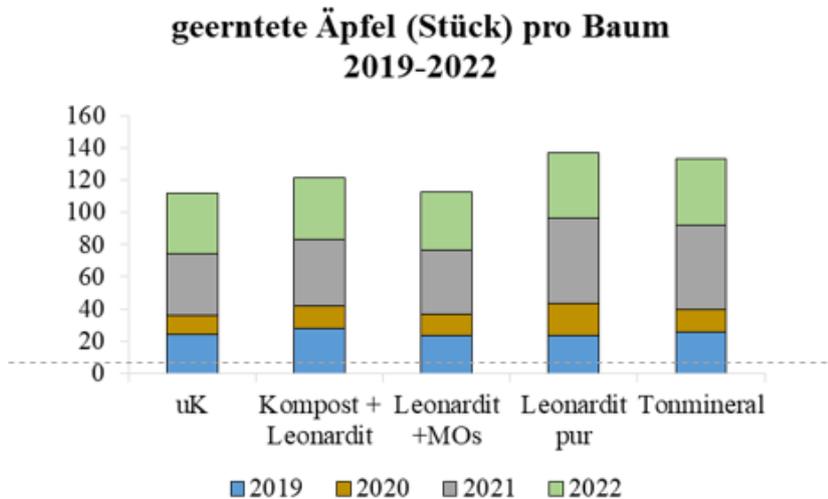


Abb. 11. Standort Dohrmann: Wirkung von unbehandelter Kontrolle, Kompost +Leonardit, Leonardit + MOs, Leonardit pur und Tonmineral auf geerntete Äpfel pro Baum, gemessen von 2019 – 2022.

Ökonomische Bewertung der unterschiedlichen Varianten

Der Vergleich der Ausgaben für die Vorbereitung (Müncheberger Damm zweimaliges Nachlegen der Späne) der Methoden sind in Tabelle 3.1 dargestellt. In dieser Tabelle sind ebenfalls die Additive des Nebenversuches aufgelistet. Die Additive hatten unterschiedliche Gesamtkosten produziert. In Tabelle 3.2 wurden die Mehrerträge der Betriebe Schulz und Dohrmann über die Versuchslaufzeit summiert und den entstandenen Mehrkosten gegenübergestellt. Die entstehenden Kosten für den zusätzlichen Ertrag im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle schwanken zwischen den Betrieben stark. Im Betrieb Schulz lässt sich der Ertrag in Kilogramm durch das Einbringen von Champost, MC Kompost oder das Erstellen des Müncheberger Dammes stärker erhöhen als im Betrieb Dohrmann. So muss man für jedes zusätzliche Kilogramm bezogen auf das eingesetzte Geld weniger investieren.

Tabelle 3.1 Vergleich der Aufwandmengen und Ausgaben für die Vorbereitung/Erhaltung der Methoden (Preise 2017 bei Versuchsbeginn)

Additiv	Aufwandmengen		Preis	
	l/m ²	t/ha	€/t	€/ha
Champost	10	66	8	176
MC Kompost	10	70	14	335
Müncheberger Damm	80	150	56	8.400
Kompost + Leonardit (Rösl DH)	10	78	38	988
Leonardit	3	19	170	1.088
Perlhumus	2	15	660	2.500
Fimonit	2	20	170	1.088
Grünschnittkompost Betrieb	12	82	26	660

Tabelle 3.2 Vergleich der Ausgaben für die Vorbereitung der Methoden und zusätzlicher Mehrertrag von 2019 bis 2022 gegenüber der unbehandelten Kontrolle (Preise 2017 bei Versuchsbeginn).

Additiv	Ausgebrachte Menge (t)	Kosten (€/t)	Kosten (€/ha)	Mehrertrag 2019-2022 (kg/ha)		Ausgaben (ct./kg) je zusätzl. Kilogramm	
				Dohrmann	Schulz	Dohrmann	Schulz
Champost	66	8	176	316	12.802	56	1,4
MC Kompost	70	14	335	-*	6.925	-*	4,8
Müncheberger Damm	150	56	8.400	7.653	21.757	110	39

ct. = Cent; * = kein Mehrertrag

Ergebnisse - Spargel

Auf den beiden Versuchsstandorten Großbeeren (Abb. 12) und Beelitz wurde 2018 ein zweifaktorieller Versuch mit den Faktoren Bodenadditive und Sorten, sowie vier Wiederholungen aufgepflanzt. Neben einer unbehandelten Kontrolle wurde Champost mit 30 t TS (Trockensubstanz)/ha, ein Tonmineral (Fimonit) mit 5 t TS/ha und 10 g/Pflanze des Präparates Micosat-F UNO (Arbuskuläre Mykorrhiza in einer Mischung mit nützlichen Bakterien und Saprophyten) zugegeben. Als fünfte Bodenbehandlungsvariante erfolgte eine Biofumigation mit Senfmehl von Sareptasenf (*Brassica juncea*) mit 5 t TS Senfmehl/ha. Die im Versuch gepflanzten Spargelsorten waren ‚Gijnlim‘, ‚Ravel‘ und ‚Ramires‘.



Abb. 12: Impressionen von der Spargelanlage, beginnend mit der Folienauflege für die Biofumigation, der Pflanzung, dem späteren Austrieb und einem Erntedamm

Die Ergebnisse für den Versuchsstandort Großbeeren und die Additive sind in Abb. 13 aufsummiert für alle drei Jahre (2020 - 2022) dargestellt. Sowohl bei Champost als auch bei der Biofumigation wurde ein deutlich höherer Marktertrag (alle Stangen größer 12 mm ohne Qualitätsmängel) erzielt als bei der Kontrolle. Für die Varianten Tonminerale und Micosat konnten keine Unterschiede zur Kontrolle, aber auch nicht zu den Varianten Champost und Biofumigation nachgewiesen werden. Im Beelitzer Betrieb wurde ebenfalls eine positive Tendenz zu Champost, aber nicht zu der Variante Biofumigation festgestellt. Auf dem extrem sandigen Boden in dem Betrieb in Beelitz zeigte aber auch das Tonmineral eine leichte Tendenz zur Ertragssteigerung (Abb. 14).

Der Effekt der Biofumigation im Vergleich zur Kontrolle nahm über die drei Jahre ab (Abb. 15). Dies gilt auch für die Varianten Fimonit und Micosat. Bei Champost dagegen blieb der Effekt konstant.

Bei den Sorten fiel 'Ramires' im Marktertrag etwas ab. Dies kann daran liegen, dass in den ersten beiden Jahren 2020 (23 Tage) und 2021 (33 Tage) der Erntezeitraum in Großbeeren sehr kurz war. Im Jahr 2022 konnten keine Unterschiede im Ertrag innerhalb der Sorten nachgewiesen werden.

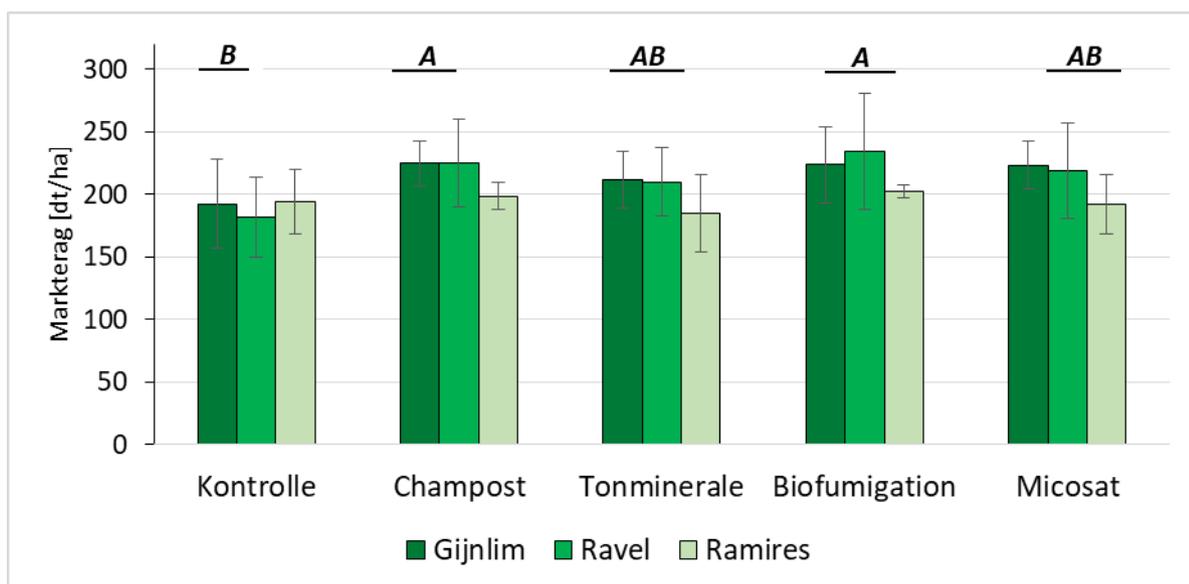


Abb. 13. Marktertrag von Spargelsorten ‚Gijnlim‘, ‚Ravel‘ und ‚Ramires‘ aufsummiert über die ersten drei Erntejahre am IGZ in Großbeeren für die Varianten Kontrolle, Champost, Tonminerale, Biofumigation und Micosat.

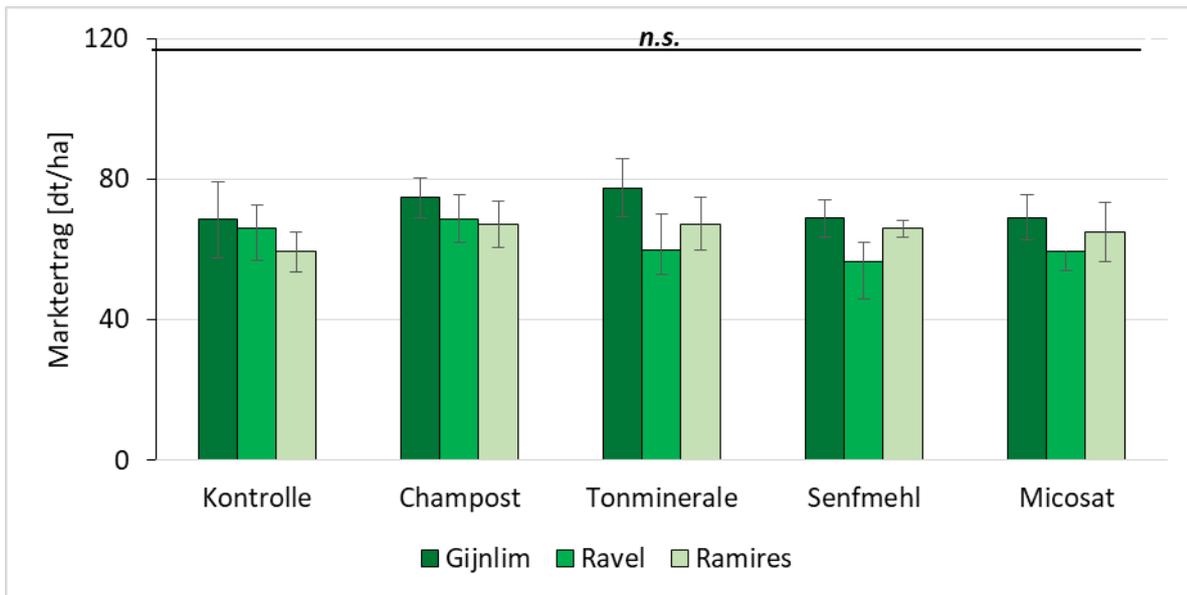


Abb. 14. Marktertrag von Spargelsorten ‚Gijnlim‘, ‚Ravel‘ und ‚Ramires‘ aufsummiert über die Erntejahre 2021 und 2022 in Beelitz für die Varianten: Kontrolle, Champost, Tonminerale, Biofumigation und Micosat.

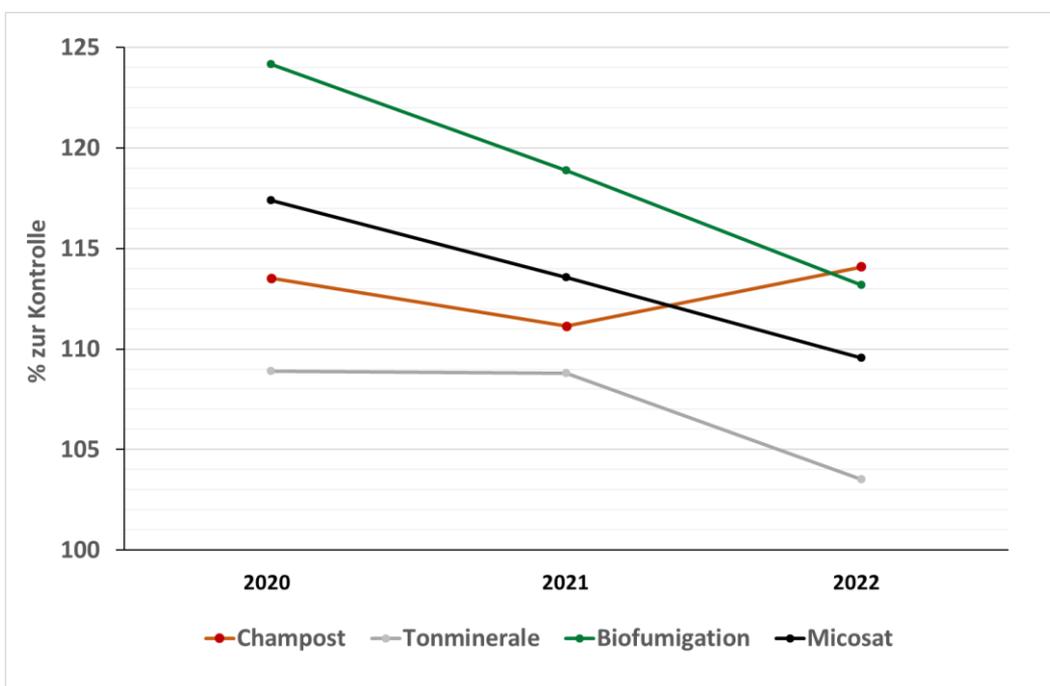


Abb. 15. Prozentuale Veränderung des Marktertrages für die einzelnen Bodenadditive Champost, Tonminerale, Biofumigation und Micosat im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle in den ersten drei Erntejahren in IGZ.

Ökonomische Bewertung der unterschiedlichen Varianten

Zum Projektende war eine ökonomische Bewertung der unterschiedlichen Varianten geplant. Der Vergleich der Ausgaben für die Vorbereitung der Methoden und eingenommene Gewinn durch Spargelernte für IGZ und Beelitz sind in Tabelle 4 dargestellt. Am IGZ wurde über drei Jahre geerntet und in Beelitz zwei Jahre. Wie aus der Tabelle zu entnehmen ist, waren die Ausbringungskosten für Biofumigation am höchsten. In IGZ waren die Ausbringungskosten für Champost und Tonminerale in etwa in gleicher Höhe, aber Differenz zur Kontrolle ist bei Champost mit 114% deutlich höher als bei

Tonminerale. In Beelitz war die Differenz zwischen diesen beiden Bodenverbesserer sehr gering. Micosat war das Additiv mit den niedrigsten Ausbringungskosten, in Beelitz war aber hier die Differenz zur Kontrolle sogar negativ. In IGZ schnitt Micosat von den der ökonomischen Betrachtung her besser ab als Tonminerale.

Tabelle 4. Vergleich der Ausgaben für die Vorbereitung der Methoden und eingenommene Gewinn durch Spargelernte für IGZ (3 Jahre Ertrag) und Beelitz (2 Jahre Ertrag).

IGZ	Ertrag-Summen (dt/ha)		Aus-beute	Erlös	Erlös zur Kontrolle		Anrechenbare Ausbring.-Kosten	Erlös - Aufwand	Differenz zur Kontrolle	
	Markt	Ges.								
Kontrolle	190	240	79%	104.238 €				104.238 €		
Champost	216	272	80%	118.928 €	14.690 €	114%	340 €	118.587 €	14.350 €	114%
Tonminerale	202	255	79%	111.103 €	6.865 €	107%	405 €	110.698 €	6.460 €	106%
Senfmehl	220	281	78%	121.031 €	16.793 €	116%	5.376 €	115.654 €	11.416 €	111%
Micosat	212	270	78%	116.325 €	12.087 €	112%	16 €	116.309 €	12.010 €	112%

Beelitz	Ertrag-Summen (dt/ha)		Aus-beute	Erlös	Erlös zur Kontrolle		Anrechenbare Ausbring.-Kosten	Erlös - Aufwand	Differenz zur Kontrolle	
	Markt	Ges.								
Kontrolle	65	70	93%	35.597 €				35.597 €		
Champost	70	76	93%	38.607 €	3.010 €	108%	227 €	38.380 €	2.783 €	108%
Tonminerale	68	73	94%	37.531 €	1.934 €	105%	270 €	37.261 €	1.664 €	105%
Senfmehl	64	69	93%	35.079 €	-518 €	99%	3.584 €	31.495 €	-4.102 €	88%
Micosat	64	70	92%	35.459 €	-139 €	100%	11 €	35.448 €	-149 €	100%

Apfel - Bodenanalytik

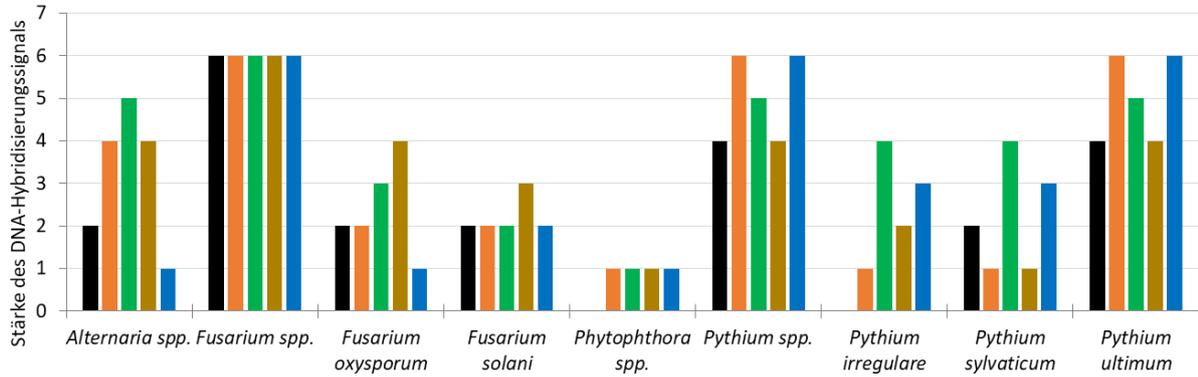
Zu Projektbeginn und -ende wurden Bodenproben zur Nährstoffbestimmung gezogen. Die Auswertung der Bodenproben hinsichtlich der Entwicklung der Nährstoffgehalte für Kalium, Magnesium und Phosphor gestaltet sich aufgrund der unterschiedlichen Herangehensweisen in den Betrieben schwierig. So stiegen die Gehalte an Phosphor durch die unterschiedliche Düngungsstrategie im Betrieb Schulz, in dem die Böden schwach versorgt waren, und sanken in den Böden im Betrieb Dohrmann, welche sehr gut versorgt waren, im Vergleich zu 2018.

Verglichen zu 2018 sind hinsichtlich der Varianten folgende, sich bei mehreren Betrieben überschneidende Tendenzen, zu erkennen:

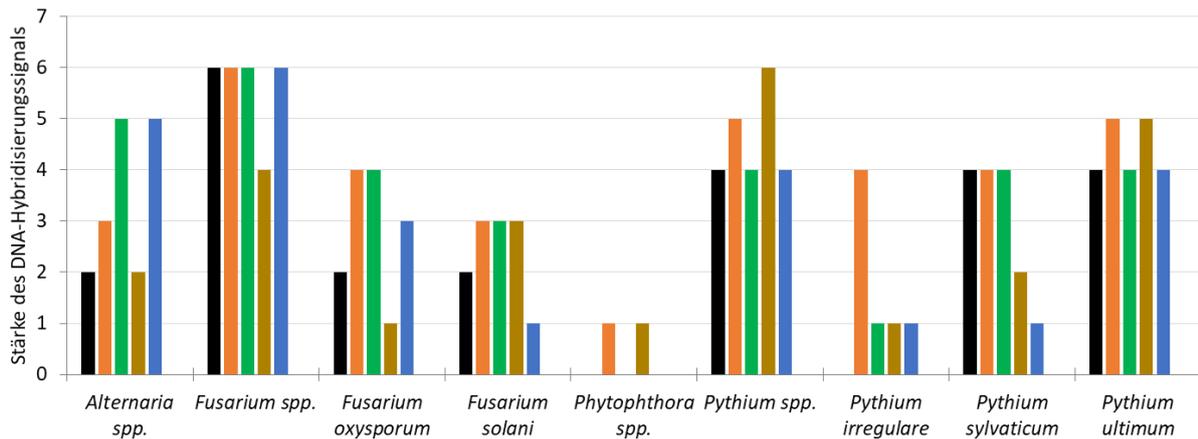
- In der unbehandelten Kontrolle war der Gehalt an Kalium höher.

- Bei der Variante Leonardit (pur und mit EM) waren die Gehalte an Kalium und Magnesium im Boden höher.
- Durch den Einsatz von Champost war der Kalium-Gehalt niedriger.
- Die Variante Müncheberger Damm zeigte an beiden Standorten höhere Kaliumgehalte im Boden.

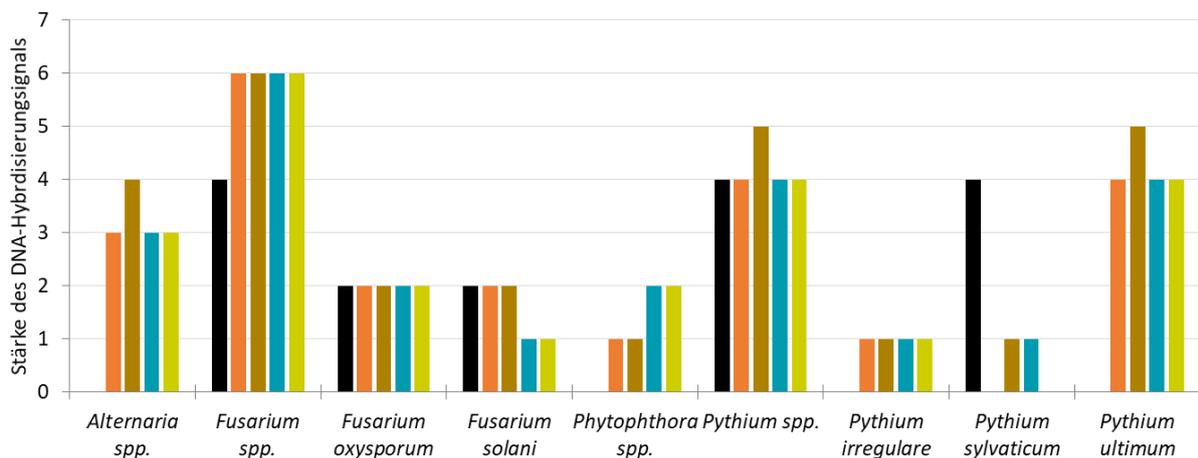
Apfel DNA Multiscan



(A) ■ Boden2017 ■ Kontrolle ■ MC Kompost ■ Champost ■ M-Damm



(B) ■ Boden2017 ■ Kontrolle ■ MC Kompost ■ Champost ■ M-Damm



(C) ■ Boden 2017 ■ Kontrolle ■ Champost ■ Rösl DH ■ Perlhumus

Abb. 16. Ergebnisse des DNA Scans von Bodenproben aus den Apfelanlagen Dohrmann (A), Schulz (B) und Hauke (C) zu Versuchsbeginn (Kontrolle 2018) und Versuchsende (2022).

Ergebnisse DNA Multiscans (Abb. 16 A-C)

Ein DNA Multiscan Verfahren weist das Vorhandensein von pathogenen und ausgewählten nützlichen Mikroorganismen in Bodenproben nach. Er gibt die Menge bzw. Ausmaß der in einer Probe nachgewiesenen Organismen an. Die Stärke des Hybridisierungssignals wird mit einer Rangordnung von 0-6 angegeben. Es wurde zum Projektstart und -ende ein DNA Multiscan zur Detektierung verschiedener Wurzelpathogene in Bodenproben der Anlagen durchgeführt. In Abb. 16 sind die Ergebnisse aus diesen Analysen dargestellt, schwarze Balken von Boden 2017 stehen für die Ergebnisse aus der Untersuchung zu Projektbeginn und alle anderen farbigen Balken in den Abbildungen stehen für die Ergebnisse aus den jeweiligen mit Additiven behandelten Böden der entsprechenden Betriebe. Die Summe aller möglichen *Fusarium* spp. wies bei alle drei Standorten unabhängig von den Varianten ein starkes Signal auf (Abb. 16 A-C). Das DNA-Hybridisierungssignal für *F. oxysporum*, *F. solani* und *Phytophthora* spp. war in allen drei Betrieben schwächer im Vergleich zu den Pythium Arten, v.a. *P. ultimum*, der wie *Phytophthora* spp. Wurzeln von jungen Pflanzen stark befallen und Verkümmern von Pflanzen verursachen kann. Aus den Ergebnissen der DNA Multiscan können schwierig Schlüsse auf die Wirkung der Bodenbehandlungen auf Mikroorganismen-Zusammensetzung im Boden geschlossen werden. Evtl. hat die Variante mit Champost im Standort Schulz eine negative Wirkung auf die Entwicklung von *Alternaria* spp., *Fusarium* spp., *F. oxysporum*, *P. irregulare* und *P. sylvaticum*. Für die zwei zuletzt genannten Pilze gilt das Gleiche auch im Betrieb Dohrmann (Abb. 16 A). Im Boden von Müncheberger Damm war beim Betrieb Dohrmann, das Signal bei *Alternaria* spp., *F. oxysporum* und *F. solani* schwächer. Im Betrieb Hauke war das Hybridisierungssignal für die meisten Mikroorganismen bis auf die Gesamtheit der Pythium-Arten und *P. ultimum* schwach. In allen Böden stieg nach 5 Jahren Apfel-Kultivierung das DNA-Hybridisierungssignal für die Blatterreger-Arten *Alternaria* spp. Diese im Boden saprophytisch überdauernden Krankheitserreger verursachen auf Apfelblättern und -früchten dunkle Flecken.

Apfel - Bodenmessungen, Geophilus

Zur detaillierten On-Field-Messung der Bodenarten und Feuchtegehalte des jeweiligen Versuchsstandortes wurde das Projekt NewSoil21 mit der Arbeitsgruppe ‚Geophilus‘ (J.Rühlmann & S. Meyer; IGZ Großbeeren) vernetzt. Die Messung erfolgte in einem Tiefenbereich von 0 - 150 cm mittels hochaufgelöster Leitfähigkeitsmessung in Kombination mit GPS-Steuerung. Die Daten werden im Rahmen dieser Arbeit als detaillierte 3D-Bodenkarten ausgegeben. Im direkten Vergleich wurde festgestellt, dass diese Bodenkarten sehr viel genauer sind als die bisher zur Verfügung stehenden historischen Bodenschätzungskarten. Die Betriebe, für die mittels der Geophilus-Messung die Versuchsflächen kartiert wurden, profitierten von der erstmals erreichten hohen Auflösung der Kartierung. Der Vorteil besteht darin, dass die Bodenbedingungen und die daraus abzuleitenden Dünge- und Bewässerungsmaßnahmen nahezu für den einzelnen Baum erfasst werden können. So können sehr Nachbau-empfindliche Grenzstandorte für eine Neupflanzung gezielt bepflanzt oder ausgelassen werden. Eine Korrelation zwischen den Ergebnissen der Bodenkarten und dem Triebblängenwachstum konnte detektiert werden. Da im Apfelanbau generell eine Beregnung erfolgt,

ist diese Korrelation jedoch nicht so ausgeprägt, wie bei landwirtschaftliche Arten ohne Berechnung, aber die Unterstützung bei der Auswahl von Flächen wird gewährleistet.

Spargel - Bodenanalytik

Zum Abschluss der Versuche konnte hinsichtlich der Nährstoffgehalte keine Unterschiede zwischen den Behandlungen mit verschiedenen Additiven und der Kontrolle festgestellt werden.

Genauso wie bei Apfelanlagen wurden auch hier zum Projektstart (Boden 2018) und –ende DNA Multiscans der Böden aus IGZ und Beelitz veranlasst. Ausgewählte Ergebnisse sind in Abb. 17 für IGZ (A) und für Beelitz (B) dargestellt. Die Summe aller möglichen *Fusarium* spp. wies bei beiden Standorten unabhängig von den Varianten ein starkes Signal auf. In beiden Standorten war bei Einarbeitung von Champost und den Einsatz von Tonmineral das Signal im Vergleich zur Kontrolle bei *F. oxysporum*, *F. solani* und *P. ultimum* deutlich schwächer. In 2018 gab es im Boden aus IGZ kein Signal für *F. oxysporum*.

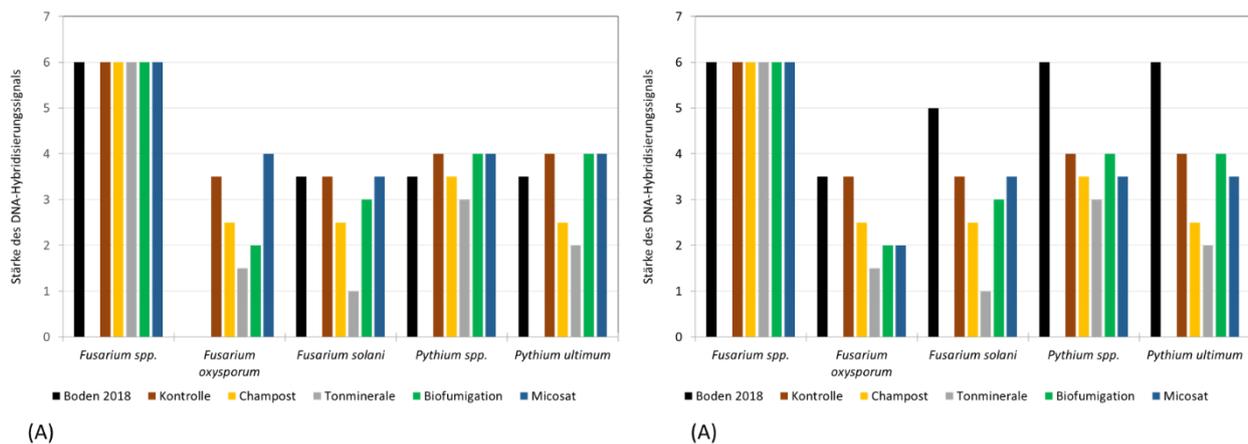


Abb. 17. Ergebnisse des DNA Scans von Bodenproben aus dem Standort IGZ (A) und Beelitz (B) zu Versuchsbeginn (Kontrolle 2018) und Versuchsende (2022).

Im Rahmen eines Masterarbeit-Gefäßversuches wurde Spargelboden des Betriebes mit lebendem bzw. abgetötetem *F. oxysporum* und mit unterschiedlichen Mengen Senfmehl-Biofumigation behandelt. Resultierend führte die Biofumigation mit einer Aufwandmenge von 3,5 - 4,2 t/ha zu um 71% höheren Pflanzentrockenmassen und zu einer deutlich reduzierten Fusarium-Dichte im Boden gegenüber der unbehandelten Kontrolle. Eine weitere Steigerung der Senfmehlgabe brachte keine weiteren Vorteile bezüglich des Pflanzenwachstums. In allen Gefäßversuchen wurde durch mineralische Düngung sichergestellt, dass die Stickstoffversorgung in allen Behandlungen vergleichbar ist.

Ergänzende Untersuchungen

Spargel Gefäßversuche

In Spargel-Gefäßversuchen wurde die Wirkung von verschiedenen Additiven auf das Pflanzenwachstum getestet. Die Einarbeitung vom Tonmineral ‚Fimonit‘ (5 t/ha) in mit Böden aus der Beelitzer Spargelfläche gefüllte Töpfe hatte keinen positiven Einfluss auf das Pflanzenwachstum.

In einem separaten Gefäß-Versuch wurde der Einsatz von Champost (10 g/l), ‚Mikrobiell Carbonisierter‘ Kompost (10 g/l), Promot Plus (Gemisch aus *Trichoderma harzianum* und *T. konnigii*; 100 mg/l) und RhizoVital 42 TB (*Bacillus amyloliquefaciens*; 200 mg/l) in Böden aus Beelitz für eine Kulturdauer von ca. 10 Wochen an der Spargelsorte ‚Gijnlim‘ getestet. Die Additive hatten keinen Effekt auf das Pflanzenwachstum verglichen zur unbehandelten Kontrolle.

Auch der Einsatz von Holzkohle (aus Pyrolyse; 3 g/l) erbrachte nicht den erhofften Effekt der Wuchssteigerung von Spargel im Gefäßversuch.

In weiteren Gefäßversuchen wurde, wie geplant im Boden der IGZ-Versuchsfläche der Einfluss der gezielten Gabe von Mikroorganismen auf das Pflanzenwachstum und die Pathogendichte in den Wurzeln untersucht. Das Dämpfen (100°C, > 1h) des Bodens allein führte gegenüber der unbehandelten Kontrolle zu einer um ca. 30% erhöhten Pflanzentrockenmasse, eine gleichzeitige Inokulation mit Mikroorganismen aus MC Kompost (10 g/L) erhöhte die Biomasse gleichermaßen, die gleichzeitige Gabe von MC Kompost (10g/L) hatte jedoch keinen Effekt. Bei ausreichender Stickstoffversorgung des Bodens hatte die vorherige Biofumigation des unbehandelten Bodens mit Senfmehl gegenüber der unbehandelten Kontrolle keinen Effekt auf das Pflanzenwachstum.

Eine reduzierte Intensität des DNA-Signals von *Fusarium* spp. und *F. oxysporum* wurde in den mit Mikroorganismen inokulierten Varianten in Kombination mit unbehandeltem Boden und mit der Senfmehl-Biofumigation beobachtet, nicht jedoch im gedämpften Boden.

Unterschiede zwischen den Sorten

Sowohl bei Apfel, als auch bei Spargel wurde eine Wechselwirkung zwischen Sorten-Unterlagen-Kombination, bzw. Sorte und der Behandlung mit Additiven im Nachbauboden erwünscht und erwartet. Dies hätte bedeutet, dass spezielle Sorten-Unterlagen-Kombinationen oder Sorten (Spargel) speziell für den Nachbau geeignet wären. Diese Wechselwirkung konnte nicht festgestellt werden. Es gab bei Apfel die Unterlage G11, die unabhängig von der Behandlung bei einer Vielzahl von Prüfmerkmalen immer wieder signifikant besser abschnitt. Bei Spargel betraf dies in den ersten Jahren die Sorte Gijnlim.

Apfelanlagen

Im Ökobetrieb Hauke war im Hauptversuch die Streuung der Daten erhöht; es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlungen festgestellt werden (Abb. 18). Zusätzlich gab es einige Ausfälle bei den Bäumen, die bonitiert wurden. Im 3. Standjahr 2020 zeigte Champost eine signifikant höhere Anzahl an Blüten im Vergleich zur Kontrolle. Allerdings ließen sich für die Ernte 2020

und 2021 keine weiteren Unterschiede zwischen Behandlungen und Kontrolle erkennen. Die erstmalig 2022 aufgetretenen Unterschiede zwischen den Varianten im Zuwachs des Stammquerschnittes lassen sich nicht mit den Vorjahren bestätigen.

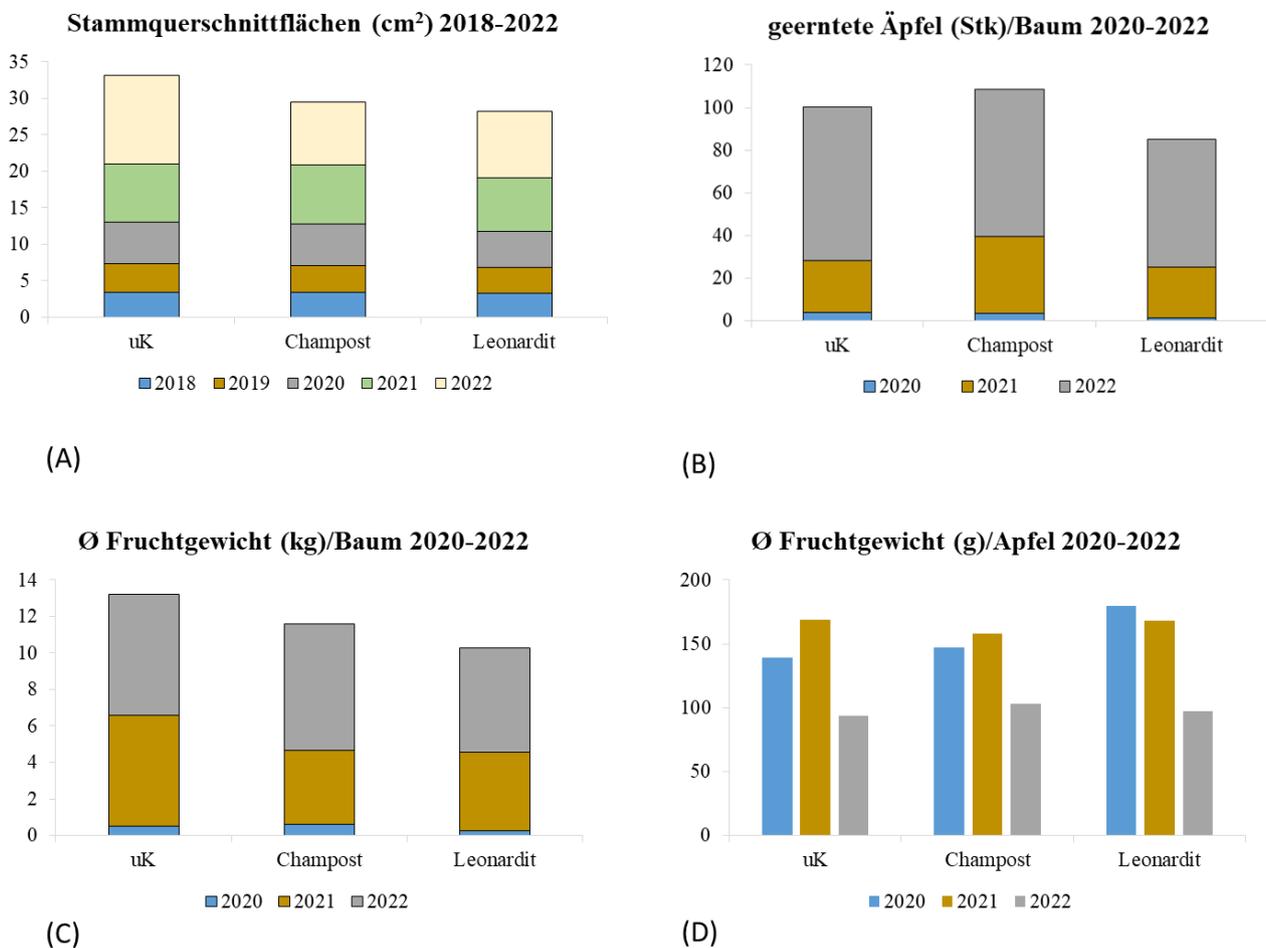


Abb. 18. Standort Hauke. Wirkung von unbehandelter Kontrolle (uK), Champost und Leonardit auf **(A)** Stammquerschnittfläche, **(B)** geerntete Äpfel (Stück per Baum), **(C)** Fruchtgewicht (kg) pro Baum und **(D)** durchschnittliches Fruchtgewicht (g) pro Apfel. Keine Buchstaben in Balken bedeuten keine Signifikanz unter den Varianten. (Leonardit = Perlhumus).

Die durch den Austausch zwischen operationellen Gruppen ermöglichte Erfassung von Baumhöhe und Kronenvolumen (LiDAR, ATB Potsdam) wurde in 2020 durchgeführt. Durch qualitative Mängel, der noch in der Entwicklung stehenden Vorgehensweise wurde die Auswertung dieser Arbeit nicht weiterverfolgt.

Neben den Hauptversuchen (siehe Kernergebnisse) wurden in den Apfelanlagen Dohrmann, Schulz und Hauke Nebenversuche mit den Additiven Kompost + Leonardit; Leonardit + Mikroorganismen (MOs); Leonardit pur und Tonmineral durchgeführt. Im Nebenversuch bei Dohrmann konnte in keinem der Jahre ein signifikanter Effekt der Additive auf das Wachstum oder den Fruchtertrag festgestellt werden (Abb. 19). Nur das durchschnittliche Fruchtgewicht wies bei den Behandlungen „Kompost + Leonardit“, sowie „Leonardit pur“ positive Tendenzen auf (Abb. 19C). Auch bei dem Betrieb Schulz

zeigte sich in keinem der Standjahre ein statistisch signifikanter Einfluss der verschiedenen Behandlungen auf das Wachstum oder den Ertrag (Abb. 20).

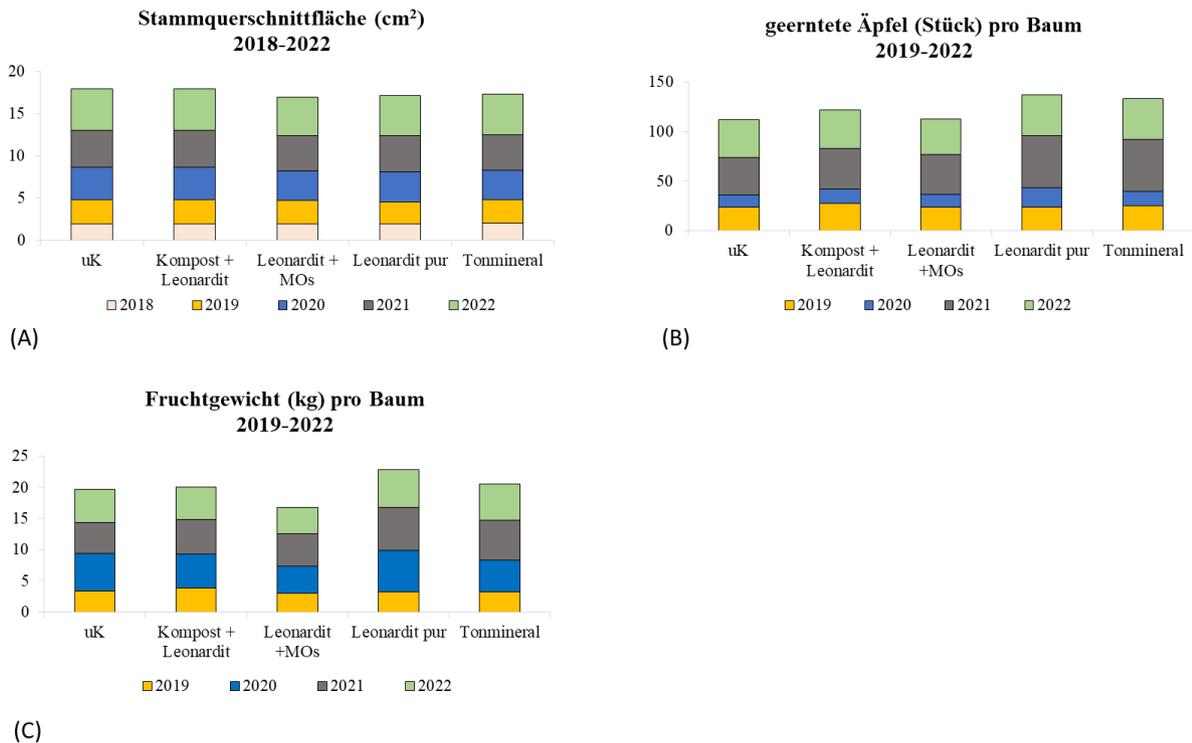


Abb. 19. Standort Dohrmann, Nebenversuch. Wirkung von unbehandelter Kontrolle (uK), Kompost + Leonardit; Leonardit + Mikroorganismen (MOs), Leonardit pur und Tonmineral auf **(A)** Stammquerschnittfläche, **(B)** geerntete Äpfel (Stück pro Baum) und **(C)** Fruchtgewicht (kg) pro Baum. Keine Buchstaben in Balken bedeuten keine Signifikanz unter den Varianten.

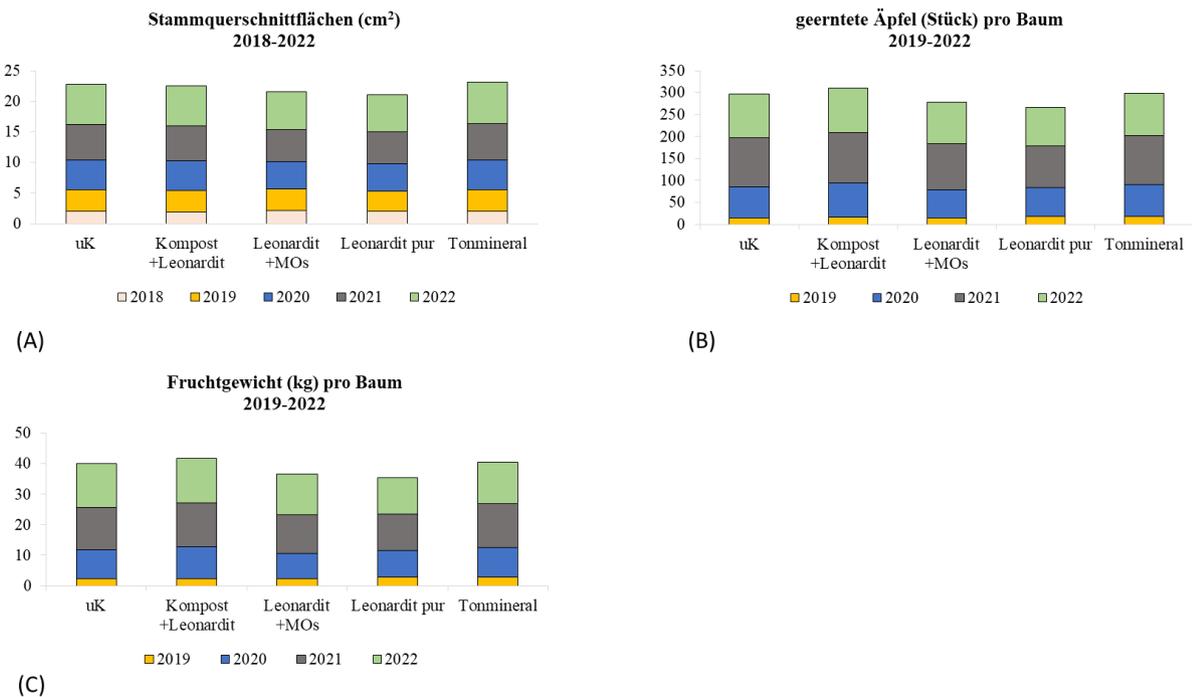


Abb. 20. Standort Schulz, Nebenversuch. Wirkung von unbehandelter Kontrolle (uK), Kompost + Leonardit; Leonardit + Mikroorganismen (MOs), Leonardit pur und Tonmineral auf **(A)** Stammquerschnittfläche, **(B)** geerntete Äpfel (Stück pro Baum) und **(C)** Fruchtgewicht (kg) pro Baum. Keine Buchstaben in Balken bedeuten keine Signifikanz unter den Varianten.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

Das Projekt NewSoil21 startete zunächst mit Gefäßversuchen, um die Belastung von Böden mit Pathogenen nachzuweisen. Durch das Dämpfen der Erde konnte bei Spargel ein ca. 30 % iger und bei Apfel ein 43 - 65 % iger Biomassenzuwachs nachgewiesen werden. Die durchgeführten Nachbautests nach Otto und Winkler (1977) zeigten für die Betriebe Schulz und Hauke eine signifikante Schädigung. Bei Dohrmann fiel dieser Effekt deutlich geringer aus. Die Ursache hierfür ist wahrscheinlich in der Körnungszusammensetzung der Böden zu finden. Der Versuchsboden bei Dohrmann wies im Vergleich zu Hauke und Schulz den höchsten Tongehalt (8 %) auf. Ähnlich war die Feststellung hinsichtlich der Nachbauschädigung bei Spargel. Mit nur 3,8 % Tongehalt wies die Versuchsfläche von Simianer eine deutlich höhere Schädigung auf, als die Versuchsflächen im IGZ Großbeeren mit sieben Prozent Tongehalt. Die Einarbeitung von Additiven, welche in der Literatur sowohl bei Apfel (Grosch et al., 2007; Diehl et al., 2020; Franke-Whittle et al., 2019; Schwärzel, 2010; Winkelmann et al., 2019) und auch bei Spargel (Elmer, 2011; Paschold, 2009) als vielversprechend gegen die Nachbauproblematik beschrieben werden, erbrachte in Gefäßversuchen kaum bzw. nicht den erwünschten positiven Effekt auf Pflanzenwachstum von Apfel und Spargel. Vermutlich war die Wirkungszeit der Additive in der Zeitspanne von etwa acht bis zehn Wochen zu kurz.

Es wird angenommen, dass durch Bodendämpfung viele Bodenpathogene abgetötet werden konnten. Dass es sich dabei unter anderem um Bodenpathogene gehandelt hat, konnte mit Hilfe des DNA Multiscans nachgewiesen werden. Dennoch kann anhand dieser Methodik der Grad der Verseuchung von Böden nicht festgestellt werden. Die Ergebnisse des DNA Multiscans geben nur eine Momentaufnahme wieder. Für aussagekräftige Ergebnisse bedarf es mehrere Beprobungen über alle Jahreszeiten und mehrerer Jahre, die mit Hilfe von Pathogenitätsversuchen verifiziert werden müssten. Interessant ist die Tatsache, dass in 2018 im Boden aus IGZ kein DNA-Hybridisierungssignal für *F. oxysporum* verzeichnet wurde. Der Grund dafür könnte die fünfjährige Spargel-Anbaupause an diesem Standort sein. Die Summe aller möglichen *Fusarium* spp. wies bei allen Apfel- und Spargel-Standorten unabhängig von den Varianten ein starkes Signal auf. Hier ist wichtig zu erwähnen, dass unter den *Fusarium*-Arten und auch innerhalb der Species *F. oxysporum* sehr viele nicht pflanzenpathogene Varianten vorhanden sind.

In beiden Spargel-Standorten war bei Einarbeitung von Champost und dem Einsatz von Tonmineral das Signal im Vergleich zur Kontrolle bei *F. oxysporum*, *F. solani* und *P. ultimum* deutlich schwächer, weshalb wir bei diesen Additiven auf eine suppressive Wirkung schließen.

Aus den Ergebnissen der DNA Multiscan von Böden aus den drei Apfelbetrieben lässt sich schwer ein eindeutiger Schluss fassen. Hier spielen natürlich auch die Bodeneigenschaften und das Vorhandensein von Wasser im Boden eine große Rolle für das Auftreten der Boden-Mikroorganismen. Zum Beispiel war im Betrieb Hauke der Nachweis von den meisten Mikroorganismen bis auf für die Gesamt-Pythium Arten und *P. ultimum* am schwächsten, was wahrscheinlich auf die zu trockenen Böden auf diesem Standort zurückzuführen ist.

Die Feldversuche an den Spargelstandorten IGZ-Großbeeren und Beelitz mit den gleichen eingearbeiteten Additiven, Champost, Tonmineral, Micosat F-Uno und Senfmehl zeigten sehr unterschiedliche Erträge. In Beelitz waren die Markterträge deutlich niedriger als in Großbeeren. Die Gründe hierfür sind zum einen die unterschiedliche Bodenbeschaffenheit an den zwei Standorten. Außerdem gab es im zweiten Standjahr in Beelitz zum Zeitpunkt des Spargelaustriebes ein Kälteeinbruch, welcher den Pflanzen einen sehr hohen Schaden zugefügt hat, sodass der Schaden auch in den nächsten Jahren zu beobachten war. Für die Etablierung einer leistungsfähigen Spargelanlage sind die ersten zwei Jahre von entscheidender Bedeutung, da hier der Aufbau des Rhizoms erfolgt. Werden gleich im zweiten Jahr die ersten –drei bis vier Triebe je Pflanze so geschädigt, dass sie absterben, so muss die Pflanze sehr viel Energie aufwenden, um den weiteren Austrieb zu sichern. Die in den Speicherwurzeln eingelagerten Reservekohlenhydrate am Jahresende waren demzufolge in Beelitz signifikant niedriger. Die Effekte der Additive auf den Marktertrag waren auf den einzelnen Standorten bezogen sehr unterschiedlich. Dies ist wiederum auf die Bodenverhältnisse der jeweiligen Standorte zurückzuführen.

In IGZ wurden die Spargeldämme mit Topfschläuchen bewässert und damit eine gleichmäßige Verteilung erzielt. Es wird angenommen, dass die im Boden eingearbeiteten Additive zur vollen Wirkung kommen konnten. Bewässerung ist nicht nur für die Pflanzen wesentlich, sondern auch für die Mikroorganismen im Boden, die mit phytopathogenen Erreger im Boden um Wasser und Nährstoffe konkurrieren. Aus der Betrachtung der einzelnen Additive geht hervor, dass die Biofumigation in den ersten Jahren durch ihre antimikrobielle Wirkung mittels Freisetzung von Isothiocyanaten viele Mikroorganismen (schädliche, aber evtl. auch positive) abtötet und so das Wachstum von Spargel fördert, sodass es in Großbeeren zu höheren Erträgen kommen konnte. Aber über die drei Erntejahre nimmt der Effekt der Biofumigation im Vergleich zur Kontrolle stark ab wie in Abb. 15 zu erkennen ist. Dies gilt auch für die Varianten Fimonit und Micosat. Bei Champost dagegen bleibt der Effekt konstant. Aufgrund der Projektlaufzeit wurden die Spargel-Versuche im Jahr 2022 leider beendet. Interessant wäre es, die Erntejahre in den darauffolgenden Jahren weiter zu verfolgen und die Wiederbesiedelung von nützlichen und pflanzenpathogenen Erregern in den Parzellen, in denen Biofumigation durchgeführt wurde, zu beobachten. Empfehlenswert ist auch, den Effekt von Champost und Micosat sowie Tonminerale auf den Ertrag über einen längeren Zeitraum zu untersuchen, da ja bei diesen Additiven angenommen wird, dass sich die Mikroorganismen-Population zugunsten von nützlichen MOs verlagern wird und dies natürlich erst über einen längeren Zeitraum effektiv auf Pflanzenwachstum und Ernte wirken kann.

Die Ausbringungskosten für Biofumigation waren, wie der Tabelle 4 (Senfmehl) zu entnehmen ist, am höchsten. Die Plastikfolie, die für die für Inkubation der mit Senfmehl eingearbeiteten Bodenfläche (zur Freisetzung von Isothiocyanaten) verwendet wurde, musste eine bestimmte Dichte haben und war deshalb in der Beschaffung sehr teuer.

Die Gründe für die gute Wirkung des Müncheberger Dammes können vielfältiger Art sein. Die ursprüngliche Aussage der Müncheberger Entwickler war die Auslagerung der Wurzeln aus dem SARD-belasteten Boden in den Holzspäne-Bereich (Schwärzel, 2010). Zudem hat die Auflage der Späne eine gewisse Mulchwirkung, wodurch in den sehr trockenen Versuchsjahren die Austrocknung des Bodens nicht so intensiv war wie in den anderen Varianten. Zudem erhielten die Bäume im Bereich des Müncheberger Dammes durch die Mikrosprinkler während der normalen Bewässerungszeiten eine zusätzliche Wassergabe. Diese ist ebenso wie die Anlage und das Nachlegen der Späne nach ca. 3 Jahren mit einem zusätzlichen Kostenaufwand verbunden.

Die zwischen den Versuchsbetrieben schwankenden zusätzlichen Erträge durch die angewandten Additive sind im Bezug zu deren Kostenaufwand nicht mit den derzeitigen Auszahlungspreisen vereinbar.

Die Unterlagen-Sorten-Kombinationen reagierten unterschiedlich stark. Die Unterlage M9 wächst vom Trieb her etwas langsamer, dafür jedoch vom Stammquerschnitt her stärker als G11.

So ist bei der Unterlage G11 die Möglichkeit da, schneller in höhere Ertragszahlen zu kommen, jedoch steigt hierbei der Aufwand für den Schnitt.

5.3 Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen

Fazit aus den Ergebnissen – **Spargel**: Mit Champost und der Biofumigation ist auf nachbaubelasteten Böden eine deutliche Ertragssteigerung zu erzielen. Die Biofumigation mit Senfmehl erfordert jedoch einen erheblichen Mehraufwand an Kosten und Zeit. Die Fläche muss nach Einbringung des Senfmehls mit einer entsprechenden Folie luftdicht abgedeckt werden. Dies ist bei sehr großen Flächen nicht immer realisierbar. Damit bleibt das Verfahren des Einbringens von Champost als beste Variante zur Nutzung von Böden im Nachbau.

Fazit aus den Ergebnissen – **Apfel**: Mit der Version Müncheberger Damm ist auf nachbaubelasteten Böden eine deutliche Ertragssteigerung zu erzielen. Diese Variante erfordert jedoch einen Mehraufwand an Kosten und Zeit bei der Ausbringung.

Die geprüfte Unterlage G11, welche weniger anfällig gegen Bodenmüdigkeit sein soll, wächst etwas stärker (Triebblängenwachstum) und überbrückt daher auf Grenzstandorten die Bodenmüdigkeit etwas.

Die Bodeneigenschaften (Tongehalt, Humusgehalt, auch tiefere Bodenschichten) sowie die Förderung der Jungpflanzenentwicklung durch gezielte Kulturmaßnahmen scheint zur Überwindung der Bodenmüdigkeit wichtiger als die im vorliegenden Versuch untersuchten Additive zu sein.

Wenn kein „jungfräulicher“ Boden zur Verfügung steht, muss der Fokus bei der Flächenauswahl und Etablierung der Anlagen, auf die folgenden vier Aspekte gelegt werden:

- Der Tongehalt ist auf den diluvialen Böden Brandenburgs ein begrenzender Faktor. Dieser sollte eine gewisse Grenze von etwa acht bis zehn Prozent nicht unterschreiten, solche Böden sind für den Nachbau auszuschließen.

- Additive, die den Humusgehalt langfristig erhöhen (beispielsweise Champost) sind zur Bodenverbesserung vor Pflanzung einzubringen.
- Bei der Sorten- bzw. Unterlagenauswahl ist darauf zu achten, dass stärker wachsende Sorten und Unterlagen (z.B. G11) verwendet werden.
- Die Vorbereitung zur Pflanzung, die Etablierung der Anlagen und die Bestandsführung sind optimal zu gestalten.

5.4 Beitrag der Ergebnisse zu förderpolitischen EIP-Zielen

Das Ziel des NewSoil21 Projektes war es, das sehr aktuelle Nachbauproblem auf gartenbaulichen Flächen in Brandenburg zu behandeln und Lösungswege zu finden, mit dem Ziel die Produktivität des Spargels und Apfels – zwei für das Land Brandenburg wichtige gartenbaulichen Produkte - zu verbessern. Es wurden in Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Praxis effektive, umweltgerechte und ökologische Anbau- und Nutzungsverfahren auf Spargelflächen und Apfelanlagen untersucht, indem innovative Methoden der Düngung und Bodenbearbeitung, unter Berücksichtigung von standortangepassten Sorten, angewandt wurden.

Im Rahmen des Projektes hat ein ständiger und intensiver Austausch zwischen den Praxispartnern und der IGZ-Forschung stattgefunden.

5.5 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

Es hat sich auch unter Brandenburger Bedingungen des Nachbaus von Apfel und Spargel gezeigt, dass es zu Ertrags- und Wachstumsminderungen kommt. Im Spargelanbau konnte die Empfehlung zur Einarbeitung von Champost und evtl. Tonmineralen in extrem sandigen Böden gegeben werden, um die Ertragsminderungen zu vermeiden.

In Apfelanlagen kann die Methode des Müncheberger Dammes eine gute Alternative zu den anderen üblichen Bodenbearbeitungsmethoden sein. Allerdings ist diese Methode mit einem hohen Kostenaufwand verbunden.

Die Anbauempfehlung hinsichtlich der Förderung der Jungpflanzenentwicklung wurde in den abschließenden Berichten und Vorträgen hervorgehoben. In den Praxisversuchen wurde erneut deutlich, dass vor allem auch unter Nachbaubedingungen die Ausdünnung eine bedeutende Rolle hinsichtlich Erntemenge und -Qualität spielt.

In einigen Betrieben mit Spargelproduktion wird die Methode der Einarbeitung von Champost durchgeführt, jedoch bisher sehr selten in Brandenburg. Ursache ist hierfür sicher die geringere Verfügbarkeit in Brandenburg und die damit verbundenen höheren Transportkosten beim Bezug aus anderen Bundesländern. Während der Projektlaufzeit und den damit verbundenen Vorträgen und Fachgesprächen stieg die Anzahl der Versuchseinrichtungen, welche auch im Apfelanbau die positiven Eigenschaften von Champost ebenfalls untersuchen wollen (OBVS Müncheberg, LELF Frankfurt (Oder)).

5.6 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Die in der Vorhabenbeschreibung geplanten Arbeiten und Ziele wurden vollständig umgesetzt. Neue Erkenntnisse liegen zu der fehlenden Wechselwirkung zwischen Sorten-Unterlagen-Kombination und Sorten und den Einsatz von Bodenbehandlungen zur Reduktion der Nachbaukrankheit vor. Neue Sorten bzw. Sorten-Unterlagen-Kombination, die sich gegenüber anderen durchgesetzt haben, sind auch für den Nachbau geeignet. Aufgrund der Laufzeit des Projektes ist eine abschließende Bewertung des Ertrages und der Leistungsfähigkeit der Anlage nicht möglich. Nach Pflanzung bzw. Etablierung benötigen Dauerkulturen mindestens 3 - 5 Jahre, um das Ertragsoptimum zu erreichen. Der Abschluss des Projektes erfolgte damit zu dem Zeitpunkt, wo das Ertragsoptimum einsetzt.

5.7 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit und weiterführende Fragestellungen

Die Nachbauproblematik umfasst einen sehr umfangreichen Fragenkomplex mit diversen Ansätzen. Da es sich bei Spargel und Apfel um Dauerkulturen handelt, die mindestens 10 bzw. 20 Jahre am gleichen Standort kultiviert werden, ist es aus Sicht der Wissenschaft (aber auch der Praxis) sehr wesentlich, die Entwicklung der mikrobiellen Zusammensetzung im Boden weiter bzw. genauer zu verfolgen.

Mögliche Herangehensweisen mit besonders für SARD anfällige Grenzstandorte sollten für den Teil Apfel- (Obst-) Anbau analysiert und erprobt werden.

Ein weiteres Monitoring der Erträge in den Betrieben mit Apfel, sowie regelmäßige Bodenuntersuchungen und DNA Multiscan könnten hierzu einen Beitrag leisten.

6 Zusammenarbeit der operationellen Gruppe

Die Versuche wurden entsprechend der Aufgabenstellung gemeinsam geplant. Ein besonderes Beispiel für die gegenseitige Anerkennung ist die Planung der Versuchsanlage der Exaktversuche in den Betrieben. Von Seiten des IGZ wurde ein randomisierter Blockversuch vorgeschlagen. Nach Diskussion der Probleme im Betrieb konnte ein Kompromiss gefunden werden, und zwar das Versuchsdesign der Streifenanlage.

Jährlich fanden Treffen aller Mitglieder der operationellen Gruppe statt, zu denen über den Stand der Arbeiten berichtet, auftretende Probleme und die geplanten Arbeiten besprochen wurden. Eingeladen hat hierzu immer der Lead Partner, aber die Treffen fanden jeweils an unterschiedlichen Standorten der Mitglieder der operationellen Gruppe statt, sodass dort auch die Versuche besichtigt werden konnten. Die gemeinsame Exkursion 2018 in das Tiroler Anbaugebiet und der dortige Austausch mit den Betrieben hat die Zusammenarbeit sehr stark befördert.

Der Austausch zwischen IGZ, der Markendorf Obst eG, dem Spargelhof Simianer und dem Kontrollring zu organisatorischen und finanziellen Fragen erfolgte mittels Telefonaten und Emails.

Bei der Markendorfer Obst eG fanden wöchentliche Erzeugerberatungen mit den beteiligten Apfelbetrieben statt. Die statistische Auswertung der erfassten Merkmale in den Versuchen erfolgte

am IGZ. Problematisch war, dass die Projektmitarbeiterin des IGZ mehrfach gewechselt hat und dadurch zeitlich Verluste bei der Aufarbeitung der Daten entstanden sind, da immer wieder eine Einarbeitungszeit erforderlich wurde.

Einen geplanten Rahmen zu einem weiterführenden EIP-Projekt gibt es derzeit nicht. Die vorhandenen Kontakte und deren Fähigkeiten sind vorhanden. Einzelne OG-Mitglieder werden auf unterschiedlichen Ebenen wie Beratung und Information, eventuell auch später folgenden Projekten in Teilen zusammenarbeiten.

Der Kontakt zu anderen OGs erfolgte vorrangig über Vernetzungstreffen Brandenburg, und somit zu Brandenburger EIP-Projekten (Primefruit, pH BB, Aqua C+).

Deutschland- und europaweit fanden Treffen statt. Über weitere regionale Akteure in den unterschiedlichen OGs lernte man sich kennen und wird in der Branche weiter in Kontakt bleiben.

7 Kommunikations- und Disseminationskonzept

Die Ergebnisse aus dem Projekt wurden regelmäßig in Fachseminaren und Tagungen vorgestellt (Nachweis der Veröffentlichungen). Außerdem wurde und (wird noch) in nationalen/internationalen Heften und Journalen publiziert.

Der Transfer der Ergebnisse in die landwirtschaftliche Praxis erfolgt in den jährlichen Spargelseminaren (regional und national) und den Obstbautagen. Weiterhin wurden Feldtage (Obstbau) und Veranstaltungen in der Praxis, zum Beispiel Kernobsteröffnung und Besuche des Ministers oder der Staatssekretärin für die Bekanntmachung genutzt.

Im europäischen Rahmen hat Franziska Häfner an dem EIP Agri Seminar "Healthy soils for Europe: sustainable management through knowledge and practice" teilgenommen und die vorliegenden Arbeiten vorgestellt. Die internationale Spargeltagung in Córdoba (Spanien) wurde genutzt, um die Ergebnisse zu teilen.

Quellen

Baab, G., Henfrey, J., 2015: Bodenmüdigkeit im Obstbau - Spezifische Nachbaukrankheit beim Apfel. Tagungsbeitrag für: Gesunder Boden - Gesunder Gartenbau am 16.11.2015 Haus der Ernährungswirtschaft, Berlin; verfügbar unter: <https://docplayer.org/54893771-Bodenmuedigkeit-im-obstbau.html>.

Chen et al., 2011: *Trichoderma harzianum* SQR-T037 rapidly degrades allelochemicals in rhizospheres of continuously cropped cucumbers. *Applied Microbiology and Biotechnology* 89(5):1653-63.

Diehl, K., Cavael, U., Schwärzel, H., Lentzsch, P., 2020: Orchard floor management strategy to maintain performance of apple trees in replant soils. *Acta Horti* 1270, 267–280.

Elmer, W.H., 2002: Influence of formononetin and NaCl on mycorrhizal colonization and Fusarium crown and root rot of Asparagus. *Plant Disease* 86(12):1318-1324.

Elmer, W.H., 2011: Effect of biochar amendments on mycorrhizal associations and Fusarium crown and root rot of Asparagus in replant soils. *Plant Disease* 95(8): 960-966.

Franke-Whittle, I., Juárez, M., Insam, H., Schweizer, S., Naef, A., Topp, A., Topp, A-R., Kelderer, M., Rühmer, T., Baab, G., Henfrey, G., Manici, L., 2019: Performance evaluation of locally available composts to reduce replant disease in apple orchards of central Europe. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 34(6), 543-557.

Grosch, R.; Lottmann, J.; Berg, G. 2007. Einfluss von antagonistisch wirkenden Trichoderma-Isolaten auf den bodenbürtigen Erreger *Rhizoctonia solani*. Tagungsreader, Statusseminar, Das Neueste aus der Ressortforschung für den Ökologischen Landbau, Schwerpunkt: Pflanze, Abstract, 32-33.

Matsubara, Y., Okada, T. & Liu, J., 2014: Suppression of *Fusarium* crown rot and increase in several free amino acids in mycorrhizal *Asparagus*. *American Journal of Plant Sciences*, 2014(5):235-240.

Otto, G., Winkler, H., 1977: Untersuchungen über die Ursache der Bodenmüdigkeit bei Obstgehölzen. VI. Nachweis von Aktinomyzeten in Faserwurzeln von Apfelsämlingen in Böden mit verschiedenen Müdigkeitsgraden. *Zentralbl. f. Bakteriol., Parasitenkde., Infektionskrh. und Hygiene, II Abt.* 132, 593-606

Paschold, P.-J., 2009: Nachbau von Spargel. Vortrag; verfügbar: http://botanik.forschungsanstalt-geisenheim.de/uploads/media/Spargel_Nachbau_2009.pdf

Schwärzel, 2010: Entwicklung von Sauerkirschbäumen während der ersten beiden Vegetationsperioden nach der Pflanzung im direkten Nachbau nach *Prunus avium*. Forschungsbericht verfügbar: http://lelf.brandenburg.de/media_fast/4055/Gartenbau_Sauerkirschen_2010_Nachbau_LVLF.pdf

Winkelmann T, Smalla K, Amelung W, Baab G, Grunewaldt-Stöcker G, Kanfra X, Meyhöfer R, Reim S, Schmitz M, Vetterlein D, Wrede, A., Zühlke, S., Grunewaldt, J., Weiß, S., Schloter, M., 2019: Apple Replant Disease: Causes and Mitigation Strategies. *Current Issues in Molecular Biology* 30(1):89-106.

Wonschik, C. R., 2013: Kohlenstofffixierung in Kompost durch mikrobielle Karbonisierung. Vortrag; verfügbar: <http://www.dgaw.de/files/uploaded/Wonschik.pdf>

Tabelle A1. Übersicht der möglichen Lösungsansätze zur Bekämpfung der Bodenmüdigkeit.

Verfahren	Prüfung im Vorhaben		Bewertung (Vergleich mit bisherigen Projekten)
	Apfel	Spargel	
Chemische Bodendesinfektion			Effektiv, Wirkstoff ist jedoch nicht mehr zugelassen und kann nur mit Ausnahmegenehmigung angewendet werden; Methode ist nicht gestattet in der Richtlinie zur Integrierten Produktion von Kernobst und Gemüse (IOBC Technical Guideline III, 2008)
Dämpfung			Im Unterglasanbau effektiv, Problem: nützliche Mikroorganismen werden damit ebenfalls abgetötet; Aufgrund zu hoher Kosten wird Methode in der Praxis großflächig nicht realisiert (<i>BIO-INCROP</i>)
Zufuhr organischer Substanz (Champost, Kompost)	F, G	F, G	Wachstumsförderung durch Gaben von ligninreichem Kompost und Champost nachgewiesen; Starke Wirkung durch Addition von Pathogen unterdrückenden Mikroorganismen; Ergebnisse jedoch standortabhängig inkonsistent (<i>BIO-INCROP</i>). Wurzelgesundheit von Erbsen durch Kompostzugabe verbessert (<i>BÖLN; 2012-2013</i>). Auf leichten sandigen Standorten sowohl für Apfel, als auch für Spargel vielversprechend und in die Prüfung aufzunehmen
Kompost auf der Basis ‚Mikrobieller Carbonisierung‘ (MC)	F, G	G	MC-Verfahren ist vielversprechend durch höhere Wasserhaltekapazität und Kohlenstoffgehalte im Vergleich mit herkömmlichen Rotteverfahren (Wonschik, 2013). Nachgewiesene Bodenverbesserung im ZIM-KF Projekt (2011-2014), jedoch wurde MC bisher noch nicht hinsichtlich Nachbaueignung bewertet. Effektive Bodenverbesserung zu testen für Apfel- und Spargelnachbau
Sorten/ Unterlagenkombination bzw. Sorten	F	F	Nachbauprobleme variieren stark in Abhängigkeit von der Apfelunterlage (<i>BÖLN 2012-2017</i>). Spargelresistenzzüchtung im Bereich Viruskrankheiten (ZIM 2015-2018) und allgemeine Spargelresistenz gegen biotische und abiotische Stressfaktoren (<i>JKI-ZG-Projekt</i>) wurden initiiert. Neben dem Standard M9 Einbeziehung von Nachbau-unempfindlichen Apfelunterlagen (CG.11 und CG.16 Geneva® rootstocks, T. Robinson, NY, USA, jeweils in Kombination mit 2 Sorten) und von bis zu vier Spargelsorten (anfällige frühe, anfällige späte, weniger anfällige frühe und weniger anfällige späte Sorte)
Modifikation Anbauverfahren „Müncheberger Damm“	F		Umgeht den belasteten Boden durch Anbau in neuem Substrat, Erfolgversprechende Ergebnisse in Müncheberg bei Heidelbeeren (DBU-Projekt, 1999-2003) und Sauerkirschen (Schwärzel, 2010). Für den Apfelnachbau unter Praxisbedingungen noch zu testen

Verfahren	Prüfung im Vorhaben		Bewertung (Vergleich mit bisherigen Projekten)
	Apfel	Spargel	
Holzkohle		G	Bei Spargel wurden in Gefäßversuchen positive Effekte in Form einer Erhöhung der nützlichen Mikroorganismen und der Mykorrhizierung beschrieben (Elmer 2011). Jedoch im Feldversuch inkonsistente Effekte durch Biokohle-Gabe zwischen dem ersten und zweiten Anbaujahr gezeigt: Es wurde angenommen, daß die mögliche Ursache im Bereich der höheren Wasserhaltefähigkeit des biokohlehaltigen Bodens bei hohen Niederschlägen zu vermehrter <i>Fusarium</i> Wurzelfäule führte (Elmer 2011). Im Spargel-Gefäßversuch mit den betrieblichen Böden ist zu prüfen, ob Biokohlezugabe bei unterschiedlichen Wassergehalten Pflanzenwachstum und -gesundheit fördert.
Biofumigation	G	F , G	Nachgewiesene Hemmung bodenbürtiger Schadpilze, standortabhängig erzielte Wachstumsförderung an Apfelpflanzen in Abhängigkeit der Unterlagen (laufendes Projekt BÖLN-2012-2017 sowie <i>BIO-INCROP</i>). Prüfung in Spargelbetrieb und in Gefäßversuchen vorgesehen
Inokulation mit nützlichen Mikroorganismen (<i>Pseudomonas</i> , <i>Streptomyces</i> , <i>Trichoderma</i> , Arbuskuläre Mykorrhiza)	G	G	Bisher keine gesicherten Erkenntnisse; Positive Ergebnisse mit Apfel durch Applikation von Biokontrollprodukten mit <i>Streptomyces</i> spp. nachgewiesen (<i>BIO-INCROP</i>). <i>Trichoderma</i> baut pflanzliche Allelochemikalien <i>in vitro</i> ab (Chen <i>et al.</i> , 2011) und ist unter Laborbedingungen ein Antagonist gegen das Wurzelpathogen <i>Rhizoctonia</i> (Grosch <i>et al.</i> , 2007); Auch bei <i>Pseudomonas</i> spp. wurden Biokontrolleigenschaften gegen das Wurzelpathogen <i>Phytophthora</i> nachgewiesen (Thrane <i>et al.</i> , 2000). Die Inokulation mit Arbuskulärer Mykorrhiza an Jungpflanzen führte zur Wachstumsförderung an Spargel in Nachbauböden (Elmer 2002; Matsubara <i>et al.</i> , 2014). Die Übertragbarkeit der bisherigen Ergebnisse aus Grundlagenforschung (<i>DiControl</i> ; <i>ORDIAMur</i>) durch Laborversuche wurde bisher noch unzureichend unter Praxisbedingungen im Gemüse- und Obstbau getestet. Mittels der betrieblichen Böden durch Gefäßversuche zu prüfen
pH-Wert-Anhebung; Nährstoffbalance			Keine Variantenprüfung, aber auf der Basis von Bodenuntersuchungen Schaffung optimaler Bedingungen

F:Prüfung im betrieblichen Feldversuch; G: Prüfung im Gefäßversuch mit betrieblichen Feldbodenproben.