



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Abschlussbericht

DOMINO - Dynamic sOd MulchINg and use of recycled amend-ments to increase biodiversity, resilience and sustainability of in-tensive Organic fruit orchards and vineyards

Teilprojekte des Partners Universität Hohenheim, Zentrum Ökologischer Landbau/Fakultät Agrarwissenschaften: Status Quo-Analyse zur Düngung im ökologischen Obstbau (AP 2.1), Integration verschiedener Lebendmulche im ökologischen Obstbau (AP 3.2), Optimierung des Düngemanagements im ökologischen Obstbau durch den Einsatz neuartiger Legumino-sen-basierter Düngemittel und die Integration von Leguminosen (AP 4)

Laufzeit und Berichtszeitraum: 01.05.2018-31.12.2021

Förderkennzeichen: 287OE007

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Hohenheim, März 2022

Universität Hohenheim
Fakultät Agrarwissenschaften
Zentrum Ökologischer Landbau
Birgit Lepp, birgit.lepp@uni-hohenheim.de
Dr. Sabine Zikeli, sabine.zikeli@uni-hohenheim.de
70593 Stuttgart

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ)
Kurt Möller, Kurt.Moeller@ltz.bwl.de
Kutschenweg 20
76287 Rheinstetten-Forchheim

Kompetenzzentrum Obstbau – Bodensee (KOB)
Sascha Buchleither, Buchleither@kob-bavendorf.de
Schuhmacherhof 6
D - 88213 Ravensburg-Bavendorf

Fördergemeinschaft Ökologischer Obstbau e.V.
Angelika Stülb-Vormbrock, stuelb-vormbrock@foeko.de
Traubenplatz 5
74189 Weinsberg

Die Förderung des Vorhabens erfolgte aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgte über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft.

Kurzzusammenfassung deutsch

Das Vorhaben war Teil des umfassenden Core-Organic Cofund-Projektes „DOMINO“, das zum Ziel hatte, die Nachhaltigkeit von Obstbausystemen im ökologischen Landbau zu verbessern und deren ökologischen Fußabdruck zu verringern. Die Düngung des ökologischen Obstbaus stützt sich stark auf externe Handelsdünger, die im ökologischen Landbau zugelassen sind. Im Rahmen des Projekts DOMINO wurden mehrere alternative Düngestrategien, nämlich die Integration von Leguminosen in das Anbausystem oder die Verwendung von Recyclingmaterialien wie Kompost oder Biogasgärreste, auf ihre Anwendbarkeit für den intensiven ökologischen Apfelanbau getestet, Feldbilanzen erhoben und die Integration von Leguminosen als Stickstoffquelle in der Fahrgasse geprüft. Wie die Nährstoffbilanzen der Obstbaubetriebe zeigen, führen die derzeitigen Düngestrategien zu mäßigen Nährstoffungleichgewichten in den Obstanlagen, und durch keines der im Feldversuch getesteten alternativen Düngemittel konnte eine ausgeglichene Bilanz erreicht werden. Das Ziel eines ausgewogeneren Nährstoffmanagements in intensiven Apfelanlagen bleibt daher eine Herausforderung. Hinsichtlich der Ertragsleistung können alle alternativen Düngemittel für den Apfelanbau empfohlen werden. Um einseitige Ungleichgewichte abzumildern, empfiehlt sich der Einsatz verschiedener Dünger, wobei langfristig vor allem auf eine höhere K-Versorgung zu achten ist, mittelfristig jedoch Nährstoffgehalte im Boden beachtet werden sollten. Außerdem werden z. B. das Nährstoffmanagement, das Fahrgassenmanagement und der Pflanzenschutz gegenseitig beeinflusst, weshalb die Landwirte konkurrierende Ziele gegeneinander abwägen müssen.

Kurzzusammenfassung englisch

The project was part of the Core-Organic Cofund project "DOMINO", which aimed to improve the sustainability of organic fruit production systems and reduce their ecological footprint. Fertilization of organic fruit production relies heavily on external commercial fertilizers permitted in organic farming. In the DOMINO project, several alternative fertilization strategies, namely the integration of legumes into the cropping system or the use of recycled materials such as compost or biogas digestate, were tested for their applicability to intensive organic apple production. In addition, nutrient budgets were calculated and the integration of legumes as a nitrogen source in the interrow was tested. According to the nutrient budgets of the orchards, the current fertilization strategies lead to moderate nutrient imbalances in the

orchards, and none of the alternative fertilizers tested in the field trial could achieve a balanced nutrient budget. The goal of more a balanced nutrient management in intensive apple orchards therefore remains a challenge. In terms of yield performance, all alternative fertilizers can be used for apple production. To mitigate one-sided imbalances, the use of different fertilizers is recommended. In the long term, especially a higher K-supply should be considered. To improve fertilization strategies, nutrient contents in the soil have to be taken into account in order to design fertilisation strategies that are appropriate to the location. In addition, farmers have to balance competing objectives of their management strategies like nutrient management, tree row and interrow management as well as crop protection.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis.....	9
Abbildungsverzeichnis.....	10
1. Einleitung.....	13
2. Ziele und Aufgabenstellung des Projekts	14
2.1. Gesamtziel des Projekts.....	14
2.2. Bezug des Projekts zu den förderpolitischen Zielen.....	15
2.3. Wissenschaftliche und/oder technische Arbeitsziele des Projekts.....	16
3. Wissenschaftlicher und technischer Stand	19
4. Arbeitspaket 2.1: Status Quo Analyse Nährstoffflüsse in ökologischen Apfelanlagen in Nord- und Süddeutschland.....	21
4.1. Einleitung	21
4.2. Material und Methoden	22
4.2.1. Datenerhebungen auf den Obstbau-Betrieben.....	22
4.2.2. Bodenproben und Analysen	24
4.2.3. Berechnung der Nährstoffbilanz.....	24
4.2.4. Kalkende Wirkung	25
4.3. Ergebnisse.....	26
4.3.1. Erhebungen	26
4.3.2. Nährstoffflüsse und Feldbilanzen	26
4.3.3. Bodenanalyse.....	28
4.4. Diskussion	30
5. Arbeitspaket 3: Erhöhung der Diversität in ökologischen Obstbausystemen	35
5.1. Einleitung.....	35
5.2. Material und Methoden	35
5.2.1. Demonstrationsversuch zur Steigerung der Biodiversität im Baumstreifen.....	35

5.2.2. Feldversuch zur Integration von Leguminosen in die Fahrgasse.....	36
5.2.3. Status-Quo Erhebung zum Management des Fahrgassenaufwuchses in Südwestdeutschland.....	37
5.3. Ergebnisse.....	38
5.3.1. Demonstrationsversuch zur Steigerung der Biodiversität im Baumstreifen.....	38
5.3.2. Feldversuch zur Integration von Leguminosen in die Fahrgasse.....	39
5.3.3. Status-Quo Erhebung zum Management des Fahrgassenaufwuchses in Südwestdeutschland.....	42
5.4. Diskussion.....	44
6. Arbeitspaket 4: Düngemanagement.....	46
6.1. Einleitung.....	46
6.2. Material und Methoden.....	47
6.2.1. Feldversuch mit alternativen Düngemitteln.....	47
6.2.2. On-farm Versuche zur Bewertung und Anpassung der neuen Düngestrategien...	50
6.3. Ergebnisse.....	51
6.3.1. Feldversuch mit alternativen Düngemitteln.....	51
6.3.2. On-farm Versuche zur Bewertung und Anpassung der neuen Düngestrategien...	65
6.4. Diskussion.....	66
7. Arbeitspaket 4: Auswirkungen von Schwefel auf Bodeneigenschaften.....	69
7.1. Einleitung.....	69
7.2. Material und Methoden.....	69
7.3. Ergebnisse.....	72
7.4. Diskussion.....	77
8. Versuch zu Silagedüngung – N-Verfügbarkeit bei unterschiedlichen Zeitpunkten der Silageausbringung.....	77
8.1. Einleitung.....	77
8.2. Material und Methoden.....	78

8.2.1. Feldversuch am KOB	78
8.2.2. Praxisbetriebe Stefan Geiger und Nikolaus Glocker	79
8.3. Ergebnisse und Diskussion.....	79
Praxisbetriebe	83
8.4. Abschließende Beurteilung.....	85
9. Versuch zur Prüfung eines Mulchgeräts mit direkter Ausbringung des Mulchs in den Baumstreifen	86
9.1. Einleitung	86
9.2. Übersicht zu den eingesetzten Mulchgeräten	86
9.3. Abgelegte Mulchmenge und Schwadhöhen.....	90
9.4. Abschließende Beurteilung.....	90
10. Übergreifende Diskussion der Ergebnisse.....	91
11. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	96
11.1. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten	96
11.2. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten	97
11.3. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit	98
12. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen.....	99
12.1. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen	99
Ziel I) Beschreibung und Analyse des Status quo im Dünge- und Anlagenmanagement im ökologischen Obstbau mit einem Schwerpunkt auf dem Apfelanbau in Deutschland (AP2.1).....	99
Ziel II) Verbesserung der N-Versorgung des Anbausystems und das Ersetzen externer Düngemittel durch die Integration von Leguminosen in der Fahrgasse (AP3.1).....	100
Ziel III) Entwicklung neuer Düngestrategien, die die N-Effizienz der Ökoobstbausysteme erhöhen, die Inputs externer Düngemittel verringern und Nährstoffungleichgewichte minimieren; im Zentrum stehen dabei neuartige, Leguminosen-basierte Düngemittel	

sowie Reststoffe, mit denen regionale Nährstoffkreisläufe gestaltet werden können (AP4.1, 4.3).....	100
12.2. Hinweise auf weiterführende Fragestellungen	101
13. Zusammenfassung.....	101
14. Literaturverzeichnis.....	105
15. Übersicht über alle erfolgten und geplanten Veröffentlichungen der Ergebnisse.....	110

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: N-Zufuhr und Nährstoffbilanzen (kg ha ⁻¹) auf Obstbaubetrieben in vier Regionen in Deutschland basierend auf Betriebsleiterinterviews in den Jahren 2017 (Baden-Württemberg: Bodensee, Freiburg, Neckar) und 2019 (Hamburg/Niedersachsen: Altes Land).	28
Tabelle 2: Pflanzenverfügbare Nährstoffe (P _{CAL} , K _{CAL} , Mg _{CaCl2}) pH (CaCl ₂) und organischer Kohlenstoff (C _{org}), als Mittelwert (MW), Minimum (Min) und Maximum (Max)) im Baumstreifen (BS) und der Fahrgasse (FG) der 64 Obstanlagen in vier Regionen (Baden-Württemberg: Bodensee, Freiburg, Neckar (Untersuchungszeitpunkt 2016) und Hamburg/Niedersachsen: Altes Land, Untersuchungszeitpunkt 2019).....	29
Tabelle 3: : Bodengrundanalyse, jeweils im April 2018 – 2020, sowie im Oktober 2020 (2020 E) in den Düngewarianten (n=4) des Feldversuchs am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee.	51
Tabelle 4: Zeitpunkte der Aussaat und Einarbeitung und Wachstumsparameter der Erbsenvarianten (Mittelwerte aus drei Jahren (Sommererbse), bzw. zwei Jahren (Wintererbse) im Feldversuch am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee).....	54
Tabelle 5: Nährstoffgehalte in den Apfelblättern als Indikator einer ausreichenden Nährstoffversorgung der Bäume im Juli 2018, 2019 und 2020, mit farblicher Markierung der Versorgungsstufen nach Aichner et al. (2004) im Feldversuch (Mittelwert aus vier Wiederholungen) am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee).....	63
Tabelle 6: Konzentrationen an Makro- und Mikroelementen in den fünf im Auswaschungsversuch eingesetzten Oberböden aus zwei Obstanbauregionen (Altes Land und Bodensee) : ökologische Apfelanlage (Obst 1 und Obst 2), konventionelle Hopfenanlage, konventioneller Ackerboden und extensiv bewirtschaftetes Grünland.....	72
Tabelle 7: Düngung mit Silage – Varianten, N-Gehalte und Ausbringtermine, KOB, 2021.	78
Tabelle 8: Düngung mit Silage - Varianten, N-Gehalte und Ausbringtermine, Praxisbetriebe, 2021.	79
Tabelle 9: Düngung mit Silage – Generative Parameter Blühstärke und Behang, Praxisbetriebe, 2021.	83
Tabelle 10: Übersicht zu den eingesetzten Mulchgeräten.	87
Tabelle 11: Mulchgeräte-Vergleich - Abgelegte Mulchmasse (kg/m ² Baumstreifen) und Schwadhöhen (cm).	90
Tabelle 12: Gegenüberstellung alternativer Düngemittel zum Düngungseffekt und weiteren Anwendungskriterien für die Praxis.	95
Tabelle 13: Veranstaltungen mit Beiträgen aus dem Projekt DOMINO.	110

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Struktur des Konsortiums und Vernetzung der Arbeitspakete (WP) im DOMINO-Projekt.	16
Abbildung 2: Obstbauregionen in Deutschland, in denen die Betriebsleiterbefragung zum Nährstoffmanagement der Obstanlagen durchgeführt wurde (2017 in den Regionen 1-3, 2019 in Region 4): 1- Neckar (4 Betriebe), 2- Bodensee (5 Betriebe), 3- Freiburg (6 Betriebe) und 4- Altes Land (4 Betriebe). Quelle: www.freeworldmaps.net	23
Abbildung 3: Verhältnis der Nährstoffgehalte (Stickstoff=1) in den von den Öko-Obstbaubetrieben im Alten Land (n=4) und Baden-Württemberg (n=15) verwendeten Düngemitteln (basierend auf Interviews mit den Betriebsleitern) und im Apfel (nach Möller und Schultheiß (2014), Souci et al. (2011), Produktdatenblättern und spezifischen Analyseergebnissen).	26
Abbildung 4: Mittelwerte des Nährstoff-Inputs durch Düngemittel (Grunddünger (z. B. Kompost, Mist), Handelsdünger) und Pflanzenschutzmittel sowie des Nährstoffoutputs (durch Abfuhr der Äpfel) und der Bilanz (kg ha^{-1}) für 19 Ökoobstbau-Betrieben in Baden-Württemberg und im Alten Land berechnet über fünf Jahre.	27
Abbildung 5: Verteilung der P_{CAL} - und K_{CAL} -Gehalte im Boden (0-30 cm) in 64 Obstanlagen in Baden-Württemberg und dem Alten Land mit Gehaltsklasse C (nach VDLUFA für mittlere und schwere Böden (KTBL, 2015; VDLUFA, 2018)) als grüner Kasten.	29
Abbildung 6: Nährstoffgehalte im Boden des Baumstreifens (0 – 30 cm, P_{CAL} , K_{CAL} , Mg (CaCl_2) und S) in Abhängigkeit zur Nährstoffbilanz (= Nährstoffzufuhr durch Düngemittel und Pflanzenschutzmittel – Nährstoffabfuhr durch Äpfel) in 64 Obstanlagen auf 19 Betrieben in Baden-Württemberg und im Alten Land.....	30
Abbildung 7: Bodenbedeckung durch Pfefferminze (<i>Mentha x piperita</i> , gepflanzt im Okt. 2018) und Beikräuter 2019 & 2020 im Baumstreifen), Demonstrationsversuch mit der Apfelsorte Natyra gepflanzt im Korb, Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee.....	38
Abbildung 8: Bodenbedeckung durch Wald-Erdbeere (<i>Fragaria vesca</i> , gepflanzt im Okt. 2018 mit Nachpflanzung im Juli 2019) und Beikräuter 2019 & 2020 im Baumstreifen). Demonstrationsversuch mit der Apfelsorte Natyra gepflanzt im Korb, Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee.	39
Abbildung 9: Pfefferminze (<i>Mentha x piperita</i>) (links) und Wald-Erdbeere (<i>Fragaria vesca</i>) (rechts) im Baumstreifen im Oktober 2020, zwei Jahre nach Pflanzung.	39
Abbildung 10: Zusammensetzung der Vegetation in der Mitte der Fahrgasse (Leguminose, Gräser, Kräuter) nach Einsaat von Weiß- und Mikroklee 2019; Trockenmasse (TM) und Nährstoffgehalte im 1. Schnitt der Fahrgassenbiomasse (kg ha^{-1} Anlage) in den Jahren 2020 und 2021.....	40
Abbildung 11: Biomasseproduktion je Schnitt in der Fahrgasse 2020 + 2021 (aufgeteilt nach Mitte (Einsaat Weiß- oder Mikroklee in den mittleren 80 cm der Fahrgasse) und Fahrspur (Fahrspur und Rand der Fahrgasse)).....	41
Abbildung 12: Nährstoffgehalte im 1. Biomasseschnitt des Jahres des Weiß- und Mikroklees, in Erbsen und Horngrieß (Mittelwerte aus 2020 + 2021).	41
Abbildung 13: N_{min} -Verlauf im Baumstreifen (kg ha^{-1}) 2020 + 2021 in den 6 Varianten (gemittelt über allen drei Wiederholungen). Wintererbsen wurden im Oktober in den Baumstreifen gesät und im März eingearbeitet, Horngrieß wurde im April gedüngt, Weißklee und Mikroklee wurden in der Fahrgasse etabliert und der erste Schnitt des Jahres in den Baumstreifen überführt.	42

Abbildung 14: Nährstoffmengen im Aufwuchs der Fahrgasse aller Schnitte im Jahr 2019 pro ha Obstanlage auf sechs Betrieben in zwei Regionen (Bodensee, Freiburg).	43
Abbildung 15: Schnitte pro Jahr, C:N-Verhältnis der Biomasse (Mittelwert aller Schnitte), Vorhandensein eines Blühstreifens und Zusammensetzung der Vegetation in der Fahrgasse (Anteil an Gräsern, Kräutern und Leguminosen) auf sechs Obstbaubetrieben der Region Bodensee (A) und Freiburg (B).	43
Abbildung 16: P_{CAL^-} und K_{CAL^-} -Gehalte im Boden des Baumstreifens und der Fahrgasse mit Markierung der Gehaltsklasse C als roter Kasten (nach VDLUFA für mittlere und schwere Böden (KTBL, 2015; VDLUFA, 2018)) auf Betrieben in den Regionen Bodensee (A) und Freiburg (B).	44
Abbildung 17: Klimadaten des Versuchsstandortes in Bavendorf der Jahre 2018 – 2020 (Quelle: www.wetter-bw.de), während der Laufzeit des Düngungsversuchs zum Einsatz alternativer Düngemittel im ökologischen Obstbau.....	48
Abbildung 18: Die im Feldversuch untersuchten Düngemittel (von links nach rechts): Horngrieß, Vinasse, Biogasgärreste, Kompost (oben), Kleegrassilage, Kleegraspellets, Sommer- und Wintererbsen (unten).	49
Abbildung 19: pH-Werte ($CaCl_2$) im Boden, jeweils im April 2018 – 2020, sowie im Oktober 2020 (2020 Ende) in den Düngevarianten (n=4) des Feldversuchs am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee.....	52
Abbildung 20: Nährstoffzufuhr durch die Düngemittel und Abfuhr durch Äpfel bei $N=25 \text{ kg ha}^{-1}$ (Düngeniveau im Feldversuch), Mittelwert aus den Jahren 2018 – 2020.	53
Abbildung 21: Nährstoffbilanz (= Zufuhr durch Düngemittel – Abfuhr durch die Apfelernte) der verschiedenen Düngevarianten im Feldversuch (Mittelwert aus 2019 & 2020) am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee).....	54
Abbildung 22: Sommererbsen im April (links), Wintererbsen „kurz“ im März (Mitte) und Wintererbsen „lang“ im April (rechts) jeweils zum Zeitpunkt der Einarbeitung. Einsaat der Erbsen erfolgte im Oktober (Wintererbsen) und im März (Sommererbsen) im Baumstreifen, Feldversuch am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee).	55
Abbildung 23: N_{min} -Verlauf im Boden des Baumstreifens (0 – 30 cm) in Abhängigkeit der eingesetzten Düngemittel im Feldversuch (Mittelwerte aus 2019 & 2020) am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee).....	56
Abbildung 24: S_{min} -Verlauf im Boden des Baumstreifens (0 – 30 cm) in Abhängigkeit der eingesetzten Düngemittel, Mittelwerte aus 2019 & 2020.	57
Abbildung 25: Bonitur der Blühintensität der Apfelbäume (Klassifizierung von 0 = keine Blüten am Baum bis 9 = hohe Blütenanzahl) in den Jahren 2018 – 2021 im Feldversuch am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee.	58
Abbildung 26: Bonitur des Fruchtbehangs der Apfelbäume (Klassifizierung von 0 = kein Fruchtbehang bis 9 = hoher Fruchtbehang) in den Jahren 2018 – 2020, im Feldversuch am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee).....	58
Abbildung 27: Einzelbaumertrag 2018 – 2020 im Feldversuch (am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee); der grüne Balken zeigt den Bereich des optimalen Ertragsniveaus der Region für den ökologischen Apfelanbau mit 17-20 kg pro Baum.....	59
Abbildung 28: Einfluss des Jahres und der Pflücke auf den Streifindex (=Festigkeit/(Stärkeabbau * °Brix) mit Zielbereich von 0,15 bis 0,35 bei der Ernte im Feldversuch am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee).	60
Abbildung 29: Apfelertrag pro Baum 2019, aufgeteilt in Fruchtgrößen, mit den marktfähigen Größen in Brauntönen (60 – 85mm) in Abhängigkeit von den Düngemitteln im Feldversuch (Mittelwert aus vier Wiederholungen) am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee).	61

Abbildung 30: Apfelertrag pro Baum 2020, aufgeteilt in Fruchtgrößen, mit den marktfähigen Größen in Brauntönen (60 – 85mm) in Abhängigkeit von den Düngemitteln, im Feldversuch (Mittelwert aus vier Wiederholungen) am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee).	61
Abbildung 31: Zuwachs der Stammquerschnittsfläche (cm ² , Mittelwert aus vier Wiederholungen) der Apfelbäume pro Jahr (2018 – 2020), im Feldversuch am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee).....	64
Abbildung 32: Summe der Triebblängen pro Baum 2018 & 2020 in Abhängigkeit der Düngemittel, (Mittelwert aus vier Wiederholungen) im Feldversuch am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee).....	64
Abbildung 33: N _{min} -Verlauf im Baumstreifen mit den früher (Erbsen frueh) und zwei Wochen später eingearbeiteten Erbsen (Erbsen norm) jeweils mit zwei Wiederholungen, in den Jahren 2019 & 2020, On-farm-Versuch in der Region Heilbronn.....	65
Abbildung 34: N _{min} -Verlauf im Baumstreifen in den Jahren 2019 & 2020 ohne Kompostdüngung (Kontrolle), einer einmaligen Kompostdüngung im Jahr 2018 (Kompost18) und einer jährlichen Kompostdüngung (Kompost18+19, bzw. Kompost18+19+20), On-farm-Versuch in der Region Freiburg.	66
Abbildung 35: N _{min} -Verlauf im Baumstreifen mit Vinasse als Standarddüngung in den Jahren 2019 & 2020, On-farm-Versuch in der Region Bodensee.	66
Abbildung 36: Gefäßversuch zum Einfluss von Schwefel auf Bodeneigenschaften.	71
Abbildung 37: Veränderung im Boden nach sechs S-Applikationen jeweils gefolgt von einer Auswaschung über einen Zeitraum von sieben Monaten in den fünf Böden aus zwei Regionen mit jeweils drei S-Behandlungen (0, 40, 80 kg S ha ⁻¹).	73
Abbildung 38 a-f: Summe der ausgewaschenen Mengen an N, P, K, Mg, Ca, S, Cu und Zn in den sechs Eluatn nach sechs S-Applikationen, jeweils gefolgt von einem Auswaschungsereignis (n=5), in fünf Böden mit jeweils drei S-Behandlungen (0, 40, 80 kg S ha ⁻¹).	75
Abbildung 39: Mittelwerte der Weidelgras-Biomasse pro Topf in den fünf Böden mit jeweils drei unterschiedlichen S-Behandlungen (0, 40, 80 kg S ha ⁻¹) vor der Weidelgras-Einsaat (n=4). Die Schnitte erfolgten sechs und zwölf Wochen nach Einsaat.	76
Abbildung 40: Weidelgras vor dem 1. Schnitt sechs Wochen nach Einsaat, in den fünf verschiedenen Böden aus zwei Regionen, Einsaat erfolgte nach Ablauf des S-Auswaschungsversuchs (sechs S-Applikationen mit jeweils 0, 40 oder 80 kg S ha ⁻¹ auf die Bodenoberfläche und einer darauffolgenden Auswaschung über einen Zeitraum von sieben Monaten vor der Einsaat des Weidelgrases).	76
Abbildung 41: Düngung mit Silage – Vergleich Silage Langstroh und Silage Häcksel vor und nach der Einarbeitung, T2.	80
Abbildung 42: Düngung mit Silage – Vegetative Parameter Stammumfang und Triebwachstum zu Saisonende, KOB, 2021.	80
Abbildung 43: Düngung mit Silage – Generative Merkmale Blühstärke und Erntemenge, KOB, 2021.	81
Abbildung 44: Düngung mit Silage – N _{min} -Verlauf des Feldversuchs am KOB in Abhängigkeit der eingesetzten N-Düngemittel, 2021.	82
Abbildung 45: Düngung mit Silage – N _{min} -Verlauf auf den Praxisbetrieben und am KOB, 2021..	84
Abbildung 46: Mulchgerät mit seitlicher Auswurf-Schnecke.	86
Abbildung 47: Praxisübliches Scheren-Mulchgerät.	87
Abbildung 48: Das Mulchgerät mit seitlichem Auswurf im Einsatz.	88
Abbildung 49: Mulchschicht nach Überfahrt mit seitlichem Auswurf.....	89
Abbildung 50: Einmalige Überfahrt mit dem Scherenmulchgerät des KOB.	89

1. Einleitung

Der intensive ökologische Apfelanbau stellt als Dauerkultur besondere Herausforderungen an Nährstoffversorgung und Nährstoffmanagement (Moran und Schupp, 2004). Die Bewirtschaftung ist insgesamt mit einem hohen Aufwand verbunden, einschließlich Düngung und Unkrautbekämpfung, was zu hohen Kosten und unerwünschten ökologischen Auswirkungen führen kann. Die Deckung des Nährstoffbedarfs der Pflanzen bei gleichzeitiger Vermeidung bestimmter Umweltbelastungen ist mit den derzeit verfügbaren Düngemitteln aufgrund möglicher Nährstoffungleichgewichte und geringer Nährstoffeffizienz schwierig (Granatstein und Sanchez, 2009; Möller und Schultheiß, 2014; Nagy, 2017). Der intensive ökologische Obstbau greift hier sehr stark auf Düngemittel aus Reststoffen der konventionellen Landwirtschaft zurück, was mittlerweile von einigen Öko-Anbauverbänden sehr kritisch gesehen wird (BioAustria, 2014). Die aktuell geltenden Demeter-Richtlinien erlauben beispielsweise nur noch bis zum 01.01.2030 den Einsatz von solchen N-haltigen Reststoffen aus der konventionellen Landwirtschaft (Demeter e.V., 2022). Damit können zumindest biologisch-dynamisch wirtschaftende Landwirte einen Großteil der aktuell eingesetzten und im ökologischen Landbau zugelassenen Düngemittel (z. B. Horndünger, Vinasse, Produkte aus Reststoffen der Malzherstellung) nicht mehr einsetzen. Es ist davon auszugehen, dass andere Anbauverbände teilweise nachziehen.

Daher müssen neue Düngestrategien entwickelt werden, die die herkömmlichen (Handels)Düngemittel ersetzen können. Da Obstbaubetriebe hochspezialisiert sind und in der Regel viehlos wirtschaften, ist kein Nährstoffkreislauf innerhalb des Betriebes realisierbar, stattdessen kann die Schließung regionaler Kreisläufe, z. B. durch die Nutzung von Recycling-Düngern wie Kompost oder Biogasgärreste, anvisiert werden. Allerdings trägt eine Düngung mit Kompost zu Nährstoffungleichgewichten bei (Möller und Zikeli, 2018). Weitere Optionen sind der Einsatz von Leguminosen, die durch die biologische N_2 -Fixierung N ins System einbringen und dadurch das Angebot steigern können. Bei der N_2 -Fixierung in der Anlage (z. B. durch Klee) werden außer N keine weiteren Nährstoffe ins System eingebracht. Eine weitere Möglichkeit ist die Nutzung des zuvor fixierten Stickstoffs (von anderer betrieblicher Fläche oder von anderen Öko-Betrieben), z. B. in Klee grasprodukten oder Körnerleguminosen. Dabei werden allerdings auch andere Nährstoffe eingeführt, und selbst das relativ enge C:N-Verhältnis im Le-

guminosenschrot (im Vergleich zu Stroh) reicht nicht für eine ausreichend rasche N-Mineralisierung im Frühjahr. Das C:N-Verhältnis kann jedoch durch den Keimungsprozess gesenkt werden, womit wiederum die N-Mineralisierung beschleunigt wird (Buchleither et al., 2014). Eine Einsaat von Körnerleguminosen in der Apfelanlage steigert zudem die Biodiversität und erhöht die Düngewirkung der eingearbeiteten Pflanzen im Vergleich zum Schrot, da Apfelbäume den höchsten N-Bedarf im Frühjahr kurz nach der Blüte, zwischen Mitte April bis Mitte Juni aufweisen (Buchleither, 2016; Paoletti et al., 2016; Innerhofer et al., 1998).

Das hier vorgestellte Projekt zielt darauf ab, das aktuelle Nährstoffmanagement auf Basis von Betriebserhebungen zu erfassen, dessen langfristige Nachhaltigkeit im intensiven ökologischen Obstanbau zu beurteilen und Ansätze zu deren Erhöhung zu erarbeiten, indem a) Leguminoseneinsaaten zur N₂-Fixierung in der Fahrgasse geprüft werden und b) die Wirkung alternativer, weniger umstrittener Düngemittel (lokal verfügbare recycelte organische Materialien (Biogasgärreste, Kompost), Klee gras-basierte Düngemittel und Körnerleguminosen (Erbsen)) im Vergleich zu praxisüblich eingesetzten Düngemitteln wie Horngrieß und Vinasse untersucht werden.

2. Ziele und Aufgabenstellung des Projekts

2.1. Gesamtziel des Projekts

Das vorliegende Projekt besteht aus drei verschiedenen Teilprojekten und Arbeitspaketen, die sich ihrerseits in das übergeordnete Gesamtziel des Verbundprojekts „DOMINO - Dynamic sOd MulchINg and use of recycled amendments to increase biodiversity, resilience and sustainability of intensive Organic fruit orchards and vineyards“ einordnen. „DOMINO“ hat sich zum Ziel gesetzt, die Nachhaltigkeit von Obstbausystemen im ökologischen Landbau zu sichern und deren ökologischen Fußabdruck zu verringern. Dies soll erreicht werden durch a) die Integration weiterer Kulturarten entweder als „Cash crops“ oder zur Nährstoffversorgung in das ökologische Obstbausystem; b) durch die Etablierung neuartiger Düngemittel lokaler Herkunft bzw. aus Reststoffen und c) den Einsatz von geschützten Systemen im Öko-Obstbau.

Die bearbeiteten Teilprojekte sind eng mit den Arbeiten der anderen Projektpartner verzahnt und bestehen aus drei Arbeitspaketen bzw. Teilprojekten innerhalb dieser Arbeitspakete

(AP2.1, AP3.1, AP4.1, 4.2, 4.3), die dem Gesamtvorhaben zugeordnet sind. Die übergeordneten Ziele dieser Arbeiten sind:

- I) Die Beschreibung und Analyse des Status quo im Dünge- und Anlagenmanagement im ökologischen Obstbau mit einem Schwerpunkt auf dem Apfelanbau in Deutschland (AP2.1),
- II) die Optimierung der N-Versorgung des Anbausystems und das Ersetzen externer Düngemittel durch die Integration von Leguminosen in der Fahrgasse (AP3.1) und
- III) die Entwicklung neuer Düngestrategien, die die N-Effizienz der Ökoobstbausysteme erhöhen, die Inputs externer Düngemittel verringern und Nährstoffungleichgewichte minimieren; im Zentrum stehen dabei Leguminosen-basierte Düngemittel sowie Reststoffe, mit denen regionale Nährstoffkreisläufe zumindest teilweise geschlossen werden können (AP4.1, 4.3).

Die Düngestrategien wurden im engen Austausch mit der obstbaulichen Praxis entwickelt, da die Autoren über das Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee, an dem die Feldversuche zur Nutzung von Leguminosen in der Fahrgasse und zum Einsatz neuartiger Düngemittel stattfanden, eine enge Anbindung an die ökologische Obstbaupraxis hatten. In Kooperation mit der Fördergemeinschaft ökologischer Obstbau e.V. (FÖKO e.V.) wurden diese Feldversuche zudem durch Workshops mit Wissenschaftlern und Praktikern sowie durch On-Farm- und Tastversuche auf Öko-Obstbaubetrieben begleitet, so dass über die Projektlaufzeit hinweg eine umfassende Rückkopplung zwischen Wissenschaft und Praxis entstand (AP4.2).

2.2. Bezug des Projekts zu den förderpolitischen Zielen

Das vorliegende Projekt adressiert die in der Ausschreibung angesprochenen Themen der Resilienz und der Ressourceneffizienz ökologischer Anbausysteme bei Sonderkulturen: Durch den verstärkten Einsatz von Leguminosen-basierten Düngemitteln und Mischanbau mit Leguminosen, die bisher im ökologischen Obstbau kaum eingesetzt werden, wird die Abhängigkeit von externen Handelsdüngern verringert. Außerdem kann durch Einsaaten in den Baumstreifen und in die Fahrgasse die Biodiversität im System erhöht werden, was ebenfalls einen Beitrag zu einer erhöhten Resilienz des Systems leisten kann. Durch die Nutzung von leguminosen-basierten Düngemitteln können regional verfügbare, pflanzenbasierte Nährstoffquellen genutzt werden, was den Grundgedanken des ökologischen Landbaus entspricht. DOMINO befasst sich außerdem in einem übergeordneten Arbeitspaket (AP5) mit der Bündelung der Forschungsergebnisse aller Konsortialpartner, um eine ökonomische und umweltbezogene Systembewertung durchführen zu können. Insgesamt will das Verbundvorhaben DOMINO die Wettbewerbsfähigkeit des ökologischen Obstbaus in Europa erhöhen, Lösungen für Schwach-

stellen des Systems wie z. B. Nährstoffinputs aus der konventionellen Landwirtschaft und intensiven Pflanzenschutz (Cu, S) finden und die Biodiversität in ökologischen Obstbausystemen erhöhen. Die Forschungsfragen wurden im Projekt DOMINO in sechs Arbeitspakete unterteilt (Abb. 1), das Zentrum Ökologischer Landbau der Universität Hohenheim trug in Kooperation mit dem Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee (KOB) zu den Arbeitspaketen 2, 3 und 4 bei.

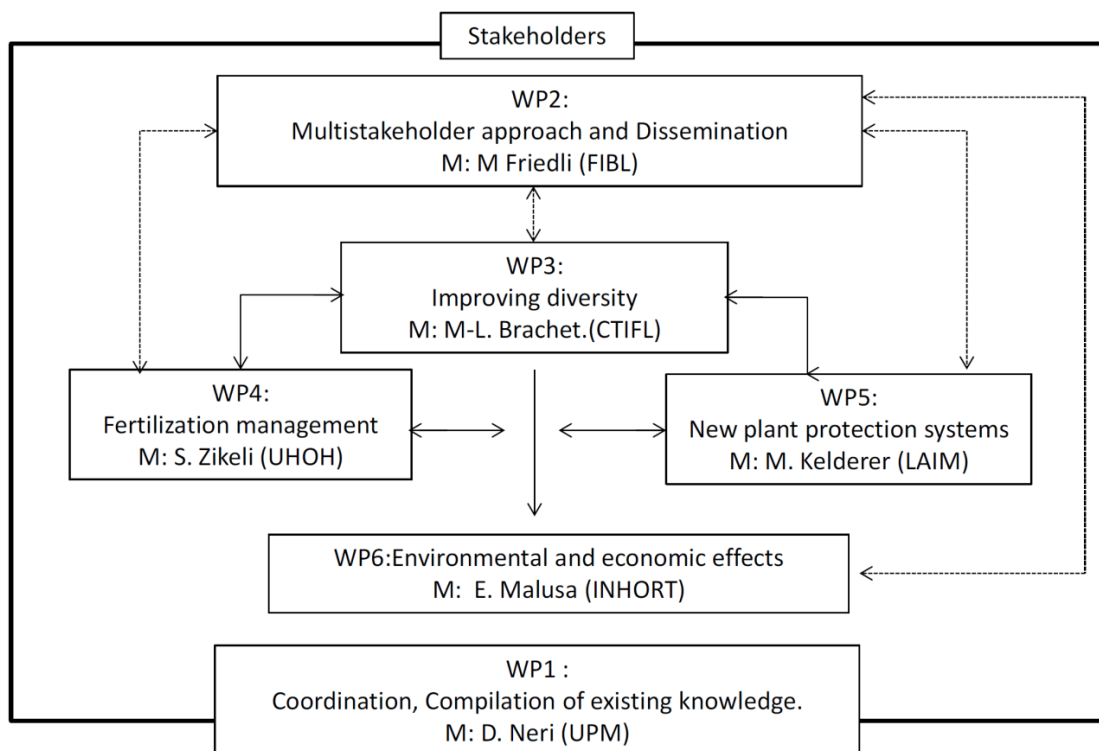


Abbildung 1: Struktur des Konsortiums und Vernetzung der Arbeitspakete (WP) im DOMINO-Projekt.

2.3. Wissenschaftliche und/oder technische Arbeitsziele des Projekts

Der ökologische Obstanbau gewinnt in vielen europäischen Ländern – so auch in Deutschland – immer mehr an Bedeutung. Allerdings unterscheidet sich der Anbau von Sonderkulturen, vor allem bei mehrjährigen Kulturen, in vielen Aspekten vom „klassischen“ ökologisch wirtschaftenden Gemischtbetrieb. Letzterer setzt vor allem auf betriebsinterne Nährstoffkreisläufe mit hofeigenen Düngemitteln wie Festmist oder Gülle und holt Stickstoff (N) vor allem durch biologische N₂-Fixierung durch Leguminosen in das Anbausystem, die wiederum an Tiere, vor allem Wiederkäuer verfüttert werden. Im Obstbau werden dagegen vor allem ex-

terne Handelsdünger wie z. B. Keratinprodukte (Hornmehl, Federmehl, Vinasse etc.) eingesetzt, die aus der intensiven konventionellen Landwirtschaft stammen (Möller und Schultheiß, 2014). Außerdem ist der Anbau mehrjähriger Kulturen wie Obst, Wein oder Hopfen durch einen intensiven Einsatz von im ökologischen Anbau zugelassenen Pflanzenschutzmitteln wie Kupfer (Cu)- und Schwefel(S)verbindungen geprägt. Die teils hohen Einsatzmengen dieser Betriebsmittel sind in Fachkreisen durchaus umstritten. Für beide Aspekte besteht die Herausforderung, sie besser an den Grundsätzen einer ressourcenschonenden ökologischen Landwirtschaft anzupassen, die vor allem auf natürliche Regelmechanismen statt menschlicher Eingriffe und auf ein Nährstoffrecycling auf Betriebsebene setzt (IFOAM, 2022).

Übergeordnetes Ziel dieses Vorhabens ist es daher, im Rahmen des Verbundprojekts neue Düngestrategien für den ökologischen Obstbau zu entwickeln, die den **Input von externen Düngemitteln verringern**, die **Nährstoffeffizienz für N erhöhen**, **Leguminosen in das System integrieren** und als Substitut für betriebsinterne Kreisläufe **regionale Kreisläufe stärken**. Da der ökologische Apfelanbau in Deutschland im Vergleich zu anderen Obstarten die größte Bedeutung hat (Statistisches Bundesamt, 2022), werden diese Strategien für den Apfelanbau entwickelt, können jedoch auf zahlreiche andere Dauerkulturen im Sonderkulturbereich übertragen werden.

Zu den Details der aktuell eingesetzten Düngestrategien und zu ihren Auswirkungen hinsichtlich Nährstoffbilanzen, Nährstoff(un)gleichgewichten oder Interaktionen mit den Pflanzenschutzmitteln über längere Zeiträume hinweg, ist bisher wenig bekannt. Ein erstes Arbeitsziel (AP2.1) des Vorhabens ist es daher, über eine detaillierte, auf Interviews sowie auf Bodenanalysen basierte **Status quo-Erhebung** in wichtigen Apfelanbaugebieten Deutschlands, der Bodensee-Region, bei Freiburg, Heilbronn und dem Alten Land, Informationen zu gängigen Praktiken zu gewinnen, um auf Betriebsebene **Nährstoffbilanzen** und **Nährstoffeffizienzen** zu berechnen.

Ziel des Arbeitspaketes 3.1 ist die **Ansaat von Leguminosen in der Fahrgasse**, um die N-Versorgung der Kultur durch den Mulch aus dem Fahrgassenaufwuchs anstelle von Handelsdüngermitteln zu sichern. In diesem Arbeitspaket wird ein Systemansatz angewandt, in dem N in der Biomasse aus der Fahrgasse je nach N-Bedarf der Kultur in die Baumreihe überführt wird oder in der Fahrgasse verbleibt. In diesem Arbeitspaket stehen vor allem die N-Dynamik sowie

die Eignung der untersuchten Leguminosen für dieses Anbauverfahren im Mittelpunkt. Ähnliche Versuche mit jeweils standortangepassten Leguminosen wurden von den Partnern des Verbundvorhabens unter anderen Klimabedingungen durchgeführt, so dass zum Ende des Projektes DOMINO unterschiedliche Leguminosen für dieses Anbausystem geprüft wurden. Ziel war die Erarbeitung von Anbauempfehlungen für verschiedene Naturräume Europas.

Bisherige Forschungsarbeiten im ökologischen Obstbau haben sich stark mit der Reduzierung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln (insbesondere Cu) befasst (z. B. Lamichhane et. al., 2018), da hier einerseits ein gewisser Widerspruch zu den Grundprinzipien des ökologischen Landbaus offensichtlich ist, andererseits bisher jedoch noch kein Ersatzprodukt ähnlicher Effizienz zur Verfügung steht. Die Düngung in diesen hochspezialisierten Anbausystemen stand bisher weniger im Fokus der Forschung. Arbeitspaket 4 nimmt daher neue Fragestellungen zu Nährstoffflüssen im ökologischen Landbau auf und entwickelt neue Düngestrategien basierend auf der Nutzung von regional verfügbaren Düngemitteln, die entweder aus der Landwirtschaft oder aus urbanen Räumen stammen können. Ziel des Arbeitspaketes ist es, **Nährstoffinputs aus der konventionellen Landwirtschaft zu verringern** und **regionale Nährstoffkreisläufe** zu stärken. Um dies zu erreichen, wird die Düngewirkung mehrerer bisher im Obstbau noch nicht eingesetzten Düngemittel in Feldversuchen geprüft und untersucht, inwieweit sie einerseits eine ausreichende Wirksamkeit aufweisen, und zugleich Nährstoffungleichgewichte befördern oder verringern. Darüber hinaus werden mögliche Einflüsse auf die Pflanzenentwicklung, die Produktqualität und die Pflanzengesundheit untersucht. Um die Umweltwirkungen dieser Düngemittel zu erfassen, wurden Nährstoffeffizienz und langfristige Nährstoffbilanzen errechnet, so dass die Düngestrategien ggfs. entsprechend angepasst werden können. Dies erfolgte in enger Zusammenarbeit mit der obstbaulichen Praxis.

Durch den Einsatz von Schwefelpräparaten als Cu-Ersatzstoffe vor allem in der Schorfbekämpfung (*Venturia inaequalis*) werden heute erhebliche Mengen an S im ökologischen Apfelanbau eingesetzt (Möller und Zikeli, 2018). Ein weiteres Arbeitsziel dieses Vorhabens ist daher, ein besseres Verständnis für die **bodenchemischen Interaktionen von S mit Nähr- und Schadstoffen** in Böden zu erlangen. Dazu wurde im Rahmen des Projektes ein Gefäßversuch mit unterschiedlichen obstbaulich genutzten Böden durchgeführt, in dem modellhaft langjährige S-Einträge simuliert wurden. Gemessen wurden im Anschluss Nähr- und Schadstoffe in Boden, Pflanze und Eluat.

3. Wissenschaftlicher und technischer Stand

In den letzten Jahren hat der Obstbau im ökologischen Landbau durch eine steigende Verbrauchernachfrage immer mehr an Bedeutung gewonnen. So wurden in Deutschland im Jahr 2014 bereits 15 % der deutschen Kernobstflächen ökologisch bewirtschaftet (BÖLW, 2016). Allerdings steht der intensive und hochspezialisierte Anbau von Sonderkulturen häufig in der Kritik: Ein Teil der Anbaumethoden wird häufig hinterfragt, weil ein Teil der Sektorbeteiligten sie nicht im Einklang mit den Grundprinzipien des ökologischen Landbaus sieht (Darnhofer et al., 2010; Ratnadass et al., 2012). Trotz der wirtschaftlichen Bedeutung des ökologischen Obstbaus existieren im Gegensatz zu anderen Sonderkulturen wie z. B. Gemüse (Titarelli et al., 2017; Zikeli et al., 2017), jedoch bisher nach Kenntnissen der Autoren keine Studien zu Nährstoffflüssen oder Nährstoffbilanzen für den ökologischen Kernobstbau (z. B. für den Apfelanbau), weder in Deutschland noch in anderen mitteleuropäischen Ländern. Auch wenn zu vermuten ist, dass die Annahmen von Darnhofer et al. (2010) zutreffen, fehlt bisher eine systematische, wissenschaftlich fundierte Analyse der Düngestrategien und ihrer Auswirkungen auf Nährstoffbilanzen, Stoffflüsse und Bodeneigenschaften (Nährstoffverfügbarkeit, pH, Kohlenstoffgehalte) in ökologisch bewirtschafteten Apfelanlagen. Ein erster, zentraler Schritt im vorliegenden Forschungsvorhaben ist daher eine Status-quo-Erhebung, die nicht nur die Dünge- und Pflanzenschutzstrategien in Interviews mit Betriebsleitern erfasst, sondern auch Bodenanalysen miteinbezieht.

Im ökologischen Obstbau besteht aktuell im Bereich der Düngung aus verschiedenen Gründen Forschungsbedarf, um die aktuell eingesetzten Düngestrategien zu optimieren. Erstens werden, um zur Blüte ausreichend N zur Verfügung zu stellen und damit den Obstertrag zu sichern, häufig Keratin-basierte Düngemittel eingesetzt, die aus der intensiven konventionellen Tierhaltung stammen und mittlerweile immer mehr in der Kritik stehen (Möller und Schultzeiß, 2014). Zweitens deuten unveröffentlichte Vorarbeiten der Autoren daraufhin, dass im Ökoobstbau – ebenso wie im Ökogemüsebau (Zikeli et al., 2017) – erhebliche Nährstoffungleichgewichte bestehen. Drittens ist unklar, inwieweit sich der Einsatz von S-haltigen Pflanzenschutzmitteln auf die bodenchemischen Eigenschaften der Obstanlagen auswirkt. Überschüsse an S werden ausgewaschen und könnten über eine Co-Auswaschung von Kationen

wie Ca und Mg die Basensättigung verändern. Denkbar ist auch eine Mobilisierung von Spurenelementen und Schwermetallen, wie sie z. B. für Zn nach Ausbringung angesäuerter Gülle beschrieben wurden (Sigurnjak et al., 2017).

Eine Möglichkeit, um N in das Anbausystem zu bringen, ist der Anbau von Leguminosen. Der Einsatz des Aufwuchses von Leguminosen als Düngemittel wird aktuell in einigen EU-finanzierten Forschungsprojekten der letzten Core Organic-Ausschreibung untersucht (SoilVeg für Gemüse, <http://coreorganicplus.org/research-projects/soilveg/>, ReSolve für den Weinbau <http://coreorganicplus.org/research-projects/resolve/>, FertilCrop für den Ackerbau <http://coreorganicplus.org/research-projects/fertilcrop/>). Keines dieser Forschungsprojekte befasst sich jedoch mit Obstanbausystemen, die ihrerseits durch das Vorhandensein einer begrünten Fahrgasse und einer Baumreihe mit in der Regel unbedecktem Boden einen Spezialfall darstellen. Während über den Einsatz von Mulch im konventionellen Anbau als Erosionsschutz o.ä. bereits seit vielen Jahren geforscht wird, gibt es für mitteleuropäische Klimabedingungen zwar einige Untersuchungen zum Einsatz von Mulch (häufig N-fixierende Kleearten) in ökologisch angebauten Sonderkulturen wie Gemüse (z. B. Riley und Dragland, 2002; Sørensen und Thorup-Christensen, 2003), jedoch keine Studien zur Nutzung des Aufwuchses aus der Fahrgasse als N-Quelle in Obstanbausystemen. Inwieweit die über die Vegetationsperiode hin erhöhte N-Verfügbarkeit zu einer verstärkten Triebbildung und ggfs. zu einer erhöhten Krankheitsanfälligkeit der Apfelbäume und damit zu verringerten Erntemengen und erhöhten Aufwendungen an Pflanzenschutzmitteln führt, ist unbekannt.

Die im Ökoobstbau häufig eingesetzten Keratin-Dünger weisen mit ca. 14 % hohe N-Gehalte auf wobei dieses außerdem schnell verfügbar ist (Möller und Schultheiß, 2014). Bei anderen Düngemitteln wie Kleegrassilage (Benke et al., 2017) oder Dichtsaaten von Leguminosen wird N über einen längeren Zeitraum hinweg verfügbar, dabei bestand im Gemüsebau ein enger Zusammenhang zwischen Ertrag und C:N-Verhältnis des Düngemittels (Kleegrassilage u. ä.), sodass weniger die N-Menge als die N-Verfügbarkeit das Ertragsniveau bestimmte (Sørensen und Thorup-Christensen, 2011). Im Gegensatz zu einer Nutzung des Aufwuchses in der Fahrgasse oder von Kleegrassilage lässt sich die N-Verfügbarkeit in Obstanlagen durch ein alternatives Düngemittel wie Biogasgärreste genauer steuern, da die N-Verfügbarkeit direkt nach der Ausbringung sehr hoch ist (Möller und Schultheiß, 2014). Außerdem entsprechen die Nährstoffverhältnisse von N, P und K eher den Abfuhrten der Obstkultur. Im Obstbau wurden jedoch

bislang weder mit Biogasgärresten noch mit Klee gras-basierten Düngemitteln Versuche durchgeführt. Da im Obstbau besonders zur Blüte ein hoher N-Bedarf vorliegt, ist unklar, ob Klee gras-basierte Düngemittel zu diesem Zeitpunkt ausreichend N liefern, um Erträge zu sichern und eine ausreichende Produktqualität zu erreichen. Wie sich die langsamere N-Freisetzung über die Vegetationsperiode auf Erträge und Pflanzengesundheit auswirkt, ist ebenfalls unklar.

Neben den Düngemitteln werden über die im ökologischen Obstbau zugelassene Pflanzenschutzmittel erhebliche Mengen an Schwefel in das System eingetragen. Diese Einträge können sich einerseits auf die Verfügbarkeit von Nährstoffen und andererseits auf die Mobilität von Schadstoffen auswirken. Bisher fehlen Studien, die sich mit der Auswirkung dieser S-Einträge befassen. Es ist unklar, ob längerfristig Änderungen im pH-Wert auftreten oder Interaktionen zwischen den im Boden als Anionen vorliegenden Nährstoffen P, N und S insbesondere die Löslichkeit von P beeinflussen (Shaheen und Rinklebe, 2015; Vanden Nest et al., 2016). Dass ein Absinken des pHs die Mobilität von Mikronährstoffen / Schadstoffen wie Zn und Cu begünstigt, ist bekannt, wobei die organische Substanz im Boden für die Bindung von Cu eine größere Rolle spielt als der pH-Wert (z. B. Reichmann, 2002). Da auch im ökologischen Obstbau nach wie vor Cu als Pflanzenschutzmittel eingesetzt wird, stellt sich die Frage, ob der Einsatz von S die Bioverfügbarkeit von Cu erhöht. Andererseits treten im Apfelanbau auch immer wieder Zn-Mangelercheinungen auf, so dass eine höhere Verfügbarkeit von Zn durchaus positiv zu bewerten ist. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens werden daher in Modellversuchen (Gefäßversuche mit Böden aus Obstbauregionen) die Auswirkungen des S-Eintrags auf bodenchemische Eigenschaften untersucht.

4. Arbeitspaket 2.1: Status Quo Analyse Nährstoffflüsse in ökologischen Apfelanlagen in Nord- und Süddeutschland

4.1. Einleitung

Ziel dieser Studie war es, die aktuellen Düngestrategien im ökologischen Apfelanbau zu untersuchen und dabei folgende Fragen zu beantworten:

A) Welche Düngemittel werden eingesetzt und wie hoch sind die damit einhergehenden Nährstoffinputs?

B) Wie hoch sind die Nährstoffabfuhr?

C) In welchem Ausmaß gibt es Nährstoffungleichgewichte?

D) Welches sind die wichtigsten Einflüsse auf den Nährstoffhaushalt?

E) Welche Auswirkungen hat eine unausgewogene Nährstoffbilanz auf den Boden?

Zur Beantwortung dieser Forschungsfragen wurde ein Nährstoffmonitoring durchgeführt, um Daten über den aktuellen Nährstoffstatus von ökologisch bewirtschafteten Obstanlagen im Alten Land (Hamburg und Niedersachsen) zu erheben und diese mit Daten aus Baden-Württemberg zusammenzuführen, um die derzeit angewandten Düngungssysteme und deren mögliche Folgen besser zu verstehen. Die Auswahl dieser beiden Untersuchungsregionen deckt die wichtigsten Apfelanbauggebiete in Deutschland ab. Die Nährstoffbilanzen ausgewählter Obstanlagen in beiden Regionen wurden auf der Grundlage eines Fragebogens erfasst. Ergänzt wurden diese Erhebungen durch die Entnahme von Bodenproben auf den entsprechenden Standorten, um die Ergebnisse der Nährstoffbilanzen mit den Bodennährstoffgehalten in Bezug setzen zu können.

4.2. Material und Methoden

4.2.1. Datenerhebungen auf den Obstbau-Betrieben

In der norddeutschen Region Altes Land wurden 2019 Interviews mit Betriebsleitern durchgeführt. Dafür wurden Betriebe angeschrieben, woraufhin sich vier Landwirte beteiligten. Diese Erhebungen wurden ähnlich gestaltet wie und verbunden mit der in Kooperation mit der Fördergemeinschaft ökologischer Obstbau e.V. (FÖKO e.V.) im Vorfeld des Projektes durchgeführten Umfrage in den drei wichtigen Anbauregionen Baden-Württembergs. Diese Daten wurden mit den Daten aus DOMINO gepoolt und gemeinsam ausgewertet. Um Landwirte für die Teilnahme an der Befragung zu gewinnen, wurde von der FÖKO e.V. eine Projektbeschreibung und eine Aufforderung zur Teilnahme an der Befragung an ihre Mitglieder versandt. Zusätzlich zu den Landwirten, die geantwortet hatten, wurden weitere Landwirte durch Berater und durch Vertreter des Anbauverbandes direkt angeschrieben, um eine ausreichende Anzahl von Obstbaubetrieben untersuchen zu können. Um die Eignung des Fragebogens zu prüfen, wurde ein Test auf einem Obstbaubetrieb durchgeführt, wonach entsprechende Anpassungen vor-

genommen wurden. In Süddeutschland wurden 2016 vier Betriebe im Raum Stuttgart-Heilbronn (Neckar), fünf Betriebe im Bodenseeraum (Bodensee) und sechs Betriebe in Südbaden (Freiburg) befragt, um die wichtigsten Obstanbaugebiete in Süddeutschland abzudecken (Abb. 2). Insgesamt wurden 19 Bio-Apfelbauern in den verschiedenen Regionen befragt.



Abbildung 2: Obstbauregionen in Deutschland, in denen die Betriebsleiterbefragung zum Nährstoffmanagement der Obstanlagen durchgeführt wurde (2017 in den Regionen 1-3, 2019 in Region 4): 1- Neckar (4 Betriebe), 2- Bodensee (5 Betriebe), 3- Freiburg (6 Betriebe) und 4- Altes Land (4 Betriebe). Quelle: www.freeworldmaps.net

Die allgemeinen Düngestrategien wurden in teilstrukturierten Interviews dokumentiert. Für die Berechnung der Feldbilanz und die Entnahme von Bodenproben wurden pro Betrieb bis zu fünf voll ertragsfähige Obstanlagen gezielt ausgewählt, insgesamt 64 Anlagen. Erfasst wurden Daten zu Düngung und Pflanzenschutz sowie zu den Erträgen von fünf aufeinanderfolgenden Jahren: 2012 bis 2016 für Süddeutschland und 2014 bis 2018 für das Alte Land. Teilweise wurde Poseidon zur Datenerhebung genutzt, eine Datenbank und Entscheidungshilfe, die den Einsatz von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln dokumentiert und bei Bio-Obstbauern in Deutschland weit verbreitet ist.

Die Betriebe unterschieden sich im Jahr der Umstellung auf den ökologischen Landbau (zwischen 1973 und 2013), und dem Alter der Obstanlagen, welches von einem bis zu 37 Jahren reichte. Aufgrund dessen, dass gezielt Landwirte mit entsprechenden Aufzeichnungen gesucht

wurden und wegen Einschränkungen wie dem unterschiedlichen Alter der Standorte im Hinblick auf ihre Nutzung als Obstanlagen und ihre Umstellung auf den ökologischen Landbau, der Apfelsorten und der Geschichte der Standorte sind die erzielten Ergebnisse nicht repräsentativ, sondern zeigen den Status quo der verschiedenen Bewirtschaftungsansätze in den Untersuchungsgebieten.

4.2.2. Bodenproben und Analysen

Neben der Erfassung der Nährstoffflüsse wurden in den Obstanlagen Bodenproben genommen, um den Gehalt an Pflanzennährstoffen zu analysieren. Die Proben wurden in der Baumreihe als auch in der Fahrgasse getrennt entnommen. Mit einem Bohrstock wurden 20 Proben pro Standort für eine Mischprobe bis zu einer Tiefe von 30 cm gezogen wie es in den Empfehlungen des Beratungsdienstes für Bodenprobenahmen in Obstplantagen vorgeschrieben ist (LVWO, n.d.). Die Proben wurden an der Luft getrocknet und auf 2 mm gesiebt.

Bodenproben wurden auf die Gehalte von Gesamtkohlenstoff (C_t), organischem Kohlenstoff (C_{org}), Gesamtstickstoff (N_t), Schwefel (S), extrahierbarem P und K (P_{CAL} , K_{CAL}), Magnesium (Mg ($CaCl_2$)) sowie den pH ($CaCl_2$) analysiert: Die C_t -, N_t - und S-Konzentrationen wurden durch Verbrennung bestimmt (Vario EL-CUBE Elementar Analysesysteme GmbH). Für C_{org} wurden die Karbonate mit Salzsäure aufgelöst, und anschließend wurde C erneut mit dem Elementaranalysator gemessen. C_{org} wurde als C-Gehalt nach der Karbonatzerstörung bestimmt. P und K wurden bei einem pH-Wert von 3.6 in Calciumacetat-Lactat extrahiert und dann in der Lösung bestimmt (VDLUFA, 2012a). Mg wurde in 0,0125 M $CaCl_2$ extrahiert und durch Atomabsorptionsspektroskopie bestimmt (VDLUFA, 1991). Der pH-Wert wurde in einer 0,1 M $CaCl_2$ -Lösung gemessen (VDLUFA, 2016).

4.2.3. Berechnung der Nährstoffbilanz

Die Nährstoffbilanzen wurden auf Feldebene für N, P, K, Ca, Mg, S, Na und Cl berechnet. Die Nährstoffzufuhr umfasste alle Düngemittel sowie Pflanzenschutzmittel, die die o. g. Elemente enthalten. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Fungizide zur Bekämpfung von *Venturia inaequalis*, die S-, K- und Ca-haltig sind. Wenn möglich, lieferten die Landwirte spezifische Werte für den N-, P- und K-Gehalt der Düngemittel; fehlende Elementgehalte wurden durch Standardwerte (Möller und Schultheiß, 2014) ergänzt. Für Pflanzenschutzmittel wurden die Elementgehalte aus den Produktdatenblättern abgeleitet. Die Nährstoffabfuhr wurde durch

Multiplikation des Fruchtertrags mit der Nährstoffkonzentration der Äpfel (Souci et al., 2011; Möller & Schultheiß, 2014) berechnet.

Für jede Obstanlage und jedes Element wurden die Nährstoffbilanzen wie folgt berechnet (Gl. (1)):

$$B [kg\ ha^{-1}\ a^{-1}] = IN - OUT \quad (1)$$

wobei B die Nährstoffbilanz, IN der Nährstoffinput und OUT der Nährstoffoutput ist.

Der Gesamtnährstoffinput für jeden Nährstoff wurde wie folgt berechnet (Gl. (2)):

$$IN [kg\ ha^{-1}\ a^{-1}] = CF + CP \quad (2)$$

wobei IN der Nährstoffinput, CF der Nährstoffgehalt der Düngemittel und CP der Nährstoffgehalt der Pflanzenschutzmittel ist.

Der Nährstoffoutput wurde nach der Formel (Gl. (3)) berechnet:

$$OUT [kg\ ha^{-1}\ a^{-1}] = CA \quad (3)$$

wobei OUT der Nährstoffoutput und CA der Nährstoffgehalt der Äpfel ist.

Die Stickstoffnutzungseffizienz (NUE) wurde nach der Gleichung (Gl. (4)) berechnet:

$$NUE (\%) = 100 * \frac{\text{Gesamt N Output}}{\text{Gesamt N Input}} \quad (4)$$

4.2.4. Kalkende Wirkung

Die Kalkungs- bzw. Versauerungswirkung der eingesetzten Düngemittel wurde nach der Pierre-Sluijsmans-Gleichung (modifiziert nach Harmsen et al., 1990) berechnet (Gl. (5)):

$$E (kg\ CaO) = 1.0\ CaO + 1.4\ MgO + 0.6\ K_2O + 0.9\ Na_2O - 0.4\ P_2O_5 - 0.7\ SO_3 - 0.8\ Cl - nN \quad (5)$$

wobei E die Kalkungswirkung von 100 kg ausgebrachtem Dünger auf den Boden, berechnet in kg CaO, angibt.

Die Nährstoffkomponenten der Düngemittel werden als Prozentsatz der Frischmasse (w/w) angegeben. Der dimensionslose Koeffizient n wird benötigt, um die versauernde Wirkung von N aus Düngemitteln zu bewerten. Theoretisch liegen die Werte für n im Bereich von 0 bis 2. In unseren Berechnungen wurde ein Koeffizient von 1 verwendet. Ein positiver E-Wert zeigt eine Nettokalkungswirkung des Systems an, während ein negativer Wert den Nettokalkbedarf zum Ausgleich der versauernden Wirkung der Bewirtschaftung angibt.

4.3. Ergebnisse

4.3.1. Erhebungen

Alle Landwirte verwendeten Handelsdünger, außer zwei Betriebsleiter, die überhaupt nicht düngten (Freiburg und Altes Land). Die häufigsten Düngemittel waren Vinasse (ein Rückstand aus der Zuckerindustrie), Haarmehlpellets, Bioilsa (Pellets aus Federmehl, Presskuchen auf pflanzlicher Basis und Vinasse) und geschrotete Leguminosensaaten. Zusätzlich setzten neun der Landwirte Grunddünger wie Kompost, Champost (Substrat aus der Pilzproduktion) und Mist ein, vier davon mit Mengen von über 50 % des insgesamt gedüngten N. Die Düngemenge reichte von 0 bis 66 kg N pro ha und Jahr bei einem durchschnittlichen Ertrag von 23,7 Mg pro ha. Abbildung 3 zeigt das Verhältnis N:Nährstoff in den am häufigsten verwendeten Düngemitteln.

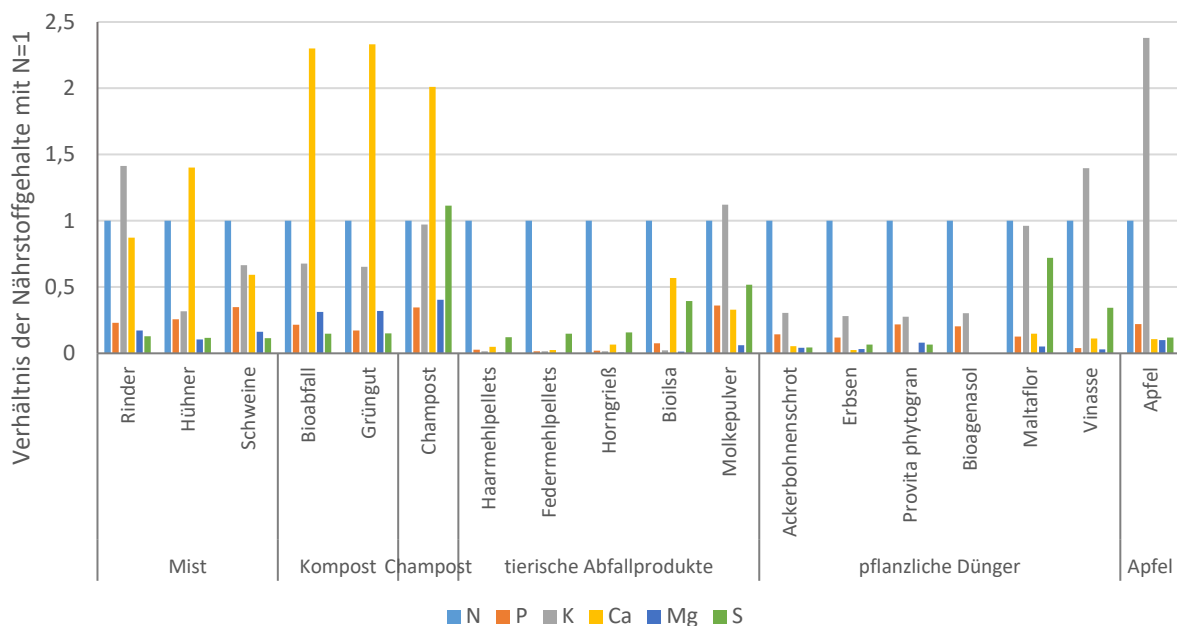


Abbildung 3: Verhältnis der Nährstoffgehalte (Stickstoff=1) in den von den Öko-Obstbaubetrieben im Alten Land (n=4) und Baden-Württemberg (n=15) verwendeten Düngemitteln (basierend auf Interviews mit den Betriebsleitern) und im Apfel (nach Möller und Schultheiß (2014), Souci et al. (2011), Produktdatenblättern und spezifischen Analyseergebnissen).

4.3.2. Nährstoffflüsse und Feldbilanzen

Die Feldbilanzen für die Nährstoffe N, P, K, Mg, Ca, Cl, Na und S zeigten Ungleichgewichte im Durchschnitt aller 19 Betriebe (Abb. 4). Positive Bilanzsalden wurden für die Elemente N (27 kg ha⁻¹), P (3 kg ha⁻¹), Ca (39 kg ha⁻¹), Mg (4 kg ha⁻¹), S (57 kg ha⁻¹), Na (4 kg ha⁻¹) und Cl (3 kg

ha⁻¹) festgestellt. Eine negative Bilanz wurde für K (-4 kg ha⁻¹) berechnet. Nicht berücksichtigt wurden N-Einträge über die biologische N₂-Fixierung, z. B. durch den Anbau von Leguminosen in der Baumreihe, wie er von einzelnen Obstbauern praktiziert wird. Die Stickstoffnutzungseffizienz betrug 36 % bei den Betrieben, die nur Handelsdünger einsetzten, sowie bei den Betrieben, die organische Grunddünger wie Festmist oder Kompost nur in Mengen von unter 50 % des insgesamt gedüngten N einsetzten. Die durchschnittliche NUE der Betriebe, die Grunddünger einsetzten, betrug 29 % und sank auf 21 % bei den Betrieben, die mehr als 50 % des eingesetzten N über Grunddünger düngten. Die insgesamt versauernde Wirkung der Inputs war auf den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und in geringerem Maße auch auf die Ausbringung von Handelsdüngern und die Nährstoffabfuhr durch Früchte zurückzuführen. Grunddünger wirkten basisch. Handelsdünger hatten den größten Einfluss auf den N-Haushalt, während Grunddünger den größten Einfluss auf Ca aufwiesen. Die S-Zufuhr ist hauptsächlich auf den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zurückzuführen.

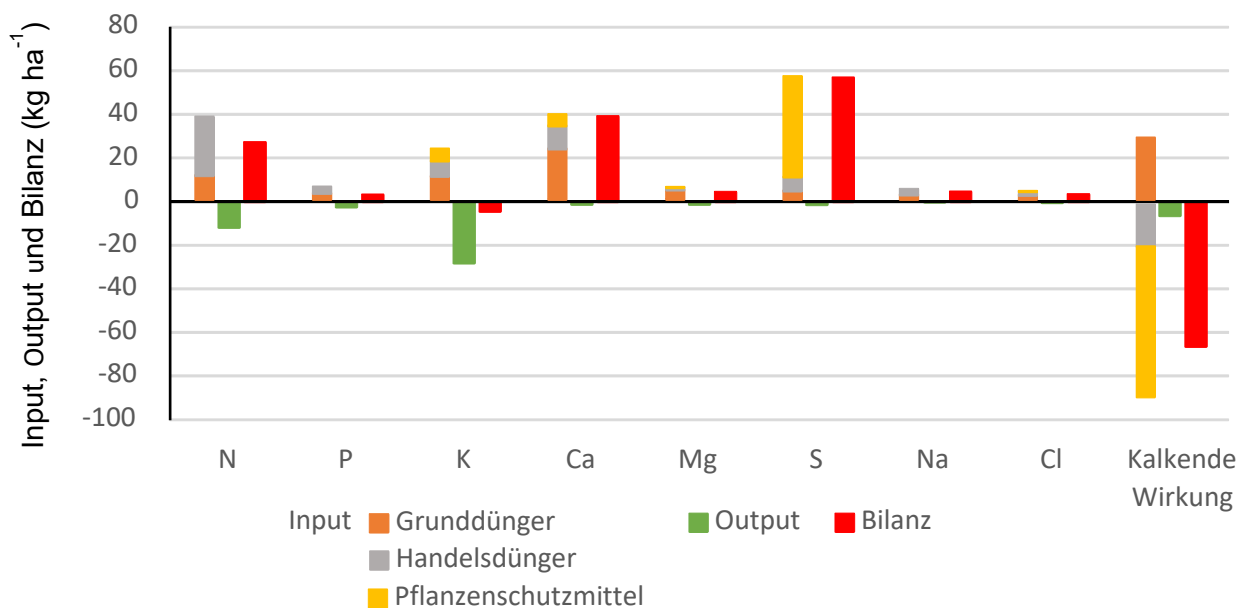


Abbildung 4: Mittelwerte des Nährstoff-Inputs durch Düngemittel (Grunddünger (z. B. Kompost, Mist), Handelsdünger) und Pflanzenschutzmittel sowie des Nährstoffoutputs (durch Abfuhr der Äpfel) und der Bilanz (kg ha⁻¹) für 19 Ökoobstbau-Betriebe in Baden-Württemberg und im Alten Land berechnet über fünf Jahre.

Zwischen den Regionen zeigten sich große Unterschiede in den Düngestrategien und damit auch in den Bilanzen (Tabelle 1). Während in den Regionen Bodensee und Altes Land die N-Zufuhr gleich und 1,7 bis 1,4 mal so hoch wie in den Regionen Freiburg bzw. Neckar war, wurde im Alten Land mehr als doppelt so viel N aus Grunddüngern gedüngt wie in den drei anderen

Regionen. Die hohen P- und K-Bilanzen, sowie die erhöhten Bilanzen für Ca und Mg können auf die höhere Menge an Grunddüngern zurückzuführen sein. Die kalkende Wirkung von Komposten wird überlagert durch die hohen Applikationsmengen an S, der versauernd auf den Boden wirkt.

Tabelle 1: N-Zufuhr und Nährstoffbilanzen (kg ha⁻¹) auf Obstbaubetrieben in vier Regionen in Deutschland basierend auf Betriebsleiterinterviews in den Jahren 2017 (Baden-Württemberg: Bodensee, Freiburg, Neckar) und 2019 (Hamburg/Niedersachsen: Altes Land).

Region	Bodensee	Freiburg	Neckar	Altes Land
Betriebe	5	6	4	4
N Zufuhr gesamt	48,2	28,3	34,0	48,2
N aus Grunddüngern	8,2	8,4	9,2	21,3
N aus Handelsdüngern	40,0	19,9	24,8	26,8
Bilanz				
N	35,2	19,1	19,5	36,3
P	1,6	1,8	1,2	8,7
K	-10,4	-4,0	-6,7	4,4
Ca	48,2	22,6	31,7	59,4
Mg	5,8	2,0	2,0	8,3
S	61,3	29,8	53,6	94,5
Na	6,1	0,6	4,7	7,9
Cl	1,2	2,7	3,2	6,3
Kalkende Wirkung	-56,8	-41,8	-72,7	-109,1

4.3.3. Bodenanalyse

Die Bodenarten in den Obstanlagen reichten von lehmigen Böden in der Bodenseeregion über etwa zwei Drittel lehmige Böden und ein Drittel tonige Böden in der Region Freiburg und Neckar bis hin zu überwiegend tonigen Böden in der Region Altes Land. In den Böden der Obstanlagen waren die Gehalte an extrahierbarem P und K (P_{CAL} und K_{CAL}) in der Region Freiburg am höchsten, analog gilt dies für die Mg-Gehalte im Alten Land (Tabelle 2). Der pH-Wert war im Alten Land am niedrigsten, gefolgt von der Region Bodensee. Die P-, K- und Mg-Gehalte zeigten in der Baumreihe deutlich höhere Werte als in der Fahrgasse, während die pH-Werte vergleichbar waren. Die C_{org} -Gehalte waren in der Region Bodensee am höchsten und wiesen in der Baumreihe generell etwas höhere Werte auf.

Tabelle 2: Pflanzenverfügbare Nährstoffe (P_{CAL} , K_{CAL} , Mg_{CaCl_2}) pH ($CaCl_2$) und organischer Kohlenstoff (C_{org}), als Mittelwert (MW), Minimum (Min) und Maximum (Max) im Baumstreifen (BS) und der Fahrgasse (FG) der 64 Obstanlagen in vier Regionen (Baden-Württemberg: Bodensee, Freiburg, Neckar (Untersuchungszeitpunkt 2016) und Hamburg/Niedersachsen: Altes Land, Untersuchungszeitpunkt 2019).

Region	Anzahl Obstanlagen			P_{CAL} (mg/100g)		K_{CAL} (mg/100g)		Mg_{CaCl_2} (mg/100g)		pH $CaCl_2$		C_{org} (%)	
				BS	FG	BS	FG	BS	FG	BS	FG	BS	FG
Bodensee	20	MW	9,6	4,0	23,2	6,5	12,3	8,9	6,0	5,9	2,69	2,34	
		Min	3,7	1,6	6,4	2,9	7,7	5,1	5,0	5,0	1,68	1,57	
		Max	18,4	8,0	36,4	15,8	16,7	13,9	7,1	7,2	3,66	3,74	
Freiburg	16	MW	10,4	7,3	27,9	15,3	10,8	9,4	6,7	6,6	1,47	1,46	
		Min	4,6	3,4	13,3	5,3	8,7	6,8	5,4	5,5	1,17	1,06	
		Max	18,3	12,0	49,2	24,7	13,9	10,6	7,4	7,4	1,99	1,99	
Neckar	12	MW	9,6	7,1	24,3	17,0	17,8	16,7	6,6	6,4	1,59	1,54	
		Min	2,6	1,5	11,1	7,9	9,5	9,3	5,4	5,5	1,12	1,12	
		Max	24,6	23,8	41,5	35,2	29,3	30,9	7,3	7,3	2,25	2,39	
Altes Land	16	MW	9,6	5,3	26,7	11,8	21,7	20,7	5,7	5,6	2,41	2,03	
		Min	3,8	1,8	13,2	6,0	15,1	14,7	4,6	4,7	1,60	1,75	
		Max	18,3	10,7	48,8	16,8	31,6	30,3	6,7	6,9	3,27	2,38	

Viele Obstanlagen wiesen in der Fahrgasse niedrige Gehalte an extrahierbaren P und K im Bereich der Gehaltsklasse A und B auf, während sie in der Baumreihe entsprechend der Gehaltsklassen des VDLUFA (Gehaltsklassen von Acker- und Grünland, KTBL, 2015; VDLUFA, 2018) hohe Gehalte an extrahierbarem P und K enthielten (Abb. 5).

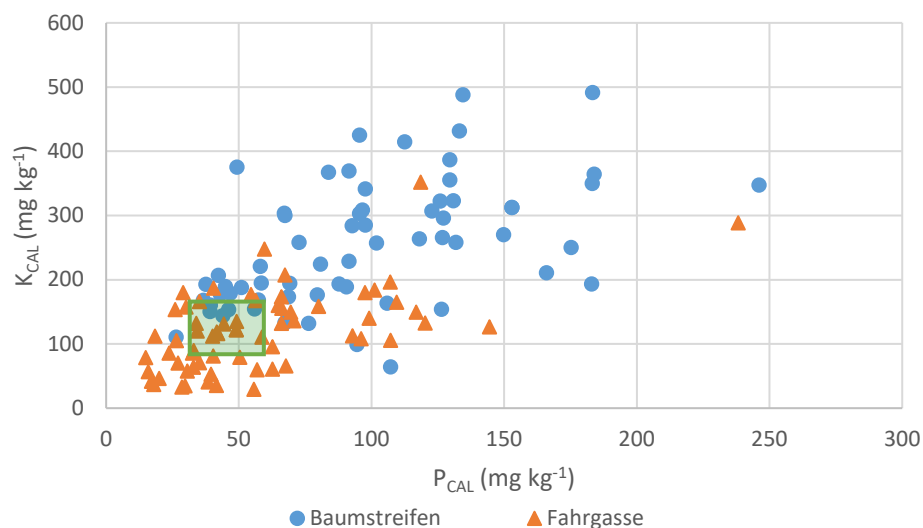


Abbildung 5: Verteilung der P_{CAL} - und K_{CAL} -Gehalte im Boden (0-30 cm) in 64 Obstanlagen in Baden-Württemberg und dem Alten Land mit Gehaltsklasse C (nach VDLUFA für mittlere und schwere Böden (KTBL, 2015; VDLUFA, 2018)) als grüner Kasten.

Zwischen den Nährstoffbilanzen und den Bodengehalten für P, K und Mg wurde kein Zusammenhang festgestellt. Für S wurden generell mit positiverer Bilanz höhere Bodengehalte gemessen (Abb. 6).

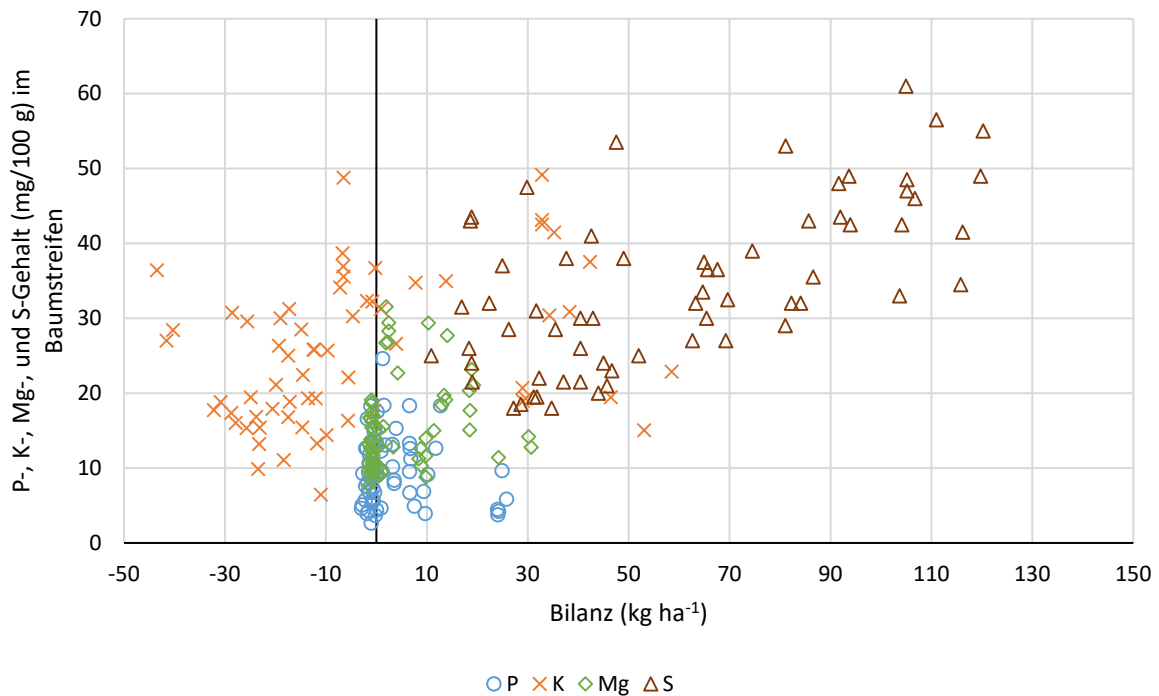


Abbildung 6: Nährstoffgehalte im Boden des Baumstreifens (0 – 30 cm, P_{CAL} , K_{CAL} , Mg ($CaCl_2$) und S) in Abhängigkeit zur Nährstoffeldbilanz (= Nährstoffzufuhr durch Düngemittel und Pflanzenschutzmittel – Nährstoffabfuhr durch Äpfel) in 64 Obstanlagen auf 19 Betrieben in Baden-Württemberg und im Alten Land.

4.4. Diskussion

In ganz Europa zeigt der Durchschnitt der Betriebs- und Feldbilanzen im ökologischen Landbau im Allgemeinen eine unausgewogene Nährstoffversorgung (Reimer et al., 2020b), wobei das Muster der durchschnittlichen Bilanzen den Ergebnissen dieser Studie ähnlich ist: für N, Mg und S liegt eine Überversorgung vor, P ist teils negativ, teils positiv, während für K häufig Bilanzdefizite bestehen. Allerdings zeigt die Studie eine hohe Variation der Bilanzen in Abhängigkeit von Land und Betriebstyp. Eine Analyse von 20 Biobetrieben in Deutschland mit Ackerbau mit und ohne Tierhaltung ergab Hofbilanzen von 19 kg N ha^{-1} , 5 kg K , 12 kg S , 7 kg Mg und -3 kg P ha^{-1} (Reimer et al., 2020a) und liegt damit ungefähr in der gleichen Größenordnung wie

der ökologische Obstbau. Eine Studie über die Nährstoffflüsse in ökologischen Gewächshäusern von Zikeli et al. (2017) zeigte Ähnlichkeiten zu den vorliegenden Ergebnissen in Bezug auf K-Defizite und hohe Ca-Überschüsse, wobei auch ein Nettokalkungseffekt festgestellt wurde. Zu beachten ist, dass im Gemüseanbau ein viel höheres Niveau an Inputs und Outputs besteht, mit Ausnahme von S aufgrund des hohen Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln im Obstbau. In Südtirol stellten Alber et al. (2018) für den ökologischen Apfelanbau Bilanzdefizite bei Ca und K fest, berücksichtigten aber nicht den Input durch Pflanzenschutzmittel, gleichzeitig aber den Output aus der Fläche durch die Entfernung alter Bäume bei der Neuanlage. Dadurch wurden die Inputs unterschätzt und die Outputs waren im Vergleich zu den vorliegenden Ergebnissen höher. Die Defizite bei Ca und auch bei P und Mg deuten auf einen geringeren Einsatz von Grunddüngern in Südtirol hin, da Grunddünger höhere Mengen dieser Elemente enthalten.

In der vorliegenden Studie wurden andere Faktoren, die sich ebenfalls auf die Bilanz auswirken, wie die Nährstoffaufnahme in die Baumbiomasse und die Nährstoffauswaschung, nicht berücksichtigt. Die Nährstoffaufnahme in die Baumbiomasse nimmt mit dem Alter der Bäume ab. Bei den meisten Untersuchungsstandorten handelte es sich um volltragende Bäume, so dass davon ausgegangen wurde, dass die Nährstoffaufnahme in der Baumbiomasse über den Untersuchungszeitraum konstant ist. Bei einem Ertrag von $17,1 \text{ t ha}^{-1}$ mit 18 kg N -Abfuhr durch die Früchte wird eine Festlegung von 15 kg N pro Jahr in Baumkrone und Wurzel geschätzt (Link, 2018). In dieser Studie wurden mit etwas höheren Erträgen ähnliche Zahlen für die N-Abfuhr ermittelt. Da die alten Bäume vom Feld entfernt werden, muss die Aufnahme in die Baumbiomasse als zusätzlicher Nährstoffoutput betrachtet werden. Daher sind die Nährstoffbilanzen in dieser Studie in gewissem Maße überschätzt.

Werden die Nährstoffgehalte der Düngemittel mit den Gehalten in Äpfeln verglichen (Möller & Schultheiß, 2014), zeigt keiner der eingesetzten Dünger eine Nährstoffstöchiometrie, die dem Nährstoffabfuhr der Äpfel entspricht, was zu Ungleichgewichten führt, wenn nicht durch Kombination verschiedener Nährstoffquellen einschließlich der biologischen N-Fixierung entsprechend reagiert wird. Im Allgemeinen wurden höhere Nährstoffüberschüsse durch den Einsatz von Grunddüngern erzielt, was die Ergebnisse von Möller (2018) bestätigen. Eine Berechnung der Düngung mit Kompost auf der Grundlage des N-Bedarfs der Apfelbäume führt zu einer Überversorgung mit einigen anderen Elementen, folglich ist eine ausgewogene Ernährung mit Kompost nicht möglich (Möller und Friedel, 2016). Dagegen kann eine Düngung

nur mit organischen Handelsdüngern zu einer Unterversorgung mit Elementen wie K und zu einer Überversorgung insbesondere mit Schwefel führen. Dies gilt vor allem für den Einsatz von Keratinen (Horndünger, Haarmehlpellets, Federmehl, Wolle), da diese kaum Mineralstoffe, aber hohe Schwefelmengen enthalten (Möller und Schultheiß, 2014). Der im ökologischen Landbau zugelassene Ausgleich des K-Defizits mit K-Düngern (Mischung aus K_2SO_4 und $MgSO_4$) würde diese Überversorgung an S noch verstärken.

Pflanzenschutzmittel können ebenfalls die Ursache für Ungleichgewichte sein, da sie zu erheblichen Zufuhren führen, insbesondere von S (Abb. 4). S reagiert im Boden mit Wasser zu Schwefelsäure und treibt damit die Bodenversauerung voran ($2 S + 2 H_2O + 3 O_2 \rightarrow 2 H_2SO_4 \leftrightarrow SO_4^{2-} + 2 H^+$). Dies erklärt hauptsächlich die versauernde Wirkung der im ökologischen Apfelanbau verwendeten Pflanzenschutzmittel (Abb. 4). Ähnlich wie Nitrat können die Schwefelüberschüsse im Boden im Winter ausgewaschen werden, wobei andere Kationen wie Ca und Mg verlagert werden, um das Potenzial auszugleichen (Alva und Gascho, 1991). Daher sind Ca-haltige Pflanzenschutzmittel (z. B. Kalkschwefel) unter dem Gesichtspunkt der Bodenfruchtbarkeit solchen vorzuziehen, die nur S enthalten. Alternativ sollte eine ausreichende Kalkung vorgesehen werden.

Die deutlich höhere N-Effizienz der Systeme, die auf eher schnell freisetzenden organischen kommerziellen N-Düngern basieren, im Vergleich zu Kompost, steht im Einklang mit anderen Erkenntnissen aus der Literatur (Zikeli et al., 2017). Die Dosierung kann durch die schnellere Nährstofffreisetzung viel genauer an den N-Bedarf der Pflanzen angepasst werden, sowohl in Bezug auf die Menge als auch auf den Zeitpunkt (Kapitel 6).

Die in den Böden gemessenen Unterschiede zwischen den Baumstreifen und den Fahrgassen (Tabelle 2) lassen sich durch die sehr häufige Verwendung der Fahrgassenbiomasse als Mulchmaterial (Kapitel 5) für den Baumstreifen erklären, neben der Ausbringung von Düngemitteln nur im Baumstreifen. Durch diesen wiederholten Transfer von Biomasse aus der Fahrgasse in die Baumreihe wird eine erhebliche Menge an Nährstoffen umverlagert (Engel et al., 2009; Jadczyk, 1990; Surikova and Kärkliņš, 2011) ohne dass die Nährstoffe in der Fahrgasse ersetzt werden. Engel et al. (2009) berichten von jährlich 10-25 kg N, 15-25 kg K, 2-4 kg P, 3-5 kg Ca und 1-2 kg Mg, die in die Reihe verlagert werden. Diese Verlagerung wirkt sich nicht auf die Feldbilanz aus, erhöht jedoch das Ungleichgewicht der Nährstoffverteilung innerhalb der Obstanlage. Dies erklärt die ausreichende K-Versorgung (Abb. 5) in der Baumreihe, trotz der

negativen Bilanz. Einerseits kann die Fahrgasse als anlageninterne Nährstoffquelle genutzt werden, um die Effizienz der Obstanlage zu erhöhen, insbesondere durch die Etablierung von Leguminosen als N-Fixierer (Granatstein et al., 2013). Andererseits fördert dies bei P und K die Verarmung in der Fahrgasse und Übersättigung von in der Baumreihe. In Anbetracht dessen, dass der höchste N-Bedarf in der Vegetationsperiode im Frühjahr und Frühsommer besteht (Paoletti et al., 2016), sollten die späteren Schnitte in der Fahrgasse belassen werden, um eine hohe Stickstoffzufuhr im Sommer zu vermeiden und das Ungleichgewicht zwischen Reihe und Fahrgasse zu verringern. Um Nährstoffverlagerungen aus der Fahrgasse zu verringern, könnten Leguminosen direkt in der Reihe etabliert werden (Buchleither et al., 2014), die ebenfalls erhebliche Stickstoffmengen in das System einbringen können, ohne dass dies mit der Zufuhr anderer Begleitelemente verbunden ist. Diese einseitige N-Zufuhr kompensiert die einseitigen N-Verluste und könnte mittelfristig die P- und K-Überschüsse in der Baumreihe reduzieren. Gleichzeitig treten bei dieser Strategie andere Probleme auf, wie z. B. die Wasser- und Nährstoffkonkurrenz mit den Bäumen und das Problem, Wühlmäusen in der Baumreihe Unterschlupf zu bieten, was zu Schäden an den Baumwurzeln führen kann. Die Position der Bäume zu wechseln, indem die nächste Baumgeneration in die Fahrgasse gepflanzt wird, um die Nährstoffe wieder zurückzuverlagern, ist häufig keine praktikable Option. Die jungen Bäume würden in den nährstoffarmen Boden gepflanzt werden, wenn sie die meisten Nährstoffe für ihre Entwicklung benötigen. Auch die z. B. in der Bodenseeregion häufig genutzten Hagelnetzkonstruktionen müssten neu gebaut werden.

Dass eine Korrelation zwischen Bilanz und Bodengehalten nicht erkennbar ist (Abb. 6), liegt an den vielen weiteren Einflussfaktoren auf die Bodengehalte, wie die Bodenart, Jahre nach Umstellung, Düngermenge, Art der Düngung, den Gehalt an organischem Kohlenstoff und den pH-Wert. Allein beim Schwefel haben diese einen untergeordneten Einfluss, sodass mit steigender S-Bilanz ein erhöhter S-Gehalt im Boden zu beobachten ist. Andere Studien haben ebenfalls festgestellt, dass sich Ergebnisse von Nährstoffbilanzen nicht in Bodengehalten widerspiegeln (Alber et al., 2018; Reimer et al., 2020a) und weisen auf mögliche Gründe hin, wie 1) die Nachlieferung von Nährstoffen aus dem Boden oder 2) die unterschiedliche Ausgangssituation der verschiedenen Betriebe zum Zeitpunkt der Umstellung auf den ökologischen Landbau. Ersteres dürfte auch für die Pufferkapazität des Bodens gelten, die die versauernde Wirkung (insbesondere von Schwefel) abpuffert und den pH-Wert stabilisiert. Letzteres würde

die Korrelation zwischen dem Nährstoffgehalt des Bodens und den Jahren nach der Umstellung beeinflussen. Darüber hinaus scheint die Verlagerung der Biomasse innerhalb der Obstanlage einen erheblichen Einfluss auf den Nährstoffstatus des Bodens zu haben. Da diese Faktoren die Auswirkungen eines unausgewogenen Düngemanagements überlagern, können Nährstoffbilanzen helfen, Ungleichgewichte zu entdecken, bevor sie durch Bodenanalysen sichtbar werden (Korsaeth, 2012).

Generell zeigen die Untersuchungen, dass die im ökologischen Apfelanbau üblichen Düngemittel nicht optimal geeignet sind, um langfristig ausgeglichene Nährstoffflüsse zu gewährleisten. Die Ergebnisse zeigen auch, dass die Düngestrategien, die auf dem Einsatz von Kompost beruhen, etwas stärkere Ungleichgewichte aufweisen als die Strategien, die auf organischen Handelsdüngern basieren. Die Hauptursachen für die Nährstoffungleichgewichte sind die einseitigen N-Verluste bei der Kompostierung, die einseitige Zusammensetzung der organischen Handelsdünger sowie die einseitigen S-Einträge über Pflanzenschutzmittel, die nur teilweise durch entsprechende Zufuhren von Kationen wie Ca kompensiert werden.

Insgesamt sind die Ungleichgewichte jedoch moderat und dürften erst langfristig größere Probleme verursachen. Dabei ist zugleich zu bedenken, dass eine Linderung dabei entstehender Probleme auch nur mittel- oder langfristig zu beheben wäre, daher sollte bereits heute entsprechend gehandelt werden, z. B. indem konsequent Nährstoffbilanzen durchgeführt werden, und das Bodenfruchtbarkeitsmanagement entsprechend angepasst wird. Die Herausforderung besteht darin, das Dünge- und Anbausystem so zu gestalten, dass mittel- und langfristig ausgeglichene Nährstoffflüsse entstehen. Dennoch, wie Granatstein und Sánchez (2009) erläutern, ist die Bewirtschaftung ökologischer Obstanlagen stärker von lokalen Faktoren abhängig als die konventionelle Landwirtschaft, so dass es keine allgemeingültige Lösung gibt. Düngestrategien stehen in Wechselwirkung mit anderen Bewirtschaftungsmaßnahmen wie der Fahrgassenbewirtschaftung, der Unkrautbekämpfung, dem Pflanzenschutz, dem Bodenschutz und sogar der Wühlmausbekämpfung. Die Verwendung von Kompost beispielsweise dient neben der Pflanzenernährung auch anderen Zwecken, wie z. B. der Zufuhr von organischer Masse (Bieri et al., 2004; Hoagland et al., 2008). Die Verlagerung von Biomasse von der Fahrgasse in die Baumreihe dient nicht nur der Düngung: Das gemähte Gras in der

Baumreihe kann auch zur Unkrautunterdrückung und als Bodenabdeckung gegen Wasserverluste durch Verdunstung dienen. Die Etablierung von Leguminosen in der Baumreihe kann lokal problematisch sein im Hinblick auf Baumschäden durch Wühlmäuse.

5. Arbeitspaket 3: Erhöhung der Diversität in ökologischen Obstbausystemen

5.1. Einleitung

Um die Biodiversität in intensiv bewirtschafteten ökologischen Obstanlagen zu steigern, ist die Anlage von Blühstreifen in der Fahrgasse in der Praxis verbreitet. Im DOMINO-Projekt sollten weitere Möglichkeiten der Erhöhung der Diversität untersucht werden: a) die Bepflanzung des Baumstreifens mit den zusätzlichen Zielen der Unkrautunterdrückung und des Blühangebots für Insekten, sowie einer eventuellen Verwertung als weitere Einkommensquelle, und b) die Etablierung von Leguminosen in der Fahrgasse als Nährstoffquelle (vor allem zur N₂-Fixierung in der Anlage) für die Apfelbäume durch den Transfer der Biomasse in den Baumstreifen.

Dazu wurde einerseits ein Demonstrationsversuch mit Pfefferminze und Wald-Erdbeeren angelegt, um deren Etablierung im Baumstreifen zu bewerten. Zum anderen wurde ein Versuch mit zwei Kleesorten in der Fahrgasse und Erbsen im Baumstreifen durchgeführt, bei denen die Nährstoffmengen im Aufwuchs und die Mineralisation im Boden analysiert wurden. Außerdem wurde auf Praxisbetrieben untersucht, wie der Fahrgassenaufwuchs genutzt wird. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Erfassung der Nährstoffe, die durch das Mulchen und den Transfer der Biomasse aus der Fahrgasse in den Baumstreifen verlagert werden.

5.2. Material und Methoden

5.2.1. Demonstrationsversuch zur Steigerung der Biodiversität im Baumstreifen

Der Versuch wurde am KOB in einer ökologischen Apfelanlage der Sorte Natyra auf der Unterlage M25 (3,6 x 5m) in den Jahren 2019 – 2020 durchgeführt. Die in dieser Anlage im Korb gepflanzten Bäume waren vor Wurzelschäden durch Wühlmäuse geschützt. Pfefferminze (*Mentha x piperita*) und Wald-Erdbeere (*Fragaria vesca*) wurden im Oktober 2018 in den 1m breiten Baumstreifen, jeweils in einem Abschnitt zwischen vier Bäumen auf einer Länge von

10,8 Metern, gepflanzt: Pfefferminze mit einer Anzahl von 4,4 Pflanzen pro m², Wald-Erdbeeren mit einer Anzahl von 9,4 Pflanzen pro m². Nicht alle Pflanzen der Wald-Erdbeeren konnten sich bis zum Sommer 2019 etablieren, sodass einige im Juli 2019 nachgepflanzt wurden. Um Überwucherung durch Gräser und Kräuter zu verhindern, wurde in den Erdbeeren und der Minze im Frühsommer 2019 von Hand Unkraut gejätet, in den Erdbeeren zusätzlich nochmal im Herbst 2019, sowie im Juni 2020. Jeweils im August und im Oktober wurde die Pfefferminze zurückgeschnitten. Zu drei Zeitpunkten im Jahr fand eine Schätzung des Bodenbedeckungsgrads statt (pro Variante an 6 Beobachtungsstellen auf jeweils 0,5 m² Baumstreifen).

5.2.2. Feldversuch zur Integration von Leguminosen in die Fahrgasse

Der Versuch wurde am KOB in den Jahren 2020 – 2021 in einer ökologischen Apfelanlage der Sorte Santana auf Unterlage M9 durchgeführt. Weißklee (*Trifolium repens* var. Liflex) und Mikroklee (*Trifolium repens* var. Euromic) wurden als Leguminosen zur Stickstoffbindung in der Obstanlage ausgewählt. Mikroklee ist eine kleinwüchsigerer Weißklee-Sorte, die für Rasenflächen empfohlen wird. Sie bildet kleinere Blätter aus und sollte damit besser befahrbar sein als herkömmliche großblättrige Sorten. Für den Versuch wurden beide auf einer Breite von 80 cm in der Mitte der Fahrgasse gesät, in den Fahrspuren und im Rand zum Baumstreifen wurde die ursprünglich vorhandene Vegetation (hauptsächlich Gräser und Kräuter) nicht umgebrochen, um die Befahrbarkeit der Anlage zu gewährleisten. Erstmals wurde der Klee im September 2018 ausgesät, wegen der Trockenheit war der Feldaufgang allerdings sehr gering, sodass die Fahrgasse im April 2019 umgebrochen wurde und die zwei Kleesorten mit einer Saatstärke von 2 g m² erneut ausgesät wurden. Nach der Etablierung des Klees im Jahr 2019 konnte der Versuch dann für den Zeitraum 2020-2021 wie geplant durchgeführt werden.

Als Körnerleguminosen wurden Wintererbsen (Sorte E.F.B. 33) ausgewählt, um den zuvor gebundenen Stickstoff in die Obstanlage einzubringen. Sie wurden im Oktober in die Baumreihe gesät und im März eines jeden Versuchsjahres gemulcht. Die Behandlungen "Mikrokleemulch", "Weißkleemulch", "Weißkleemulch und Erbsen" wurden mit den Behandlungen "nur Erbsen im Baumstreifen", Hornmehl (Ausbringung im April) und einer ungedüngten Kontrolle verglichen. Die Behandlungen wurden dreimal wiederholt, mit zehn Bäumen pro Parzelle. In drei Fahrgassen wurde jeweils eine Kleesorte eingesät. Vor allen Schnitten der Fahrgassenbiomasse jeder Saison wurde das Verhältnis der Bodenbedeckung durch Kräuter, Gräser und Leguminosen in der Fahrgasse geschätzt. Dazu wurde pro Fahrgasse an drei Stellen

jeweils eine Fläche von 0,80 m Länge und 1,20 m Breite abgesteckt. Diese wurde nochmals unterteilt auf je 40 cm Breite, um die Flächen der Kleeinsaat, der Fahrspur und des Randes der Fahrgasse einzeln betrachten zu können. Der Aufwuchs wurde in den gleichen abgesteckten Flächen dreimal pro Fahrgasse von Hand geschnitten und die Frischmasse aufgeteilt in Fahrgassenmitte mit der Kleeinsaat sowie den restlichen Teil mit Fahrspur und Rand mit der ursprünglichen Vegetation, wurde bestimmt. Zur Nährstoffanalyse und Bestimmung des Wassergehalts wurde aus den drei Schnitten jeder Fahrgasse eine Mischprobe entnommen. Der erste Biomasseschnitt fand Ende Mai statt und wurde in die Baumreihe transferiert. Die übrigen zwei bis drei Schnitte, die im Laufe des Jahres durchgeführt wurden, wurden nicht in die Baumreihe verlagert, sondern in der Fahrgasse belassen. Fünf- bis sechsmal im Jahr wurden in der Baumreihe Bodenproben (0 - 30 cm) für die N_{\min} -Analyse entnommen.

Für die Nährstoffanalyse wurden die Pflanzenproben bei 60 °C getrocknet und anschließend gemahlen. Zur Bestimmung von P, K, Mg und Ca wurde ein Mikrowellenaufschluss modifiziert nach VDLUFA (2011) durchgeführt, die Messung fand mittels ICP-OES statt. C und N wurden im Vario MAX CN macro Elementar Analysator (Elementar Analysensysteme GmbH, Hanau, Germany) analysiert. Die N_{\min} -Analyse erfolgte mit 25 g gefrorenem und auf 5 mm gesiebttem Boden modifiziert nach VDLUFA (2002) in einer 0,01-molaren $CaCl_2$ -Extraktionslösung.

5.2.3. Status-Quo Erhebung zum Management des Fahrgassenaufwuchses in Südwestdeutschland

Um Praxispartner für die Befragung und Datenerhebung auf Betrieben zu finden, wurden Landwirte über die FÖKO e.V. kontaktiert. Die teilstrukturierten Interviews über die Strategien der Fahrgassenbewirtschaftung wurden mit elf Landwirten in Südwestdeutschland (Bodenseeregion: 9, Region Freiburg: 2) geführt. Auf sechs Betrieben (Bodenseeregion: 4, Region Freiburg: 2) wurden während der Vegetationsperiode 2019 On-Farm Daten in den Obstanlagen erhoben. In drei zufällig ausgewählten Fahrgassen pro Betrieb auf einem Abschnitt von 20 Bäumen und der jeweiligen Fahrgasse fanden die folgende Messungen und Probenahmen statt: Der prozentuale Anteil von Leguminosen, Kräutern und Gräsern in der Fahrgasse wurde mittels des Göttinger Schätzrahmens geschätzt, dabei wurde der Blühstreifen, falls vorhanden, nicht berücksichtigt, da dieser in der Regel nicht gemulcht wurde und daher für die Nährstoffverlagerung von der Fahrgasse in den Baumstreifen keine Rolle spielt. Im Frühjahr wurden in der Baumreihe und in der Fahrgasse Bodenproben (0-30 cm) entnommen, um den Gehalt

an CAL-extrahierbarem P und K, an CaCl₂-extrahierbarem Mg sowie den pH-Wert des Bodens (CaCl₂) zu analysieren. Diese Bodenanalyse wurde nach VDLUFA (1991, 2012a, 2016) durchgeführt. Vor jedem Mulchschnitt wurde die Biomasseproduktion in der Fahrgasse quantifiziert und die Nährstoffgehalte (N, P, K, Mg und Ca) analysiert. Für die Messung der Biomasse wurde diese auf einer Fläche mit der Länge von 80 cm und einer variablen Breite (abhängig von der Präsenz eines Blühstreifens, der nicht gemulcht wurde) geschnitten. C und N wurde im Vario Max CN macro Elementar Analysator gemessen, P, K, Mg und Ca mittels Mikrowellenaufschluss (ETHOS.lab Professional Microwave System) nach VDLUFA (2011).

5.3. Ergebnisse

5.3.1. Demonstrationsversuch zur Steigerung der Biodiversität im Baumstreifen

Der Bodenbedeckungsgrad durch die Minze im Jahr 2019 betrug bereits einige Monate nach der Pflanzung 80 % und blieb im Jahr 2020 während der gesamten Vegetationsperiode dominant gegenüber Unkräutern. Im Jahr 2020 lag die Bodenbedeckung der Minze zwischen 68 und 78 %, während das Unkraut den Boden mit 2 bis 18 % bedeckte (Abb. 7 + Abb. 9). Die Minze wuchs bis zu einer Höhe von 1 m.

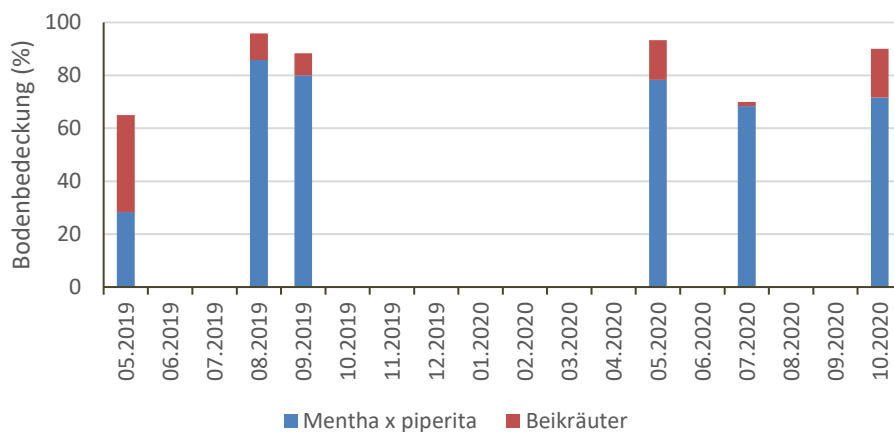


Abbildung 7: Bodenbedeckung durch Pfefferminze (*Mentha x piperita*, gepflanzt im Okt. 2018) und Beikräuter 2019 & 2020 im Baumstreifen), Demonstrationsversuch mit der Apfelsorte *Natura* gepflanzt im Korb, Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee.

Die Wald-Erdbeeren zeigten anfangs eine geringere Konkurrenzfähigkeit gegenüber Unkräutern als die Minze (Bodenbedeckung der Wald-Erdbeeren im Herbst 2019: 55 %). Kriechender Hahnenfuß (*Ranunculus repens*) und Gräser waren bis Mai 2020 stellenweise dominant und damit stärker vertreten als die Wald-Erdbeer-Pflanzen. Diese etablierten sich aber im Verlauf

der zweiten Vegetationsperiode gut (Mai 2020: Erdbeeren: 33 %, Unkraut: 53 %, Oktober 2020: Erdbeeren: 95 %, Unkraut: 4 %) (Abb. 8 + Abb. 9).

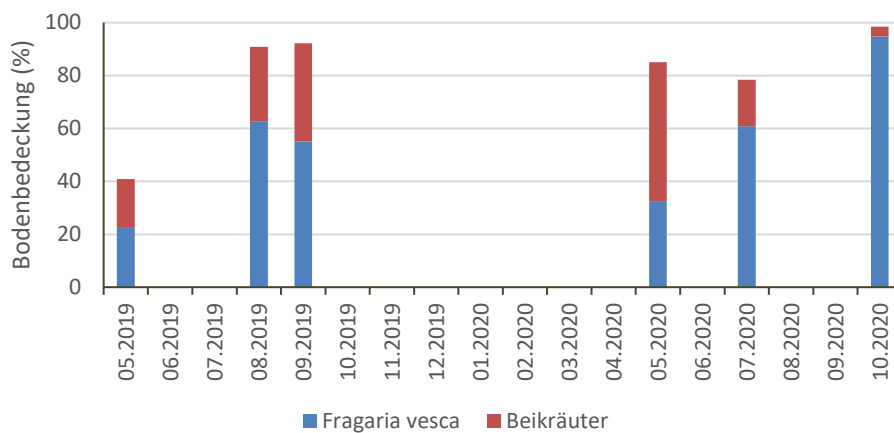






Abbildung 8: Bodenbedeckung durch Wald-Erdbeere (*Fragaria vesca*, gepflanzt im Okt. 2018 mit Nachpflanzung im Juli 2019) und Beikräuter 2019 & 2020 im Baumstreifen). Demonstrationsversuch mit der Apfelsorte Natyra gepflanzt im Korb, Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee.



Abbildung 9: Pfefferminze (*Mentha x piperita*) (links) und Wald-Erdbeere (*Fragaria vesca*) (rechts) im Baumstreifen im Oktober 2020, zwei Jahre nach Pflanzung.

5.3.2. Feldversuch zur Integration von Leguminosen in die Fahrgasse

Nach der Kleeinsaat im Mai 2019 und einem stabileren Wachstum waren im Mai 2020 40-50 % der mittleren 80 cm der Fahrgasse mit Klee bedeckt, was jedoch im darauffolgenden Jahr auf 10-20 % zurückging. In beiden Behandlungen setzten sich die Gräser zu hohen Anteilen gegen die beiden Kleesorten durch (Abb. 10).

	2020			2021		
	Bodenbedeckung Fahrgasse	Nährstoffe im 1. Schnitt (kg ha ⁻¹)		Bodenbedeckung Fahrgasse	Nährstoffe im 1. Schnitt (kg ha ⁻¹)	
Weißklee		TM	1075		TM	1073
		N	19,6		N	24,5
		P	3,5		P	4,0
		K	29,4		K	34,0
		Ca	6,3		Ca	7,7
Mikroklee		TM	909		TM	1049
		N	15,8		N	21,3
		P	3,1		P	3,8
		K	25,4		K	33,5
		Ca	5,1		Ca	7,2

■ Leguminosen (%)
 ■ Gräser (%)
 ■ Kräuter (%)

Abbildung 10: Zusammensetzung der Vegetation in der Mitte der Fahrgasse (Leguminose, Gräser, Kräuter) nach Einsaat von Weiß- und Mikroklee 2019; Trockenmasse (TM) und Nährstoffgehalte im 1. Schnitt der Fahrgassenbiomasse (kg ha⁻¹ Anlage) in den Jahren 2020 und 2021..

Mikroklee lieferte 2020 etwas weniger Biomasse als Weißklee, 2021 war die Biomasseproduktion in beiden Varianten sehr ähnlich (Abb. 11). Beim ersten Schnitt im Jahr 2020 wurden potenziell 16 bis 20 kg N pro ha über Mikro- und Weißklee von der Fahrgasse in die Baumreihe übertragen, zusätzlich zu 25 bis 30 kg K, 3 kg P, 6 kg Ca und 2 kg Mg pro ha. Im Jahr 2021 enthielt der erste Schnitt trotz ähnlicher Mengen an Biomasse höhere Mengen an N, P, K und Ca. Die Mittelwerte der beiden Jahre sind in Abbildung 12 aufgeführt, ebenso wie die Nährstoffzufuhr über die Erbsen (Saatgut). Das C:N-Verhältnis im Biomasseaufwuchs in der Fahrgasse war mit 22:1 (Mikroklee) bzw. 21:1 (Weißklee) höher als in den Erbsenpflanzen mit 10:1.

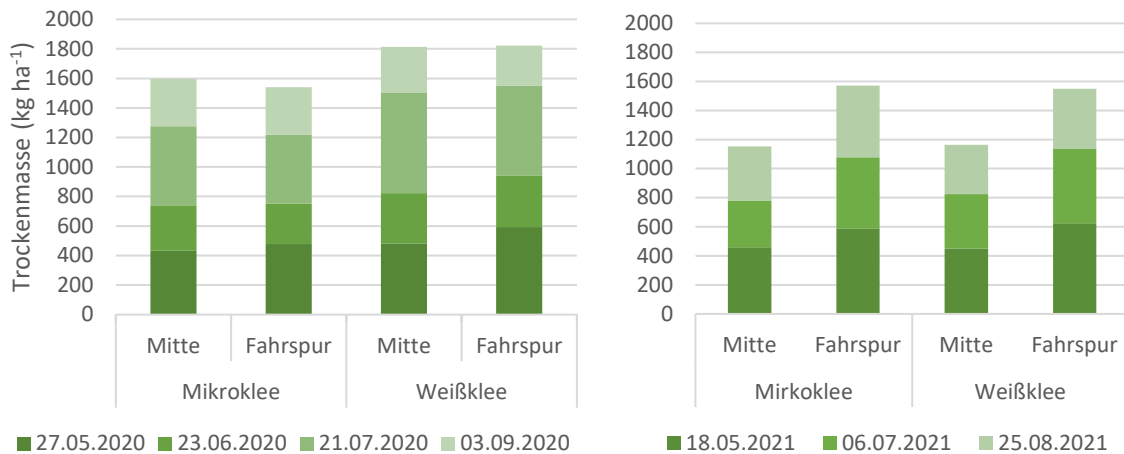


Abbildung 11: Biomasseproduktion je Schnitt in der Fahrgasse 2020 + 2021 (aufgeteilt nach Mitte (Einsaat Weiß- oder Mikroklee in den mittleren 80 cm der Fahrgasse) und Fahrspur (Fahrspur und Rand der Fahrgasse)).

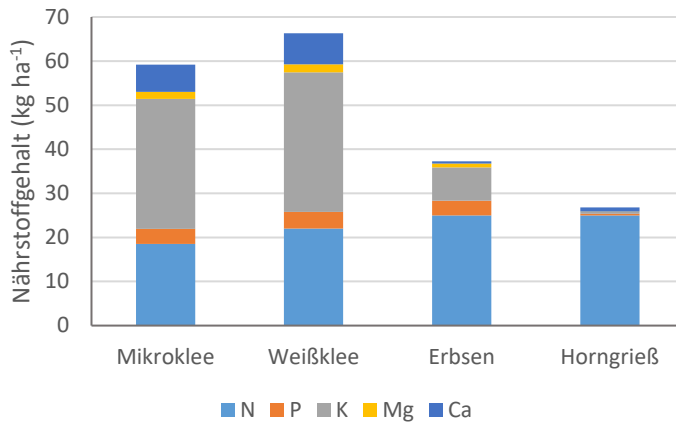


Abbildung 12: Nährstoffgehalte im 1. Biomassenschnitt des Jahres des Weiß- und Mikroklee, in Erbsen und Horngrieß (Mittelwerte aus 2020 + 2021).

Die N_{\min} -Gehalte im Boden (Tiefe 0-30 cm) waren bei den Behandlungen "Weißklee und Erbsen", "Erbsen" und Hornspäne am höchsten (Abb. 13). Kleemulch führte während des Versuchszeitraums nur zu niedrigen N_{\min} -Werten, möglicherweise aufgrund eines höheren C:N-Verhältnisses und damit einer verzögerten Düngewirkung.

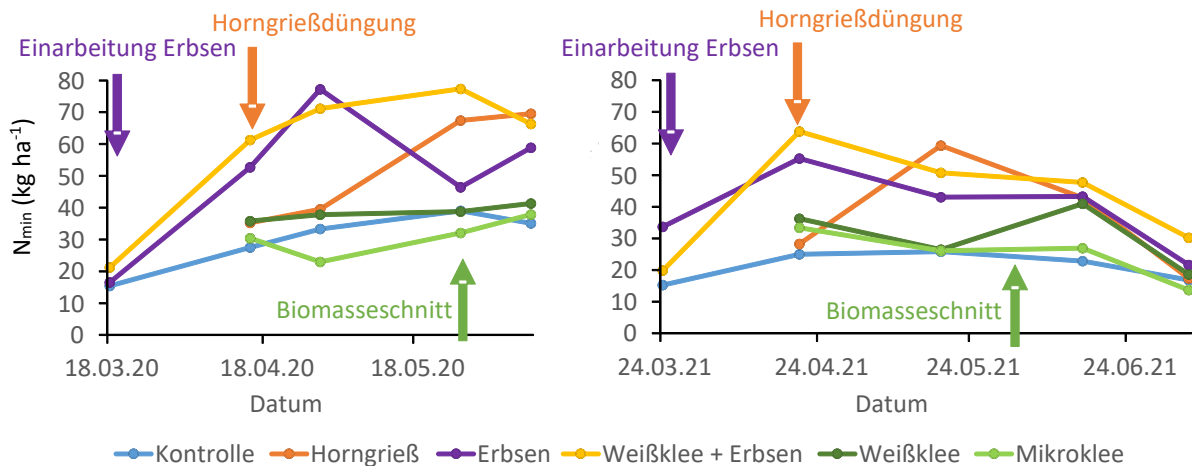


Abbildung 13: N_{\min} -Verlauf im Baumstreifen (kg ha^{-1}) 2020 + 2021 in den 6 Varianten (gemittelt über allen drei Wiederholungen). Wintererbsen wurden im Oktober in den Baumstreifen gesät und im März eingearbeitet, Horngrieß wurde im April gedüngt, Weißklee und Mikroklee wurden in der Fahrgasse etabliert und der erste Schnitt des Jahres in den Baumstreifen überführt.

5.3.3. Status-Quo Erhebung zum Management des Fahrgassenaufwuchses in Südwestdeutschland

In den elf Interviews mit Landwirten wurden als Ziele für den Transfer der Biomasse in die Baumreihe am häufigsten die Bodenbedeckung im Allgemeinen (5 Nennungen), die Verringerung des Wasserverlusts (5), die Unkrautbekämpfung (4) und die Erhöhung des Gehalts an organischer Substanz im Boden (4) genannt. Die Düngung als Motiv für den Biomassetransfer spielte nur eine geringere Rolle (3). Vier Landwirte hatten Blühstreifen in ihren Obstanlagen, sieben nicht. Die Landwirte gaben die Länge des Grases beim Mulchen mit 10 bis 40 cm an, wobei die Mehrheit bei einer Graslänge von etwa 20 cm mulchte. Gemulcht wurde drei- bis neunmal pro Jahr. Alle Landwirte gaben an, die Biomasse von der Fahrgasse in die Baumreihe zu verlagern, wobei sich die Häufigkeit des Biomassetransfers unterschied: Entweder nur im Frühjahr, im Frühjahr und im Sommer oder bei jedem Schnitt während der gesamten Vegetationsperiode.

In den sechs untersuchten Betrieben betrugen die Nährstoffmengen in der Biomasse des Aufwuchses aus der Fahrgasse 38 - 69 kg N pro ha und Jahr, 6 - 11 kg P, 39 - 67 kg K, 4 - 5 kg Mg

und 7 - 13 kg Ca (Abb. 14). Das C:N-Verhältnis war in der Biomasse der weniger häufig gemulchten Fahrgassen höher (17:1 bei 3-4 Schnitten vs. 13:1 bei 6-7 Schnitten).

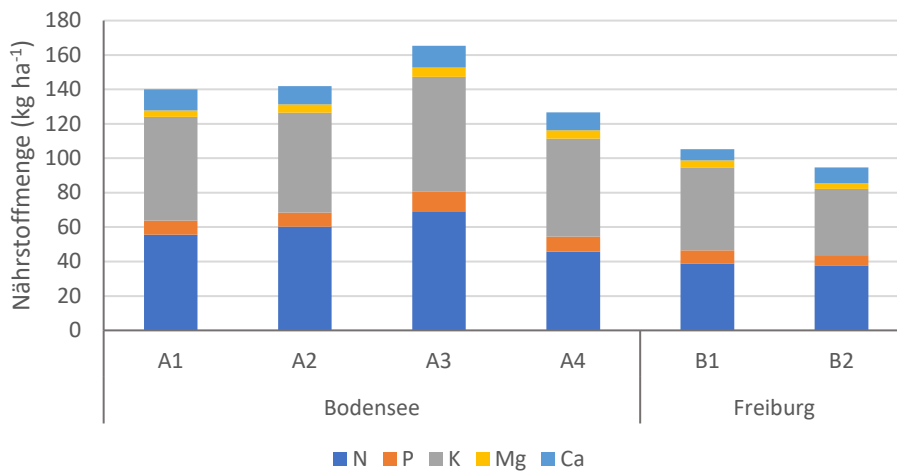


Abbildung 14: Nährstoffmengen im Aufwuchs der Fahrgasse aller Schnitte im Jahr 2019 pro ha Obstanlage auf sechs Betrieben in zwei Regionen (Bodensee, Freiburg).

Die Betriebe unterschieden sich neben der Schnitthäufigkeit pro Jahr außerdem in der Zusammensetzung der Vegetation in den Fahrgassen. Dabei arbeitete die Hälfte der Betriebe mit einem Blühstreifen in der Fahrgasse, die andere Hälfte nicht. (Abb. 15).

Betrieb	A1	A2	A3	A4	B1	B2
Schnitte pro Jahr	6	7	7	3	4	3
C:N-Verhältnis	13,2	11,4	13,6	15,3	17,9	18,8
Blühstreifen	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja	Nein
Zusammensetzung der Vegetation in der Fahrgasse						

Abbildung 15: Schnitte pro Jahr, C:N-Verhältnis der Biomasse (Mittelwert aller Schnitte), Vorhandensein eines Blühstreifens und Zusammensetzung der Vegetation in der Fahrgasse (Anteil an Gräsern, Kräutern und Leguminosen) auf sechs Obstbaubetrieben der Region Bodensee (A) und Freiburg (B).

Die Bodenproben zeigten teilweise eine Verarmung an extrahierbarem P (51 mg kg⁻¹), K (128 mg kg⁻¹) und Mg (120 mg kg⁻¹) in der Fahrgasse, während die Gehalte dieser Nährstoffe in der Baumreihe überwiegend in der Gehaltsklasse D und E lagen (P: 94 mg kg⁻¹, K: 264 mg kg⁻¹, Mg: 142 mg kg⁻¹) (Abb. 16).

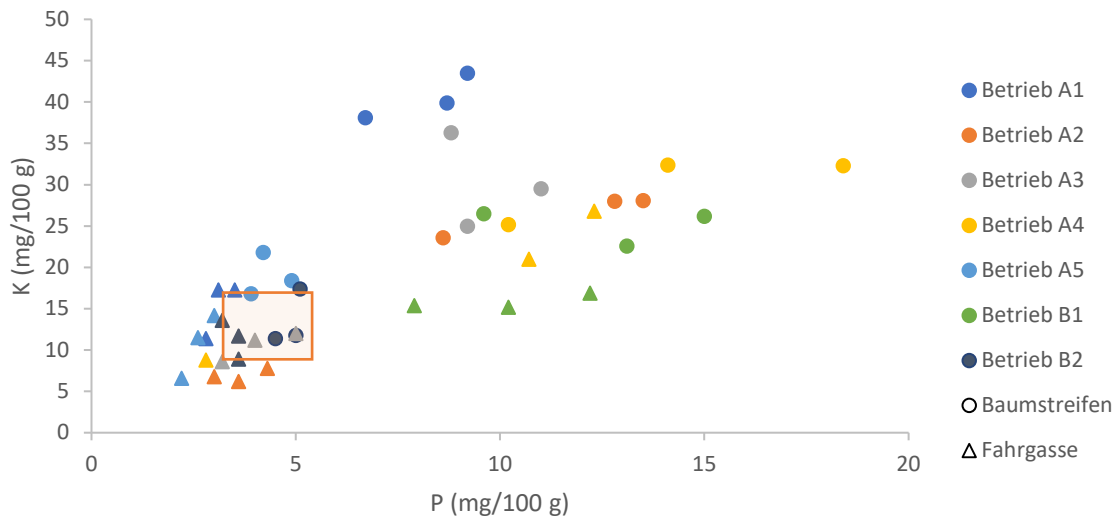


Abbildung 16: P_{CAL} - und K_{CAL} -Gehalte im Boden des Baumstreifens und der Fahrgasse mit Markierung der Gehaltsklasse C als roter Kasten (nach VDLUFA für mittlere und schwere Böden (KTBL, 2015; VDLUFA, 2018)) auf Betrieben in den Regionen Bodensee (A) und Freiburg (B).

5.4. Diskussion

Nach einem anfänglich hohen Aufwand für Pflanzung und Unkrautbekämpfung, konnten sich sowohl die Pfefferminze (Abb. 7) als auch die Wald-Erdbeere (Abb. 8) im Baumstreifen etablieren und Unkräuter wirksam unterdrücken. Die Entwicklung und Konkurrenzfähigkeit über mehrere Jahre müsste jedoch weiterhin beobachtet werden. Das Hacken des Baumstreifens zur Unkrautbekämpfung entfällt, jedoch kommen zusätzliche Pflegemaßnahmen wie der Schnitt bei Pfefferminze zweimal pro Jahr hinzu. Bei der Steigerung der Diversität durch mehrjährige Pflanzen im Baumstreifen treten ferner einige Probleme auf: Die Einarbeitung von Düngemitteln in den Boden des Baumstreifens wird unmöglich und um Wurzelbeschädigungen durch Schadinsekten zu vermeiden, sollte der Baumstreifen ohne Bewuchs gehalten werden, was gegen die Etablierung einer mehrjährigen Kultur im Baumstreifen spricht. Nicht zuletzt macht der Einsatz von im ökologischen Obstbau zugelassenen Pflanzenschutzmitteln in der Hauptkultur die Verwendung der Lebendmulche als weitere Einkommensquelle in Deutschland eher schwierig.

Die Etablierung einer reinen Kleekultur in der Fahrgasse war am Standort KOB im Versuchszeitraum nicht realisierbar. Auch Projektpartnern in der Schweiz gelang eine Etablierung des Klees in der Fahrgasse nicht, im Gegensatz zu Granatstein et. al. in den USA / Washington

(2013). Allerdings zeigte sich, dass eine Einsaat von Leguminosen zur N_2 -Fixierung in die Fahrgasse nicht notwendig ist, da auch die bereits vorhandene Vegetation (Gräser, Kräuter und eine geringe Anzahl von Leguminosen) schon im ersten Schnitt 20 kg N pro ha neben P, K, Mg und Ca enthält (Abb. 12), die durch Mulchen und Ablage in die Baumreihe verlagert werden können. Während die N_2 -Fixierung durch Klee dem Obstanbausystem N hinzufügt, muss berücksichtigt werden, dass (ohne die Feldbilanz zu verändern) der Nährstofftransfer von P, K, Ca und Mg durch den Mulch aus der Fahrgasse zu räumlichen Unterschieden in der Nährstoffkonzentration im Boden zwischen der Baumreihe (Nährstoffanreicherung) und der Fahrgasse (Nährstoffverarmung) führt. Durch die Ausbringung von Erbsen werden dem System neben N auch P, K und Mg zugeführt. Die Erbsen lieferten den Bäumen ähnliche Mengen an N wie die Biomasse aus der Fahrgasse, wobei erstere in der Versorgung mit schnell verfügbarem N effizienter waren als die in den Baumstreifen transferierten Biomasseschnitte. Zusammenfassend dient eine Kombination aus Erbsen und Fahrgassenmulch dem Ziel, den Bäumen schnell verfügbaren N zu liefern und auch andere Nährstoffe wie K bereitzustellen, allerdings mit dem Risiko, dass die Fahrgassen verarmt werden.

In den Praxiserhebungen zeigte sich, dass der Biomassetransfer von der Fahrgasse in den Baumstreifen gängige Praxis ist und dass hohe Mengen an Nährstoffen durch die etablierte Fahrgassenbegrünung in den Baumstreifen verlagert werden (Abb. 14). Die Differenz zwischen Fahrgasse und Baumstreifen und die teils überversorgten Böden im Baumstreifen (Abb. 16) lassen sich durch die ausschließliche Düngung in der Baumreihe sowie durch den Nährstofftransfer über die gemulchte Biomasse von der Fahrgasse in die Baumreihe erklären. Dieser Nährstofftransfer muss bei der Gestaltung nachhaltiger Düngestrategien für ökologische Apfelanlagen berücksichtigt werden, auch wenn die geschnittene Biomasse aufgrund der unspezifischen Ablage durch die Mulchmaschinen nicht vollständig in die Baumreihe verlagert wird. Die tatsächlich verlagerte Biomasse in den Baumstreifen konnte in dieser Arbeit nicht gemessen werden. Wenn man mit einer Übertragungsrate der Biomasse von 25-50 % rechnet (Engel et al., 2009), ähneln die transferierten Nährstoffmengen in der vorliegenden Erhebung denen von Engel et al. (2009) mit 10-25 kg N, 15-25 kg K, 2-4 kg P, 3-5 kg Ca und 1-2 kg Mg. Jedoch wurde in einem anderen Versuch eine Übertragungsrate von 60-80 % gemessen (Jadczyk, 1990), sodass die verlagerten Nährstoffmengen je nach Effektivität der Maschinen stark schwanken können (Kapitel 9). Auf der Grundlage dieser Ergebnisse können die Land-

wirte die Düngewirkung ihrer Mulchstrategien nur in Abhängigkeit von der vorhandenen Technik abschätzen und in ihr Düngemanagement integrieren, was zu einem geringeren Bedarf an externen Düngemitteln führen kann. Gleichzeitig findet ein erheblicher Nährstofftransfer zwischen den Baumreihen und den Fahrgassen statt, was zusätzliche Düngergaben in den Fahrgassen rechtfertigen kann, um langfristig eine Nährstoffverarmung in Teilen der Obstanlage zu vermeiden. Eine Strategie könnte sein, dass Düngemittel mit geringer N-Düngewirkung wie z. B. Komposte in die Fahrgasse ausgebracht werden, und die N-Düngung der Bäume indirekt über den Fahrgassenaufwuchs erfolgt. Generell sollten die Landwirte die Bedeutung des Biomassetransfers in die Baumreihe neu bewerten und ein stärkeres Augenmerk auf den Nährstofftransfer legen als bisher. Aufgrund des geringen Nährstoffbedarfs der Bäume im Sommer wird empfohlen, hohe N-Mineralisierung im Baumstreifen durch verlagerte Fahrgassenbiomasse in dieser Zeit zu vermeiden.

Zur Steigerung der Biodiversität kann die Bepflanzung des Baumstreifens, zumindest mit mehrjährigen Kulturen, im Allgemeinen nicht empfohlen werden, da sie neben dem anfänglichen Aufwand auch die Bewirtschaftung (Düngung) der Anlage erschweren oder sogar Schäden indirekt verursachen können (Wühlmäuse). Die Etablierung von Klee in der Fahrgasse erwies sich ebenfalls als schwierig und nicht notwendig, da mit dem bereits vorhandenen Aufwuchs in der Fahrgasse eine Düngewirkung erzielt werden kann. Um Biodiversität zu fördern sollte der Fokus auf Blühstreifen in der Fahrgasse oder am Rand der Anlage liegen. Hier ist auch wieder die Abwägung der Ziele von Bedeutung, nicht zuletzt weil Blühstreifen einen niedrigen Nährstoffbedarf haben und geschnittene Biomasse wegen Beschattung der Blühpflanzen nicht auf diesen verbleiben sollte. Somit wären niedrigere Nährstoffgehalte in der Fahrgasse sogar erwünscht, jedoch bleibt das Thema der Überversorgung von P und K im Baumstreifen.

6. Arbeitspaket 4: Düngemanagement

6.1. Einleitung

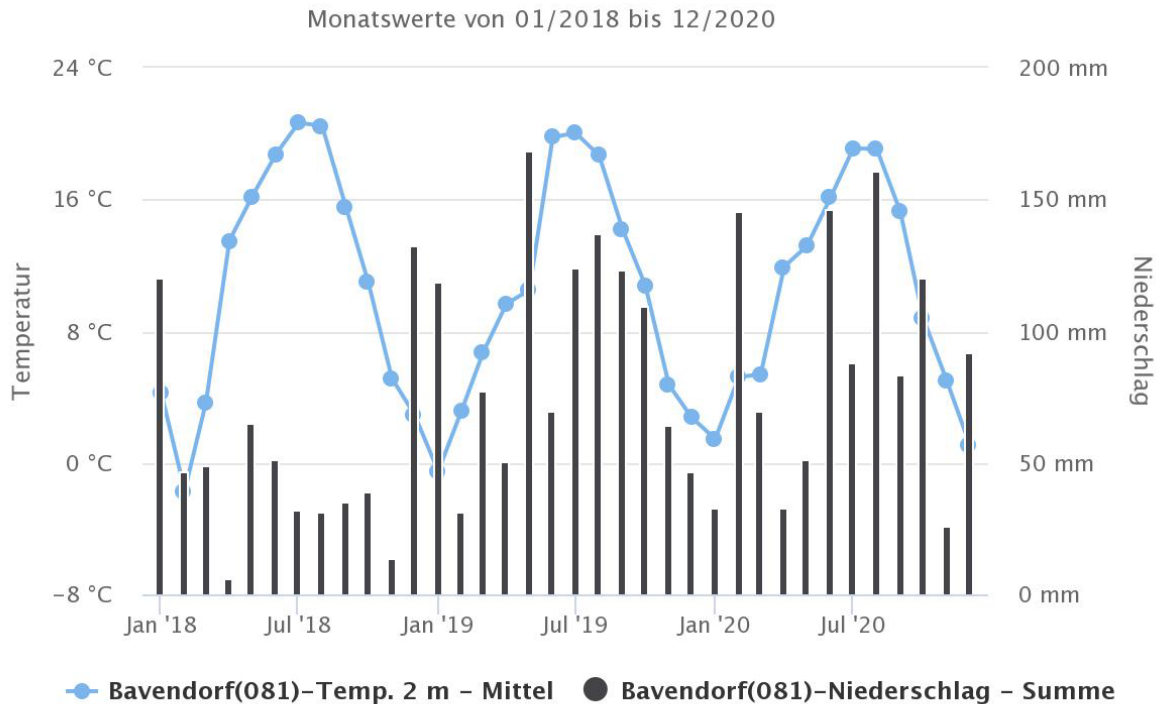
Das Arbeitspaket 4 besteht aus zwei Teilen: Zum einen sollten alternative Düngemittel in einem Feldversuch und einzelne Düngemittel auch auf Betrieben (On-Farm-Versuche) für den Apfelanbau geprüft werden, zum anderen fand ein Gefäßversuch zur Auswirkung der hohen

Ausbringungsmengen von Schwefel durch Pflanzenschutzmittel und Dünger auf ausgewählte Bodeneigenschaften statt (Kapitel 7). Zur Entwicklung und Bewertung neuer Düngestrategien wurden alternative Düngemittel, basierend auf Reststoffen (Biogasgärreste, Kompost) oder Leguminosen (Kleegraspellets, Kleegrassilage, Erbsen als Untersaat) für einen Feldversuch ausgewählt. Die Auswahl erfolgte auf Basis der besseren Vereinbarkeit mit den ökologischen Zielen des Düngemanagements, wie der Kreislaufwirtschaft und den Einsatz von Leguminosen als Ersatz für umstrittene Düngemittel aus konventioneller Herkunft (z. B. Horngrieß, Vinasse). Anders als die Etablierung von Leguminosen zur N₂-Fixierung in der Anlage (Kleeinsaat in der Fahrgasse, Kapitel 5) wurden Körnerleguminosen und klee grasbasierte Düngemittel eingesetzt, um zuvor gebundenen Stickstoff (betriebsintern oder auf anderen Öko-Betrieben) in die Obstanlage zu bringen und so die N-Effizienz des Systems zu steigern. Die Düngemittel wurden auf ihre Eignung für den Obstanbau nach den Kriterien der Nährstoffversorgung, N-Mineralisierung, Auswirkung auf den Ertrag, die Fruchtqualität, das vegetative Wachstum und die Nährstoffbilanz untersucht. Auf drei Betrieben wurden die Düngemittel Kompost, Wintererbsen und Silage verwendet. Hier wurde die N-Mineralisation im Boden analysiert und die Anwendbarkeit der Düngemittel in der Praxis untersucht.

6.2. Material und Methoden

6.2.1. Feldversuch mit alternativen Düngemitteln

Der Versuch fand am KOB in den Jahren 2018 – 2020 in einer ökologisch bewirtschafteten Apfelanlage (3,5m x 1m Pflanzabstand) mit der Sorte Santana auf der Unterlage M9 (Pflanzjahr 2014) statt. Abbildung 17 zeigt die Klimadaten über den Versuchszeitraum. Das Jahr 2018 war mit einer Durchschnittstemperatur von 10,9 °C und einer Niederschlagsmenge von 633 mm ein sehr heißes und trockenes Jahr. Die Jahre 2019 (10,1 °C; 1122 mm) und 2020 (10,1 °C; 1051 mm) waren ebenfalls wärmer, gleichzeitig aber etwas feuchter als das langjährige Mittel (1961 - 1990) mit 8,7 °C und 982 mm (www.wetter-bw.de).



Quelle: Agrarmeteorologie Baden-Württemberg

Abbildung 17: Klimadaten des Versuchsstandortes in Bavendorf der Jahre 2018 – 2020 (Quelle: www.wetter-bw.de), während der Laufzeit des Düngungsversuchs zum Einsatz alternativer Düngemittel im ökologischen Obstbau.

Es wurden vier Wiederholungen mit je zehn Bäumen angelegt. Die alternativen Düngemittel Biogasgärreste, Kompost, Kleegraspellets, Kleegrassilage und Erbsen als Untersaat im Baumstreifen wurden mit den organischen Standarddüngern Horngrieß und Vinasse, sowie einer ungedüngten Kontrolle verglichen (Abb. 18). Die Biogasgärreste stammten aus einem ökologisch wirtschaftenden Landwirtschaftsbetrieb und bestanden aus Klee gras (53 %), Schweinemist (25 %), Jauche (20 %) und Mais (2 %). Kompost hatte 2018 und 2019 eine Zusammensetzung aus Pferdemist (70 %), Trester (10 %), Rindermist (5 %), Grüngut (5 %) und Erde (10 %), 2020 wurde eine andere Quelle genutzt, hier bestand der Kompost aus Rindermist (40 %), Grüngutkompost (30 %), Pferdemist (20 %), Hopfenlaub und Schilf (10 %). Alle Düngemittel wurden mit einer N-Menge von 25 kg pro ha ausgebracht, was dem typischen Düngeniveau im ökologischen Apfelanbau in der Region Bodensee entspricht. Die Ausbringung erfolgte in den Baumstreifen. Es gab drei Varianten einer Leguminosendichtsart mit Erbsen: Wintererbsen (2019: Sorte Pandora, 2020: E.F.B. 33) wurden im Oktober eingesät und hatten zwei Standzeiten, d. h. zwei verschiedene Umbruchszeitpunkte („kurz“ und „lang“). Bei der kurzen Standzeit wurden die Erbsenpflanzen im März eingearbeitet, zum gleichen Zeitpunkt wurden die

Sommererbsen (2018+19: Sorte Arvika, 2020: Lisa) eingesät. Diese wurden, zusammen mit den Wintererbsen (lange Standzeit) und den anderen Düngemitteln ca. eine Woche vor der Apfelblüte im April in den Baumstreifen eingearbeitet.



Abbildung 18: Die im Feldversuch untersuchten Düngemittel (von links nach rechts): Horngrieß, Vinasse, Biogasgärreste, Kompost (oben), Kleegrassilage, Kleegraspellets, Sommer- und Wintererbsen (unten).

Die N-Bestimmung zur Berechnung der Düngemenge erfolgte mittels Kjeldahl-Analyse. Über die gesamte Vegetationszeit, von März bis Oktober, wurden an neun Terminen Bodenproben (0-30 cm) im Baumstreifen zur N_{\min} -Analyse gezogen. Je Wiederholung wurden drei Einstiche mit dem Bohrstock zu einer Probe zusammengefasst. Die N_{\min} -Analyse fand modifiziert nach VDLUFA (2002) statt: Die bei $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ gelagerten Proben wurden auf 5 mm gesiebt, die Extraktion wurde mit einer 0,01 M CaCl_2 -Lösung durchgeführt, gemessen wurde am Continuous Flow Analyzer („Evolution II“, Alliance Instruments). Für die Bodengrundanalyse wurden jährlich im April, sowie 2020 zusätzlich im Oktober Bodenproben gezogen (0-30 cm). An diesen Proben wurden folgende Messungen durchgeführt: pH-Wert (0,01 M CaCl_2 -Lösung) (VDLUFA, 2016), extrahierbarer P (CAL), K (CAL) (VDLUFA, 2012a) und Mg (CaCl_2) (VDLUFA, 1991).

Mittlere Apfelblätter von Langtrieben wurden zur Beurteilung der Nährstoffversorgung des Baumes im Juli entnommen. Der Einzelbaumertrag wurde an fünf der zehn Bäume pro Wiederholung praxisüblich in drei Pflücken erfasst. Folgende Parameter zur Erfassung der Fruchtqualität wurden erhoben: Brix (Zuckergehalt), Säuregehalt, Stärkeabbau und Fruchtfleischfestigkeit wurden in zehn Äpfeln pro Variante und Pflücke gemessen: Der Brix-Wert wurde im Refraktometer, der Säuregehalt mittels Titration bestimmt, für den Stärkeabbau wurden die

mit Jod-Lösung bepinselten Fruchthälften bonitiert, die Festigkeit wurde mittels Penetrometer gemessen (Streif und Kittemann, 2018). Die Fruchtgröße aller geernteten Äpfel wurde in der Sortiermaschine (Greefa MSE 2000) gemessen.

Messungen zum Baumwachstum wurden im Winter vor dem Baumschnitt durchgeführt. Dabei wurde der Stammumfang aller Bäume gemessen und das Triebwachstum an fünf der zehn Bäumen pro Wiederholung geschätzt. Dabei wurde jeder einjährige Trieb in die Kategorien < 5cm, 5-15cm, 15-25cm, 25-35cm, 35-50cm und >50cm eingestuft. Die gesamte Trieblänge wurde mit den mittleren Längen jeder Kategorie berechnet.

Die Nährstoffgehalte der Düngemittel (C, N, S, P, K, Mg, Ca, Na), der Blätter (C, N, P, K, Mg, Ca, Na, Fe, Mn, Zn, B) und der Äpfel (C, N, P, K, Mg, Ca, Na, aus 25 Äpfeln pro Variante und Pflücke) wurden durch Verbrennung im CNS-Analyzer (EuroEA 3000) oder im Vario Max CN macro Elementar Analysator, bzw. nach Mikrowellenaufschluss (VDLUFA, 2011) mittels ICP-OES bestimmt. Die Nährstoffbilanz wurde wie folgt berechnet:

$$\text{Bilanz [kg ha}^{-1}\text{a}^{-1}] = \text{Input (durch Dünger)} - \text{Output (durch Ernteabfuhr)}$$

6.2.2. On-farm Versuche zur Bewertung und Anpassung der neuen Düngestrategien

Zwei Jahre lang (2019 – 2020) wurden On-Farm-Versuche auf drei Betrieben in der Region Heilbronn, Freiburg und Bodensee durchgeführt, bei denen Erbsen, Kompost und Silage als Dünger getestet wurden. Die Erbsen (Wintererbse E.F.B. 33) wurden mit 250 kg ha⁻¹ in den Baumstreifen eingesät, 2019 Mitte Februar, 2020 Mitte Januar. In jeweils zwei Baumreihen wurde eine Variante der frühen Einarbeitung (08.04.2019 bzw. 22.04.2020) geprüft, und eine Variante mit einer zwei Wochen späteren Einarbeitung der Erbsenpflanzen (25.04.2019 bzw. 05.05.2020). Für den On-farm-Versuch mit Kompostdüngung wurde eine vom Betrieb neu übernommene Fläche verwendet, welche jahrelang nicht organisch gedüngt worden war. Der Kompost wurde am 23.04.2019 bzw. am 02.06.2020 ausgebracht. Hier wurden drei Varianten in je einem Baumstreifen verglichen: Kontrolle ohne Kompostgabe, nur eine Kompostgabe 2018, jedes Jahr (2018 – 2020) die gleiche Kompostgabe. Betriebsüblich werden alle drei Jahre ca. 20 t ha⁻¹ ausgebracht. Um deutliche Effekte beobachten zu können, wurde im Versuch pro Kompostgabe mit der doppelten Menge gedüngt. Mit Silage erfolgte die Düngung am 20.04.2019 bzw. 11.04.2020. Für den Versuch wurde in einer Baumreihe mit Silage, in einer zweiten als Vergleichsdüngung mit Vinasse gedüngt. Hier lag der Zielwert 2019 bei 20 kg N/ha (über Vinasse bzw. Silage), 2020 waren es 25 kg N/ha (über Vinasse bzw. 20 kg über Silage mit

5 kg N über Vinasse). Während der Vegetationsperiode wurden auf den drei Betrieben an vier bis sechs Zeitpunkten im Vegetationsverlauf Bodenproben zur N_{\min} -Analyse entnommen. Diese wurde wie in Kapitel 6.1 beschrieben durchgeführt.

6.3. Ergebnisse

6.3.1. Feldversuch mit alternativen Düngemitteln

Die Bodengrundanalyse zeigte über alle Versuchsjahre für alle Varianten eine hohe Versorgung an pflanzenverfügbarem P, K und Mg mit Gehaltsklassen von D und E (laut VDLUFA (KTBL, 2015; VDLUFA, 2018)) (Tabelle 3).

Tabelle 3: : Bodengrundanalyse, jeweils im April 2018 – 2020, sowie im Oktober 2020 (2020 E) in den Düngewarianten (n=4) des Feldversuchs am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee.

	P_{CAL} (mg 100g ⁻¹)				K_{CAL} (mg 100g ⁻¹)				Mg_{CaCl_2} (mg 100g ⁻¹)			
	2018	2019	2020	2020 E	2018	2019	2020	2020 E	2018	2019	2020	2020 E
Kontrolle	10,2	8,0	8,7	8,6	29,2	28,9	27,7	25,4	17,9	18,7	18,1	18,6
Horngrieß	14,3	14,1	11,9	12,5	29,5	30,8	29,0	27,1	15,5	15,7	15,6	15,6
Vinasse	9,7	9,3	9,0	9,3	29,9	30,9	30,9	29,5	19,0	18,6	18,4	18,6
Gärreste	8,9	9,0	8,4	8,5	29,9	31,6	30,9	29,7	18,7	19,4	18,9	19,0
Sommererbse	10,5	9,6	8,9	8,2	31,1	30,2	29,9	25,2	20,4	19,0	19,6	19,7
Wintererbse lang	9,8	8,3	8,4	8,3	32,2	29,4	29,3	27,6	20,9	20,3	20,1	20,1
Wintererbse kurz	10,6	8,3	9,5	9,9	30,9	29,6	27,4	28,2	19,1	19,9	18,7	19,5
Kleegraspellets	11,0	10,7	10,4	9,7	30,6	31,8	33,5	29,4	18,5	19,2	18,6	19,0
Kleegrassilage	9,7	7,4	8,9	8,4	30,4	34,5	33,3	30,2	19,3	19,2	18,9	19,8
Kompost	12,2	10,8	11,9	11,5	28,6	32,1	32,4	29,6	16,4	16,6	16,8	17,6

Die pH-Werte lagen zu Beginn des Versuchs in einer Spannweite zwischen 5,7 (Kontrolle und Wintererbse lang) und 6,2 (Horngrieß) und Ende 2020 zwischen 5,5 (Wintererbse lang) und 6,1 (Horngrieß und Kompost) (Abb. 19).

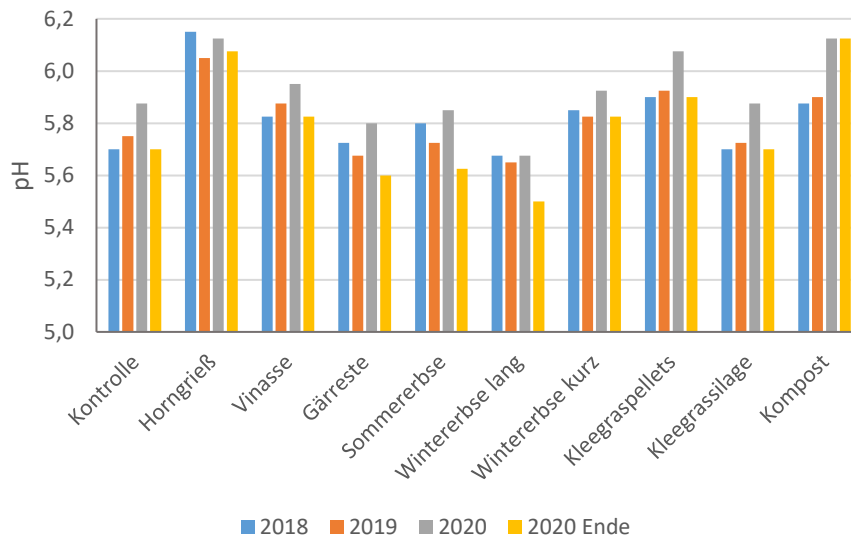


Abbildung 19: pH-Werte (CaCl_2) im Boden, jeweils im April 2018 – 2020, sowie im Oktober 2020 (2020 Ende) in den Düngevarianten ($n=4$) des Feldversuchs am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee.

Abbildung 20 zeigt die Nährstoffzufuhr (Mittelwerte der drei Jahre) der Düngemittel für die Nährstoffe N, P, K, Mg, Ca, Na und S im Versuch bei einer Zieldüngung von 25 kg N ha^{-1} . Nach Horngrieß enthielten die Erbsen den geringsten Anteil weiterer Nährstoffe, die Gärreste enthielten die höchste Menge an K, der Kompost die höchsten Mengen an Mg und Ca. Bei der gleichen Abfuhrmenge von 25 kg N durch Äpfel würden $4,3 \text{ kg P}$ und 56 kg K von der Anlage abgefahren (Mittelwerte 2018-2020 der Nährstoffanalyse der Äpfel).

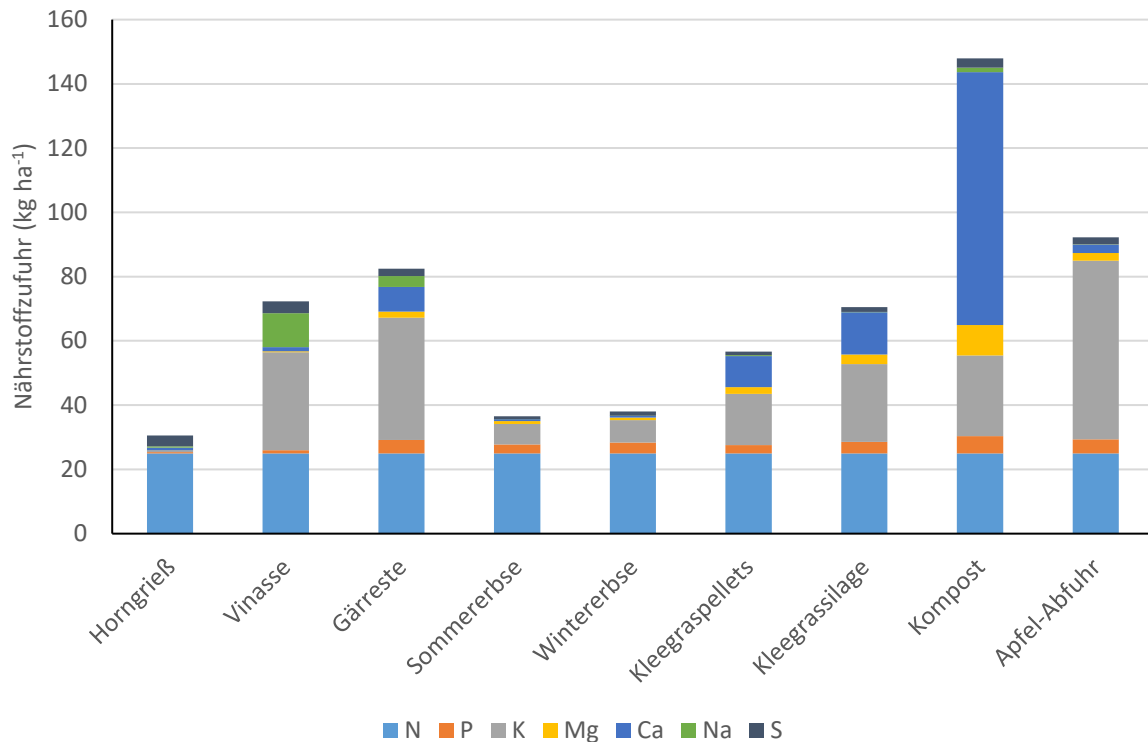


Abbildung 20: Nährstoffzufuhr durch die Düngemittel und Abfuhr durch Äpfel bei $N=25 \text{ kg ha}^{-1}$ (Düngeniveau im Feldversuch), Mittelwert aus den Jahren 2018 – 2020.

In der Berechnung der Bilanzen wurde das Jahr 2018 wegen untypisch niedriger Erträge bedingt durch eine zu starke Reduktion der Blüten (Abb. 27) nicht mit einbezogen. Im Mittel der Jahre 2019 und 2020 zeigten die Feldbilanzen bei allen Behandlungen ein Kaliumdefizit, das bei Hornspänen (-58 kg ha^{-1}) und Erbsen (-48 bis -46 kg ha^{-1}) am größten war (Abb. 21). Die Biogasgärreste wiesen aufgrund ihres höheren K:N-Verhältnisses das geringste K-Defizit auf (-20 kg ha^{-1}) und zeigten auch die ausgewogenste Nährstoffversorgung unter allen verwendeten Düngemitteln. Die höchsten Überschüsse wurden bei den Kompostbehandlungen für Mg (9 kg) und Ca (93 kg) festgestellt.

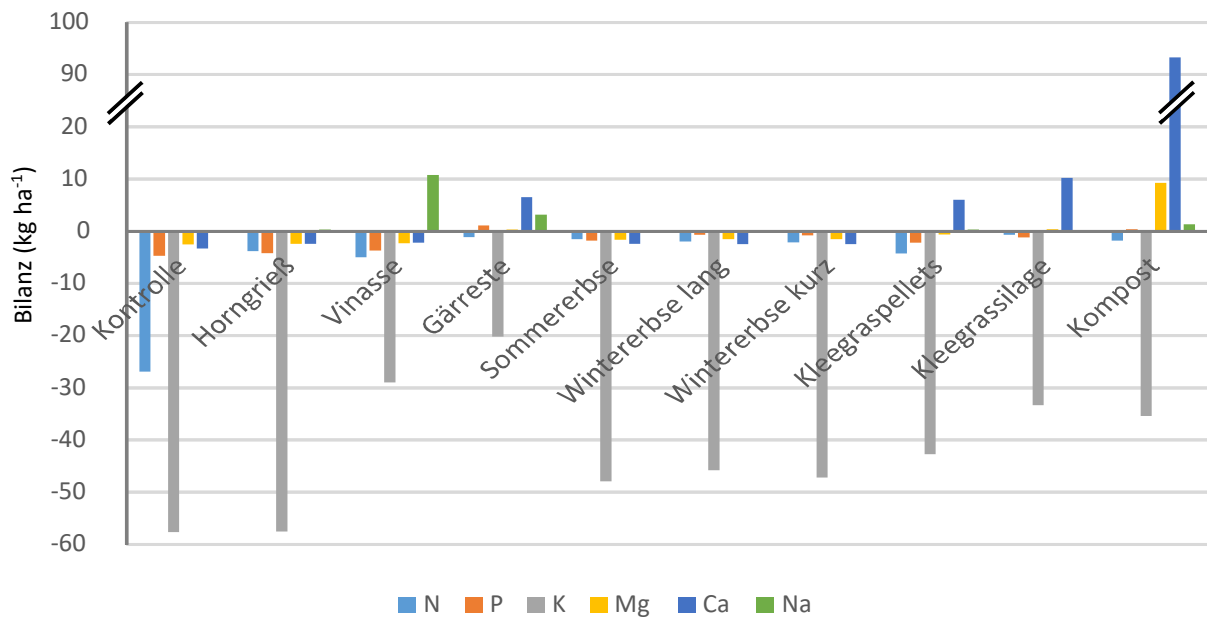


Abbildung 21: Nährstoffbilanz (= Zufuhr durch Düngemittel – Abfuhr durch die Apfelernte) der verschiedenen Düngevarianten im Feldversuch (Mittelwert aus 2019 & 2020) am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee).

In den Erbsenpflanzen verringerte sich das C:N-Verhältnis im Vergleich zu den Samen, am stärksten war dies in der Biomasse der Sommererbsen der Fall (Tabelle 4 + Abb. 22). Die Wintererbsen mit längerer Standzeit produzierten doppelt so viel Biomasse wie die mit kurzer Standzeit, jedoch unterschieden sie sich kaum im C:N-Verhältnis.

Tabelle 4: Zeitpunkte der Aussaat und Einarbeitung und Wachstumsparameter der Erbsenvarianten (Mittelwerte aus drei Jahren (Sommererbse), bzw. zwei Jahren (Wintererbse) im Feldversuch am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee).

	Herbst	4-5 Wochen vor der Blüte	1 Woche vor der Blüte	Samen pro m ²	Pflanzen pro m ²	Pflanzenhöhe (cm)	Biomasse (TM, g m ⁻²)	C:N-Verhältnis	
								Samen	Pflanze
Sommererbse		Aussaat	Einarbeiten	1261	765	9	44	11,2	8,1
Wintererbse kurz	Aussaat	Einarbeiten		2084	1008	12	146	11,5	10,7
Wintererbse lang	Aussaat		Einarbeiten	2084	994	24	290	11,5	10,5



Abbildung 22: Sommererbsen im April (links), Wintererbsen „kurz“ im März (Mitte) und Wintererbsen „lang“ im April (rechts) jeweils zum Zeitpunkt der Einarbeitung. Einsaat der Erbsen erfolgte im Oktober (Wintererbsen) und im März (Sommererbsen) im Baumstreifen, Feldversuch am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee).

Im Feldversuch unterschieden sich die N_{\min} -Kurven aus 2018 mit einer wegen der Trockenheit viel später einsetzenden Mineralisation stark von den zwei Folgejahren, daher wurden die Daten nicht zur Darstellung des N_{\min} -Verlaufs herangezogen. Im Mittel der Jahre 2019 und 2020 erreichte der mineralische Stickstoff die höchsten Werte im Frühjahr und Frühsommer bei den Wintererbsenbehandlungen, gefolgt von Hornspänen und Biogasgärresten (Abb.23). Die vier Wochen früher eingearbeitete Wintererbsen-Variante verfrühte den N_{\min} -Verlauf im Vergleich zu den im April eingearbeiteten Wintererbsen um ca. zwei Wochen. Niedrigste N_{\min} -Werte traten neben der ungedüngten Variante bei der Kleegrassilage auf. Diese wies auch von allen Düngemitteln das höchste C:N-Verhältnis von 18:1 auf, gefolgt von Kompost mit dem C:N-Verhältnis von 15:1. Die Gärreste enthielten den höchsten Anteil Ammonium-Stickstoff.

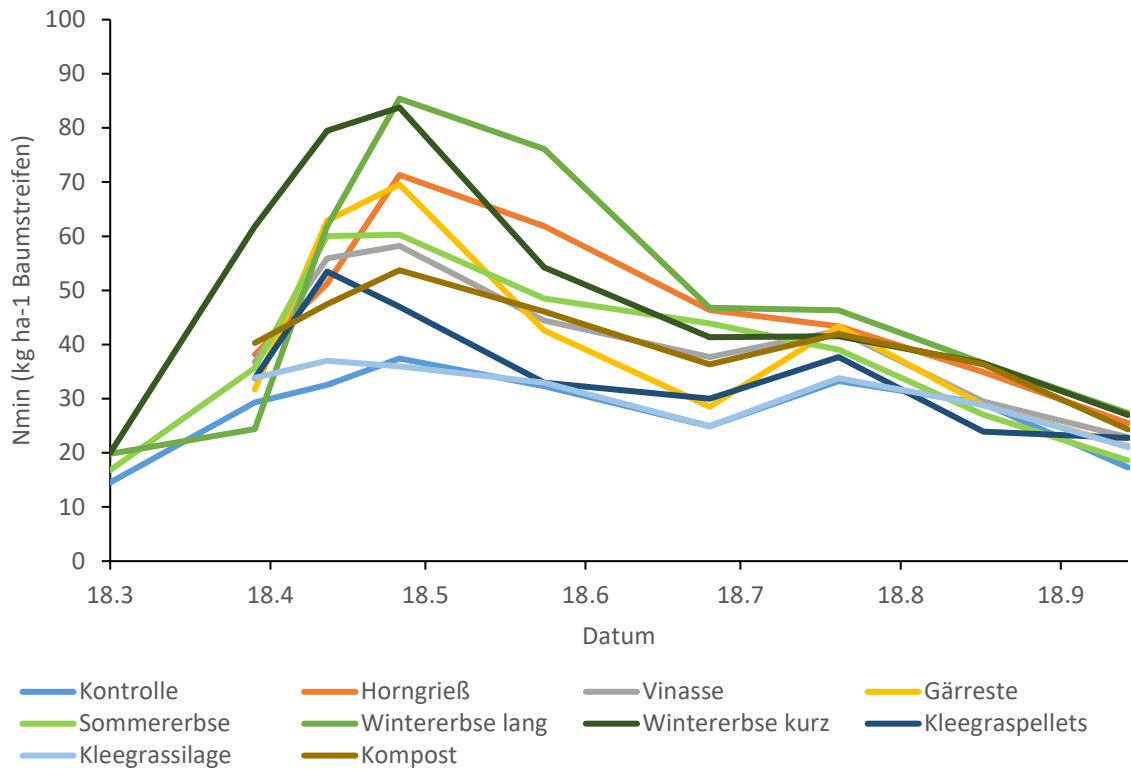


Abbildung 23: N_{min} -Verlauf im Boden des Baumstreifens (0 – 30 cm) in Abhängigkeit der eingesetzten Düngemittel im Feldversuch (Mittelwerte aus 2019 & 2020) am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee).

Bei den S_{min} -Werten waren die Unterschiede zwischen den Varianten nicht so groß wie bei N_{min} , mit insgesamt hohen Werten von April bis August. Niedrigste Werte wurden in der Kontrolle und den Kleegras-Dünger-Varianten verzeichnet (Abb. 24).

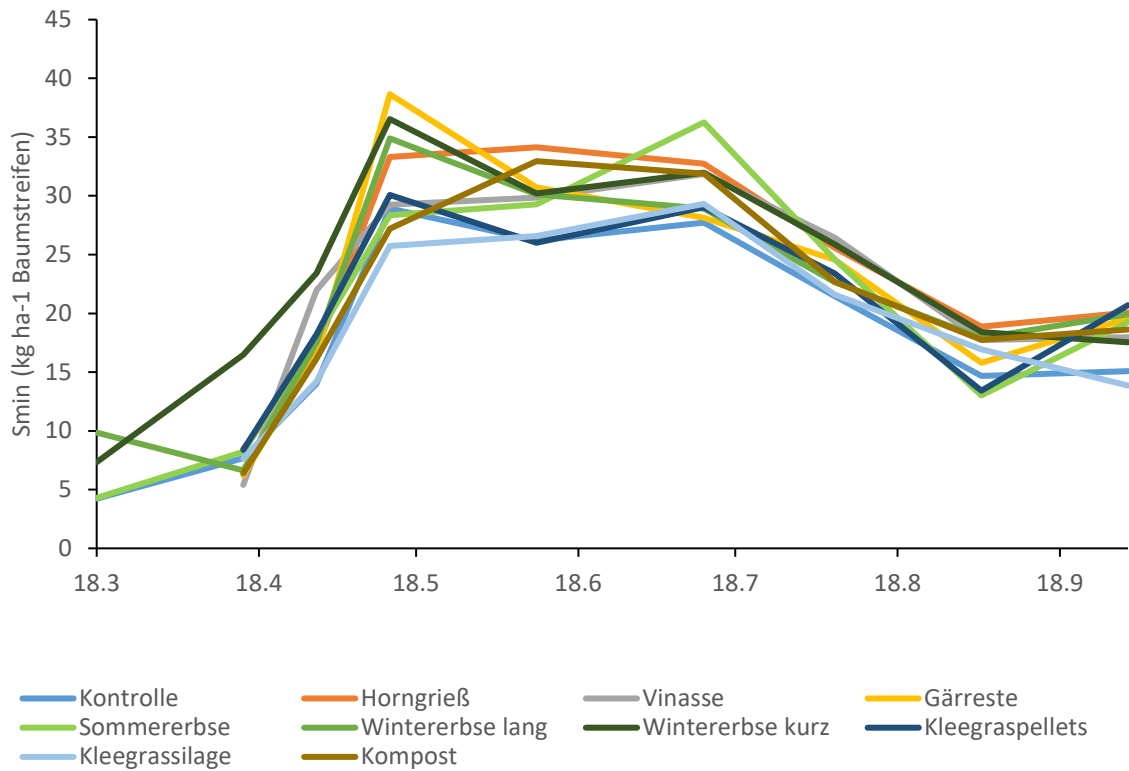


Abbildung 24: S_{min} -Verlauf im Boden des Baumstreifens (0 – 30 cm) in Abhängigkeit der eingesetzten Düngemittel, Mittelwerte aus 2019 & 2020.

In der Blühintensität der Bäume unterschieden sich die Varianten in den ersten Jahren nicht, die größten Differenzen konnten nach den drei Versuchsjahren in der Blüte 2021 beobachtet werden, mit höchsten Werten in der ungedüngten Kontrolle (Abb. 25). Der Behang war 2018 aufgrund von Ausdünnung und darauffolgender Trockenheit sehr schwach. 2019 war der Behang in der Sommererbse-Variante am schwächsten, 2020 war er etwas höher und gleichmäßiger in den unterschiedlichen Varianten als 2019 (Abb. 26).

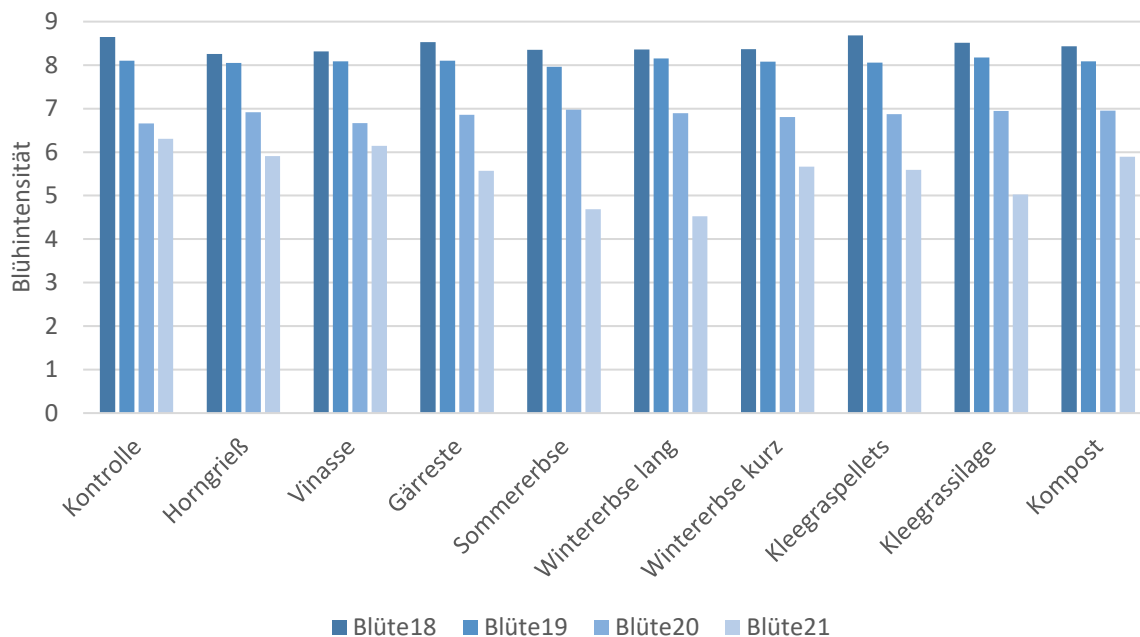


Abbildung 25: Bonitur der Blühintensität der Apfelbäume (Klassifizierung von 0 = keine Blüten am Baum bis 9 = hohe Blütenanzahl) in den Jahren 2018 – 2021 im Feldversuch am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee.

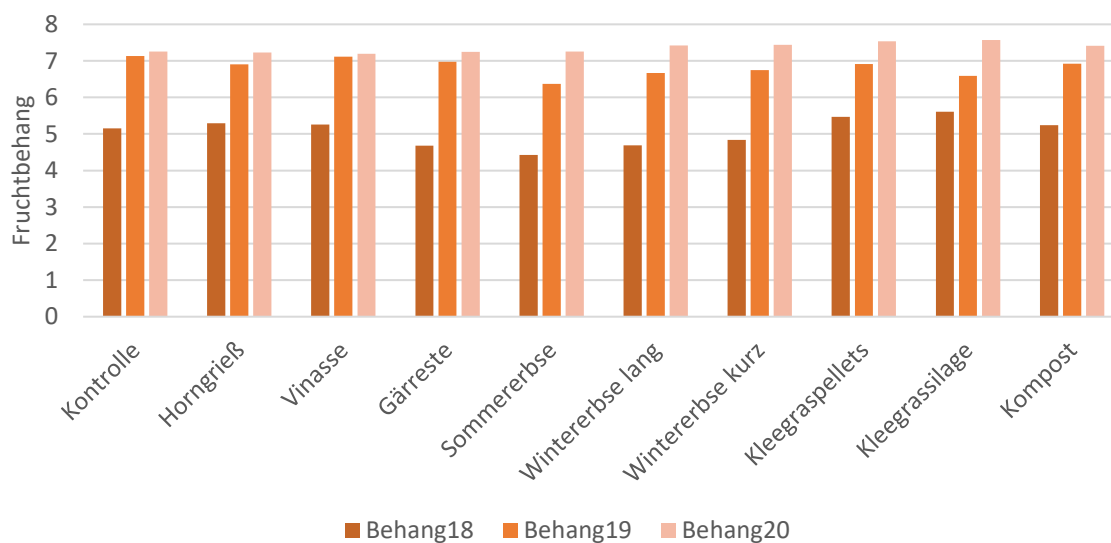


Abbildung 26: Bonitur des Fruchtbehangs der Apfelbäume (Klassifizierung von 0 = kein Fruchtbehang bis 9 = hoher Fruchtbehang) in den Jahren 2018 – 2020, im Feldversuch am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee).

Das Ertragsniveau der verschiedenen Behandlungen zeigte keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zur Standarddüngung sowie zur ungedüngten Kontrolle (Abb. 27). Bei den Erbsen- und Silagebehandlungen wurden jedoch tendenziell niedrigere Erträge beobachtet. Der

Ertrag pro Baum lag 2019 und 2020 in allen Varianten im und über dem Ertragsoptimum der Region von 17 bis 20 kg.

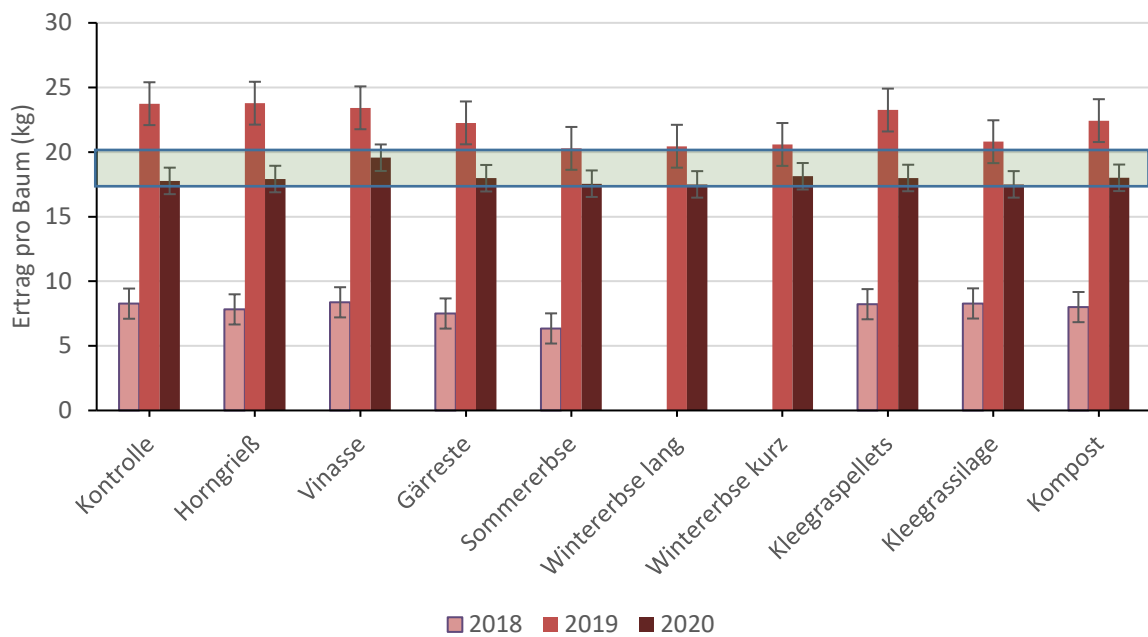


Abbildung 27: Einzelbaumertrag 2018 – 2020 im Feldversuch (am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee); der grüne Balken zeigt den Bereich des optimalen Ertragsniveaus der Region für den ökologischen Apfelanbau mit 17-20 kg pro Baum.

In den Fruchtreifeeigenschaften, wie den Streif-Index (berechnet aus Festigkeit, Stärkeabbau, °Brix) gab es keine Unterschiede zwischen den Varianten, die Reifeanalyse zwischen den 3 Jahren unterschied sich hingegen stark (Abb. 28).

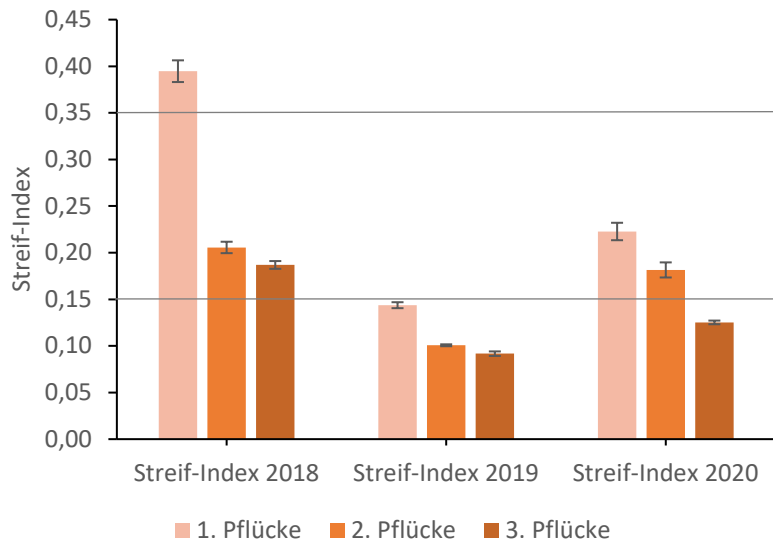


Abbildung 28: Einfluss des Jahres und der Pflücke auf den Streifindex (=Festigkeit/(Stärkeabbau * °Brix) mit Zielbereich von 0,15 bis 0,35 bei der Ernte im Feldversuch am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee).

Die ungedüngte Kontrollvariante bildete 2019 im Durchschnitt den größten Anteil an kleineren Früchten aus, die Erbsenvarianten die größten, aber auch die meisten zu großen Früchte (1,4-1,6 kg pro Baum, Kontrolle: 0,6 kg) (Abb. 29). Im Jahr 2020 lieferten die mit Vinasse gedüngten Bäume neben dem höchsten Ertrag auch den größten Anteil an großen Früchten, während die Silage-Variante den höchsten Anteil an kleinen Früchten brachte (Abb. 30). Im Allgemeinen waren die Früchte 2020 kleiner als 2019.

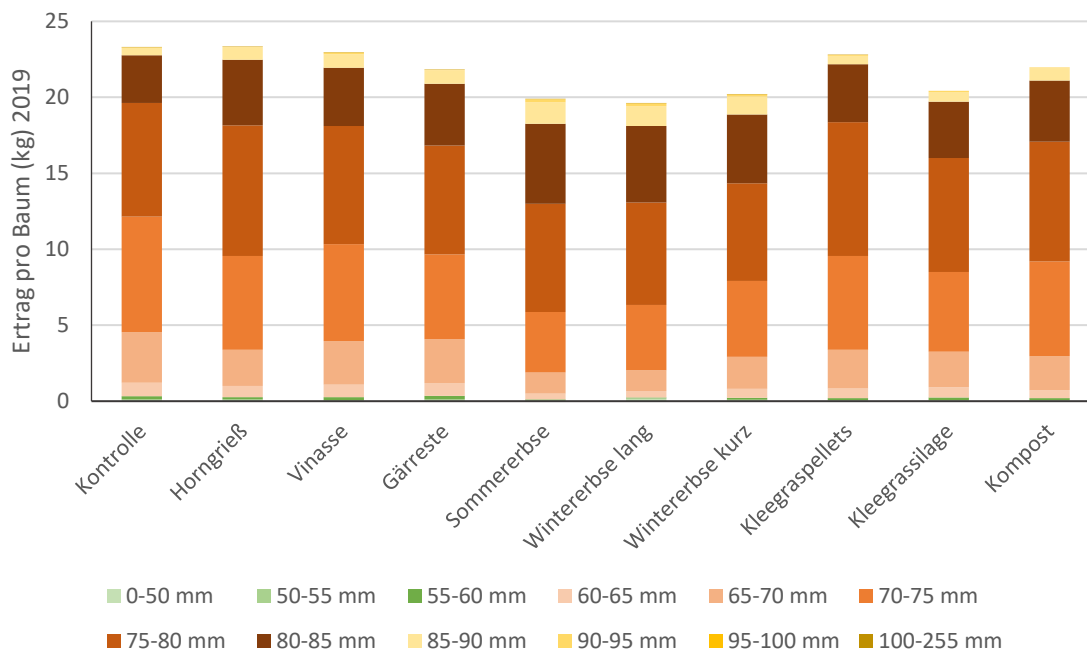


Abbildung 29: Apfelertrag pro Baum 2019, aufgeteilt in Fruchtgrößen, mit den marktfähigen Größen in Brauntönen (60 – 85mm) in Abhängigkeit von den Düngemitteln im Feldversuch (Mittelwert aus vier Wiederholungen) am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee).

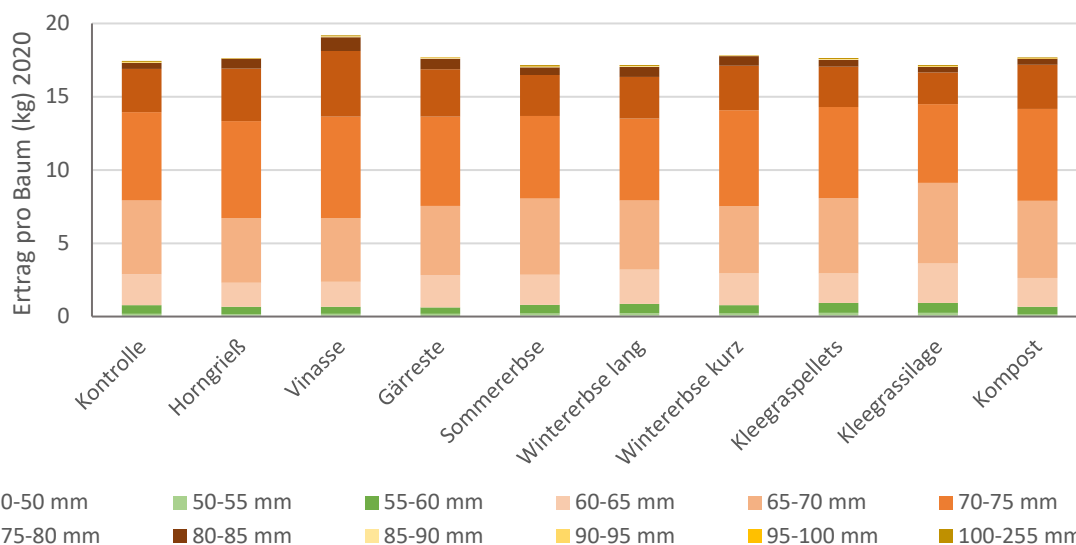


Abbildung 30: Apfelertrag pro Baum 2020, aufgeteilt in Fruchtgrößen, mit den marktfähigen Größen in Brauntönen (60 – 85mm) in Abhängigkeit von den Düngemitteln, im Feldversuch (Mittelwert aus vier Wiederholungen) am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee).

Die Analyse der Makro- und Mikronährstoffgehalte im Blatt ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen gedüngten und ungedüngten Parzellen, was auf eine ausreichende Nährstoffversorgung für N, P, Mg, Ca, Fe und sogar für K trotz der negativen Nährstoffbilanz schließen lässt, zumindest für die Jahre 2019 und 2020 (Tabelle 5). Allerdings war der B-Gehalt in allen Jahren und bei allen Varianten im niedrigen oder sehr niedrigen Bereich. Mn- und Zn-

Gehalte sanken in allen Varianten von mittleren Gehalten im dritten Versuchsjahr auf niedrige Werte (mit Ausnahme des Zn-Gehalts in der Variante mit Gärresten, hier wurde noch ein mittlerer Gehalt festgestellt).

Tabelle 5: Nährstoffgehalte in den Apfelblättern als Indikator einer ausreichenden Nährstoffversorgung der Bäume im Juli 2018, 2019 und 2020, mit farblicher Markierung der Versorgungsstufen nach Aichner et al. (2004) im Feldversuch (Mittelwert aus vier Wiederholungen) am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee).

	2018					2019					2020				
	N %	P mg/g TM	K mg/g TM	Mg mg/g TM	Ca mg/g TM	N %	P mg/g TM	K mg/g TM	Mg mg/g TM	Ca mg/g TM	N %	P mg/g TM	K mg/g TM	Mg mg/g TM	Ca mg/g TM
Kontrolle	2,09	1,64	15,5	1,87	9,84	2,40	2,31	19,4	2,45	14,1	2,24	1,66	17,0	2,48	13,4
Horngrieß	2,07	1,63	16,0	1,74	9,82	2,38	2,14	19,3	2,25	13,7	2,32	1,65	17,0	2,47	13,3
Vinasse	2,11	1,47	15,5	1,80	9,29	2,40	2,11	19,7	2,38	13,9	2,34	1,68	17,1	2,39	12,9
Gärreste	2,11	1,53	16,1	1,83	9,58	2,41	2,11	19,6	2,38	13,3	2,37	1,64	16,9	2,56	13,8
Sommererbse	2,03	1,21	14,9	1,46	7,28	2,37	2,20	20,4	2,32	13,1	2,33	1,64	16,9	2,51	13,5
Wintererbse lang						2,37	2,10	19,5	2,48	14,3	2,36	1,57	16,9	2,52	13,3
Wintererbse kurz						2,53	2,15	19,8	2,42	13,6	2,36	1,63	16,7	2,53	13,4
Kleegraspellets	2,07	1,76	16,3	1,92	10,3	2,45	2,28	19,9	2,34	13,5	2,27	1,59	16,8	2,50	13,3
Kleegrassilage	2,13	1,68	16,2	1,97	10,4	2,37	2,22	19,6	2,35	13,8	2,27	1,60	16,7	2,50	13,8
Kompost	2,04	1,59	16,0	1,88	10,2	2,38	2,33	20,2	2,39	14,4	2,30	1,63	16,7	2,53	13,9

sehr hoch
 hoch
 mittel
 niedrig
 sehr niedrig

Der vegetative Zuwachs der Bäume in Stammdurchmesser und Trieb­längenwachstum war 2018 am höchsten (Abb. 31 + Abb. 32). Über den gesamten Versuchszeitraum (2018 – 2020) wurde der niedrigste Zuwachs in der Stammquerschnittsfläche in der mit Silage gedüngten Variante gemessen.

Im Jahr 2020 zeigten die mit Silage gedüngten Bäume auch die kürzeste Gesamtrieblänge, die nicht auf eine geringere Anzahl an Trieben, sondern auf den höchsten Anteil an kürzeren Trieben zurückzuführen war.

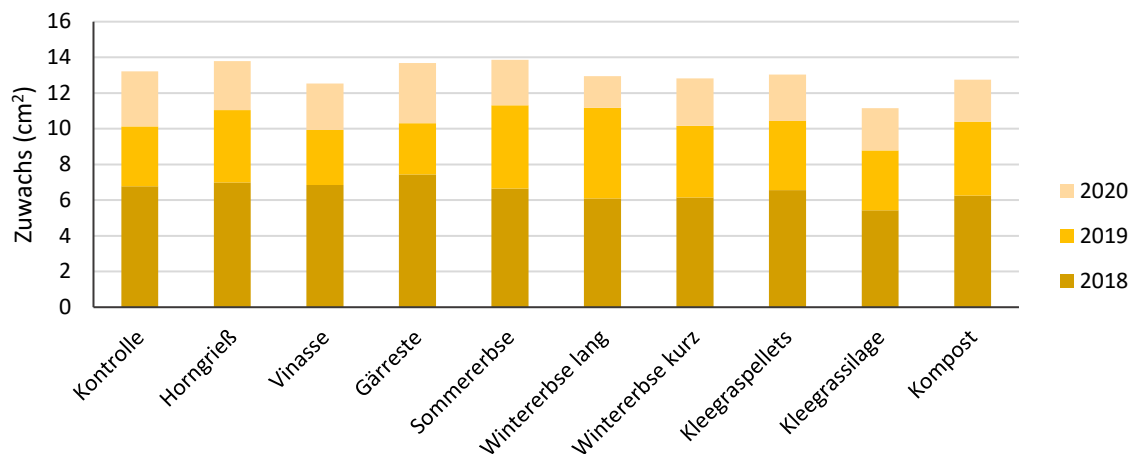


Abbildung 31: Zuwachs der Stammquerschnittsfläche (cm², Mittelwert aus vier Wiederholungen) der Apfel­bäume pro Jahr (2018 – 2020), im Feldversuch am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee).

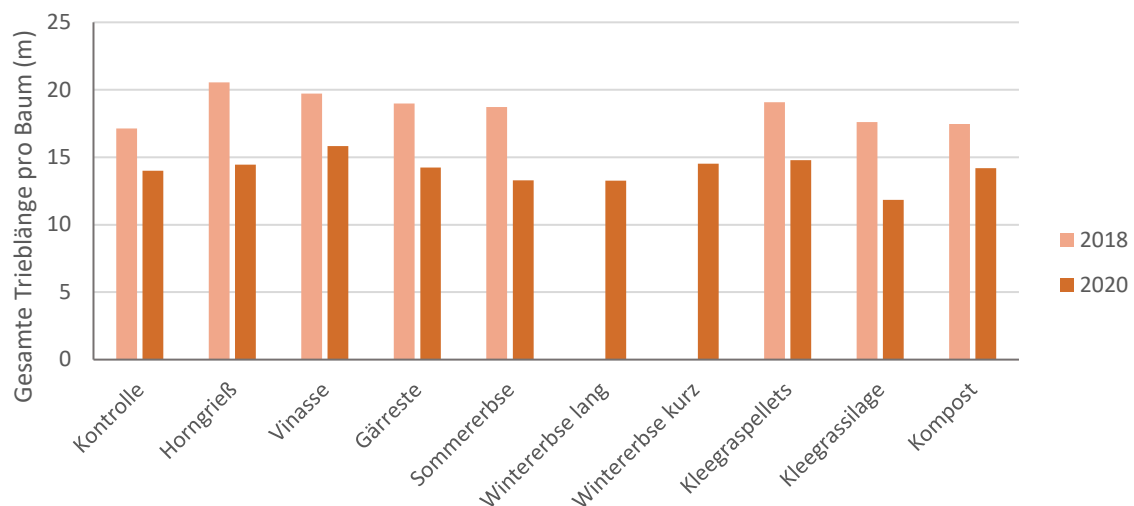


Abbildung 32: Summe der Trieb­längen pro Baum 2018 & 2020 in Abhängigkeit der Düngemittel, (Mittelwert aus vier Wiederholungen) im Feldversuch am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee).

6.3.2. On-farm Versuche zur Bewertung und Anpassung der neuen Düngestrategien

In den On-Farm-Versuchen war die zeitliche Verschiebung des N-Höchstwertes im Boden aufgrund des früheren Mulchtermins der Erbsen nicht so deutlich wie auf der Versuchsfläche (Abb. 33): Während 2019 der N_{\min} -Gehalt im Boden bei den früh eingearbeiteten Erbsen zwei Wochen nach der Einarbeitung einen Wert von knapp 50 kg ha^{-1} erreichte, wurden in der späteren Variante zwei Wochen nach ihrer Einarbeitung lediglich 30 kg ha^{-1} gemessen. Im Jahr 2020 verliefen die N_{\min} -Kurven der zwei Varianten parallel mit etwas geringeren Werten in der Variante mit den später eingearbeiteten Erbsen.

Im Kompost-Versuch war 2019 der N_{\min} -Gehalt im Boden bei allen drei Varianten zunächst sehr ähnlich, später im Jahr zeigte die nur 2018 mit Kompost gedüngte Baumreihe jedoch die höchsten N_{\min} -Werte (Abb. 34). Im Jahr 2020 wurden direkt nach der Düngung die größten Unterschiede mit höchsten Werten in der jährlich mit Kompost gedüngten Reihe festgestellt, allerdings erfolgte in diesem Jahr die Düngung erst Anfang Juni, statt wie im Vorjahr Ende April. Die N_{\min} -Werte der beiden gedüngten Varianten glichen sich ab August an. In der jährlich mit Kompost gedüngten Variante stellte der Landwirt außerdem 2020 einen höheren Anteil an Stippe ausgelöst durch Ca-Unterversorgung bei den Früchten fest.

Ein Unterschied zwischen dem experimentellen Feldversuch und dem On-Farm-Versuch zeigte sich bei der Silage-Düngung: Die N_{\min} -Werte in der Silage-Variante waren gleich hoch und 2020 später im Jahr sogar höher als bei der Kontrollbehandlung, die mit Vinasse gedüngt wurde (Abb. 35).

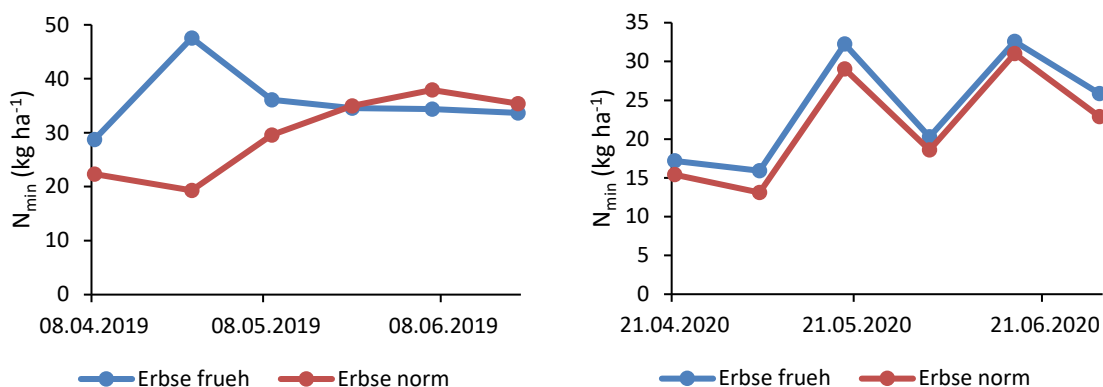


Abbildung 33: N_{\min} -Verlauf im Baumstreifen mit den früher (Erbsen frueh) und zwei Wochen später eingearbeiteten Erbsen (Erbsen norm) jeweils mit zwei Wiederholungen, in den Jahren 2019 & 2020, On-farm-Versuch in der Region Heilbronn.

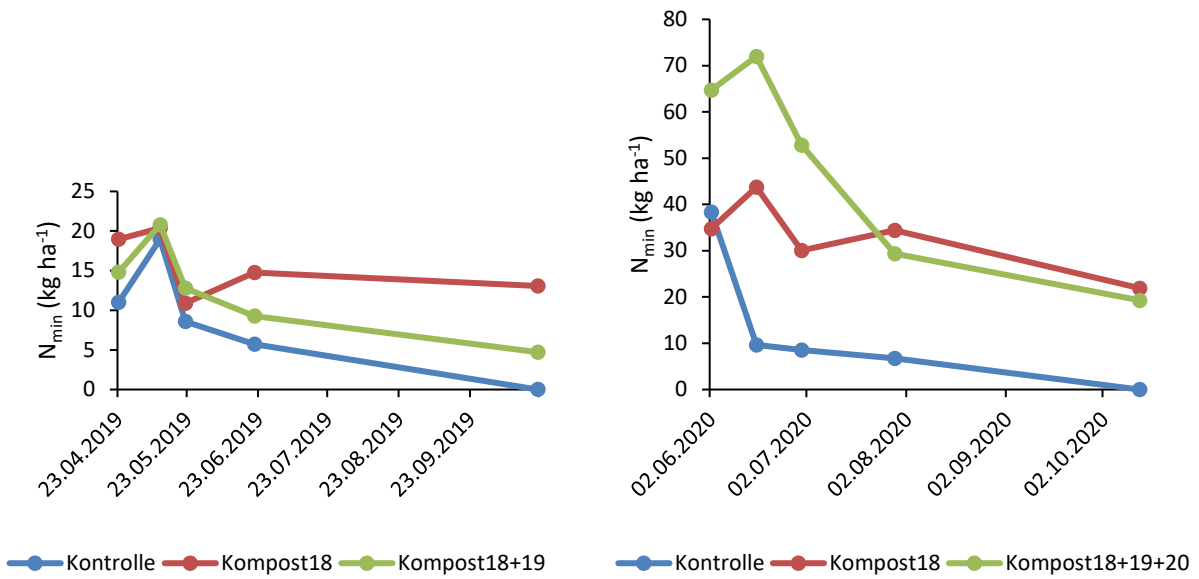


Abbildung 34: N_{min} -Verlauf im Baumstreifen in den Jahren 2019 & 2020 ohne Kompostdüngung (Kontrolle), einer einmaligen Kompostdüngung im Jahr 2018 (Kompost18) und einer jährlichen Kompostdüngung (Kompost18+19, bzw. Kompost18+19+20), On-farm-Versuch in der Region Freiburg.

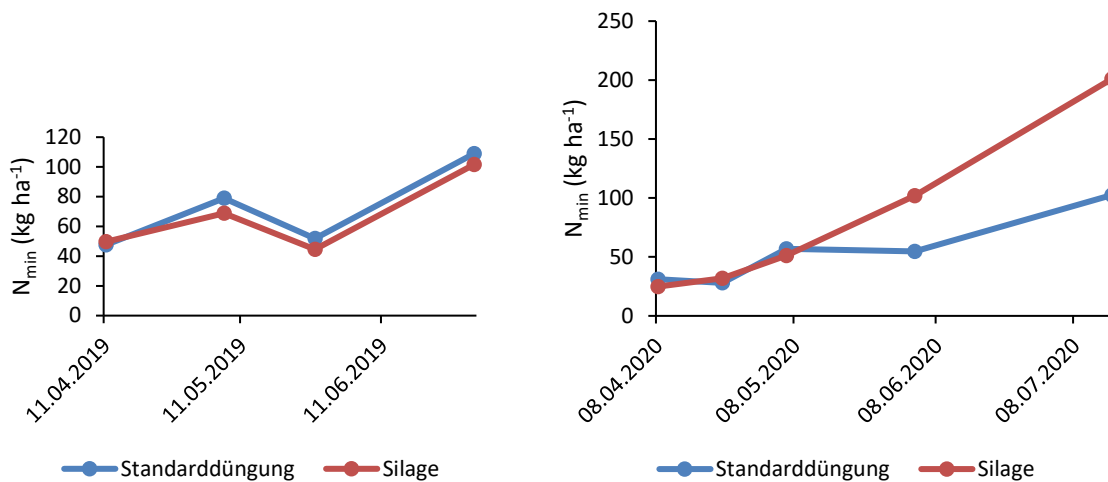


Abbildung 35: N_{min} -Verlauf im Baumstreifen mit Vinasse als Standarddüngung in den Jahren 2019 & 2020, On-farm-Versuch in der Region Bodensee.

6.4. Diskussion

Die Ergebnisse des Feldversuchs zeigen, dass auch durch die alternativen Düngemittel keine ausgeglichene Nährstoffbilanz erreicht werden konnte (Abb. 21), wobei Biogasgärreste die höchste Übereinstimmung im N:K-Verhältnis im Vergleich zum Erntegut Apfel aufwiesen (Abb. 20).

Die flüssigen Biogasgärreste mit hohen Anteilen an Ammonium-N mineralisieren schnell, was zu einer hohen zeitlichen Übereinstimmung zwischen der N-Versorgung durch den Dünger und dem Bedarf des Baumes führt (Paoletti et al., 2016). Geht man von einem Zielwert von 60 kg N_{min} aus (Link, 2018a), ergab sich bei der Düngung mit Kompost, Silage und auch bei Kleegraspellets eine zu geringe N-Mineralisation (Abb. 23). Dies liegt bei Kompost und Silage auch an den hohen C:N-Verhältnissen. Kompost hat eine sehr geringe N-Verfügbarkeit (< 10 %) im Jahr der Ausbringung (Gutser et al., 2005). Bei den mit Silage gedüngten Bäumen hatte dies tendenziell negative Auswirkungen sowohl auf die Ertragsleistung als auch auf das vegetative Wachstum (Abb. 29, Abb. 31). In einem Folgeversuch werden für die Silage angepasste Düngetermine und verschiedene Formen der Ausbringung (grob/fein) untersucht (Kapitel 8).

Eine hohe N-Mineralisation kann mit Winterleguminosen (z. B. Wintererbsen) erzielt werden (Abb. 23), wenn die Witterungsbedingungen dies zulassen, da der Pflanzenbestand im Vergleich zur Frühlingsaussaat früher bearbeitet werden kann. Diese Strategie ermöglicht einen längeren Zeitraum für die Mineralisierung der Biomasse, was angesichts der normalerweise im Frühjahr auftretenden kühlen Bodentemperaturen besonders wichtig ist. Die Etablierung von lebenden Leguminosenmulchen hängt jedoch stark vom lokalen Klima ab, so dass das Risiko eines Misserfolgs durch z. B. Auswinterung oder zu später Einarbeitung höher ist als bei der Anwendung von Handelsdüngemitteln.

Trotz der festgestellten Unterschiede im Hinblick auf Dynamik und Höhe der Stickstoffmineralisation ergaben sich im dreijährigen Versuchszeitraum keine signifikanten Unterschiede im Ertragsniveau zwischen den geprüften Behandlungen (Abb. 27). In allen Versuchsvarianten wurden hohe Erntemengen gemessen, die den Erträgen auf den Praxisbetrieben in der Region entsprachen. Auch in Bezug auf die Fruchtqualität wurden keine Unterschiede ersichtlich. Die Bodenanalysen ergaben hohe Nährstoffgehalte, sodass diese keinen limitierenden Faktor darstellen. Auch die jährlichen Blattanalysen zeigten eine ausreichende Nährstoffversorgung der Bäume mit Makronährstoffen (Tabelle 5).

Jedoch kann nach drei Versuchsjahren in der Dauerkultur Apfel keine abschließende Bewertung einer Düngestrategie vorgenommen werden, insbesondere im Hinblick auf Langzeiteffekte von über längere Zeiträume mineralisierenden Düngern wie Kompost und Silage. Hierfür wäre eine langfristige Betrachtung im Feld erforderlich. In weiteren Düngungsversuchen an der Kultur Apfel konnte von anderen Versuchsstationen jedoch auch in langjährigen Dauerversuchen keine Ertragsminderung selbst nach mehrjährigem Aussetzen der Düngung festgestellt werden. Auf gut versorgten Standorten wurden dabei auch nach zehn (Laimburg, Südtirol, Schunk et al., 2022) bzw. 17 Versuchsjahren (Esteburg, Altes Land, Ristel und Clever, 2016) keine signifikanten Ertragsunterschiede zwischen den gedüngten Varianten und der ungedüngten Kontrollvariante ermittelt. Ist der Boden gut mit Nährstoffen versorgt,

können Obstanlagen auch ohne weitere Düngemaßnahmen jahrelang davon profitieren, andererseits führen hohe Düngergaben bei gut versorgten Böden zu keinen Ertragssteigerungen mehr (Link, 2018a). Relevant für die Auswahl der Düngemittel sind neben den Unterschieden bei den Kosten auch die regionale Verfügbarkeit, der Anspruch an die Ausbringtechnik, die Konkurrenz zur Nutzung als Futtermittel (Erbsen, Klee gras) sowie standortspezifischen Bedingungen und Witterungsverhältnisse (Erbsen). Hinsichtlich der Praktikabilität und Umsetzbarkeit der Düngung in der Dauerkultur Apfel zeigten dabei einzelne Düngemittel tendenzielle Nachteile gegenüber den Handelsdüngemitteln. So ergab sich für die Biogasgärreste ein zeitlicher Mehraufwand für das erforderliche Aufrühren und Abfiltrieren der Gärreste im 1000-Liter-Fass. Für eine Verwendung in größerem Maßstab sind hierfür praxistaugliche Lösungen für die Trennung von festen und flüssigen Anteilen erforderlich. Stattdessen könnten in der Praxis auch Fugate (flüssige Phase von separierten Gärresten) eingesetzt werden. Allerdings wurden diese Produkte im vorliegenden Feldversuch nicht geprüft, da solche Reststoffe nach Kenntnis der Autoren einerseits aus ökologisch bewirtschafteten Biogasanlagen nicht verfügbar sind. Andererseits zeigen Untersuchungen, dass sich die N-Düngewirkung vom Fugat zum Ausgangssubstrat kaum unterscheidet. Bei der Klee gras-Silage ist für die Ausbringung eine entsprechende Technik in Form eines modifizierten Kompoststreuers erforderlich. Hingegen können die Erbsen wie auch die Klee gras-Pellets analog zu allen pelletierten Handelsdüngern oder Horngrieß mit betriebsüblicher Technik ausgebracht und eingearbeitet werden.

Der On-Farm-Versuch mit Erbsen zeigte höhere N_{\min} -Werte im Boden mit früherer Einarbeitung des Aufwuchses, allerdings nur im Jahr 2019 (Abb. 33). Im Jahr 2020 könnte eine Ursache für fehlende Unterschiede in der Mineralisierung die Frühjahrstrockenheit darstellen, die den Effekt des früheren Umbruchs überdeckt. Der Einsatz von Erbsen als alternative Düngestrategie in der Praxis war erfolgreich, da vorhandene Maschinen (wie für die Ausbringung von Horngrieß) verwendet werden können. Der Kompost-Versuch musste auch aus betrieblichen Gründen ohne Wiederholungen durchgeführt werden, weshalb Bodenunterschiede zusätzlich einen Einfluss auf die Ergebnisse haben könnten, was die Aussagekraft des Versuches erheblich schmälert. Die Ergebnisse zeigten wie erwartet, jedoch erst 2020, höhere N_{\min} -Werte bei höheren Kompostgaben (Abb. 34), wobei die höheren Nährstoffeinträge Nährstoffungleichgewichte zwischen Ca und K induzierten, was die Fruchtqualität beeinträchtigte. Die Ergebnisse der Düngung mit Silage im On-farm-Versuch konnten die des Feldversuchs am KOB nicht bestätigen, obwohl die gleiche Silage verwendet wurde (Abb. 35). Zur Silagedüngung wurden deshalb 2021 weitere Versuche durchgeführt (Kapitel 8). Die Nutzung von Klee grassilage als Düngemittel kann einerseits einfach durch Eigenproduktion realisiert werden, jedoch muss entsprechende Technik und zusätzliche Fläche vorhanden sein.

7. Arbeitspaket 4: Auswirkungen von Schwefel auf Bodeneigenschaften

7.1. Einleitung

Schwefel ist ein weit verbreitetes Pflanzenschutzmittel (hauptsächlich gegen Apfelschorf, *Venturia inaequalis*) im ökologischen Apfelanbau in gemäßigten Regionen. Aktuelle Bestrebungen, den Einsatz von Kupfer (Cu) zu reduzieren, um eine Anreicherung von Schwermetallen im Boden zu vermeiden, führen zu einem erhöhten Einsatz von S. Möller und Zikeli (2018) erhoben in Baden-Württemberg S-Gaben von bis zu 80 kg ha⁻¹ Jahr⁻¹ in intensiven, ökologischen Apfelproduktionssystemen. Während es zu Cu in landwirtschaftlichen Böden schon einige Untersuchungen gibt (Lamichhane et al., 2018), wurde S bisher weniger beachtet. S wird durch Regenereignisse in den Boden gewaschen und von Bakterien (*Thiobacillus*) in Sulfat umgewandelt, was die Bodenversauerung fördert und damit die Verfügbarkeit und Mobilität von Nährstoffen und Schwermetallen erhöhen könnte.

In einem Gefäßversuch wurde modellhaft die langfristige Auswirkung hoher S-Applikationen auf die Nährstoffgehalte, den pH-Wert des Bodens, die Mobilität von Pflanzennährstoffen und Schwermetallen sowie den Einfluss auf das Pflanzenwachstum untersucht. Dieser Versuch wurde mit unterschiedlichen Böden über sieben Monate durchgeführt und simulierte die S-Zufuhr über sechs Jahre. Der Einfluss auf das Pflanzenwachstum wurde im Anschluss daran mit Weidelgras geprüft, das in die Töpfe gesät und drei Monate lang kultiviert wurde.

7.2. Material und Methoden

Von November 2019 bis Mai 2020 wurde ein Gefäßversuch durchgeführt, der den langfristigen S-Eintrag und die Auswaschung simuliert. Es wurden fünf Oberböden aus zwei deutschen Obstanbauregionen (Bodensee und Altes Land) aus Obstanlagen aber auch aus unterschiedlichen Produktionsverfahren (Grünland, Ackerbau als Vergleichsvarianten) und darauf beruhend unterschiedlichem Dünge- und Pflanzenschutzmanagement ausgewählt, um den Einfluss von S in Böden mit verschiedenen Nährstoff- und Schwermetallgehalten zu untersuchen. In der Region Bodensee wurden folgende Böden beprobt: Ökologische Apfelanlage, konventioneller Ackerboden (vor der Bodenentnahme: zweijährige Blümmischung und davor Wintergerste), konventionelle Hopfenanlage. Im Alten Land wurde Boden aus einer ökologischen Apfelanlage

und aus einem extensiven Grünland entnommen. Die Böden wurden auf 5 mm gesiebt, mit 25 % Sand (Korngröße 0,6 – 1,2 mm) gemischt und in Mitscherlich-Gefäße mit einem Fassungsvermögen von 5 l gefüllt.

Die Wasserkapazität (WHK) wurde in Anlehnung an VDLUFA (2002) ermittelt. Dabei wurde das frische Bodensubstrat in Prüfrohre gefüllt, die für 48 Stunden mit Wasser überstaut wurden. Danach wurden die Rohre abgedeckt und 48 Stunden lang zum Abtropfen auf feuchten Sand gestellt. Darauffolgend wurden die Prüfrohre bei 106 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Das Leergewicht der Prüfrohre sowie das Gewicht der gefüllten Rohre nach jedem Arbeitsschritt wurden bestimmt. Die WHK wurde nach folgender Gleichung ermittelt:

$$\text{WHK} = (\text{Wassergehalt im nassen Boden nach 48 h Abtropfen} / \text{Gewicht des trockenen Bodens}) * 100$$

Der Versuch wurde in einem Gewächshaus in Hohenheim als randomisierte vollständige Blockanlage mit fünf Wiederholungen aufgestellt (Abb. 36). Alle fünf Wochen wurde S (als H₂SO₄) in drei Stufen ausgebracht, um einen jährlichen S-Eintrag von 0, 40 und 80 kg ha⁻¹ (berechnet auf die Topfoberfläche) zu simulieren. Daraufhin folgte ein Auswaschungsereignis nach zwei Wochen. Dies wurde während der sieben Monate des Versuchs sechsmal wiederholt. Die Aufwandmengen von 40 und 80 kg S ha⁻¹ wurden von einer Datenerhebung zu Nährstoffflüssen auf Obstbetrieben in Baden-Württemberg abgeleitet (Möller und Zikeli, 2018). In dieser Untersuchung ergab sich eine durchschnittliche S-Applikation durch Pflanzenschutzmittel von 41 kg ha⁻¹ Jahr⁻¹, die Höchstwerte lagen bei 80 kg ha⁻¹. Somit entsprach eine S-Applikation im Versuch einer durchschnittlichen, bzw. einer hohen S-Gabe pro Jahr. Gleichzeitig mit der S-Applikation wurden die Böden mit deionisiertem Wasser auf 65 % Wasserhaltekapazität gebracht. Zwei Tage vor der Auswaschung erfolgte eine schrittweise Bewässerung. Zunächst wurden die Böden wieder auf 65 % WHK gebracht, ca. 24 Stunden später auf 80 %. Bei der Auswaschung am darauffolgenden Tag wurde die Wassermenge gegeben, die 135 % der WHK des jeweiligen Bodens entspricht. Anschließend wurde nach 24 Stunden, in denen sich das Sickerwasser im Untersetzer des Mitscherlich-Gefäßes sammeln konnte aus diesem Sickerwasser eine Probe entnommen. Das so gesammelte Eluat wurde abgewogen und im Labor zur Messung der Nährstoff- und Schwermetallgehalte durch aschefreie Rundfilter (MN 640 d) filtriert. P, K, Mg, S, Ca, Cu und Zn wurden mittels ICP-OES, C- und N-Gehalt wurden in einem C/N-Analysator für flüssige Proben (multi N/C 2100S, Analytik Jena) bestimmt.

Vor Versuchsbeginn wurden für die fünf Originalböden und die fünf für den Versuch verwendeten Boden-Sand-Mischungen Korngrößenanalysen nach der Methode nach Köhn (VDLUFA, 2012b) durchgeführt, außerdem wurden extrahierbares P und K (CAL) (VDLUFA, 2012a), Mg (CaCl_2) (VDLUFA, 1991) sowie pH (CaCl_2) (VDLUFA, 2016) bestimmt. Zusätzlich wurden die Gehalte an C_t , N und S. Für die Bestimmung von C_{org} wurden die Karbonate mit Salzsäure aufgelöst, und anschließend wurde C erneut mit dem Elementaranalysator gemessen. C_{org} wurde als C-Gehalt nach der Karbonatzerstörung definiert. Im Königswasseraufschluss wurden die Gehalte an P, K, Mg, Ca, Na, Fe, Mn, Cu und Zn mit ICP-OES gemessen. Die Grundanalyse auf pflanzenverfügbare Nährstoffe, C_{org} , N, S und pH wurde zu Versuchsende für jedes einzelne Gefäß wiederholt.



Abbildung 36: Gefäßversuch zum Einfluss von Schwefel auf Bodeneigenschaften.

Im zweiten Teil des Versuchs mit einer Laufzeit von August bis November 2020, wurde Weidelgras in vier Wiederholungen der vorher für den Auswaschungsversuch genutzten Gefäße eingesät. Vor der Aussaat wurde jedes Gefäß (4,2 kg Boden) mit 2,45 g $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 1,39 g K_2SO_4 und 1,06 g MgSO_4 gedüngt. Acht Wochen später wurden nochmals 2,40 g NH_4NO_3 gegeben. Die Gefäße wurden regelmäßig auf 70 % WHK bewässert. Das Weidelgras wurde sechs und zwölf Wochen nach der Aussaat 2 – 2,5 cm über dem Boden geschnitten, bei 60°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und für die Nährstoffanalyse gemahlen. Die Gehalte an den Elementen C, N, S wurden im CNS-Analyser (EuroEA 3000) bestimmt, P, K, Mg, Ca, Cu und Zn nach Mikrowellenaufschluss (VDLUFA, 2011) mittels ICP-OES. Nach den 12 Wochen wurde nochmals eine Bodengrundanalyse durchgeführt.

7.3. Ergebnisse

Den niedrigsten pH-Wert und geringste Ca-Gehalte hatten die Böden aus dem Alten Land (Tabelle 6). Der Hopfenboden enthielt die höchsten Mengen an Cu und Zn, die niedrigste Cu-Gehalte hatte der Grünlandboden. Der höchste Tonanteil war im Hopfen- und im Grünlandboden zu finden, höchste Sandanteile im „Ackerboden“ und „Obst 2-Boden“.

Tabelle 6: Konzentrationen an Makro- und Mikroelementen in den fünf im Auswaschungsversuch eingesetzten Oberböden aus zwei Obstanbauregionen (Altes Land und Bodensee) : ökologische Apfelanlage (Obst 1 und Obst 2), konventionelle Hopfenanlage, konventioneller Ackerboden und extensiv bewirtschaftetes Grünland.

Region	Boden	Bodenart	pH (CaCl ₂)	P _{CAL}	K _{CAL} mg 100g ⁻¹	Mg (CaCl ₂)	C _{org}	N %	S	Königswasseraufschluss (mg kg ⁻¹)					
										P	K	Mg	Ca	Cu	Zn
Bodensee	Obst 1	Lt2	7,0	13,95	44,65	12,45	3,26	0,33	0,046	969	4027	5638	18771	49	75
	Hopfen	Lt2	6,2	12,95	20,15	15,70	3,88	0,44	0,057	1626	3268	4908	6289	113	101
	Acker	Ls2	7,3	5,40	8,75	4,50	1,75	0,22	0,031	904	2873	5855	37283	25	54
Altes Land	Obst 2	Ls2	5,8	4,80	19,30	15,55	2,01	0,21	0,037	619	2845	2534	2827	43	49
	Grünland	Lu	5,1	4,90	25,55	20,90	1,98	0,23	0,047	847	4299	3960	2947	11	67

Auf die Behandlungen im Versuch reagierten die verschiedenen Böden sehr unterschiedlich. Nach sieben Monaten war der pH-Wert bei den Varianten ohne S-Applikation in allen Böden angestiegen. Steigende S-Gaben verminderten den Anstieg oder verringerten sogar den pH-Wert des Bodens (Abb. 37). Die Gehalte an extrahierbarem P-, K- und Mg veränderten sich in allen Böden, jedoch gab es (mit Ausnahme der Variante „Hopfenboden“ mit einer signifikanten Verringerung des P-Gehalts im Vergleich der 0- und 80-Variante) keine signifikante Unterschiede zwischen den S-Behandlungen.

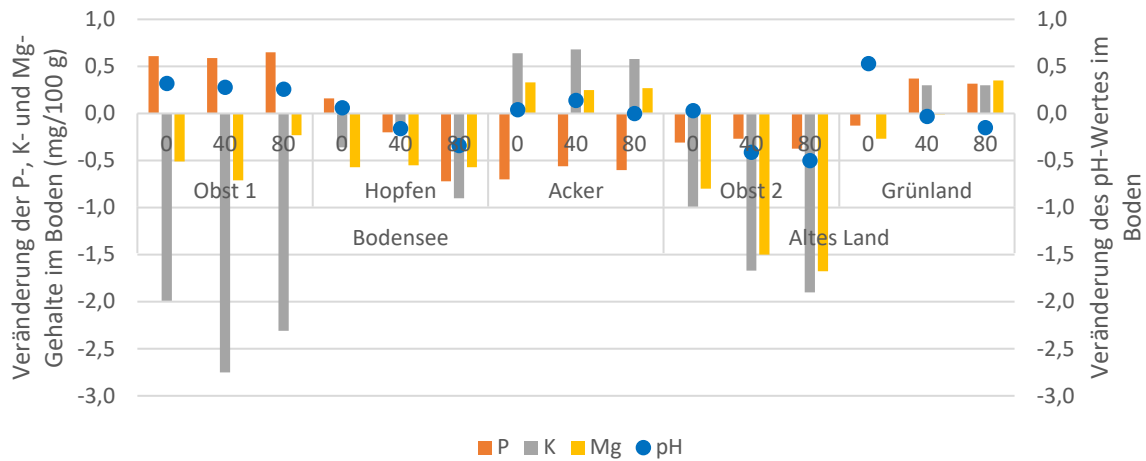
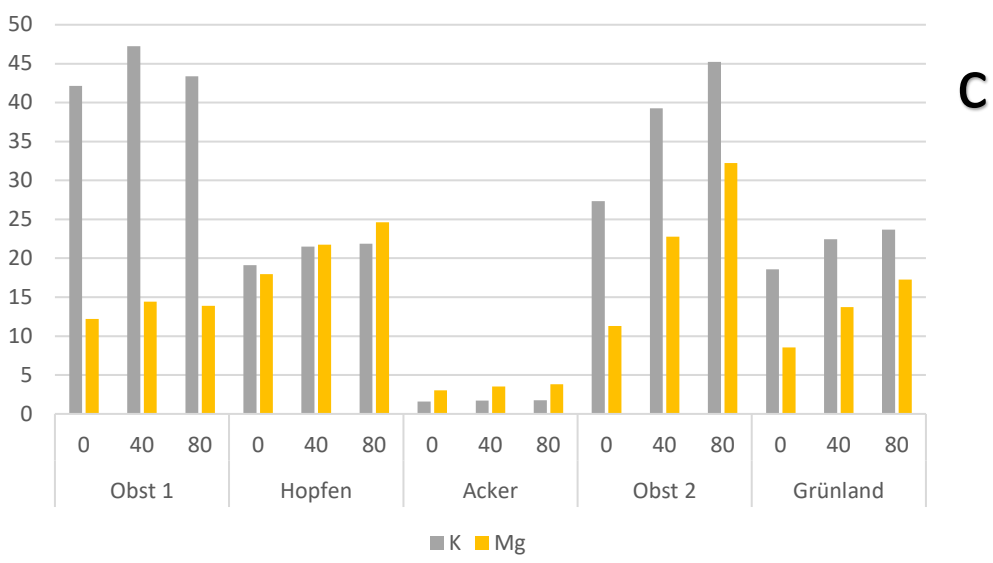
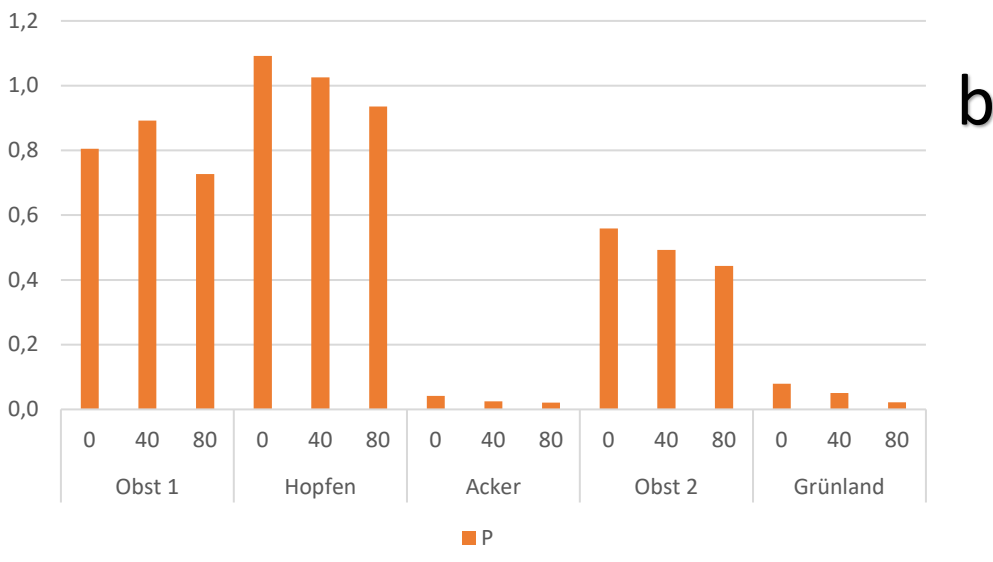
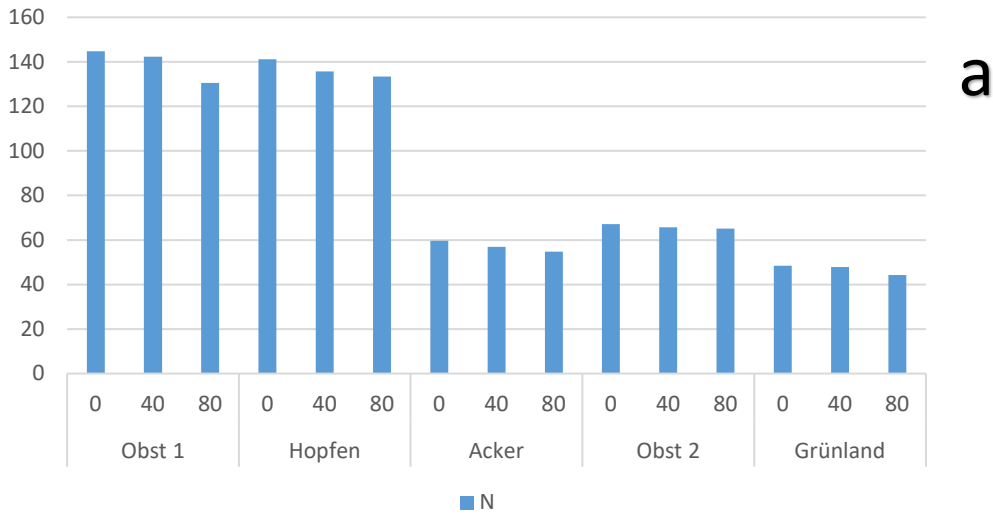


Abbildung 37: Veränderung im Boden nach sechs S-Applikationen jeweils gefolgt von einer Auswaschung über einen Zeitraum von sieben Monaten in den fünf Böden aus zwei Regionen mit jeweils drei S-Behandlungen (0, 40, 80 kg S ha⁻¹).

Abbildung 38 a-f zeigt die Summe der ausgewaschenen Elementmengen über alle sechs Auswaschungsereignisse. Der Grad der Auswaschung variierte je nach Bodenart. Nach ersten Auswertungen wurden signifikante Unterschiede aufgrund der S-Behandlung in allen Böden für S, in vier Böden (außer im Ackerboden) für Ca, in drei Böden für K (Obst 1, Obst 2, extensiv) und Mg (Hopfen, Obst 2, extensiv), und in einem Boden (Obst 2) für Cu festgestellt. Keine signifikanten Unterschiede wurden bei C, N und Zn gemessen.



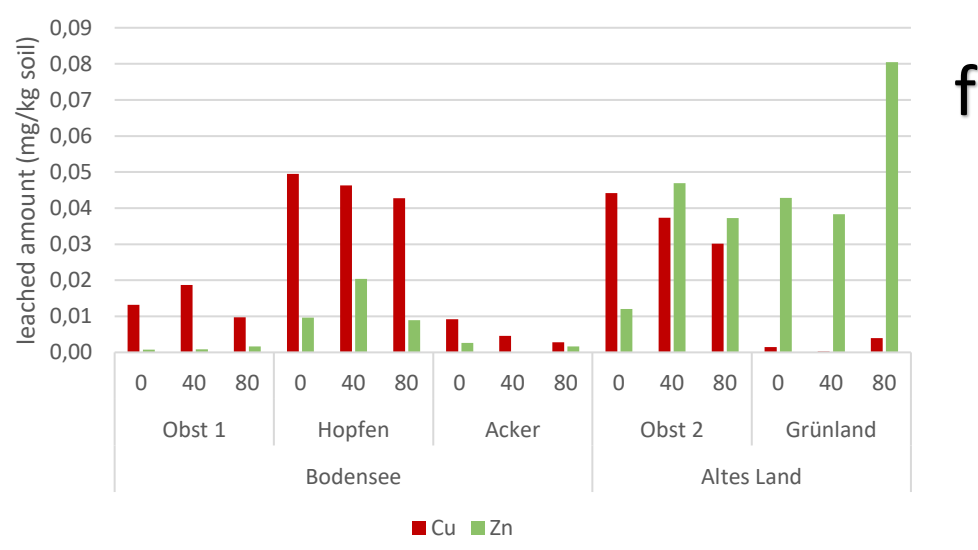
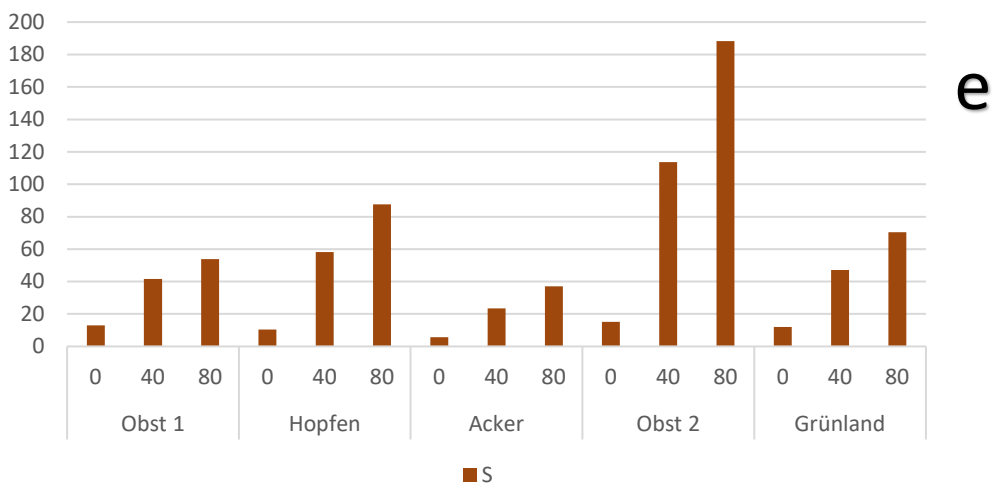
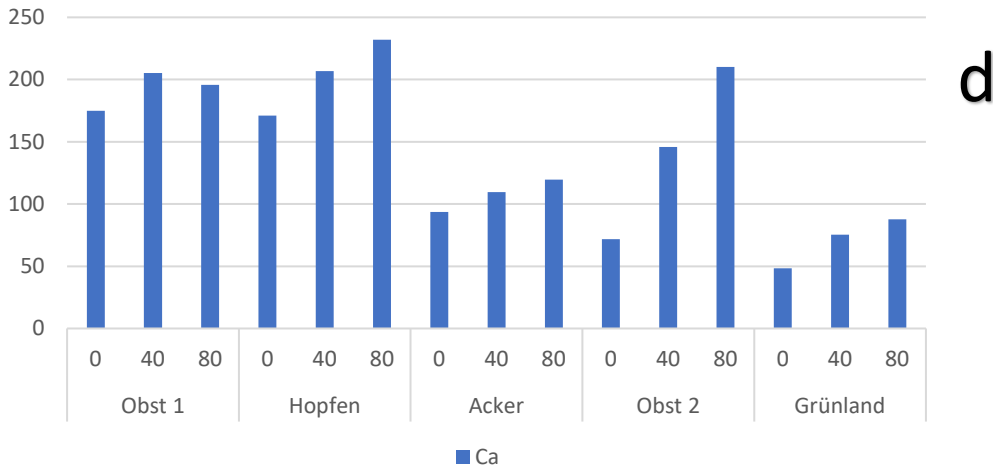


Abbildung 38 a-f: Summe der ausgewaschenen Mengen an N, P, K, Mg, Ca, S, Cu und Zn in den sechs Eluatn nach sechs S-Applikationen, jeweils gefolgt von einem Auswaschungsereignis ($n=5$), in fünf Böden mit jeweils drei S-Behandlungen (0, 40, 80 kg S ha⁻¹).

Der Versuch mit Weidelgras ergab ebenfalls Unterschiede zwischen den Böden in der Biomasseproduktion, jedoch konnten keine Unterschiede zwischen den S-Behandlungen abgeleitet werden (Abb. 39 + Abb. 40). Bei den Nährstoffgehalten der Biomasse gab es bis auf teils erhöhte S-Gehalte ebenfalls keine Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Böden.

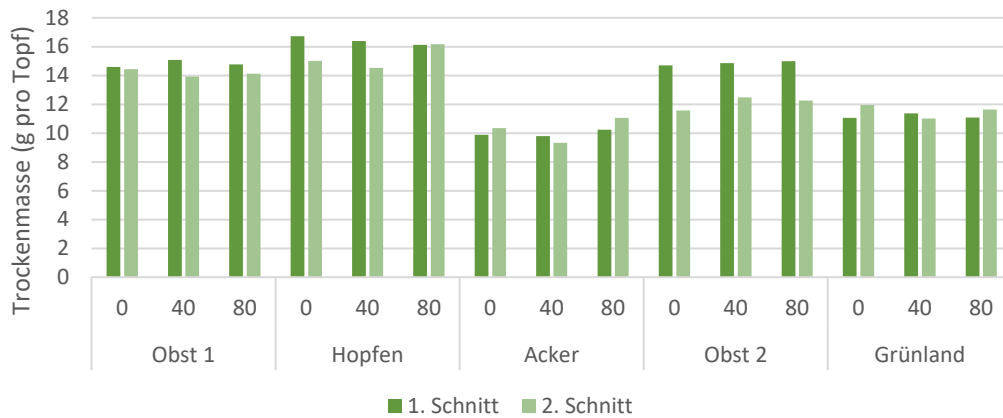


Abbildung 39: Mittelwerte der Weidelgras-Biomasse pro Topf in den fünf Böden mit jeweils drei unterschiedlichen S-Behandlungen (0, 40, 80 kg S ha⁻¹) vor der Weidelgras-Einsaat (n=4). Die Schnitte erfolgten sechs und zwölf Wochen nach Einsaat.

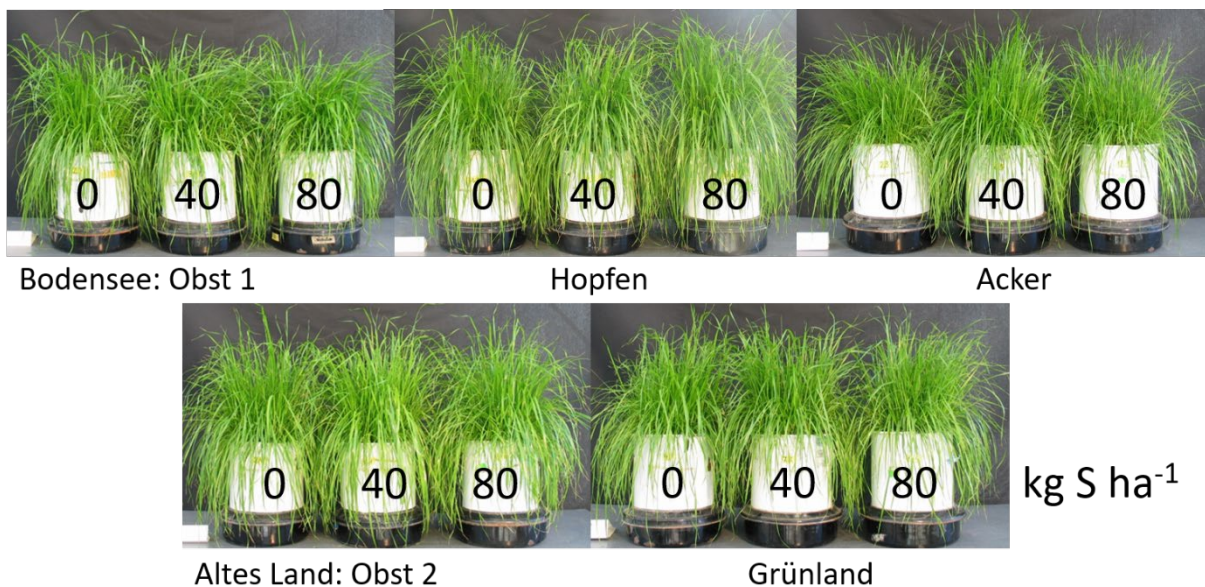


Abbildung 40: Weidelgras vor dem 1. Schnitt sechs Wochen nach Einsaat, in den fünf verschiedenen Böden aus zwei Regionen, Einsaat erfolgte nach Ablauf des S-Auswaschungsversuchs (sechs S-Applikationen mit jeweils 0, 40 oder 80 kg S ha⁻¹ auf die Bodenoberfläche und einer darauffolgenden Auswaschung über einen Zeitraum von sieben Monaten vor der Einsaat des Weidelgrases).

7.4. Diskussion

In der Praxis wird S nicht direkt auf den Boden aufgetragen und gelangt daher nicht sofort und nicht in den Mengen in den Boden wie hier simuliert wurde. Jedoch sollte mit diesem Versuch eine Abschätzung der langfristigen Folgen des permanenten S-Eintrags erfolgen. Die S-Zufuhr führte im Gefäßversuch vor allem zu einer höheren Auswaschung von K, Ca, Mg und S (Abb. 38). Der Grad der Auswaschung variierte je nach Bodenart und war am höchsten bei Böden mit niedrigem pH-Wert und niedrigstem Ca-Gehalt in Kombination mit dem niedrigsten Tongehalt und dem höchsten Sandgehalt, was auf eine geringe Kationenaustauschkapazität hinweist. Aufgrund der niedrigen Cu- und Zn-Gehalte nahe der Nachweisgrenze konnten hier keine Effekte auf die Auswaschung im Boden als auch auf die Aufnahme im Weidelgras festgestellt werden, im Gegensatz zu Versuchen mit angesäuerter Gülle, wo höhere Zn-Aufnahmen in Salat gemessen wurden (Sigurnjak et al., 2017). Obwohl Veränderungen im pH-Wert festgestellt wurden (Abb. 37), konnte hier keine erhöhte Auswaschungsgefahr für Schwermetalle induziert durch Schwefel belegt werden. Je nach Boden stellt ein hoher S-Eintrag ein Risiko für die Nährstoffversorgung der Apfelbäume dar, wenn er nicht langfristig durch Kalkung und Düngung kompensiert wird.

8. Versuch zu Silagedüngung – N-Verfügbarkeit bei unterschiedlichen Zeitpunkten der Silageausbringung

8.1. Einleitung

Während der zurückliegenden dreijährigen Projektlaufzeit 2018-2020 zeigte sich im Feldversuch mit alternativen Düngemitteln (Kapitel 6) in der Variante mit Silagedüngung eine für die Kultur Apfel zu spät einsetzende N-Mineralisation. Im Rahmen der Projektverlängerung im Jahr 2021 sollte die Möglichkeit einer bedarfsgerechten, frühen N-Mineralisation durch einen deutlich früheren Ausbringungstermin der Silage sowie über eine Kombination mit dem schnellwirkenden Flüssigdünger „Vinasse“ untersucht werden.

Die Versuche wurden als Feldversuch auf einer ökologisch bewirtschafteten Versuchsfläche des KOB, sowie auf den nahegelegenen Bio-Betrieben Stefan Geiger (Nessenbach) und Nikolaus Glocker (Tepfenhart) als begleitende On-farm-Versuche angelegt.

8.2. Material und Methoden

8.2.1. Feldversuch am KOB

Der Versuch wurde in einer Vollertragsanlage an der frühreifenden Sorte Santana (Reihenabstand 3,5m x 1,0m) durchgeführt. Je Versuchsvariante wurden vier Wiederholungen mit je 10 Versuchsbäumen randomisiert verteilt angelegt. Die in 2021 geprüften Varianten sind in Tabelle 7 aufgeführt. Die Klee gras-Silage wurde zu unterschiedlichen Terminen ausgebracht: der frühe Termin (T2) lag am 23. März, der späte Termin (T1) rund einen Monat später am 21. April, zum Blühstadium „Rote Knospe“ der Bäume. Neben der nicht weiter aufbereiteten, langstrohigen Variante wurde die Klee gras-Silage in weiteren Varianten auch als Häcksel sowie in Verbindung mit dem Flüssigdünger Vinasse ausgebracht. Als weiterer Dünger wurden heimische Schafwollpellets in 2021 in den Versuch integriert. In der Vergleichsvariante wurde der Standard-Dünger Horngrieß verwendet. Die Kontrolle erhielt keine Düngung. Die Stickstoffgehalte in der Frischsubstanz in % sind ebenfalls in Tabelle 7 aufgeführt. Alle Düngemittel wurden zeitnah nach der Ausbringung mit einem Hackgerät eingearbeitet.

Tabelle 7: Düngung mit Silage – Varianten, N-Gehalte und Ausbringtermine, KOB, 2021.

Variante	2021					
	N-Gehalte in FS (%)	Düngermenge je ha (kg, l)	Düngermenge je Baum (kg)	Ausbringung Datum	Einarbeitung	Herkunft
Kontrolle	ohne					
Horngrieß	13,4	186,6	0,065	T1 21.4.	21.4.	Beckmann & Brehm
Schafwollpellets	10,1	247,5	0,087	T1 21.4.	21.4.	Provita, Beckmann & Brehm
Silage T1	0,994	2515,1	0,880	T1 21.4.	21.4.	N. Glocker
Silage T1 + Vinasse	0,994 + 4,47	1257,5 + 279,6	0,440 + 0,097	T1 21.4.	21.4.	N. Glocker, Biofa
Silage Häcksel T1	0,994	2515,1	0,880	T1 21.4.	21.4.	N. Glocker
Silage T2	1,351	1850,5	0,648	T2 23.3.	24.3.	N. Glocker
Silage Häcksel T2	1,351	1850,5	0,648	T2 23.3.	24.3.	N. Glocker

Zur Beurteilung des vegetativen und generativen Wachstums der Bäume wurden Stammumfang und Triebwachstum sowie Blüh- und Behangstärke und Erntemengen ermittelt.

Zur Nachverfolgung des N-Verlaufs im Boden wurden während der Saison an sieben Terminen Bodenproben in einer Tiefe bis 30cm gezogen. Dabei wurde jede Wiederholung mit drei Einstichen einzeln beprobt. Die Proben wurden eingefroren und anschließend in Hohenheim nach VDLUFA (2002) analysiert.

8.2.2. Praxisbetriebe Stefan Geiger und Nikolaus Glocker

Auf den Praxisbetrieben wurde die Silage-Düngung in einer Vollertragsanlage der Sorte Golden Delicious (Betrieb Geiger) sowie an der Sorte Topaz (Betrieb Glocker) ausgebracht. In beiden Betrieben wurden die vier Varianten Silage früh, Silage spät, Silage spät + Vinasse und die nicht gedüngte Kontrolle untersucht (Tabelle 8), analog zum Feldversuch am KOB.

Tabelle 8: Düngung mit Silage - Varianten, N-Gehalte und Ausbringtermine, Praxisbetriebe, 2021.

Variante	N-Gehalte in FS (%)	Düngermenge je ha (kg, l)	Düngermenge je Baum (kg)	Ausbringung Datum	Einarbeitung	Herkunft
Kontrolle	ohne					
Silage früh	1,351	1850,5	0,648	24.3.	24.3.	N. Glocker
Silage spät	0,994	2515,1	0,880	21.4.	21.4.	N. Glocker
Silage spät + Vinasse	0,994 + 4,47	1257,5 + 279,6	0,440 + 0,097	21.4.	21.4.	N. Glocker, Biofa

Die Varianten waren je Reihe angeordnet und nicht wiederholt. Eine Variante bestand aus 40 Bäumen. Die Düngermenge je Baum entsprach der des Feldversuchs.

Zur Beurteilung des generativen Wachstums wurden die Parameter Blühstärke und Behang ermittelt. Zur Ermittlung des N_{\min} -Verlaufs wurde auf den Praxisbetrieben je Termin eine Mischprobe aus acht Einstichen gezogen. Die Terminierung erfolgte analog zum Feldversuch am KOB.

8.3. Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 41 zeigt die Varianten Silage früh (langstrohig) und Silage früh Häcksel vor und nach der Einarbeitung. Die gehäckselte Variante lässt sich deutlich besser mit dem Hackgerät einarbeiten als die langstrohige Variante. Hier liegt noch einiges an Masse auf dem Baumstreifen und wird daher später umgesetzt.

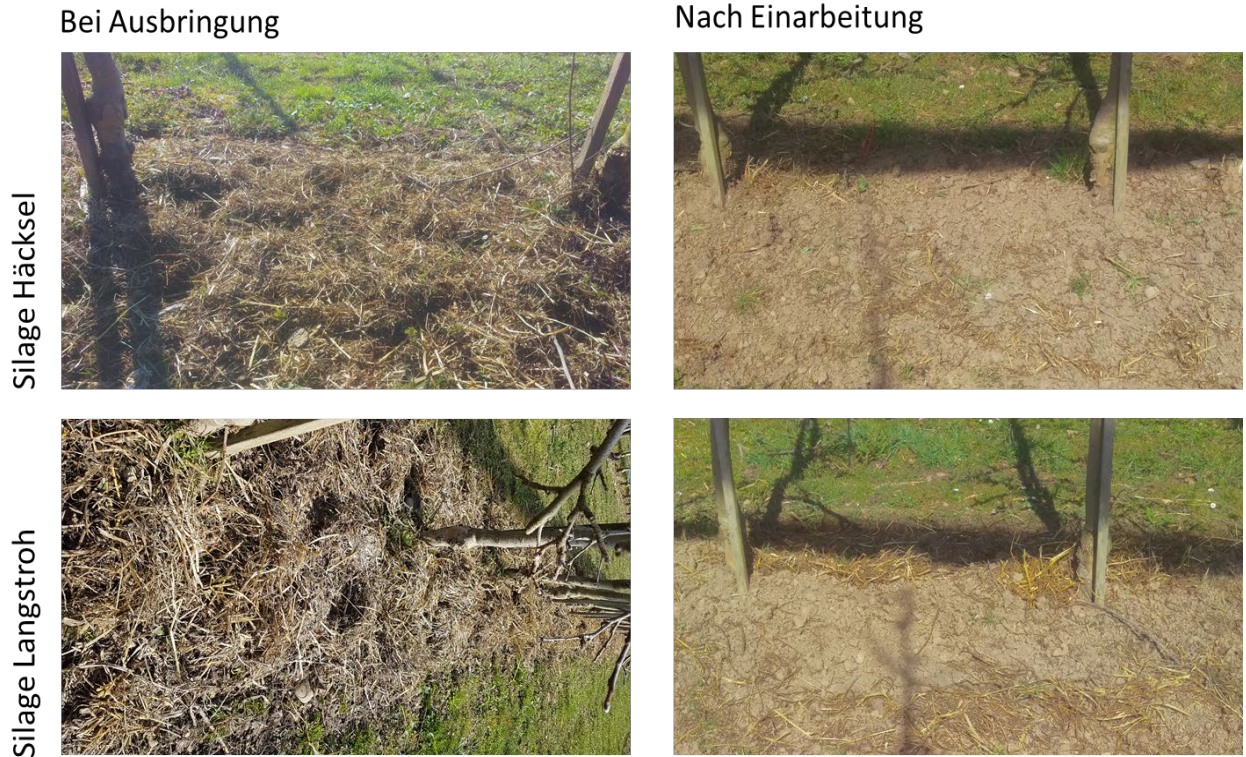


Abbildung 41: Düngung mit Silage – Vergleich Silage Langstroh und Silage Häcksel vor und nach der Einarbeitung, T2.

Nach 1-jähriger Silagedüngung sind bei den vegetativen Merkmalen Stammumfangzunahme Frühjahr/ Herbst und Triebwachstum lediglich geringfügige Unterschiede zur nicht gedüngten Kontrolle erkennbar (Abbildung 42).

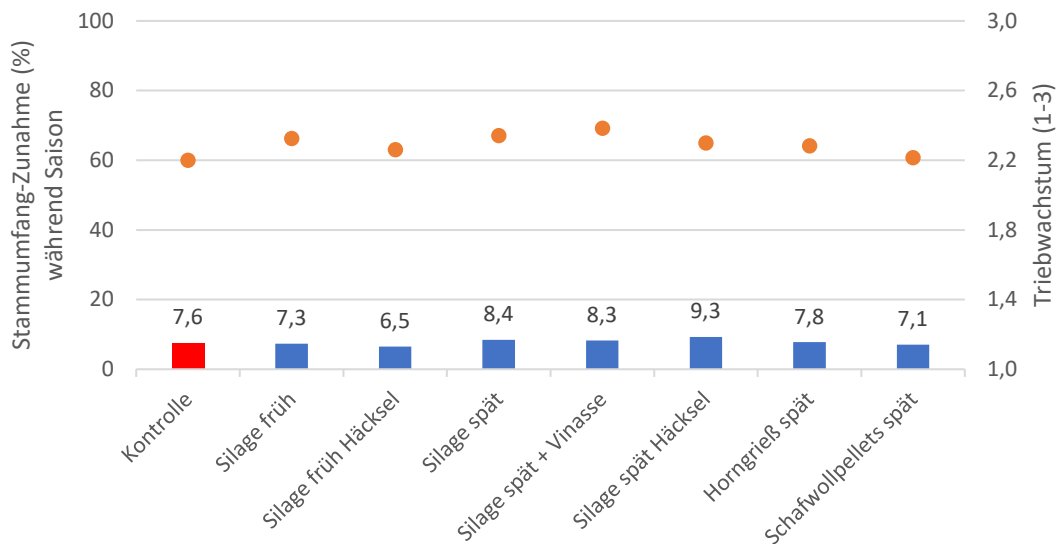


Abbildung 42: Düngung mit Silage – Vegetative Parameter Stammumfang und Triebwachstum zu Saisonende, KOB, 2021.

Abbildung 43 zeigt die Erntemenge in kg Baum im Verhältnis zur Blühstärke. Die Blühstärke muss dabei wegen ihres Vorjahreseffektes als Ausgangspunkt und unabhängig von der diesjährigen Düngung gesehen werden. Die Variante Silage Häcksel T2 (früh) konnte in Abhängigkeit zur Blühstärke die Erntemenge am meisten steigern. Die späten Silagevarianten wiesen die geringsten Erntemengen auf, was sicherlich auch Folge der geringeren Blühstärke ist.

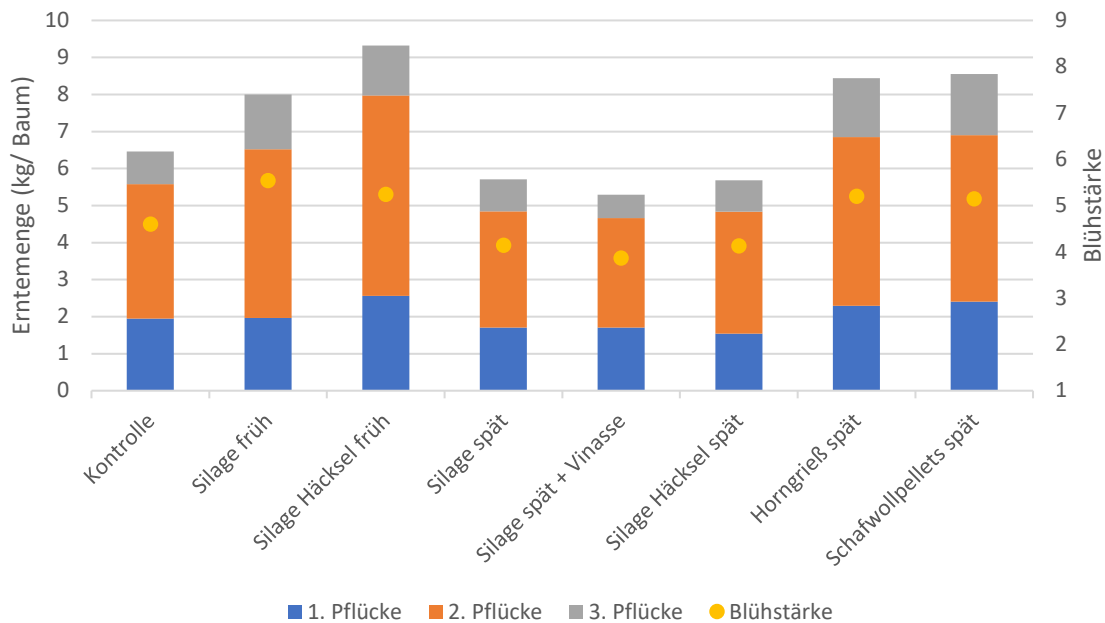


Abbildung 43: Düngung mit Silage – Generative Merkmale Blühstärke und Erntemenge, KOB, 2021.

Abbildung 44 zeigt den Stickstoffverlauf aller Varianten von Ende März (zur Ausbringung der ersten Dünger) bis Vegetationsende. Im März lag der N_{\min} -Gehalt aller untersuchten Proben bei unter 20 kg N/ha. Die Mineralisation, welche ohne Düngereinfluss im Boden stattfindet, lässt sich am Verlauf der Kontrollvariante nachzeichnen. Sie liegt Ende April bereits bei über 30 kg N/ha. Die zum frühen Termin T2 bereits gedüngten Varianten Silage früh und Silage früh Häcksel konnten den N-Gehalt auf 50 kg/ha und darüber steigern. Die langstrohige Variante lag hierbei über der gehäckselten Variante, was so nicht zu erwarten war. Zum späteren Düngetermin T1 am 21.4. lagen alle, bisher noch nicht gedüngten Varianten aufgrund der Mineralisation, welche auch ohne Dünger erfolgt, im Bereich zwischen 30 und 40 kg N/ha. Am dritten Probetermin (18.5.) verzeichnete die Variante mit dem Standarddünger Horngrieß mit knapp 70 kg N den höchsten Stickstoffwert, gefolgt von der pelletierten Schafwolle mit 55 kg N/ha. Zu diesem Zeitpunkt waren die Ende März gedüngten Varianten bereits abfallend. Die Varianten Silage spät + Vinasse sowie Silage spät Häcksel zeigten mit einer Zunahme von rund 12 kg

N einander ähnliche Verläufe. Die pelletierte Schafwolle konnte während der Saison den N-Gehalt über einen längeren Zeitraum erhöht halten, bevor sie Anfang August wieder das Niveau der Kontrolle erreichte. Silage spät + Vinasse hatte als einzige Variante ein Peak von 40 kg N/ha am 25.9. und eine abfallende Kurve zum letzten Probestern am 20. Oktober. Bei allen anderen Varianten, inklusive der ungedüngten Kontrolle, waren die N-Gehalte zu Saisonende zunehmend und über 30 kg N/ha.

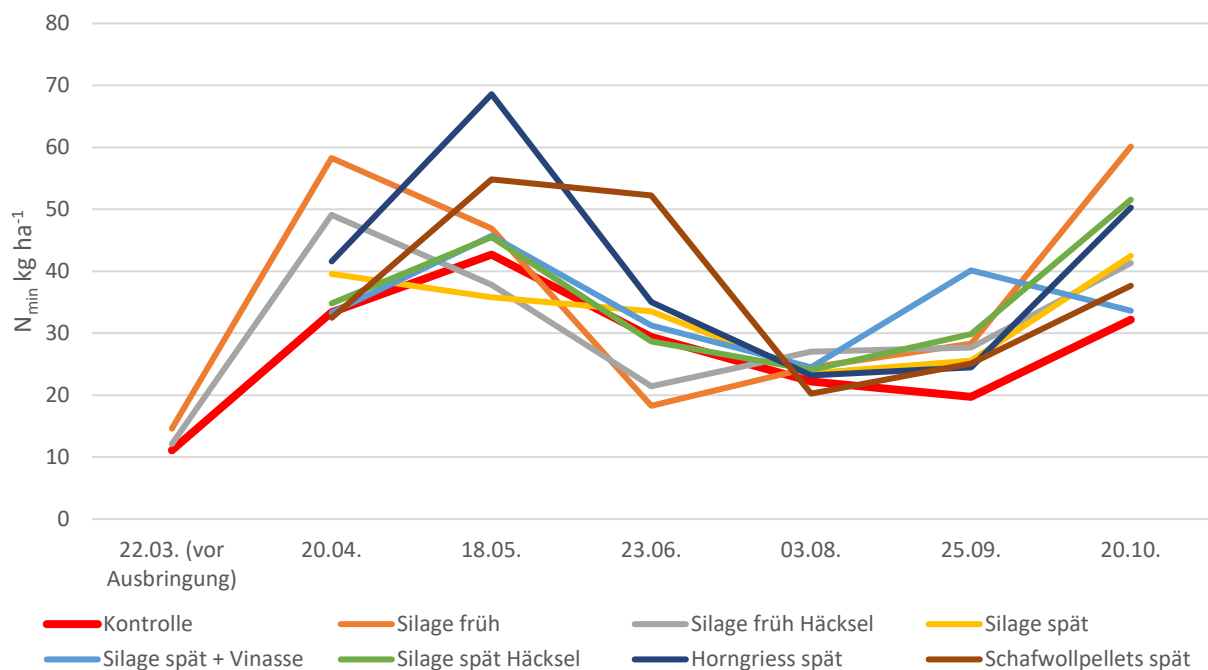


Abbildung 44: Düngung mit Silage – N_{min} -Verlauf des Feldversuchs am KOB in Abhängigkeit der eingesetzten N-Düngemittel, 2021.

Die Messung der Bodenfeuchte ergab keine Unterschiede zwischen den Varianten. Auffällig war lediglich die Beobachtung, dass der Boden am KOB bei allen Messterminen trockener als der auf den Praxisbetrieben war.

Praxisbetriebe

Tabelle 9 zeigt die Blühstärke und den Behang. Anhand des Behangs zur Ernte lassen sich keine Rückschlüsse auf die durchgeführten Düngemaßnahmen ziehen.

Tabelle 9: Düngung mit Silage – Generative Parameter Blühstärke und Behang, Praxisbetriebe, 2021.

	Betrieb Geiger		Betrieb Glocker	
	Blüh- stärke	Behang	Blüh- stärke	Behang
Kontrolle	3,5	4,5	6,8	6,5
Silage früh	4,6	5,4	6,5	5,6
Silage spät	3,9	5,0	7,1	6,4
Silage spät + Vinasse	3,4	4,4	6,7	6,3

Abbildung 45 zeigt den N_{\min} -Verlauf der genannten Varianten an allen drei Standorten.

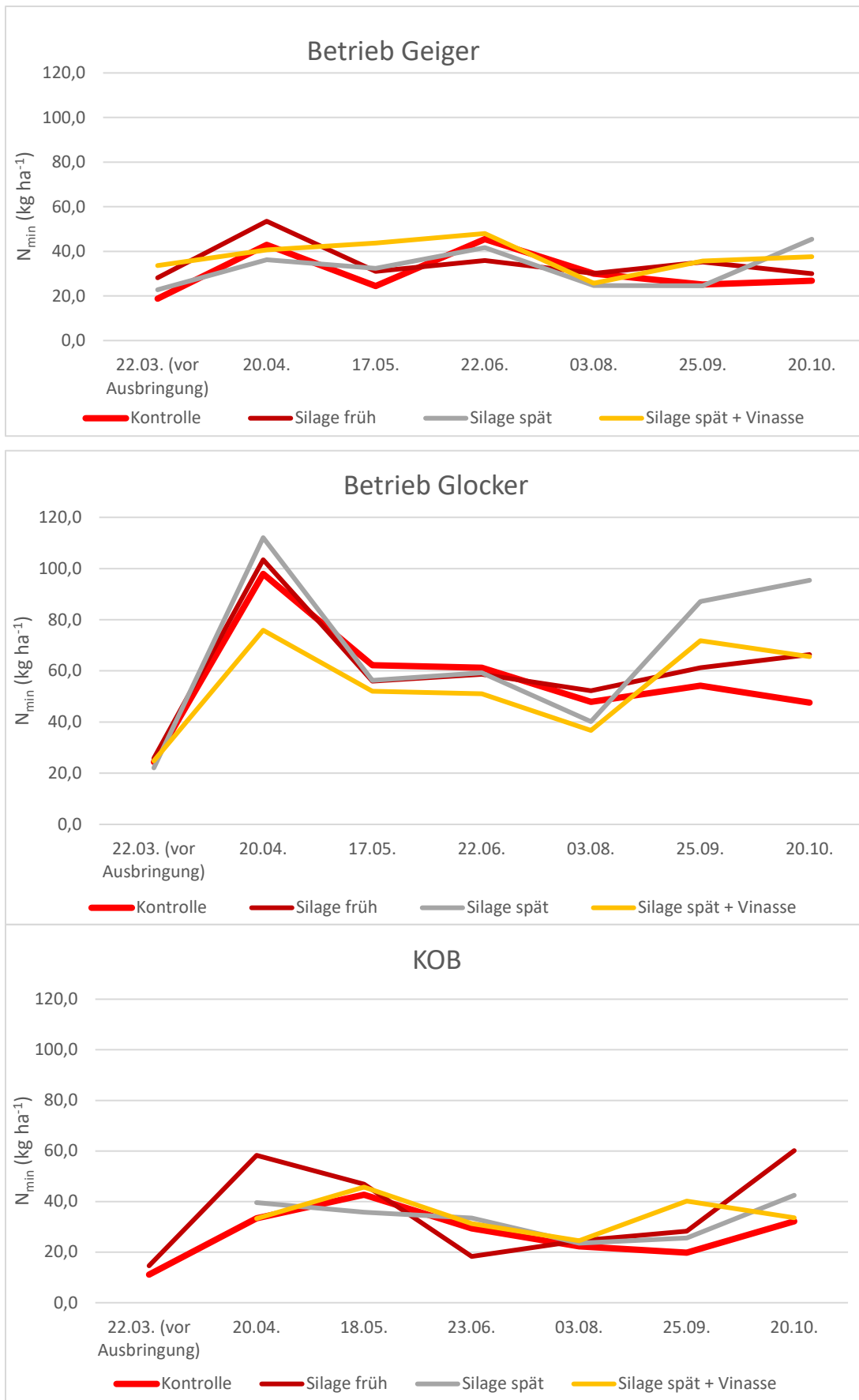


Abbildung 45: Düngung mit Silage – N_{min} -Verlauf auf den Praxisbetrieben und am KOB, 2021.

Der N_{\min} -Gehalt aller Varianten liegt zu Saisonende (teils deutlich, Betrieb Glocker) über der nicht gedüngten Kontrolle. Während der Saison liegen die Werte beim Betrieb Geiger und am KOB im Bereich zwischen 20 und 60 kg N/ha. Im Betrieb Glocker gibt es am 20. April ein Peak nahe 100 kg N/ha, auch in der Kontrolle sowie den zu diesem Zeitpunkt noch ungedüngten Varianten. Dies ist sehr wahrscheinlich auf die seit mehreren Jahren erfolgte Silagedüngung zurückzuführen, sodass hier viel Potential zur Umsetzung im Boden vorhanden ist, auch in der nur in 2021 ungedüngten Kontrollvariante. Der grau unterlegte Graph der Silage spät zeigt auf allen drei Betrieben zunächst eine abfallende Stickstoffkurve, welche erst im Sommer ab Anfang August wieder ansteigt.

Hinsichtlich der Bodenfeuchte ließen sich keine aussagekräftigen Unterschiede zwischen den Varianten erkennen. Auf beiden Praxisbetrieben war die Bodenfeuchte jedoch zu allen Terminen z. T. deutlich höher als in der Versuchsanlage des KOB.

8.4. Abschließende Beurteilung

Mit der vorgezogenen Düngung im zeitigen Frühjahr konnte die Stickstoffverfügbarkeit im Bereich der Apfelblüte erhöht werden. Dabei spielte es keine Rolle, ob die Silage als Langstroh oder als Häcksel ausgebracht wurde. Diesem Sachverhalt wird in einem weiteren Versuchsjahr in 2022 nachgegangen.

Grundsätzlich zeigen die Silagevarianten einen, über die gesamte Saison relativ ausgeglichenen N_{\min} -Verlauf ähnlich der Kontrolle bzw. etwas darüber. Es gibt keinen Peak wie beim Standard Horngrieß. Denkt man die Düngung neu, wird genau dies angestrebt.

Die in 2021 neu hinzugekommenen Schafwollpellets zeigen einen interessanten N_{\min} -Verlauf aufgrund ihrer raschen und über einen längeren Zeitraum anhaltenden Stickstofffreisetzung (ca. acht Wochen). Zudem verfügen die Pellets über ein hohes Wasserhaltevermögen (2,5-fache ihres Eigengewichts). Auch diese Variante wird in 2022 wiederholt.

9. Versuch zur Prüfung eines Mulchgeräts mit direkter Ausbringung des Mulchs in den Baumstreifen

9.1. Einleitung

Im Rahmen einer im Projekt durchgeführten Masterarbeit (Kapitel 5) hat sich gezeigt, dass bereits einige Öko-Obstbaubetriebe die Fahrgasse mulchen und diesen Mulch im Baumstreifen ablegen. Die Biomasse aus der Fahrgasse kann in einem erheblichen Maße zur Nährstoffversorgung der Bäume beitragen. Allerdings ist im Augenblick die Ausbringungstechnik des Mulches noch nicht optimiert. Auf dem Praxisbetrieb Glocker wurde im Herbst 2020 ein neuartiges Mulchgerät zur gezielten Ablage der Mulchmasse im Baumstreifen angeschafft. Der erste Testeinsatz wurde von Mitarbeitern des KOB begleitet.

In der vorliegenden Projektverlängerung wurde die Technik des neuartigen Gerätes mit der herkömmlichen, bislang praxisüblichen Technik verglichen.

9.2. Übersicht zu den eingesetzten Mulchgeräten

Im Vergleich waren ein einseitiges Mulchgeräte (Abb. 46) vom Betrieb Glocker und ein beidseitiges Scheren-Mulchgerät (Abb. 47) des KOB.



Abbildung 46: Mulchgerät mit seitlicher Auswurf-Schnecke.



Abbildung 47: Praxisübliches Scheren-Mulchgerät (zweiseitiger Auswurf).

Tabelle 10 zeigt die Eigenschaften der beiden Mulchgeräte.

Tabelle 10: Übersicht zu den eingesetzten Mulchgeräten.

	Betrieb Glocker	KOB
Firma	Einseitiger Auswurf (seitlich)	Praxisüblich (Scherenmulchgerät)
Schnittbreite	1,50m	2,50m
Auswurf	einseitig (auch beidseitig erhältlich)	beidseitig
Auswurfhöhe	ca. 50cm	Bodennah
	Auswurf über Schnecke	Auswurf über Fliehkräfte
Überfahrten bei 3,50m Reihenabstand	2x	1x
Fahrgeschwindigkeit	6-7 km/h	6-7 km/h
optimale Bedingungen beim Mulchen	trockenes Gras (Förderung über Schnecke verläuft reibungsloser)	taufeuchtes Gras

Je nach Einstellung kann das zweiseitige Mulchgerät das gemulchte Gras in der Fahrgasse belassen oder, nach Abschrauben der seitlichen Bleche, in den Baumstreifen werfen. Für den vorliegenden Versuch wurden die Seitenbleche abgeschraubt. Das einseitige Mulchgerät ist speziell für den seitlichen Auswurf entwickelt worden.

Abbildung 48 zeigt das einseitige Mulchgerät im Einsatz. Das Mulchgras wird hierbei etwa in Kniehöhe von einer Schnecke nach aussen direkt auf den Baumstreifen befördert. Um den Stamm herum sammelt sich das Gras.



Abbildung 48: Das Mulchgerät mit einseitigem Auswurf im Einsatz.

Abbildung 49 zeigt das Mulchergebnis nach beidseitiger Überfahrt mit dem neuartigen Mulchgerät. Je nach Grashöhe fällt die Mulchschicht im Baumstreifen mehr oder weniger hoch aus.



Abbildung 49: Mulchschicht nach Überfahrt mit dem einseitigen Mulchgerät.

Abbildung 50 zeigt zum Vergleich das Mulchergebnis des betriebsüblichen Gerätes.



Abbildung 50: Einmalige Überfahrt mit dem Scherenmulchgerät des KOB.

9.3. Abgelegte Mulchmenge und Schwadhöhen

Die Überfahrten erfolgten zu zwei Terminen, Anfang Juni und Ende August. Dabei wurden die Schwadhöhe sowie die abgelegte Mulchmasse im Baumstreifen, bezogen auf eine Fahrgassenbewuchsbreite von 2,50m bestimmt (Tabelle 11).

Tabelle 11: Mulchgeräte-Vergleich - Abgelegte Mulchmasse (kg/m² Baumstreifen) und Schwadhöhen (cm).

			Schwadhöhe (cm)		abgelegte Mulchmasse in kg/m ² Baumstreifen (bei Fahrgassenbewuchsbreite 2,50m)	
	Bedingungen	Wuchshöhe	Einseitig (neu)	Scherenmulchgerät	Einseitig (neu)	Scherenmulchgerät
01.06.	trocken	50-60cm	9,2	3,8	1,97	0,36
26.08.	mäßig feucht	22-25cm	5,8	2,7	0,72	0,42

An beiden Terminen zeigte das neuartige Gerät mit einseitigem Auswurf eine z. T. deutlich höhere abgelegte Mulchmasse im Baumstreifen als das betriebsübliche Mulchgerät des KOB. Demzufolge war auch die Schwad höher.

9.4. Abschließende Beurteilung

Es wird deutlich, dass speziell für den seitlichen Auswurf konstruierte Mulchgeräte die Mulchmasse gezielter auf dem Baumstreifen ablegen als herkömmliche Geräte mit wahlweisem Auswurf hinten oder seitlich.

Auf dem Markt sind bereits auch Mulchgeräte mit beidseitigem, schneckenbetriebenem seitlichem Auswurf erhältlich, sodass auch hier nur eine Überfahrt notwendig wäre.

Sollte der Versuch in 2022 wiederholt werden, wären folgende Punkte genauer zu betrachten:

- Wie hoch ist die verbliebene Mulchmasse in der Fahrgasse?
- Gibt es Unterschiede in der Häcksel-Qualität?
- Kommt es zu Pilzbefall in der Schwad?

10. Übergreifende Diskussion der Ergebnisse

Die gesammelten Daten für ökologische Apfelanlagen in Süd- und Norddeutschland zeigten Nährstoffungleichgewichte mit positiver Bilanz für N, P, Ca, Mg, S, Na und Cl. Bei S resultierten die größten Einträge aus Pflanzenschutzmitteln und nicht aus Düngemitteln. Die Zufuhr von Ca und Mg erfolgten größtenteils aus Grunddüngern, im Feldversuch ergab die Ca- und Mg-Bilanz in der mit Kompost gedüngten Variante ebenfalls die höchsten positiven Werte. Die K-Bilanz war in den Erhebungen sowie im Feldversuch negativ. Im Feldversuch war das Düngeneiveau niedriger als das durchschnittliche Niveau in der Praxiserhebung mit gleichzeitig überdurchschnittlichen Erträgen, damit fielen die Bilanzen im Versuch stärker negativ aus als in der Praxis. Das Ziel eines ausgewogeneren Nährstoffmanagements in ökologisch bewirtschafteten, intensiven Apfelanlagen bleibt eine Herausforderung, da mit keinem der untersuchten Düngemittel eine ausgeglichene Nährstoffbilanz erreicht werden konnte. Vergleicht man die Stöchiometrie von geernteten Äpfeln mit der der alternativen Dünger, so zeigen Biogasgärreste (nicht separiert und vorzugsweise aus Pflanzenmaterial) sowie Dünger auf Kleebasis, wie Silage und Kleepellets, die beste Übereinstimmung im N:K-Verhältnis (Möller und Schultheiß, 2014). Dies hilft, K-Defizite bei vergleichsweise geringer P-Versorgung zu reduzieren und das Risiko einer P-Akkumulation zu minimieren. Bei einem hohen Gehalt an pflanzenverfügbarem P im Boden sind Lebendmulche auf der Grundlage einer Dichtsaat von Körnerleguminosen sowie Kompost und Hofdünger aufgrund ihres hohen P-Eintrags weniger geeignet, wenn die Düngemenge auf den N-Bedarf der Apfelbäume berechnet wird. Andererseits sind keratinhaltige Düngemittel wie Hornspäne die einzigen N-Dünger, die nur eine geringe Fracht an P und K liefern. Angesichts der negativen K-Bilanz ist bei der Düngerauswahl zudem langfristig auf eine höhere K-Versorgung zu achten. Jedoch müssen mittelfristig zunächst die Bodennährstoffgehalte und Nährstoffverhältnisse im Düngemittel berücksichtigt werden, um Nährstoffe, die bereits in Gehaltsklassen $> C$ im Boden vorliegen, zu entziehen. Aus diesem Grund ist der erste Schritt zur Entwicklung verbesserter Düngestrategien für ein ökologisches Apfelbausystem an einem bestimmten Standort eine genauere Betrachtung der Nährstoffflüsse und des Nährstoffstatus im Boden, da sich beide je nach Standort, regionalen Düngeempfehlungen und lokal verfügbaren Düngemitteln stark unterscheiden können.

Zur Bewertung der Bilanz und Nährstoffversorgung sollten zudem auch weitere Inputs beachtet werden, wie z. B. Pflanzenschutzmittel, welche Nährstoffe (K, S, Ca) enthalten. Die Untersuchung der Auswirkung von S-Einträgen auf den Boden mittels Gefäßversuch ergaben ein erhöhtes Auswaschungsrisiko für K, Ca, Mg und S. Außerdem trugen sie in den Erhebungen und zum Teil auch im Gefäßversuch zur Versauerung des Bodens bei. Dies muss wiederum über die Düngung oder mittels Kalkung kompensiert werden.

Auch die anlageninterne Nährstoffverlagerung durch das Mulchen des Fahrgassenbewuchses in den Baumstreifen muss für die Nährstoffversorgung der Bäume beachtet werden, auch wenn sie zum Teil vorrangig z. B. aus Bodenschutzgründen erfolgt und nicht mit dem Ziel der Düngung. Sie trägt nicht zur Veränderung der Bilanz auf Ebene der gesamten Anlage bei, führt aber anlagenintern zu einer Anreicherung von pflanzenverfügbarem P und K in der Baumreihe mit gleichzeitiger Verarmung in der Fahrgasse.

Das Erreichen einer ausgewogenen Bilanz konkurriert also mit weiteren Zielen im Obstbau, wie z. B. Pflanzenschutz vs. Nährstoffzufuhr über PSM, Düngung vs. Bodenschutz durch Verlagerung der Fahrgassenbiomasse in den Baumstreifen, Düngung vs. Humusaufbau und weitere positive Effekte durch Kompost, die sich nicht ohne Zielkonflikte miteinander vereinbaren lassen.

Zudem sind für die Akzeptanz alternativer Düngemittel und Düngestrategien in der Praxis weitere Aspekte wichtig: die Kompatibilität mit den vorhandenen Maschinen, die Kosten für das Düngemittel, einschließlich der Arbeits- und Maschinenkosten, wenn das Düngemittel vom Landwirt selbst hergestellt wird (z. B. für Klee gras-Silage), die alternative Verwendung als Futtermittel sowie potenzielle Risiken im Zusammenhang mit dem Düngemittel (z. B. die Zulassung durch die Ökoverbände – Biogasgärreste sind beispielsweise für biologisch-dynamisch wirtschaftende Betriebe nicht zugelassen (Demeter e.V., 2022) - oder mögliche Schadstoffbelastungen).

Es zeigt sich also, dass es keine einfache und einheitliche Lösung für die verschiedenen Obstanlagen gibt. Die alternativen Düngemittel weisen deutlich unterschiedliche Nährstoffverhältnisse auf, so dass die Landwirte sie z. B. jährlich oder während einer oder mehrerer Vegetationsperioden abwechselnd oder gleichzeitig einsetzen können. Die lokale Verfügbarkeit der verschiedenen Dünger ist jedoch eine Voraussetzung, die noch nicht in allen Apfelanbaugebieten gegeben ist. Sollten zudem umstrittene Inputs aus der konventionellen Landwirtschaft

wie Hornspäne oder Vinasse auslaufen, wird es noch schwieriger, Düngestrategien zu etablieren, die Nährstoffungleichgewichte reduzieren.

Im Allgemeinen haben die Versuche gezeigt, dass alle getesteten Düngemittel als Alternativen dienen können. Einige standortabhängige Merkmale erfordern jedoch weitere Anpassungen der Düngestrategien in der landwirtschaftlichen Praxis, um diese Alternativen erfolgreich einzusetzen. Diese Weiterentwicklung steht im Einklang mit dem konzeptionellen Ansatz des ökologischen Landbaus, eine ganzheitliche, systemorientierte Perspektive zur Verbesserung von Bewirtschaftungsstrategien (IFOAM, 2014) und insbesondere der Bodenfruchtbarkeit einzunehmen (Watson et al., 2002).

Wenn alternative Düngemittel im ökologischen Apfelanbau eingesetzt werden sollen, müssen neue Düngestrategien entwickelt werden, die standortspezifischen Merkmale (z. B. lokale Bewirtschaftungsmethoden, Bodentyp, Klima) berücksichtigen. Generell mangelt es im ökologischen Obstbau immer noch an Wissen über die Nährstoffbilanzen und der aktuelle Nährstoffstatus des Betriebs und des Bodens ist in den meisten Fällen nicht bekannt. Außerdem ist das zeitliche Muster der Nährstofffreisetzung vieler organischer Düngemittel im Obstanbau nicht im Detail bekannt. Diese Informationsdefizite erschweren eine Verbesserung der Düngestrategien.

Generell ist zu betonen, dass die Versuche gezeigt haben, dass systembasierte Ansätze, die den Einsatz von Lebendmulchen oder Silage beinhalten, für die Landwirte eine größere Herausforderung bei der Bewirtschaftung der Obstanlagen darstellen als der einfache Ersatz von organischen Handelsdüngern durch andere Produkte, die aus Sicht des ökologischen Landbaus weniger kritisch sind.

Flüssigdünger wie Biogasgärreste (flüssige Phase oder ungetrennt) sind für viele ökologische Obstbauern, die derzeit andere Flüssigdünger (z. B. Vinasse) verwenden, leicht anzuwenden, da die Maschinen für die Ausbringung bereits vorhanden sind. Dasselbe gilt für Kleeegraspellets - sie können wie jeder andere pelletierte Dünger, z. B. pelletierter getrockneter Geflügelmist - mit gängiger Technik ausgebracht werden. Auch für die Aussaat und das Mulchen von Lebendmulchen aus Körnerleguminosen werden keine zusätzlichen Maschinen benötigt, da die Aussaat und das Mulchen mit vorhandenen Maschinen erfolgen kann (eine Sämaschine ist beispielsweise nicht erforderlich, da die Einarbeitung mit der Hacke erfolgt). Die Silagebereitung und -ausbringung ist die schwierigste Düngealternative im Hinblick auf die verfügbaren

Maschinen, da die meisten Obstbauern keine Maschinen für die Silagebereitung besitzen (z. B. Wenden des Schnittguts, Pressen in Ballen, Ausbringen des Materials in der Baumreihe). Die Möglichkeit, Maschinen mit Kollegen zu teilen, könnte die Akzeptanz solcher Düngemittel erhöhen. Außerdem setzt die Silageproduktion voraus, dass Flächen für den Anbau von Klee-gras zur Verfügung stehen und auch für diese Flächen eine Düngestrategie vorhanden sein muss.

Gegenwärtig ist es schwierig, die Kosten alternativer Düngemittel zu bewerten, da sie nicht nur anhand eines Feldversuchs geschätzt werden können. Im Allgemeinen ist der Einsatz von Abfallprodukten wie Biogasgärresten oder Kompost kostengünstig. Insbesondere bei unseparierten Biogasgärresten schränkt jedoch die niedrige Nährstoffkonzentration und relativ hohe Wassergehalte die Verfügbarkeit ein, da die Transportkosten die Gesamtkosten erheblich beeinflussen können. Andererseits haben leicht auszubringende vegane Dünger wie Kleepellets derzeit sehr hohe Kosten in der Herstellung, was sich im Preis pro Kilogramm N niederschlägt. Damit ist ihr Einsatz im kommerziellen ökologischen Obstbau derzeit sehr begrenzt.

Ein weiterer wichtiger Punkt, der insbesondere bei Düngemitteln aus Abfallprodukten zu beachten ist, betrifft die Zertifizierung als Düngemittel für den ökologischen Landbau und andere Qualitätsrichtlinien für Frischwaren. Im Allgemeinen müssen Handelsdünger für die Verwendung im ökologischen Landbau zertifiziert sein, da es sonst zu Problemen bei der Betriebskontrolle kommt. Darüber hinaus können auch Vorgaben zur Qualitätssicherung des Lebensmitteleinzelhandels oder anderer Einrichtungen die Verwendung von Abfallstoffen als Düngemittel für Obst und Gemüse einschränken oder zusätzliche Analysen zur Qualitätssicherung (z. B. Hygienetests) verlangen. Daher müssen auch solche rechtlichen Aspekte geklärt werden, bevor Düngemittel aus Reststoffen verwendet werden können. Für Düngemittel auf Pflanzenbasis, wie Mulch, Silage oder Kleepellets, gibt es solche Einschränkungen nicht.

Die Vor- und Nachteile zur Anwendung der alternativen Düngemittel sind in Tabelle 12 zusammengefasst.

Tabelle 12: Gegenüberstellung alternativer Düngemittel zum Düngungseffekt und weiteren Anwendungskriterien für die Praxis.

Düngemittel	Düngungs- effekt	Kontaminations- risiko	Technik	Verfügbarkeit	Kosten
Kompost	Niedrig	Hoch (abhängig vom Ausgangsmaterial)	Passende Geräte notwendig	Abhängig vom Standort	Niedrig
Gärreste	Sehr hoch	Hoch (abhängig vom Ausgangsmaterial)	Einfach	Abhängig vom Standort	Niedrig
Klee-gras- pellets	Mittel	Sehr niedrig	Einfach	Gut	Hoch
Klee-gras- silage	Niedrig	Sehr niedrig	Passende Geräte notwendig	Gut	Niedrig
Erbsen	Mittel – hoch	Sehr niedrig	Einfach	Gut	Mittel
Frisches Klee-gras	Niedrig – mittel	Sehr niedrig	Passende Geräte notwendig	Gut	Niedrig

Um die im Rahmen von DOMINO bewerteten alternativen Düngemittel vollständig in der landwirtschaftliche Praxis zu etablieren, sind weitere Versuche in den Betrieben und ein Erfahrungsaustausch zwischen Landwirten, Forschern und Beratern erforderlich, um die Übernahme unserer Ergebnisse in die landwirtschaftliche Praxis zu gewährleisten. Das Hauptaugenmerk sollte dabei auf der Stickstoffdynamik während der Vegetationsperiode und auf der Abwechslung und Integration von Düngemitteln in Abhängigkeit von der Nährstoffbilanz und vom Bodenstatus der pflanzenverfügbaren Nährstoffe liegen – so kann eine ausgewogenere Nährstoffzufuhr erreicht werden.

Darüber hinaus können neue Formen der überbetriebliche Zusammenarbeit initiiert werden, wenn Düngemittel wie Silage im ökologischen Obstbau eingeführt werden sollen: So können Ackerbaubetriebe künftig als Lieferanten solcher Düngemittel mit ökologischen Obstbaubetrieben als Abnehmer kooperieren. Allerdings muss dann sichergestellt werden, dass auch für den ackerbaulich wirtschaftenden Düngelieferanten angemessene Düngestrategien existieren.

11. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

11.1. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Im Augenblick werden im ökologischen Obstbau fast ausschließlich externe, für diese Produktionsweise zugelassene Handelsdünger eingesetzt. Viele dieser Handelsdünger sind vergleichsweise teuer. Die in DOMINO bewerteten, z. T. regional verfügbaren, leguminosen-basierten Düngemittel und Reststoffe, die zum Teil in großen Mengen anfallen, können zu einer Verringerung der Kosten für die Düngung im ökologischen Obstbau beitragen.

An dieser Stelle ist außerdem zu beachten, dass die Öko-Anbauverbände zunehmend restriktivere Regelungen für den Einsatz von Düngemitteln aus der konventionellen Landwirtschaft verabschieden. Das Verbot des Einsatzes von N-Düngemitteln aus dem konventionellen Landbau bis zum Jahr 2030 durch den Demeter e.V. führt beispielsweise dazu, dass in Zukunft so gut wie keine der aktuell zugelassenen N-Handelsdünger mehr eingesetzt werden dürfen, da diese entweder tierische (Keratine) oder pflanzliche Reststoffe (aus der Mälzerei, Vinasse aus Zuckerrüben, pflanzliche Hydrolysate, Presskuchen u.v.m.) aus der konventionellen Landwirtschaft und Lebensmittelverarbeitung enthalten. Es ist zum jetzigen Zeitpunkt unklar, ob sich mit dem anvisierten Wachstum des ökologischen Landbaus zumindest in einem gewissen Umfang Wertschöpfungsketten für Reststoffe aus der ökologischen Lebensmittelverarbeitung etablieren werden, die auch die Produktion von ökologisch erzeugten Düngemitteln beinhalten. In vielen Fällen werden jedoch an dieser Stelle höherwertige Verwendungsmöglichkeiten wie z. B. der Einsatz als ökologisch erzeugte Futtermittel die Nutzung dieser Reststoffe als Düngemittel verhindern bzw. einschränken. Damit sind zumindest die biologisch-dynamisch wirtschaftenden Öko-Obstbauern gezwungen, auf die DOMINO geprüften Strategien zurückzugreifen, da eine bedarfsgerechte Düngung der Obstbäume zum aktuellen Stand des Wissens nur mit zugelassenen Grunddüngern aus der ökologischen Landwirtschaft schwierig ist, zumal diese häufig aufgrund der niedrigen Anzahl an viehhaltenden Öko-Betrieben in Obstbauregionen häufig nicht verfügbar sind. Inwieweit der Handel im größeren Umfang den Einsatz von externen Handelsdüngern bei den Lieferanten in den kommenden Jahren begrenzen wird, ist aktuell nicht anzusehen, aber auch eine solche Entwicklung ist denkbar. Ein weiterer Aspekt ist die Ausdehnung des Marktes für vegane ökologische Lebensmittel, diesem Marktsegment ist der Einsatz von tierischen Düngemitteln nicht erlaubt, erste Standards für den sogenannten

Biozyklisch-veganen Anbau sowie ein Label bestehen bereits (<https://biozyklisch-vegan.org/hintergruende/#Richtlinien>). Aufgrund dieser Entwicklungen ist davon auszugehen, dass die in DOMINO geprüften Düngemittel und Düngestrategien in den nächsten Jahren in größerem Maße von der Praxis aufgenommen werden.

Dies ist umso wahrscheinlicher, da grundsätzlich die meisten der in DOMINO geprüften Düngemittel bereits jetzt für den Einsatz in der Praxis geeignet sind. Mit bestehender Technik können die flüssigen Gärreste prinzipiell wie bisher die Vinasse ausgebracht werden. Sie verursachen als Reststoff niedrige Kosten, sind jedoch nicht überall verfügbar und machen ggfs. weitere Analysen, die nicht ab Biogasanlage erfolgen, notwendig, vor allem wenn die Erzeuger an weiteren Programmen zu Qualitätssicherung (QS, GlobalGAP) teilnehmen. Für die Düngung mit Kleegraspellets, sowie für die Erbsen wird die gleiche Technik wie zur Ausbringung von Horngrieß oder pelletierten Düngemitteln benötigt. Jedoch sind die Pellets noch nicht in hohen Mengen verfügbar und noch zu teuer für eine breitflächige Anwendung im ökologischen Erwerbsobstbau. Der Einsatz von Erbsen ist stärker vom Standort und dessen Witterungsbedingungen (Befahrbarkeit zum Einsaat- und Einarbeitungszeitpunkt) abhängig. Die Anwendung von Kompost bzw. Mist ist im Obstbau verbreitet, dafür geeignete Technik wird jedoch benötigt. Die Kosten sind, sofern die Verfügbarkeit gegeben ist, vergleichsweise niedrig. Auch für Kleegrassilage sind die Kosten gering, allerdings verfügen Obstbauern meist nicht über die benötigten Maschinen (und Produktionsfläche), um die Silage selbst herzustellen. Dies könnte in Kooperation mit benachbarten Betrieben jedoch ermöglicht werden. Eine detaillierte betriebswirtschaftliche Bewertung des Einsatzes der unterschiedlichen Düngemittel steht jedoch noch aus und war auch nicht Ziel des vorliegenden Projektes.

11.2. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten

Die Projektergebnisse sind bereits als Konferenzbeiträge, im Rahmen von Workshops mit Wissenschaftlern und Praktikern sowie in Praxiszeitschriften veröffentlicht worden (siehe Kapitel 15). Zudem sind drei wissenschaftliche Publikationen zu den Ergebnissen des Projektes geplant. In Organic Eprints wurden zudem die jährlichen Berichte sowie eine Zusammenfassung der Ergebnisse aus DOMINO veröffentlicht

Außerdem könnten sich weitere technische Entwicklungspotentiale ergeben, da die DOMINO geprüften Düngemittel und Reststoffe auch für den ökologischen Gemüsebau interessant sind

und dort ebenfalls geprüft werden (siehe BLE-Projekt-Nutri@Ökogemüse - Nährstoffmanagement im Ökologischen Gemüsebau mit neuen Düngestrategien und EDV-gestützten Tools <https://www.nutri-oekogemuese.de/>). Somit vergrößert sich der Kreis potentieller Nutzer, was ggfs. das Interesse der Landtechnikunternehmen erhöht, technische Lösungen zur Applikation neuartiger Dünger zu entwickeln.

11.3. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Durch Veröffentlichungen in Fachzeitschriften sowie Vorträgen auf Fachtagungen wurden die Ergebnisse des Verbundprojektes den Beteiligten des Agrarsektors, der Industrie sowie den Entscheidungsträgern in Behörden und Institutionen bekannt gemacht. Weiterhin wurden die Plattformen genutzt, die für eine Verbreitung der Ergebnisse geeignet erscheinen, insbesondere durch die von Core Organic / ICROFS betriebenen Webseiten und durch die Projektwebseite selbst. Ein weiteres wichtiges Forum, in dem die Projektergebnisse mit Wissenschaft und Obstbaupraxis diskutiert wurden, ist die Konferenz Ecofruit – International Conference on Organic Fruit Growing. Im Rahmen dieser Konferenz wurden Workshops durchgeführt und mehrere Vorträge und Posterpräsentationen zur Darstellung und Diskussion der Ergebnisse gehalten. Darüber hinaus wurden die Ergebnisse auf anderen wissenschaftlichen Tagungen und Konferenzen präsentiert. In wissenschaftlichen Publikationen sollen die Forschungsarbeiten in nächster Zeit veröffentlicht werden. Außerdem organisierten die ausführenden Forschungsstellen regelmäßig Informationsveranstaltungen, in deren Rahmen die Projektergebnisse vermittelt wurden. Darüber hinaus fand die Einbindung der obstbaulichen Praxis über Workshops, organisiert vom Kooperationspartner und Unterauftragnehmer FÖKO e.V., statt. Die darin versammelten Stakeholder wurden in die Verbreitung der Ergebnisse eingebunden und boten ein Forum, um über weitere Handlungsoptionen zu diskutieren. Daneben gehen die Ergebnisse des Projekts an der beteiligten Universität in das Lehrangebot ein.

Erkenntnisse aus DOMINO sind außerdem bereits in eingereichte Projektanträge (EU Horizon Europe, EIP-AGRI) eingeflossen, diese wurden jedoch noch nicht beschieden.

12. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen

12.1. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Ziel I) Beschreibung und Analyse des Status quo im Dünge- und Anlagenmanagement im ökologischen Obstbau mit einem Schwerpunkt auf dem Apfelanbau in Deutschland (AP2.1)

Die im Rahmen des Projektes geplante Status Quo Analyse der Düngestrategien und des Anlagenmanagements konnte wie geplant durchgeführt werden. Gemeinsam mit den bereits früher in Kooperation mit FÖKO e.V. erhobenen Daten zum Status Quo in Südwestdeutschland konnten die Düngestrategien der ökologisch wirtschaftenden Betriebe in den wichtigsten Apfelanbaugebieten in Deutschland erhoben und ausgewertet werden. Damit liegen nun erstmalig Daten vor, die diese Düngestrategien auf Anlagenebene erfassen und neben Nährstoffflüssen auch Bodendaten beinhalten. Aufgrund der Entnahme von Bodenproben aus der Baumreihe und der Fahrgasse konnten Nährstofftransfers innerhalb der Flächen dokumentiert werden, die bisher nicht vorlagen. Außerdem konnten wie beabsichtigt Nährstoffbilanzen auf Betriebsebene berechnet werden.

Allerdings nahmen im Alten Land lediglich vier Betriebsleiter an der Befragung teil, durch eine größere Anzahl an Betrieben hätte eine breitere Datengrundlage für das Alte Land geschaffen werden können. Leider konnten trotz wiederholter Kontaktaufnahme über FÖKO e.V. und Berater keine weiteren Betriebsleiter für eine Teilnahme gewonnen werden. Dies spiegelt jedoch einen Trend wieder, der auch in anderen Projekten der Bearbeiter zu finden ist: Betriebsleiter sind immer weniger bereit, sich in Forschungsprojekte einzubringen, da einfach sehr viele Projekte stattfinden, die partizipativ ausgerichtet sind und die Mitarbeit von Betriebsleitern erfordern. Diejenigen Betriebsleiter, die forschungsaffin sind, sehen sich zahlreichen Anfragen gegenüber, die nicht alle bedient werden können, andere, weniger forschungsaffine Betriebsleiter können für eine Beteiligung in Vorhaben wie DOMINO kaum gewonnen werden.

Ziel II) Verbesserung der N-Versorgung des Anbausystems und das Ersetzen externer Düngemittel durch die Integration von Leguminosen in der Fahrgasse (AP3.1)

Dieses Forschungsziel konnte im Rahmen von DOMINO nicht erreicht werden, da sich die Ansaat von Mikro- und Weißklee in der Fahrgasse als nicht praktikabel für den Standort Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee erwiesen hat. Die dortigen Witterungsbedingungen machen eine erfolgreiche Kleeinsaat in den Baumstreifen sehr schwierig, da die Etablierung der Kultur nach der Aussaat immer wieder durch Trockenphasen erschwert oder ganz verhindert wird. Selbst wenn die Etablierung gelingt, kann sich der Klee nicht langfristig gegen Beikräuter und die vorhandene Vegetation in der Fahrgasse durchsetzen. Im Rahmen des Projektes DOMINO kam der Partner FIBL am Standort Frick / Schweiz zu ähnlichen Ergebnissen. Daraus ist zu schließen, dass dieser Ansatz zur Optimierung der N-Versorgung des Anbausystems für diesen Klimaraum nicht geeignet ist. Allerdings konnten wir in DOMINO durch eine zusätzliche Masterarbeit, die in dieser Form in der Vorhabensbeschreibung nicht eingeplant war, erste Daten zum Einsatz des Mulches aus der Fahrgasse auf Praxisbetrieben sammeln. Solche Daten lagen bisher nicht vor, ob und wie der Mulch aus der Fahrgasse genutzt wird, war bisher unbekannt. Diese Arbeit gibt wichtige Hinweise zur Weiterentwicklung der Nutzung des Fahrgassenaufwuchses, so dass zusätzliche Einsaaten von Leguminosen in die Fahrgasse vermutlich nicht nötig sind, um die interne N-Versorgung zu optimieren.

Ziel III) Entwicklung neuer Düngestrategien, die die N-Effizienz der Ökoobstbausysteme erhöhen, die Inputs externer Düngemittel verringern und Nährstoffungleichgewichte minimieren; im Zentrum stehen dabei neuartige, Leguminosen-basierte Düngemittel sowie Reststoffe, mit denen regionale Nährstoffkreisläufe gestaltet werden können (AP4.1, 4.3)

Da sich alle im Projekt geprüften Düngemittel a) grundsätzlich für den Einsatz im ökologischen Obstbau geeignet zeigten und keine statistisch signifikanten Unterschiede im Ertrag und in der Fruchtqualität gefunden wurden und b) technische Schwierigkeiten bei der Ausbringung nur für einzelne Düngemittel selbst in diesen Fällen nur begrenzt relevant sind, konnte dieses Ziel erreicht werden. Allerdings müssen auch die leguminosen- und reststoffbasierten Düngemittel je nach Nährstoffstatus der Obstanlage abgewechselt werden, um Nährstoffüberschüsse vor allem bei P zu vermeiden. Durch keines der Düngemittel kann langfristig ausreichend K bereitgestellt werden, so dass auch weiterhin Düngestrategien mit z. B. K_2SO_4 gefahren werden müssen. Der Input an N aus Handelsdüngern kann jedoch reduziert werden.

Der Gefäßversuch zur Auswirkung von S aus Düngemitteln und vor allem aus Pflanzenschutzmitteln auf Bodeneigenschaften im ökologischen Obstbau führte zu ersten Ergebnissen hinsichtlich der Verlagerung von Nähr- und Schadstoffen, allerdings können aufgrund des großen Einflusses der Textur sowie der fehlenden Daten aus Feldversuchen und Anbaupraxis keine abschließenden Schlussfolgerungen für das Anbausystem gezogen werden. Im Rahmen der On-Farm-Versuche wurde großes Interesse der teilnehmenden Betriebe festgestellt, die Düngestrategien werden auf allen Betrieben nach Kenntnis der Projektbearbeiter nach wie vor eingesetzt.

12.2. Hinweise auf weiterführende Fragestellungen

Folgende Fragestellungen und Forschungsansätze sind im Kontext des vorliegenden Projektberichts offen und sollten in weiteren Forschungsarbeiten aufgenommen werden:

- Ausbringungszeitpunkte von Silage in anderen Obstbauregionen Deutschlands
- Eignung von Winterleguminosen als Lebendmulch in anderen Obstbau-Regionen Deutschlands
- NO₂-Emissionen durch Leguminosen-Mulch, Kleegraspellets, Silage und Biogasgärreste
- Umfassende Erhebung zum Status Quo und Einsatz des Transfermulchs aus der Fahrgasse im ökologischen Obstbau in Deutschland
- Prüfung des langfristigen Einsatzes der alternativen Düngemittel (insbesondere solche mit langsamer N-Verfügbarkeit) auf Pflanzenwachstum, Fruchtansatz und Ertrag
- Ökonomische Bewertung der Düngemittel
- Konzeption erweiterter Nährstoffkreisläufe im Ökoobstbau über Betriebsgrenzen hinweg

13. Zusammenfassung

Die Düngung des ökologischen Obstbaus stützt sich stark auf externe Handelsdünger, die im ökologischen Landbau zugelassen sind. In Mitteleuropa stammen diese Dünger hauptsächlich aus der konventionellen Quellen (z. B. Horngrieß, Vinasse). Solche Düngemittel gelten derzeit als umstrittene Betriebsmittel im ökologischen Landbau, da sie Nährstoffflüsse von konventionellen in ökologische Anbausysteme erzeugen. Ein nachhaltiges Nährstoffmanagement stellt

zudem eine Herausforderung dar, da alle zugelassenen Düngemittel mehrere Nährstoffe enthalten, die in ihrer Komposition nicht dem Entzug durch Ernteprodukte entsprechen. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist es jedoch schwierig, den Einsatz dieser Düngemittel einzustellen, da es an alternativen Düngestrategien fehlt. Im Rahmen des Projekts DOMINO wurden mehrere alternative Düngestrategien, nämlich die Integration von Leguminosen in das Anbausystem oder die Verwendung von Recyclingmaterialien wie Kompost oder Biogasgärreste, auf ihre Anwendbarkeit für den intensiven ökologischen Apfelanbau getestet. Dazu wurde der Status quo zum Nährstoffmanagement auf Betrieben in Deutschland erhoben.

In den Erhebungen im Alten Land und in Baden-Württemberg wurden Nährstoffbilanzen berechnet, indem Nährstoffzufuhren durch Grund- (z. B. Mist, Kompost) und Handelsdünger (z. B. Keratinprodukte) sowie Pflanzenschutzmittel berücksichtigt wurden, neben der Nährstoffabfuhr durch die Ernte der Früchte. In Abhängigkeit von Region und Düngestrategie zeigten sich im Durchschnitt moderate Ungleichgewichte in den Feldbilanzen für N (27 kg ha^{-1}), P (3 kg ha^{-1}), K (-4 kg ha^{-1}), Ca (39 kg ha^{-1}), Mg (4 kg ha^{-1}), S (57 kg ha^{-1}), Na (4 kg ha^{-1}) und Cl (3 kg ha^{-1}). Handelsdünger beeinflussten zum größeren Teil den N-Haushalt, die Ca- und Mg-Zufuhr war hauptsächlich auf den Einsatz organischer Grunddünger zurückzuführen. Die Zufuhr von S erfolgte vor allem durch Pflanzenschutzmittel, welche vorrangig für den versauernden Effekt der Inputs verantwortlich waren. Grunddünger wirkten basisch. Die Bilanzen spiegelten sich (außer für S) nicht in den Bodengehalten wieder, da diese ebenfalls von anderen Faktoren, wie die Bodenart, den C_{org} -Gehalt oder die Jahre nach Umstellung auf ökologische Bewirtschaftung beeinflusst werden.

Im dreijährigen Feldversuch (2018-2020) wurden alternative Düngemittel, basierend auf Recycling-Stoffen (Biogasgärreste, Kompost) oder Leguminosen (Kleegraspellets, Kleegrassilage, Sommererbsen und Wintererbsen (mit einer kurzen und einer langen Standzeit) als Untersaat im Baumstreifen), auf ihre Eignung für den Apfelanbau untersucht. Diese wurden mit der ungedüngten Kontrolle und den aktuell umstrittenen und zu ersetzenden Düngemitteln aus konventioneller Herkunft (Horngrieß und Vinasse) verglichen und nach den Kriterien der Nährstoffbilanz, der N-Mineralisierung, des Baumwachstums, des Ertrags und der Fruchtqualität bewertet. Alle Düngemittel wurden mit dem Zielwert von 25 kg N ha^{-1} in den Baumstreifen ausgebracht. Durch keines der alternativen Düngemittel konnte eine ausgeglichene Bilanz er-

reicht werden, jedoch waren die Bilanzen nicht so negativ wie in der Vergleichsvariante Horngrieß, da sie höhere Anteile an weiteren Nährstoffen neben N enthalten. Für K fiel die Bilanz bei allen Behandlungen wie in den Erhebungen am negativsten aus, mit dem geringsten Defizit in der Gärreste-Variante. Höchste Überschüsse wurden für Mg und Ca in der Kompost-Variante verzeichnet. Die N-Mineralisation war in den Varianten mit eingearbeiteten Wintererbsen am höchsten, gefolgt von Horngrieß und Gärresten. Niedrigste N_{\min} -Werte traten bei der ungedüngten Kontrolle und der Silage auf, die auch das höchste C:N-Verhältnis (18:1) aufwies. Durch die frühere Einarbeitung der Wintererbsen konnte eine Verfrühung des N_{\min} -Höhepunktes erreicht werden. In der Analyse der Blatt Nährstoffgehalte zeigten sich in keiner Variante Nährstoffdefizite in den Makronährstoffen, was auf eine ausreichende Versorgung der Bäume deutet. Im Vergleich der Varianten untereinander gab es nur tendenzielle Ertragsminderungen in den Erbsen-Varianten, in denen gleichzeitig der Anteil an großen Früchten höher war. In der vegetativen Entwicklung wiesen die mit Silage gedüngten Bäume das schwächste Wachstum auf. In den On-Farm-Versuchen mit den im Feldversuch untersuchten Düngemitteln Erbsen, Kompost und Silage zeigten sich vor allem bei der Silage große Unterschiede mit einer höheren Mineralisierung. Der Folgeversuch im Jahr 2021 ergab, dass durch eine Verfrühung des Ausbringungszeitpunktes der Silage eine höhere N-Mineralisierung zur Blüte der Bäume erreicht werden konnte.

Ein weiterer Versuch (2019-2020) untersuchte die Etablierung von Leguminosen in der Fahrgasse zur N-Fixierung innerhalb der Obstanlage mit dem Ziel der Nutzung der Biomasse als Düngung durch den Transfer von der Fahrgasse in den Baumstreifen. Weißklee und Mikroklee konnten als Reinsaat in der Fahrgasse am Standort KOB nicht sehr erfolgreich etabliert werden, dennoch wurden schon im ersten Schnitt des Jahres hohe Mengen an Nährstoffen in der Biomasse der Fahrgasse gemessen: 20 kg N ha⁻¹, 3,6 kg P, 31 kg K, 1,7 kg Mg und 6,6 kg Ca. Hohe Nährstoffmengen in der Biomasse der etablierten Fahrgassenbegrünung wurden auf Betrieben im Jahr 2019 in der Region Bodensee und Freiburg bestätigt. Daraus wurde gefolgert, dass die diversere standortübliche Fahrgassenbegrünung, ohne spezielle Kleeinsaat als Nährstoffquelle genutzt werden kann. Dabei muss allerdings die Nährstoffverlagerung innerhalb der Obstanlage beachtet werden, welche eine Nährstoffverarmung in der Fahrgasse und eine Anreicherung im Baumstreifen verursacht. Wie ein weiterer Folgeversuch 2021 zeigte, hängt der Anteil der Biomasse, der beim Mulchen im Baumstreifen ankommt stark vom jeweiligen Mulchgerät ab.

In einem Demonstrationsversuch war das Ziel, die Diversität im Baumstreifen zu erhöhen: Pfefferminze und Wald-Erdbeere wurden in den Baumstreifen gepflanzt und konnten sich nach anfänglich höherem Aufwand (Pflanzung, Unkraut jäten vor allem bei Erdbeere) in zwei Jahren mit hoher Bodenbedeckung gut entwickeln. Jedoch muss man diese Strategie eher kritisch abwägen, ob der Aufwand der Pflanzung und Pflege sich lohnt, für zwar gute Unkrautunterdrückung, gleichzeitig jedoch Nährstoffkonkurrenz mit den Apfelbäumen, keiner Möglichkeit der Einarbeitung von Düngern und erhöhter Gefahr der Baumwurzelbeschädigung durch Wühlmäuse wegen bewachsenem Baumstreifen.

Die Bilanzen der Betriebe im Alten Land und Baden-Württemberg ergaben eine hohe S-Zufuhr. In einem Gefäßversuch sollte die Auswirkung des Schwefels auf Nährstoffgehalte und pH-Wert sowie die Mobilität von Nähr- und Schadstoffen in fünf verschiedenen Böden untersucht werden. Dazu wurden 6 jährliche S-Gaben von 40 und 80 kg ha⁻¹ simuliert, jeweils gefolgt von einem Auswaschungsereignis. Im Eluat wurden Nähr- und Schadstoffgehalte gemessen. In Abhängigkeit von der Bodenart, wurde der pH-Wert des Bodens, sowie vor allem die Auswaschung der Elemente K, Ca, Mg und S, ohne eindeutige Auswirkung auf Cu- und Zn-Auswaschung. Hohe S-Applikationen sollten daher langfristig durch Kalkung und Düngung kompensiert werden.

Wie die Feldbilanzen der Obstbaubetriebe zeigen, führen die derzeitigen Düngestrategien zu mäßigen Nährstoffungleichgewichten in den Obstanlagen, und durch keines der im Feldversuch getesteten alternativen Düngemittel konnte eine ausgeglichene Bilanz erreicht werden. Das Ziel eines ausgewogeneren Nährstoffmanagements in intensiven Apfelanlagen bleibt daher eine Herausforderung. Hinsichtlich der Ertragsleistung können alle alternativen Düngemittel für den Apfelanbau empfohlen werden. Um einseitige Ungleichgewichte abzumildern, empfiehlt sich der Einsatz verschiedener Dünger, wobei langfristig vor allem auf eine höhere K-Versorgung zu achten ist, mittelfristig jedoch Nährstoffgehalte im Boden beachtet werden sollten. Entscheidende Kriterien zur Auswahl der Düngemittel sind jedoch neben dem Düngepreis und der alternativen Verwendung als Futtermittel (z. B. Erbsen, Silage) die Verfügbarkeit und die Anwendbarkeit in der Region. Außerdem werden z. B. das Nährstoffmanagement, das Fahrgassenmanagement und der Pflanzenschutz gegenseitig beeinflusst, weshalb die Landwirte konkurrierende Ziele miteinander abwägen müssen.

14. Literaturverzeichnis

- Agrarmeteorologie Baden-Württemberg (2022): www.wetter-bw.de (24.03.2022)
- Aichner, M., E. Stimpfl, W. Drahorad (2004): Die Blattanalyse. In: Boden und Pflanzenernährung im Obstbau, Weinbau und Bioanbau. Aichner M., Drahorad W. (Hrsg.), Land- und Forstwirtschaftliches Versuchszentrum Laimburg, Südtiroler Beratungsring für Obst- und Weinbau, 105-117.
- Alber, S., T. Mutschlechner, A. Forneck, A. Matteazzi, M. Kelderer (2018): Nutrient balances of South Tyrolean apple farms - a comparison between the integrated and organic production system. Proceedings of the 18th International Conference on Organic Fruit Growing, Germany, 159-163.
- Alva, A.K., G.J. Gascho (1991): Differential leaching of cations and sulfate in gypsum amended soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1195–1206.
- Benke, A.P., A.-M. Rieps, I. Wollmann, I. Petrova, S. Zikeli, K. Möller (2017): Fertilizer value and nitrogen transfer efficiencies with clover-grass ley biomass based fertilizers. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 395–411.
- Bieri, M., M. Chardonnens, J.G. Fuchs (2004): Auswirkungen von Komposten und Gärgut auf die Umwelt, die Bodenfruchtbarkeit sowie die Pflanzengesundheit. Zusammenfassende Übersicht der aktuellen Literatur. Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Frick, FiBL Report, 1-171.
- BioAustria, 2014. Dünger bewerten. *Fachzeitschrift für Landwirtschaft und Ökologie*. 864 <http://www.bio-austria.at/bio-bauern/beratung/richtlinien/bio-austriarichtlinien/Duengungsrichtlinien>.
- BÖLW (2016): Zahlen, Daten, Fakten. Die Bio-Branche (2016): http://www.boelw.de/fileadmin/Veranstaltungen/BIOFACH/ZDF/BOELW_ZDF_2016_web.pdf (17.03.2016).
- Buchleither, S. (2016): N-Düngungsstrategie im Ökologischen Kernobstanbau: Leguminosendichtsatz im Baumstreifen als Alternative zu organischen Handelsdüngern. Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee, Ravensburg-Bavendorf, *Besseres Obst* 10–11/2016, 10-13.
- Buchleither, S., U. Mayr, M. Brandt (2014): Legumes dense sowing with peas as an alternative method for nitrogen fertilization in organic fruit growing. Proceedings of the 16th International Conference on Organic Fruit Growing, Hohenheim, Germany, 207–213.
- Chase, C. A., O.S. Mbuya (2008): Greater interference from living mulches than weeds in organic broccoli production. *Weed Technology*, 280–285.
- Darnhofer, I., T. Lindenthal, R. Bartel-Kratochvil, W. Zollitsch (2010): Conventionalisation of organic farming practices: from structural criteria towards an assessment based on organic principles. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 67-81.

- Deguchi, S., S. Uozumi, E. Touno, M. Kaneko, K. Tawaraya (2014): White clover living mulch controlled only by mowing supplies nitrogen to corn. *Soil Science and Plant Nutrition*, 183–187.
- Demeter e. V. (2022): Richtlinien 2022 - Erzeugung und Verarbeitung. Richtlinien für die Zertifizierung "Demeter" und "Biodynamisch." https://www.demeter.de/sites/default/files/richtlinien/richtlinien_gesamt.pdf
- Engel, A., M. Blanke, F. Lenz (2009): Wie viele Nährstoffe werden mit dem Mulchen der Fahr-gassen in den Baumstreifen einer Obstanlage verfrachtet? *Erwerbs-Obstbau*, 151–161.
- Granatstein, D., E. Kirby, J. Davenport (2013): Direct Seeding Legumes into Orchard Alleys for Nitrogen Production. *Acta Horticulturae*, 329–334.
- Granatstein, D., E. Sánchez (2009): Research Knowledge and Needs for Orchard Floor Management in Organic Tree Fruit Systems. *International Journal of Fruit Science*, 257–281.
- Gutser, R., T. Ebertseder, A. Weber, M. Schraml, U. Schmidhalter (2005): Kurzzeit- und Rest-verfügbarkeit von Stickstoff nach Langzeitanwendung von organischen Düngemitteln auf Ackerland. *Plant Nutrition and Soil Science*, 439–446.
- Harmsen, K., H. Loman, J.J. Neeteson (1990): A derivation of the Pierre-Sluijsmans equation used in the Netherlands to estimate the acidifying effect of fertilizers applied to agricultural soils. *Fertilizer Research*, 319–325.
- Hoagland, L., L. Carpenter-Boggs, D. Granatstein, M. Mazzola, J. Smith, F. Peryea, J.P. Reganold (2008): Orchard floor management effects on nitrogen fertility and soil biological activity in a newly established organic apple orchard. Springer-Verlag, Heidelberg, *Biol Fertil Soils*, 11-18.
- IFOAM (2014): Die IFOAM-Normen für die ökologische Erzeugung und Verarbeitung. <https://www.ifoam.bio/our-work/how/standards-certification/organic-guarantee-system/ifoam-norms> (26.07.2021).
- IFOAM (2022): The four principles of organic agriculture. <https://www.ifoam.bio/why-organic/shaping-agriculture/four-principles-organic> (25.03.2022).
- Innerhofer, G., K. Lind, G. Lafer, K. Schloffer, H. Meister (1998): *Biologischer Obstbau*. 3. Auflage, Leopold Stocker Verlag, Graz.
- Jadcuk, E. (1990): Transport of Mineral Elements from Grassed Alleyways to Herbicide Strips as a Result of Grass Mowing. *Acta Horticulturae*, 201–206.
- Korsaeth, A. (2012): N, P, and K Budgets and Changes in Selected Topsoil Nutrients over 10 Years in a Long-Term Experiment with Conventional and Organic Crop Rotations. *Applied and Environmental Soil Science*, 1–17.

- KTBL (2015): Faustzahlen für den Ökologischen Landbau. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt, Germany.
- Lamichhane J. R., E. Osdaghi, F. Behlau, J. Köhl, J.B. Jones, J.-N. Aubertot (2018): Thirteen Decades of Antimicrobial Copper Compounds Applied in Agriculture. A Review. *Agronomy for Sustainable Development*, 1-18.
- Link, H. (2018a): Düngung, in: Büchele, M. (Hrsg.), *Lucas' Anleitung zum Obstbau*. 33., erw. Aufl., Ulmer, Stuttgart, 255-273.
- Link, H. (2018b): Ernährung der Obstgewächse, in: Büchele, M. (Hrsg.), *Lucas' Anleitung zum Obstbau*. 33., erw. Aufl., Ulmer, Stuttgart, 54-63.
- LVWO (n.d.): Bodenuntersuchung im Wein- und Obstbau.
- Möller, K. (2018): Soil fertility status and nutrient input–output flows of specialised organic cropping systems: a review. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 147–164.
- Möller, K., J.K. Friedel (2016): Pflanzenernährung und Düngung, in: Freyer, B. (Hrsg.), *Ökologischer Landbau - Grundlagen, Wissensstand Und Herausforderungen*. Haupt Verlag, Bern, 467–485.
- Möller, K., U. Schultheiß (2014): Organische Handelsdüngemittel im ökologischen Landbau – Charakterisierung und Empfehlungen für die Praxis, *KTBL-Schrift*. KTBL, Darmstadt.
- Möller, K., S. Zikeli (2018): Nutrient flows in organic fruit orchards in Baden-Württemberg. *Proceedings of the 18th International Conference on Organic Fruit-Growing*, 19-21 February 2018. University of Hohenheim. Fördergemeinschaft Ökologischer Obstbau e. V. (FÖKO), Weinsberg, 157-158.
- Moran, R., J.R. Schupp (2004): Mineral Nutrient Management for Organic Fruit Production. Technical Report January 2004, Highmoor Farm University of Maine Monmouth, 1-7.
- Nagy, P.T. (2017): Plant nutritional and environmental aspects of organic apple production in East Hungary. Institute of Agricultural and Environmental Science, Karoly Robert Campus, Eszterhazy Karoly University, Gyongyos, Hungary, *Ecocycles*, 17-21.
- Paoletti, F., M. Kelderer, M. Cellura, L. Ortolani (2016): Düngung und Bodenpflege im biologischen Apfelanbau. Land- und Forstwirtschaftliches Versuchszentrum Laimburg, Südtirol, 1-6.
- Pfeiffer, A., E. Silva, J. Colquhoun (2015): Living mulch cover crops for weed control in small-scale applications. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 309–317.
- Ratnadass, A., P. Fernandes, J. Avelino, R. Habib (2012): Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 273-303.

- Reichman, S. M. (2002): The Responses of Plants to Metal Toxicity: A review focusing on Copper, Manganese and Zinc. The Australian Minerals & Energy Environment Foundation, Ceduna, Australia.
- Reimer, M., T.E. Hartmann, M. Oelofse, J. Magid, E.K. Bünemann, K. Möller (2020a): Reliance on Biological Nitrogen Fixation Depletes Soil Phosphorus and Potassium Reserves. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 273–291.
- Reimer, M., K. Möller, T.E. Hartmann (2020b): Meta-analysis of nutrient budgets in organic farms across Europe. *Org. Agr.*, 65–77.
- Riley, H., S. Dragland (2002): Living and surface mulches as nutrient sources in organic vegetable growing. *Acta Horticulturae*, 109–117.
- Ristel, M., M. Clever (2016): Comparison of different fertilizers in organic fruit growing. Proceedings of the 17th International Conference on Organic Fruit-Growing, Germany, 108-115.
- Schunk, I., A. Topp, M. Kelderer, D. Blankenburg (2022): The influence of organic fertilizers on nutrient balance, yield, soil nutrient and organic matter - results of a 10-year field study. Proceedings of the 20th International Conference on Organic Fruit-Growing, online 2022.02.21-23. Ed. FOEKO e.V. 2022, 28-38.
- Shaheen, S. M., J. Rinklebe (2015): Influence of common ions on sorption and mobility of soil phosphorus. In: Selim, M. (Ed.), *Phosphate in Soils: Interaction with Micronutrients, Radionuclides and Heavy Metals*. CRC Press, Boca Raton, 321–343.
- Sigurnjak, I., E. Michels, S. Crappe, S. Buysens, J.K. Biswas, F.M.G. Tack, S. De Neve, E. Meers (2017): Does acidification increase the nitrogen fertilizer replacement value of bio-based fertilizers? *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*.
- Sorensen, J. N., K. Thorup-Kristensen (2003): Undersowing legume crops for green manuring of lettuce. *Biological Agriculture & Horticulture*, 399–414.
- Sorensen, J. N., K. Thorup-Kristensen (2011): Plant-based fertilizers for organic vegetable production. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 321–332.
- Souci, S.W., W. Fachmann, K. Kraut (2011): *Lebensmitteltabelle für die Praxis: Der kleine Souci/Fachmann/Kraut*, 5. Auflage, WVG, Stuttgart.
- Statistisches Bundesamt (2022): Ökologische Anbauflächen von Obst. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Obst-Gemuese-Gartenbau/Tabellen/oekologisches-obst.html> (25.03.2022).
- Streif, J., D. Kitemann (2018): Fruchtqualität, Ernte und Lagerung, in: Büchele, M. (Hrsg.), *Lucas' Anleitung zum Obstbau*. 33., erw. Aufl., Ulmer, Stuttgart, 393-435.

- Surikova, V., A. Kārklīņš (2011): Potassium Removal with grass in an apple orchard under influence of mulch and irrigation. *AGRICULTURAL SCIENCES*, 59–63.
- Tittarelli, F., B. Bath, F.G. Ceglie, M.C. Garcia, K. Möller, H.J. Reents, H. Vedio, W. Voogt (2017): Soil fertility management in organic greenhouse: an analysis of the European context. *Acta Horticulturae*, 113-126.
- Vanden Nest, T.V., G. Ruyschaert, B. Vandecasteele, S. Houot, S. Baken, E. Smolders, R. Merckx (2016): The long term use of farmyard manure and compost: effects on P availability orthophosphate sorption strength and P leaching. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 23–33.
- VDLUFA (1991): Methode A 6.2.4.1, Bestimmung des pflanzenverfügbaren Magnesiums im Calciumchlorid-Auszug. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. I Die Untersuchung von Böden. 4. Auflage, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- VDLUFA (2002): Methode A 6.1.4.1, Bestimmung von mineralischem Stickstoff (Nitrat und Ammonium) in Bodenprofilen (Nmin-Labormethode). In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. I Die Untersuchung von Böden. 4. Auflage, 6. Teillieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- VDLUFA (2011): Methode 2.1.1, Nassaufschluss unter Druck. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. VII Umweltanalytik. 4. Auflage, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- VDLUFA (2012a): Methode A 6.2.1.1, Bestimmung von Phosphor und Kalium im Calcium-Acetat-Lactat-Auszug. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. I Die Untersuchung von Böden. 4. Auflage, 6. Teillieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- VDLUFA (2012b): Methode C 2.2.1, Texturanalyse des Feinbodens – Kombination von Nasssiebung und Pipettmethode nach KÖHN. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. I Die Untersuchung von Böden. 4. Auflage, 6. Teillieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- VDLUFA (2016): Methode A 5.1.1, Bestimmung des pH-Wertes. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. I Die Untersuchung von Böden. 4. Auflage, 7. Teillieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- VDLUFA (2018): Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf. *VDLUFA-Standpkt*, 1–11.
- Watson, C.A., D. Atkinson, P. Gosling, L.R. Jackson, F. W. Rayns (2002): Management der Bodenfruchtbarkeit im ökologischen Landbau. *Bodennutzung und –management*, 239-247.

Zikeli, S., L. Deil, K. Möller (2017): The challenge of imbalanced nutrient flows in organic farming systems: A study of organic greenhouses in Southern Germany. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1–13.

15. Übersicht über alle erfolgten und geplanten Veröffentlichungen der Ergebnisse

Die von UHOH, FÖKO oder KOB organisierten Veranstaltungen und solche, auf denen das DOMINO-Projekt vertreten wurde, sind in Tabelle 13 aufgelistet.

Tabelle 13: Veranstaltungen mit Beiträgen aus dem Projekt DOMINO.

Datum	Art der Veranstaltung	Aktivität
19.-21.02.2018	Workshop	Organisation und Durchführung eines Workshop zur Vorstellung des Projekts DOMINO auf der Ecofruit Konferenz, Hohenheim (30 Teilnehmer)
07.07.2018	Feldtag	Posterpräsentation auf dem Feldtag in der ökologischen Versuchsanlage am KOB (120 Teilnehmer)
29.09.- 07.10.2018	Messe	Messe-Präsenz mit dem Projekt DOMINO auf dem Stand der Universität Hohenheim auf dem Landwirtschaftlichen Hauptfest in Stuttgart
Sommer 2018	Betriebsbesuche	Betriebsbesuche mit Spatendiagnose auf Partnerbetrieben, die alternative Düngemittel verwenden (organisiert durch FÖKO e.V. – Unterauftragnehmer UHOH)
07.07.2019	Tag der offenen Tür	Posterpräsentation der DOMINO-Versuche (AP3 und AP4) am Tag der offenen Tür auf dem Partnerbetrieb Südhof (On-Farm-Versuche)
04.04.2019	Workshop	Organisation und Durchführung eines praxisorientierten Workshops für Mitglieder der FÖKO (Fördergemeinschaft Ökologischer Obstbau e.V.) und andere interessierte Landwirte, am Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee, Bavendorf.

Sommer 2019	Betriebsbesuche	Betriebsbesuche mit Spatendiagnose auf Partnerbetrieben, die alternative Düngemittel verwenden (organisiert durch FÖKO e.V. – Unterauftragnehmer UHOH)
30.01.2020	Tagung	Präsentation der DOMINO-Ergebnisse (AP4) auf der Ökologischen Obstbautagung Weinsberg 2020 (140 Teilnehmer)
17.02.2020	Konferenz	Präsentation der DOMINO-Ergebnisse des Düngerversuchs (AP4) auf der Ecofruit Konferenz, Hohenheim (ca. 80 Teilnehmer)
12.03.2020	Tagung	Posterpräsentation der DOMINO-Ergebnisse (AP4) auf der jährlich stattfindenden Wintertagung Ökologischer Landbau Baden-Württemberg, Hohenheim (130 Teilnehmer)
Sommer 2020	Betriebsbesuche	Betriebsbesuche mit Spatendiagnose auf Partnerbetrieben, die alternative Düngemittel verwenden (organisiert durch FÖKO e.V. – Unterauftragnehmer UHOH)
10.03.2021	Workshop	Organisation und Durchführung eines Workshops für Mitglieder der FÖKO (Fördergemeinschaft Ökologischer Obstbau e.V.) und andere interessierte Landwirte (online).
16.03.2021	Workshop	Organisation und Durchführung eines europaweiten digitalen Stakeholder-orientierten Workshops durch alle DOMINO-Partner. Titel: "Making organic fruit growing more resilient: lessons learned from the Project DOMINO" (online)
20.07.2021	Feldtag	Präsentation auf dem Feldtag (AP3 + AP4) in der ökologischen Versuchsanlage am KOB
26.08.2021	Tagung	Posterpräsentation (AP4) auf der Tagung „Nährstoffmanagement im ökologischen Landbau“, Freising.

06.-10.09.2021	Kongress	Posterpräsentation der Ergebnisse (AP 2.1): Field balances of organic apple orchards in two regions of Germany” auf dem Organic World Congress, Rennes (online).
14.-16.09.2021	Kongress	Präsentation der Ergebnisse (AP4) auf dem 132. VDLUFA Kongress mit Thema: Optionen für die zukünftige Landnutzung (Speyer/online).
14.-17.12.2021	Symposium	Posterpräsentation der Ergebnisse des Gefäßversuchs (AP4) auf dem III International Organic Fruit Symposium in Catania (online)
21.-23.02.2022	Konferenz	Präsentation (AP2.1 + AP4) und Posterpräsentationen (AP3) auf der Ecofruit Konferenz (online).

Publikationen

Berichte und Deliverables (Organic Eprints)

Zikeli, S., Lepp, B., Friedli, M., Boutry, C., Neri, D. und Ponzio, C.arlo (2021) D2.15- Effective Options on Integrated Soil Management (Deutsche Version), DOMINO, Core Organic. Organic Eprints, ID-Code: 42878

Boutry, C., M. Friedli, M.-M. Fernandez, S. Zikeli, B. Lepp, K. Hristina, E. Malusa, D. Neri, C. Ponzio (2021): D2.17-Strategic document for policy stakeholders resulting from the DOMINO project (2018-2021). DOMINO, Core Organic. Organic Eprints, ID-Code: 42738.

Boutry, C., M. Friedli, S. Zikeli, B. Lepp, E. Malusa, M.-M. Fernandez, K. Hristina, D. Neri, C. Ponzio (2021): Report on demonstration and communication activities, and on participatory training delivered (2018-2021). Organic Eprints, ID-Code: 42818.

Malusa, E., S. Zikeli, M.-M Fernandez, D. Neri, C. Ponzio, C. Boutry, M. Friedli, M. Kelderer (2021): D6.5 - Final Report on economic and environmental sustainability management practices at farm level. Organic Eprints, ID-Code: 42722.

Kelderer, M., T. Holtz, M. Friedli, C. Boutry, M.-M. Fernandez, S. Zikeli, B. Lepp, H. Kutinkova, D. Neri, C. Ponzio (2021): D5.6 Yearly report of plant physiological status, crops' yield and quality data as influenced by overhead netting and D5.7 Final report on new protection management adopting overhead netting in orchards. Organic Eprints, ID-Code: 42804.

Malusa, E., M. Friedli, C. Boutry, S. Zikeli, B. Lepp, M. Kelderer, T. Holtz, H. Kutinkova, V. Dzhuvinov, D. Neri, C. Ponzio (2019): D6.2 - DOMINO_Yearly_report_economic_impact_2019. Organic Eprints, ID-Code: 42864.

Fernandez, M.-M., S. Zikeli, B. Lepp, C. Boutry, M. Friedli, E. Malusa, H. Kutinkova, M. Kelderer, T. Holtz, D. Neri, C. Ponzio (2021): D3.9 - Final report on combined agronomical alternatives of row management (2021). Final report. DOMINO, Core Organic. Organic Eprints, ID-Code: 42743.

Neri, D., M. Friedli, M.-M. Fernandez, S. Zikeli, M. Kelderer, T. Holtz, E. Malusa, V. Dzhuvinov, H. Kutinkova, S. Polverigiani, M. Zucchini (2020): Mid-term report of the DOMINO Project. Organic Eprints, ID-Code: 42397.

Neri, D., S. Zikeli, E. Malusa, M. Friedli, M. Kelderer, H. Kutinkova, M.-M. Fernandez, S. Polverigiani (2019): D6_2.Yearly_report_economic_impact_2019. Organic Eprints, ID-Code: 36998.

Konferenzbeiträge

Lepp, B., S. Zikeli, T.E. Hartmann, S. Buchleither, K. Möller (2020): Improving Fertilisation Strategies in Organic Apple Cultivation. Proceedings of the 19th International Conference on Organic Fruit Growing, Hohenheim, Germany, 179-180.

Lepp, B., S. Zikeli, K. Möller (2021): Alternative fertilisers in intensive organic apple production. In CoreOrganic Newsletter (<https://projects.au.dk/coreorganiccofund/news-and-events/show/artikel/alternative-fertilisers-in-intensive-organic-apple-production/>).

Lepp, B., S. Zikeli, K. Möller (2021): Stickstoffdynamik neuer Düngestrategien im ökologischen Obstbau. 123. VDLUFA-Kongress, 14.-16.09.2021, Speyer, VDLUFA Schriftenreihe 77:83-90.

Lepp, B., S. Zikeli, S. Buchleither, K. Möller (2022): Nutrient budgets and new fertilisation strategies in organic apple cultivation. Proceedings of the 20th International Conference on Organic Fruit-Growing, online 2022.02.21-23. Ed. FOEKO e.V. 2022: 46-48.

Lepp, B., C. Eck, K. Möller, S. Buchleither, S. Zikeli (2022): N supply by row and inter row management with legume intercrops in an apple orchard. Proceedings of the 20th International Conference on Organic Fruit-Growing, online 2022.02.21-23. Ed. FOEKO e.V. 2022: 49-51.

Lepp, B., M. Metzger, S. Buchleither, K. Möller, S. Zikeli (2022): Inter-row management and its role in fertilisation strategies in organic apple cultivation on farms in South-West Germany. Proceedings of the 20th International Conference on Organic Fruit-Growing, online 2022.02.21-23. Ed. FOEKO e.V. 2022: 52-54.

Beiträge in Praxiszeitschriften

Lepp, B., S. Zikeli, K. Möller (2021): Alternative fertilisers in intensive organic apple production. The Organic Grower No.55. Summer 2021: 25.

Lepp, B., S. Zikeli (2021): Silage, Pellets oder Gärreste. Düngestrategien im Apfelanbau. Bio-land – Fachmagazin für den Ökologischen Landbau 11/2021:30-32

Metzger, M. (2021): On-Farm Versuch: Mulchen der Fahrgasse als mögliche Düngestrategie im Apfelanbau. *Öko-Obstbau* 3: 13-15.

Buchleither, S., B. Lepp (2022): Prüfung regional verfügbarer, organischer Dünger zur gezielten Stickstoffversorgung im ökologischen Apfelanbau. *Öko-Obstbau* 1: 20-24.

Geplante wissenschaftliche Publikationen

Lepp, B., S. Zikeli, K. Möller: Nutrient flows and soil nutrient status of intensive organic apple orchards in Baden-Württemberg and in The Altes Land Region (Hamburg and Lower Saxony), Germany

Lepp, B., S. Zikeli, S. Buchleither, K. Möller: Alternative fertilisation strategies based on recycled products and legumes in intensive organic apple orchards

Lepp, B., T.E. Hartmann, J. Hartung, S. Zikeli: Impact of Sulphur used as a plant protection agent in organic apple production on nutrient and heavy metal mobility in the soil

Im Rahmen des Projektes abgeschlossene Studienarbeiten

Die Ergebnisse dieser Studienarbeiten sind teilweise in den Projektbericht eingeflossen.

Bachelorarbeiten

Eck, Clément (2020): Fertilisation strategy in intensive organic apple production: cultivation of legumes within the inter row to provide nitrogen, Universität Hohenheim, 60 Seiten

Scheuerle, Lorena (2019) Organische Düngung mit Lebend-Mulch und Leguminosen im Ökologischen Landbau: Untersuchung der N-Aufnahme unterschiedlich gedüngter Apfelbäume anhand von SPAD Messungen, Universität Hohenheim, 51 Seiten

Masterarbeiten

Metzger, Marion (2020): Management des Aufwuchses in der Fahrgasse im ökologischen Apfelanbau als Teil der Düngestrategie in Praxisbetrieben, Universität Hohenheim, 77 Seiten

Mogaeka, Samira (2021): Düngestrategien im ökologischen Apfelanbau, Universität Hohenheim, 109 Seiten