

Untersuchung des mikrobiellen Bodenlebens bei regenerativer Bewirtschaftung zur Reduzierung des Nährstoffbedarfs und –austrags „DeNAe“

Projektnummer 2019-07

Projektlaufzeit: 01.05.2019 - 30.04.2022



Abschlussbericht vom 30. Juni 2022

Redaktion: Jürgen Maier, Katharina Volkmer, Martin Heigl

Inhalt	Seite	
1	Projektbeschreibung	3
1.1	Projektbeteiligte	3
1.2	Projektziel	4
1.3	Veranstaltungen intern und extern	5
1.4	Öffentlichkeitsarbeit/Synergien	6
2	Versuche zur regenerativen Bewirtschaftung	Gabi Larbig, Martin Heigl 7
2.1	RL-Versuch Nr. 19 (Kirchhofen)	7
2.1.1	Versuchsbeschreibung	7
2.1.2	Anbaumaßnahmen	7
2.1.3	Stickstoff-Dynamik im Boden	9
2.1.4	Ergebnisse	10
2.1.5	Schlussfolgerungen	11
2.2	RL-Versuch Nr. 90 (Freiburg St. Georgen)	14
2.2.1	Versuchsbeschreibung	14
2.2.2	Bodenfruchtbarkeit	14
2.2.3	Stickstoff-Dynamik im Boden	15
2.2.4	Erträge	15
2.2.5	Schlussfolgerungen	16
3	Praxisflächen zur regenerativen Bewirtschaftung	Katharina Volkmer 17
3.1	DeNAe-Befragung oder: Der Boden muss trainiert werden	17
3.2	Wirkungen der Kulturführung	18
3.3	Reduktion Düngemittel- und Pflanzenschutzmitteleinsatz	21
4	Versuche zur platzierten Stickstoff-Depotdüngung	22
4.1	Exaktversuch Systemvergleich Schallstadt	Karl Müller-Sämann 22
4.2	Praxisversuche Systemvergleich	Jürgen Maier 32
5	Wirkungen / Effekte regenerativer Bewirtschaftung	37
5.1	Mikrobielles Bodenleben	Markus Gorfer 37
5.1.1	Datensatz 1 (DS1)	39
5.1.2	Datensatz 2 (DS2)	43
5.1.3	Datensatz 3 (DS3)	49
5.2	Dynamik Humusgehalte	Konrad Schuster 56
5.3	Bewertung CO2-Zertifikatehandel	Wolfgang Abler 62
6	Wissenstransfer in die Praxis	Dietmar Näser, Friedrich Wenz 64
7	Erreichen der gesetzten Meilensteine	66
8	Projekterkenntnisse	67
9	Ausblick	67
	Quellennachweis	68
	Anlagen	69

1 Projektbeschreibung

1.1 Projektbeteiligte

Nachfolgend alle im Projekt Beteiligten mit Kurzbeschreibung ihrer Aufgaben:

Landratsamt Breisgau-Hochschwarzwald, Fachbereich Landwirtschaft



Jürgen Maier, Gabi Larbig, Martin Heigl, Katharina Volkmer

Antragsteller, Projektleitung, Projektkasse, Versuchsansteller,
Öffentlichkeitsarbeit, Berichtswesen



cult-tec Agrolutions UG (Unterauftrag), Karl Müller-Sämann
Koordination u. Anlage Depotversuche, Probennahme, Auswertung

Landratsamt Emmendingen, Fachbereich Landwirtschaft



Konrad Schuster

Mitarbeit bei Organsiation Probenahmen, Auswertung

Grüne Brücke – Büro für regenerative Landwirtschaft, Humus Farming



Dietmar Näser, Friedrich Wenz

Beratung, Durchführung 'Bodenkurs', Versuchs-
betreuung, Auswertung, Öffentlichkeitsarbeit



Arbeitsgruppe ‚Regenerative Landwirtschaft‘ Hausen (AGRLH)



Koordinierung durch BLHV, Silke Grünewald

Teilnehmer 'Bodenkurs', Praxisversuche, Auswertung,
Praxiseinführung, Multiplikator



Austrian Institute of Technology GmbH AIT

Markus Gorfer

Quantitative Bestimmung der mikrobiellen Gemeinschaften (Bakterien
und Pilze) mittels qPCR sowie Hochdurchsatz-Sequenzierung der
Pilzpopulation, Auswertung und Interpretation des Zusammenhanges
mit dem Nährstoffhaushalt



CarboCert GmbH

Wolfgang Abler

Bodenuntersuchung (Humus, Albrecht-Analyse), Probenahme,
Auswertung, Bewertung, Beratung u. Anrechenbarkeit CO₂-Zertifikate



bnNETZE

Martin Selz, Leonie Kremser

N_{min}-Bodenuntersuchungen, Probenahme, Auswertung

1.2 Projektziel

Datengrundlage

Im Projekt soll eine erste Datengrundlage zum besseren Verständnis der Interaktionen zwischen Kulturführung und Bodenleben (insbesondere Pilze und Bakterien) als bestimmende Größe für den Humusaufbau und damit die Stickstoffdynamik geschaffen werden. Diese fundierten und belastbaren Kenntnisse und Erfahrungen werden einer überzeugenden Beratung und Bildung zur ‚Regenerativen Landwirtschaft‘ (RL) dienen, und einen wesentlich größeren Kreis von Landwirten erreichen als bisher. Die Möglichkeit des CO₂-Zertifikatehandels durch Humusaufbau soll geprüft werden.

Humusaufbau mit Bodenleben

Alle Projektbeteiligten sehen zwei wichtige Maßnahmen der pflanzlichen Nahrungsmittelproduktion in unserer Region, und darüber hinaus vielversprechende Ansätze zur nachhaltigen Steigerung und zum Erhalt der Humusgehalte in landwirtschaftlich genutzten Böden: die Regenerative Landwirtschaft und die Depotdüngung. Idealerweise werden beide Maßnahmen kombiniert, um größtmögliche Effekte zu erzielen. Dieses Anbauregime ist für konventionell und biologisch wirtschaftende Betriebe gleichermaßen umsetzbar:

- ✓ Artenvielfalt der Hauptkulturen und Zwischenfrüchte in vielfältiger Fruchtfolge
- ✓ einfache und doppelte Zwischenfrucht für eine möglichst durchgehende Begrünung
- ✓ Einsatz von Rottelenkern zum raschem Humusaufbau
- ✓ Vitalisierung der Kulturen durch Komposttees
- ✓ Verringerung des Einsatzes von Stickstoffdüngemitteln auch durch Depotdüngung
- ✓ Verringerung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln durch Verringerung des Unkrautdruckes
- ✓ Stickstoffdepotdüngung

Ausbildungskonzept

Im Projekt soll eine wissenschaftliche und praxisorientierte Grundlage für ein Ausbildungskonzept erarbeitet werden, um unabhängig von einer persönlichen Beratung durch Näser u. Wenz Landwirte zur RL einschließlich Depotdüngung anleiten zu können.

1.3 Veranstaltungen intern und extern

Gesamtübersicht Projekttreffen, Besprechungen, Feldbesichtigungen:

- 28.05.2019 1. Projekttreffen BLHV Freiburg
- 14.02.2020 2. Projekttreffen BLHV Freiburg
- 03.12.2020 Feldbesichtigung Zwischenfruchtmischungen
- 26.02.2021 3. Projekttreffen abgesagt, stattdessen Arbeitsbesprechung online
- 29.11.2021 Feldbesichtigung Zwischenfruchtmischungen
- 15.11.2021 Besprechung Festlegung u. Ergebnisse D.N.A.-Untersuchungen online
- 10.12.2021 Besprechung Festlegung u. Ergebnisse D.N.A.-Untersuchungen online
- 23.03.2022 Besprechung Festlegung u. Ergebnisse D.N.A.-Untersuchungen online
- 11.06.2022 Vorbesprechung Versuchsergebnisse online
- 11.06.2022 Abschlusskolloquium Biengen

Präsentationen im Internet unter:

<http://www.breisgau-hochschwarzwald.de> -> Natur - Tourismus ->

Landwirtschaft und Forst -> Landwirtschaft -> Veranstaltungen ->

Präsentationen und Unterlagen



1.4 Öffentlichkeitsarbeit/Synergien

Badische Bauernzeitung Nr. 22 1. Juni 2019

Artikel zum Start des DeNAe-Projektes



Feldschild

Wurde zu Projektbeginn auf allen Versuchsflächen und Praxisschlägen aufgestellt.

Regenerativer Wein

Regenerativer Gutedel („Idealisten – Wein“) der Winzergenossenschaft Wolfenweiler



„Wa-Kli-Projekt“

In einem ‚Ableger‘-Projekt des DeNAe-Projektes wurde die beteiligte Bäckerei Reiß Beck mit dem Zacharias-Kommunikationspreis für Handwerksbäcker ausgezeichnet: *„Seit Ende 2020 gibt es das Wasser- und Klimaschutzbrot Wa-Kli's Brot. Zur Verwendung kommt nur sorgsam regenerativ angebaute Weizen aus Feldern im badenova Wasserschutzgebiet, der in der Grether Mühle in Sulzburg zu Ruchmehl gemahlen und von der Bäckerei Reiß Beck aus Kirchzarten in Handarbeit zu dem beliebten Spezialbrot gebacken wird. Die initiale Idee der Aktion war es, die regenerative Landwirtschaft zu fördern und dadurch den regionalen Wasser- und Klimaschutz voranzutreiben.“*



Wasserschutz-Brot wird ausgezeichnet
Mit dem Kommunikationspreis der Handwerksbäcker, dem „Zacharias“, wurde das Wa-Kli's-Brot ausgezeichnet. Das Brot ist ein Gemeinschaftsprojekt von BLHV, der badenova, der Bäckerei Reiß Beck mit Sitz in Kirchzarten, den Grethern in Sulzburg und drei Landwirten. Michaela und Björn Reiß (unser Foto) haben den Preis vergangene Woche in Hamburg entgegengenommen. Im Wasserschutzgebiet Hausen bauen Lönnimic Grethler, Manuel Haub und thoden an. Die Projektpartner betreiben mit ihrem Projekt nicht nur Wasserschutz vor der Haustüre, sondern zeigen, wie regionale Wirtschaftskooperationen funktionieren können. Tasma Taskale

Ausblick

Nach Projektende sind weitere Auswertungen und Versuche mit entsprechenden Veröffentlichungen in Fachzeitschriften geplant.

2 Versuche zur regenerativen Bewirtschaftung

Gabi Larbig, Martin Heigl

2.1 RL-Versuch Nr. 19 (Kirchhofen)

2.1.1 Versuchsbeschreibung

Auf dem Standort wurden bereits vor Projektbeginn, 2018, Versuchsvarianten zum Vergleich von Anbausystemen angelegt, wobei die Variante 4 einer Kulturführung nach den Kriterien der Regenerativen Landwirtschaft entspricht:



2.1.2 Anbaumaßnahmen Regenerative Landwirtschaft (Variante 4)

Die regenerative Kulturführung unterscheidet sich von konventionellen Anbauverfahren vor allem durch zusätzliche Maßnahmen, die vor allem die Verrottung von pflanzlicher Biomasse zur Erleichterung von Humusaufbau fördern und zur Steigerung der Vitalität der Pflanzen beitragen soll.



Rottelenker (s. Anlagen):

Die Variante 4 unterscheidet sich von den konventionellen Varianten 1 bis 3 vor allem durch den Einsatz von Rottelenkern, die die Rotte der Begrünungen fördern bzw. deren Fäulnisabbau verhindern soll, um insgesamt den Humusaufbau zu fördern.

Notwendige Arbeitsgänge, einzeln oder kombiniert: Applikation Rottelenker auf Zwischenfrucht (s. o.), Mulchen und flaches Einfräsen:



Komposttee (s. Anlagen):



Mit einer Komposttee-Behandlung soll die Vitalität der Kultur erhöht werden, auch mit der Folge eines geringeren Bedarfs an Pflanzenschutzmitteln.

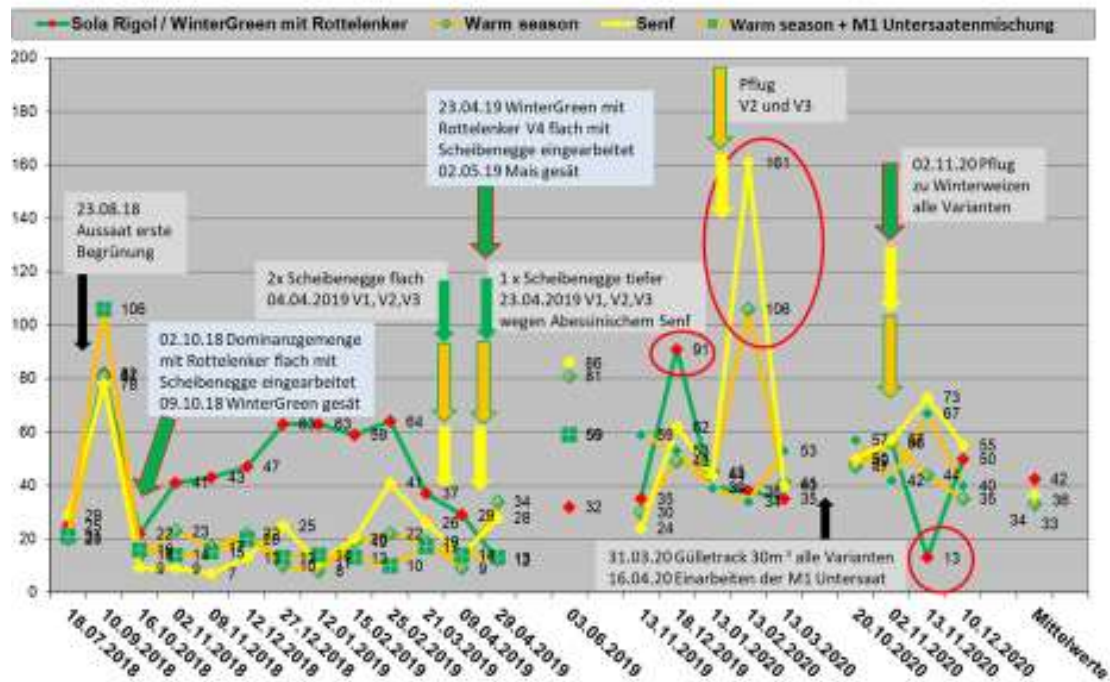
Doppelte Zwischenfrucht:

Mit 2 Zwischenfrüchten nach Getreide und vor Mais, wie z. B. zuerst *SolaRigol* und danach WinterGreen (s. o.), jeweils mit Rottelenker behandelt und flach eingearbeitet, soll der Humusgehalt des Bodens schneller zunehmen als mit nur einer Zwischfrucht.



2.1.3 Stickstoff-Dynamik im Boden

Die Grafik zeigt, dass die Stickstoffdynamik im Boden vor allem von der Art der Zwischenfrucht abhängt. Demnach bindet Senf, wie er in der Praxis häufig eingesetzt wird, weniger Stickstoff und setzt weniger Stickstoff im Frühjahr frei:



Die unterschiedliche Stickstoffdynamik der Zwischenfruchtmischungen spiegelt sich im Stickstoffdüngerbedarf für Mais wieder. Im Vergleich zur Zwischenfrucht ‚Monokultur‘ Senf ist der Düngbedarf bei Mischungen wie z. B. *Sola Rigol* deutlich niedriger:

Die wichtigsten Ergebnisse Auswirkungen von Zwischenfrüchten in einer Fruchtfolgeeinheit aus 10 Standorten (Winterweizen-Zwischenfrucht-Mais-Mais)

Varianten	Erläuterung	V1		V2		V3		V4		V5		V6	
		Senf (Kontrolle)	Mais Pro	Aqua Pro	TGI Humus	Sola Rigol	Viterra ÖVF minimal						
Gesamtanzahl Mischungspartner (Arten)		1	15	7	6	8	2						
davon winterhart	% Samenanteil	0	20	0	0	0	0						
Leguminosen	% Samenanteil	0	56	0	67	< bis =50	0						
Süßgräser	% Samenanteil	0	11	17	7	7	0						
Kreuzblütler	% Samenanteil	100	11	0	0	0-10	100						
Korbblütler	% Samenanteil	0	11	14-37	0	36	0						
sonstige	% Samenanteil	0	23	46-70	26	7 bis 14	0						
Ansaatkosten	EUR/ha	45	115	115	115	115	45						
Saatgutkosten	EUR/ha	25	109	64	102	76	100						
Auswaschungskategorie **	A/B-Böden	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
N-Düngung @ 2 Maisjahre	kg N/ha	169	155	119	138	139	155	112	131	111	132	124	153
Ertrag @ 2 Maisjahre	t/ha (80/15)	67	136	76	132	82	137	85	142	94	146	79	131
	%	100	100	113	97	122	99	126	104	140	107	118	96
Erlösdifferenz für 2 Maisjahre *	EUR/ha	0	0	294	-218	481	-77	533	93	859	245	399	-231
Rest Nmin Zwischenfrüchte SchALVO	kg N/ha 0-90 cm	12	16	12	14	12	14	12	16	12	16	12	16
Rest Nmin nach Mais SchALVO	kg N/ha 0-90 cm	33	41	31	36	33	41	33	41	33	41	33	41
Humuszu- bzw. -abnahme (5 Orte)	% pro Jahr	-0,05	+0,03	-0,01	-0,02	+0,04	-0,06						

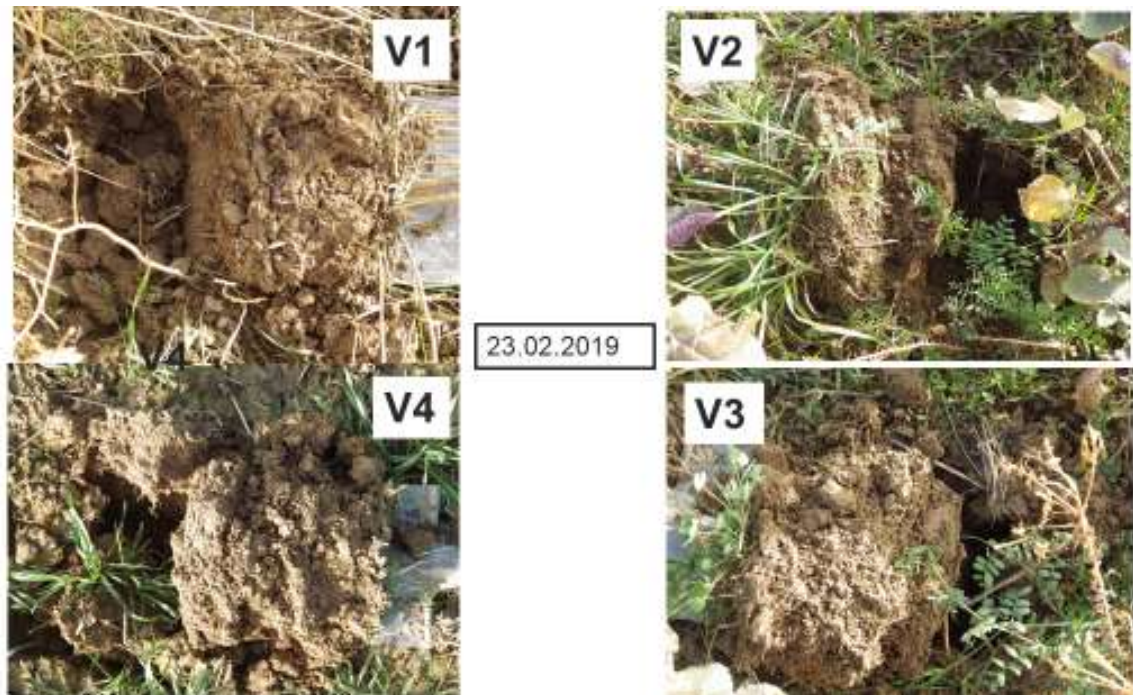
* berücksichtigt: Saatgutkosten, Aussaatkosten ohne Arbeitszeit, Düngeraufwand, Maisertrag

** A-Böden = auswaschungsgefährdete Böden, B-Böden = weniger auswaschungsgefährdete Böden nach SchALVO

2.1.4 Ergebnisse

Bodenfruchtbarkeit

Die Spatenprobe zeigt durchaus, dass sich bei der regenerativen Variante 4 der Bodenzustand gegenüber der Kontrollvariante 1 (betriebsüblich, Senf) deutlich durch eine dunklere Farbe, was auf einen höheren Humusgehalt hindeutet, und eine bessere Krümelstruktur, was auf bessere Lebenverbauung zurückzuführen ist, unterscheidet:



Erträge

Bei den Erträgen der Hauptkulturen zeigt sich keine klare Tendenz zugunsten der regenerativen Variante:

Jahr	Kultur	Variante			
		1	2	3	4
	dt/ha 85%TS	Senf	ZF-Mischung	ZF-Mischung plus Untersaat	Regenerativ
2019	Körnermais	121	121	121	121
2020	Körnermais	103	103	79	61
2021	Winterweizen	64	74	81	74

Dies könnte vor allem auf die ‚schwierige‘ Kulturführung mit verschiedenen zusätzlichen anbaumaßnahmen zurückzuführen sein. So gestaltet sich die ‚Doppelte Zwischenfrucht‘ unter den hiesigen Umweltbedingungen als sehr anspruchsvoll bei der Umsetzung, mit der Folge verspäteter Aussaat der Hauptkultur usw.

Wirtschaftlichkeit

Selbst bei gleichen Erträgen wie bei konventionellen Verfahren gestaltet sich die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit der regenerativen Bewirtschaftung als kaum machbar, da die Aufwendungen an Betriebsmitteln deutlich höher sind:

Ökonomische Betrachtung	V1 Senf	V2 Warm- Season	V3 Warm- Season +	V4 Dominanzgeringe + WinterGreen
Saatgut	25	55	38	105+105=210
Ansaatkosten	45	115	115	115
Mittelaufwand Rottelerker + Aufbringen (160 + 30)				190
Einarbeiten des Aufwuchses 1. Begrünung (1x Scheibenegge)				60
WinterGreen säen, Kreiselegge + Drillmaschine (Grubber fMT weg)				90
Mittelaufwand Rottelerker + Aufbringen (160 + 30) vor 1. Maisjahr				190
Mulchen des Aufwuchses, vor 1. Maisjahr	60			60
Untersaat M1 mit pneumatischem Düngerstreuer ausbringen - 1. Maisjahr				20 + 30 = 50
2*Komposttee mit Lebusol Bor und Zn und Spritzkalk(34+30+10) + 2* Aufbringen				128+60=188
Mittelaufwand Rottelerker + Aufbringen (160 + 30) auf Untersaat M1- 2. Maisjahr				190
2*Komposttee mit Lebusol Bor und Zn und Spritzkalk(34+30+10) + 2* Aufbringen				128+60=188
Albrecht Analyse oder VDLUFA	20	20	20	95
Ausgleichsdüngung nach Albrecht - Dolomittkalk + Elementarschwefel + Kieserit				65+38+74=177
Einzel aufbringen				3*30=90
Summe der Mehraufwendungen	150	190	173	1893-190 = 1703 / 3 = 568 / Jahr
Durch verspätete Maisaussaat wegen Rotte der Begrünung Ernteverlust im Jahr 2020 – 40 dt bei Variante 40 * 16 €/dt =				640

2.1.5 Schlussfolgerungen

Fazit nach 3 Versuchsjahren

- Untersaaten mit Gräsern sind ein Problem für die Folgekultur
- Versorgung der Pflanze mit N – kein Humusaufbau
- N - Versorgung für Humusaufbau – woher bei geltender DÜV?
- Keine messbare Optimierung der N – Dynamik
- Doppelte Zwischenfrucht – zu späte Saat – Ertragseinbruch oder keine Grünmasse
- Keine zuverlässige Keimhemmung für Leitunkräuter und – gräser
- deutliche Optimierung des Krümelgefüges im Boden
- Lockerer, federnder Oberboden wahrnehmbar
- Dunklere Färbung des Bodens – Humus nicht messbar
- Wirtschaftlichkeit – ohne Förderung nicht gegeben!



20 l Komposttee verdünnt auf 140 l /ha Spritzbrühe
+
250ml flüssig Huminsäure
1,2 kg Calcium
500 ml Bor Lebusol
750 ml Zink Lebusol





2.2 RL-Versuch Nr. 90 (Freiburg-St. Georgen)

2.2.1 Versuchsbeschreibung

Die Versuche wurden ebenfalls 2017 vor Beginn des DeNAe-Projektes mit 3 Varianten begonnen:



- V1 = Senf 15 kg /ha, über Winter stehen lassen, im Frühjahr mit Scheibenegge einarbeiten
 V2 = Warm Season 25 kg /ha, über Winter stehen lassen, im Frühjahr mit Scheibenegge einarbeiten
 V1 und V2 werden betriebsüblich bewirtschaftet
 V3 = Sola Rigol 35 kg / ha, Ende September mit Rottelenker behandeln und 4 cm tief einarbeiten, ca. 7 Tage Keimhemmung, danach Aussaat der WinterGreen mit 70 kg / ha über Winter stehen lassen, im Frühjahr vor Maisaussaat mit Rottelenker behandeln und mit Fräse 4 cm tief einarbeiten, ca. 7 Tage, danach Mais säen. Düngung nach Albrecht Analyse, 2 Kompostteebehandlungen, Untersaatmischung M1 mit Hacke.

Da die Anbaumaßnahmen sind vergleichbar mit denen am Standort RL Nr. 19, es sei hier auf eine Beschreibung verzichtet.

2.2.2 Bodenfruchtbarkeit

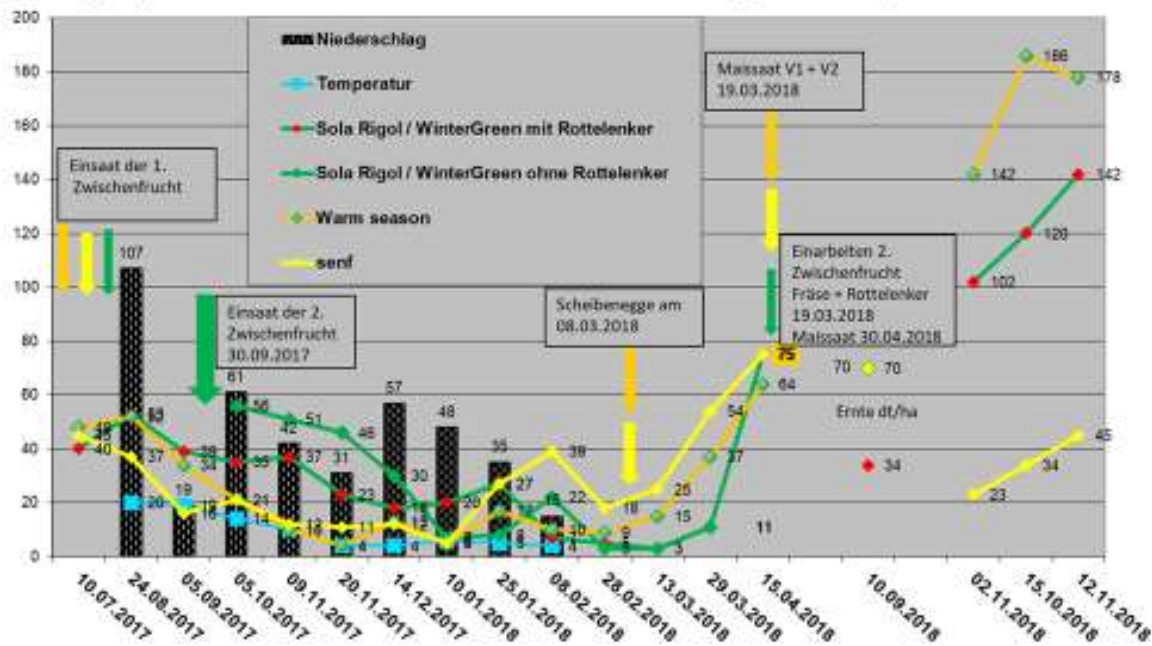
Die Bodenfarbe war bei der doppelten Zwischenfrucht deutlich dunkler als bei den anderen Varianten, was auf mehr organische Substanz schließen lässt:



2.2.3 Stickstoff-Dynamik im Boden

In der Grafik ist die ähnliche Tendenz wie am Standort RL Nr. 19 zu erkennen. Das heißt, dass mit der Zwischenfrucht Senf vor allem über Winter weniger Stickstoff in der Biomasse gebunden wird, da mehr Stickstoff im Boden zu finden ist als bei den Zwischenfruchtmischungen:

Nitratganglinien der Zwischenfruchtvarianten 2017 mit folgender Hauptkultur Mais 2018



2.2.4 Erträge

Bei den Erträgen der Hauptkulturen spiegelt sich der hohe Anspruch an die regenerative Kulturführung wieder. Außer im Jahr 2019 waren die Erträge stets niedriger als bei den übrigen Varianten. Im Jahr 2020 wurde die Sommergerste nur in der Variante 3 von Rabenkrähen stark geschädigt (da sie in der Variante vielleicht besser schmeckt), im Jahr 2021 konnte der Körnermais erst spät nach der doppelten Zwischenfrucht gesät werden, was er ertraglich nicht mehr aufholte:

Jahr	Kultur	Variante		
		1	2	3
	dt/ha 85%TS	Senf	ZF-Mischung	Regenerativ
2018	Körnermais	70	70	34
2019	Körnermais	58	44	61
2020	Sommergerste	65	47	22
2021	Körnermais	101	89	3

2.2.5 Schlussfolgerungen

Auch am Standort RL Nr. 90 spricht einiges für die regenerative Bewirtschaftung. Sie konnte aber im Rahmen des Projektes nicht so umgesetzt werden, dass sie – trotz deutlicher Hinweise auf eine bessere Bodenfruchtbarkeit – wirtschaftlich konkurrenzfähig wäre. D. h. für die Einführung in die breite Praxis bestätigt auch dieser Standort, dass ohne eine öffentliche Förderung das Verfahren nicht konkurrenzfähig ist, wie die Abschlussdiskussion an beiden Standorten zeigt:



3 Praxisflächen zur regenerativen Bewirtschaftung

Katharina Volkmer

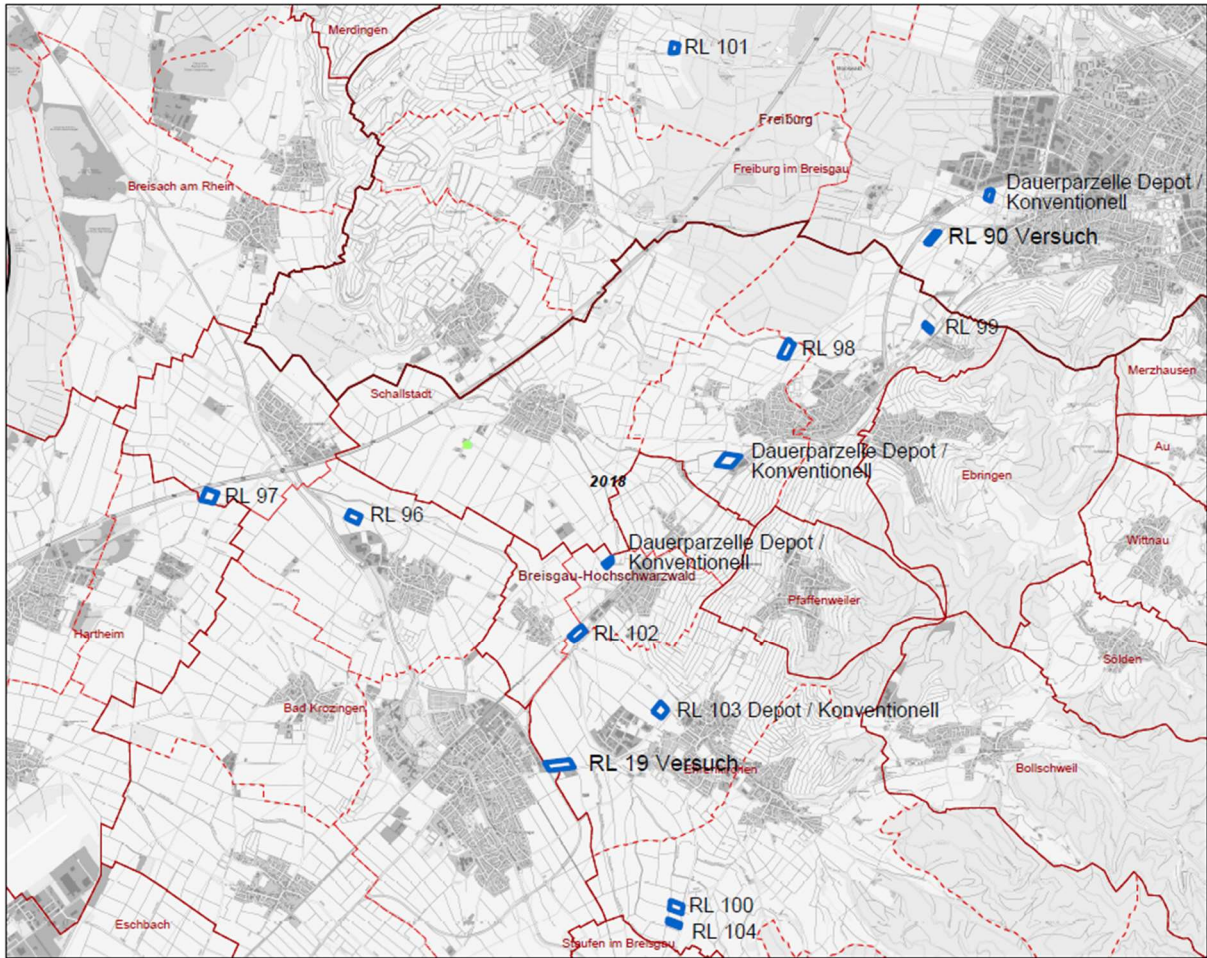


3.1 DeNAe-Befragung oder: Der Boden muss trainiert werden

Den in der Arbeitsgruppe Regenerative Landwirtschaft Hausen (AGRLH) am Projekt beteiligten Landwirten (konventionell und biologisch) – die alle im Projekt den Bodenkurs absolviert haben (s. Anlagen) - wurden zum Projektende Fragen zu ihren Erfahrungen und Eindrücken bezüglich der von ihnen angewandten Techniken der Regenerativen Landwirtschaft gestellt.

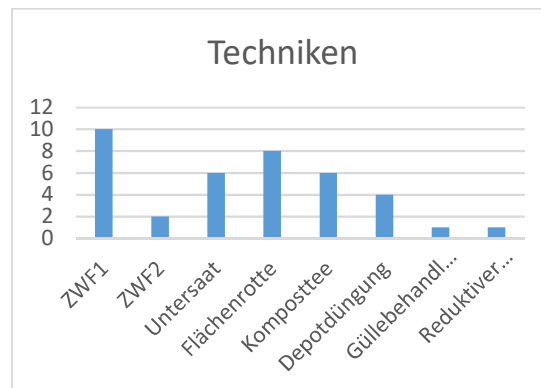
Die Versuchsflächen unterscheiden sich in ihren Gegebenheiten untereinander stark. Gemein ist allen, dass sie Ackerflächen sind, auf denen verschiedene Kulturen (Gerste, Kartoffeln, Klee gras, Kürbis, Soja und Zuckerrüben), größtenteils aber Weizen und Mais angebaut werden.

In einzelnen Fällen traten unvorhergesehene Schwierigkeiten aufgrund von äußeren Einflüssen (Witterungsbedingungen oder Wildtiere) auf, diese werden in der folgenden Auswertung nicht ausdrücklich erwähnt.



3.2 Wirkungen der Kulturführung

Als verbessernde Maßnahmen wurden ZWF1 und ZWF2 sowie Untersaat, Flächenrotte und Komposttee durchgeführt. Zusätzlich nutzten vier Landwirte die Depotdüngung als weitere Technik. In einzelnen Fällen wurden, basierend auf dem im Bodenkurs erworbenen Wissen (s. Anlagen), in Eigeninitiative Maßnahmen wie Güllebehandlung, Fermente bei der Saatbettbereitung und reduktiver Kompost genutzt.



Im Rahmen der Befragung werden vor allem die ZWF1 und die Untersaat sowie die Flächenrotte als sinnvolle und gut umsetzbare Maßnahmen empfunden. Auch die Depotdüngung wird als sehr hilfreich eingeschätzt.



Zwischenfruchtmischung



Depotdüngung



Flächenrotte

Die Herstellung von Komposttee und Fermenten erweist sich teils als zu aufwendig und zu unsicher hinsichtlich ihrer qualitativen Beurteilung.



Komposttee

Die ZWF2 wird ebenfalls als aufwendig und teuer beschrieben. Zudem steht nicht immer die nötige technische Ausrüstung zur Verfügung.

Da die Wurzeleistung vom Welschen Weidelgras sehr gut ist, gab es bei fast allen Teilnehmern Probleme mit dem Durchwuchs des Weidelgrases im Folgejahr, so dass teilweise Herbizideinsätze (Totalherbizid) nötig wurden.

Außerdem konnten sich weitere Pflanzen aus der ZWF-Mischung wie Roggen, Lupinen und Wicken in den Folgekulturen durchsetzen und führten in einem Fall zum Zuflug von Schadinsekten.

Eine Lösung war die Mischung einer eigenen ZWF-Mischung.

Teilweise wird das im Bodenkurs (s. Anlagen) erworbene Wissen unabhängig von den Versuchsflächen auf anderen Flächen (Acker, Reben) und Kulturen angewandt. Viele wollen vor allem die ZWF1 und die Flächenrotte sowie teilweise die Untersaat weiterführen. Einige Landwirte werden auch weiterhin die Albrecht-Analyse zusätzlich zur Bodenprobe nutzen. Manche geben an, dass die Beprobung nach der Albrecht-Analyse vorrangig auf Problemschlägen oder Referenzflächen weitergeführt wird.

Fast alle befragten Landwirte können eine positive Veränderung der Bodenstruktur

feststellen, vor allem bezüglich der Befahrbarkeit. Angeführt wird dabei vor allem die positive Auswirkung der Dauerbegrünung. Der Boden wird als besser durchlüftet, durchlässiger und krümeliger beschrieben. Auch das Bodenleben wird als aktiver und lebendiger wahrgenommen, es wurde mehrmals auf vermehrte Bioturbation durch Regenwürmer hingewiesen.

Fünf Landwirte stufen die Wasserspeicherfähigkeit als besser ein und können weniger Anzeichen von Trockenschäden/-stress erkennen. Zwei Landwirte (Ökolandbau und Direktsaat) können keinen sichtbaren Unterschied in der Aktivität des Bodenlebens feststellen.



3.3 Reduktion Düngemittel- und Pflanzenschutzmitteleinsatz

Zwei Landwirte geben an, dass sie eine verbesserte Aufnahme von N-Dünger auf der RL Fläche (vor allem nach Flächenrotte) beobachten. Vor allem bei der Depotdüngung (Cultan) kann eine Reduktion von etwa 20 % im Vergleich zum sonstigen Düngebedarf festgestellt werden.

Der Unkrautdruck blieb gleich bis höher, der Aufwand bezüglich der Bekämpfung aber größtenteils gleich, bzw. hat sich durch den Durchwuchs des Weidelgrases erhöht. Nur zwei Landwirte geben an, dass sie den Pflanzenschutz reduzieren konnten, bzw. der geringere Unkrautdruck auf eine mehrgliedrige Fruchtfolge zurückzuführen ist. Bezüglich der Reduktion von Dünger und Pflanzenschutz können nicht alle Landwirte schon jetzt eine Aussage treffen. Ebenso verhält es sich mit Quantität und Qualität des Ernteguts. Des Weiteren wird der Handel mit CO₂-Zertifikaten eher mit Vorsicht betrachtet: grundsätzlich besteht Interesse, da aber vor allem hinsichtlich der rechtlichen Regelung nicht ausreichend Informationen vorliegen, nimmt bisher nur ein Landwirt daran teil.

4 Versuche zur platzierten Stickstoff-Depotdüngung

4.1 Exaktversuch Systemvergleich Schallstadt

Karl Müller-Sämman

Auf dem Standort Schallstadt wurde schon im Jahr 2015 durch den assoziierten Projektpartner cult-tec Agrolutions ein statischer Depotdüngerversuch mit Körnermais angelegt. Bei diesem Exaktversuch wurde von 2015 bis 2018 vier Jahre lang mit 5 N-Düngestufen (0-130 % N) gedüngt. Ziel der Untersuchungen war es das Düngungsoptimum und die Effizienz der Stickstoffgaben bei konventioneller N-Düngung und bei Depotdüngung zu vergleichen. Im Jahr 2019 wurde der Versuch dann über alle N-Stufen einheitlich gedüngt und ab 2020 erfolgte die N-Düngung auf allen Depotdüngungsparzellen praxisüblich mit 80 % N und auf konventionell gedüngten Parzellen mit 100 % des ermittelten N-Bedarfs. Abbildung 4.1.a zeigt den Versuchsplan.

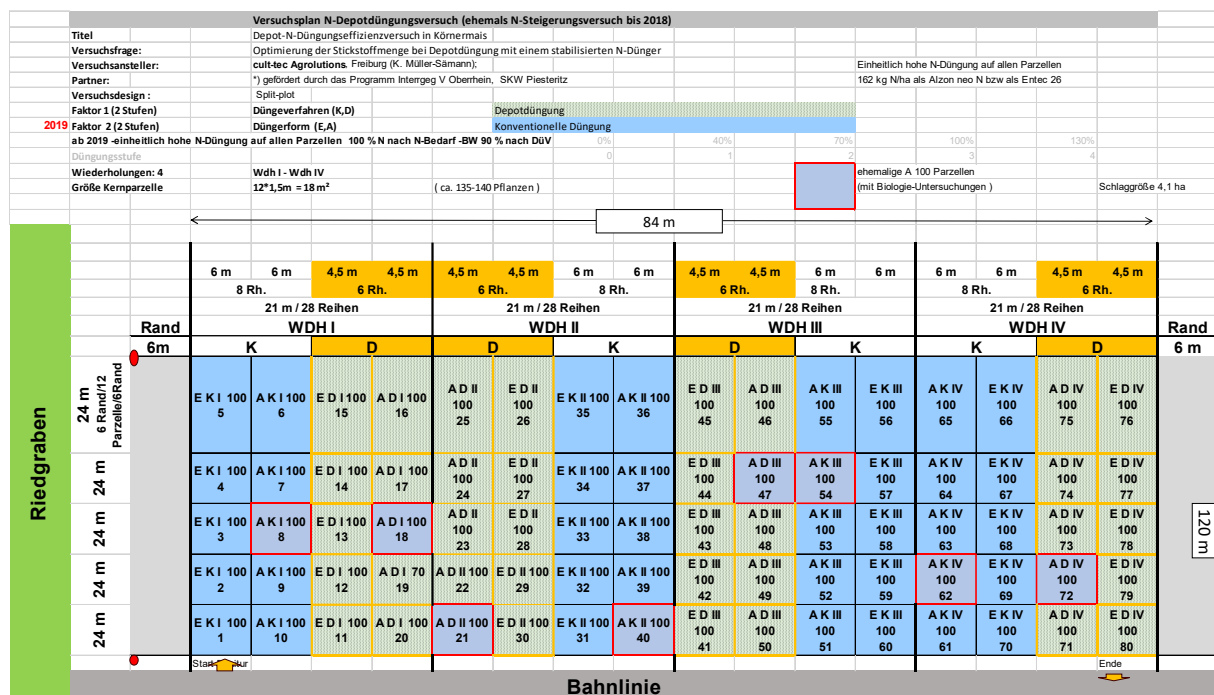


Abbildung 4.1.a: Versuchsplan des statischen Depotdüngerversuchs in Schallstadt 2015-2022. K steht für konventionell gedüngt Parzellen, D für depotgedüngte Parzellen.

Die hellblau-rot umrandeten Parzellen (Abb.4.1a) wurden ab 2018 für Untersuchungen im Rahmen des DeNAe Projektes verwendet, um (getrennt von sonstigen Interaktionen mit regenerativen Bewirtschaftungsmethoden) den Einfluss des Depotdüngerverfahrens auf die Pilz- und Bakterienbesiedlung der Böden zu untersuchen (siehe hierzu auch Kapitel 5.1 und 5.2). Zudem wurde der Versuch ab 2020 in das Programm des DeNAe Projekts eingebunden, um die Faktoren Düngungseffizienz und Humus im Kontext der Depotdüngung zu untersuchen.

Eines der erklärten Ziele der „Regenerativen Landwirtschaft“ ist es, neben der Verbesserung der Bodeneigenschaften, durch Humusaufbau auch einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Dieses Ziel wird um so mehr erfüllt (und wirtschaftlich tragfähig), wenn die regenerativen Bewirtschaftungsmaßnahmen im konventionell wirtschaftenden Betrieb mit einer effizienteren Stickstoffdüngung kombiniert werden können.

Wie die Auswertung der Ergebnisse in Schallstadt 2018 bis 2020 zeigt, ist dies bei der N-Depotdüngung in hohem Maße gegeben (Tabellen 4.1.1 bis 4.1.3). Eine N-Depotdüngung in 20 cm Tiefe abgelegt in jeder zweiten Gasse zwischen den Maisreihen (siehe Abbildung 4.1.b)

führte im Jahr 2018, im vierten Jahr der Anwendung, zu einer bis zu 7 % höheren Düngereffizienz, wobei die Erträge allerdings durch Trockenheit limitiert wurden.

Tabelle 4.1.1. Ergebnisse 2018 im statischen Düngerversuch mit 5 Stickstoff-Düngungsniveaus und vier Wiederholungen -- 4. Jahr des statischen Düngerversuchs

Ertragswirkung und N_Düngungseffizienz im Jahr 2018 bei unterschiedlichen Düngeneiveaus seit 2015 zu Körnermais in Schallstadt						
		Ertragswirkung			N-Effizienz *)	
Schallstadt 2018 N Düngung im Versuch 195 kg N /ha (DüV) = 100 % N		Ertrag Depotdüngung	Ertrag Düngung breit konventionell	Düngung	Depot- düngung	Düngung breit konventionell
Mittelwert Versuch (n=40)		10165	10028		nb	nb
Düngeniveau 2015 -2018 +)				kgN/ha		
0%		4263	4788	0	nb	nb
40%		10388	9738	78	133	125
70%		11963	11650	136	88	86
100%		11888	11650	195	61	60
130%		12325	12313	238	52	52
Mittelwert 40-100 % N		11413	11013		94	90
mittleres Ertragsplus in %		4			4	
Düngeniveau 2015 -2018		Ertragsplus -in Prozent			Plus bei N-Effizienz in Prozent (Ertrag/kg N Düngung)	
40 % N Düngeniveau		7			7	
70 % N		3			3	
100 % N		2			2	

*) 2018 wurden die Erträge durch die Trockenheit begrenzt, so dass die N-Düngereffizienz nur bedingt zum tragen kam

Im Jahr 2019 wurden die Parzellen dann einheitlich mit 90 % des ermittelten N-Bedarfs (nach DüV) gedüngt. Nachdem die Böden zuvor über vier Jahre zwischen 0 und 130 % der empfohlenen N-Düngung erhalten hatten waren sie hinsichtlich der N-Versorgung unterschiedlich stark „abgemagert“ (z. B. Variante mit 40 % N) bzw. „fett“ (Varianten mit 130 % N) in Hinblick auf die N-Versorgung. Wie die Zusammenstellung in Tabelle 4.1.2. zeigt, war die Stickstoffdüngungseffizienz um so höher, je magerer die Flächen in den Jahren zuvor Vergangenheit gedüngt waren. Ausserordentlich positiv konnte dabei auch beobachtet werden, dass die Depotdüngung auch bei einem im Profil abgereicherten Boden mit geringem N-Mineralisierungspotenzial voll ertragswirksam wurde. Bei konventioneller Düngung wurde dagegen ein Teil des gedüngten Stickstoffs in der abgemagerten Matrix gebunden und führte deshalb zu Ertragseinbussen. Die Effizienz der Stickstoffdüngung konnte im Mittel um 20 % gesteigert werden (10-36 % je nach früherer Düngestufe), was bei Körnermais zu Einsparungen von ca. 35 kg N/ha oder einer Reduktion der Emissionen um ca. 500 kg CO₂/ha führt.

Das Ergebnis liefert auch einen Hinweis darauf, dass es mit Depotdüngung möglich wird, auf abgemagerten Böden mit bewusst reduziertem Mineralisationspotenzial volle Erträge zu erzielen. Dies ist von höchster Relevanz für Düngungsstrategien in Wasserschutzgebieten, wo Böden mager geführt werden sollen, um das Nitrataustragspotenzial zu begrenzen.

Tabelle 4.1.2. Ergebnisse 2019 im statischen Düngeversuch mit einheitlicher N -Düngung im 5. Jahr des statischen Düngeversuchs

Ertragswirkung und N_Düngungseffizienz bei einer Volldüngung mit Stickstoff im Jahr 2019 nach vier Jahren unterschiedlicher N-Düngung zu Körnermais in Schallstadt					
		Ertragswirkung kg ha (86 % TS) Körnermais		N-Effizienz (kg Kornertrag /Kg N Düngung)	
		Ertrag Depotdüngung	Ertrag Düngung breit konventionell	Depot- düngung	Düngung breit Konventionell
Schallstadt 2019					
N Düngung im Versuch 162 kg N /ha (90 % DüV) (100 % nach Dng-BW)					
Mittelwert Versuch (n=40)		13600	10200	84	63
Düngeniveau 2015 -2018 +)				0	
40%		12100	8920	75	55
70%		11800	9865	73	61
100%		12145	11064	75	68
Mittelwert 40-100 % N		12015	9950	74	61
mittleres Ertragsplus in %		21		21	
N-Düngungsniveau 2015 -2018		Ertragsplus -in Prozent		Plus bei N-Effizienz (Ertrag/kg N Düngung) -in Prozent-	
40 % N		36		36	
70 % N		20		20	
100 % N		10		10	

2020 wurden in Anlehnung an die erarbeiteten Beratungsempfehlungen zur N-Düngung bei Depotdüngung ebenfalls über alle ehemals unterschiedlich hoch gedüngten Parzellen hinweg einheitlich mit 80 % der empfohlenen Stickstoffmenge (nach N-Bedarfsrechnung) gedüngt. In den vierzig Parzellen mit konventioneller Düngetechnik wurden 100 % des ermittelten N-Bedarfs gedüngt. Es erfolgte somit eine Überführung des statischen Düngeversuchs in einen Langzeitdüngeversuch mit zwei Verfahrensvarianten (N-Depotdüngung mit reduzierter Dosis 80 % N und konventionell breite N-Düngung mit voller Dosis).

Erneut lag die Effizienz der Stickstoffdüngung mit Depotdüngung um 25 - 32 % höher als bei konventioneller Düngung Tabelle 4.1.3. Die präzise Depotdüngung in den Boden ist damit deutlich klimafreundlicher als die konventionelle Düngetechnik mit breit oberflächlicher Düngerablage.

Tabelle 4.1.3 Ergebnisse 2020 im statischen Düngeversuch mit reduzierter N-Düngung bei Depotdüngung im 6. Jahr des statischen Düngeversuchs in Schallstadt.

Körnermaiserträge und N_Düngungseffizienz im Jahr 2020 bei unterschiedlichen Dünge niveaus zwischen 2015 und 2018 und verfahrenabhängiger Dosierung 2020					
		Ertragswirkung Körnermais kg ha (86 % TS)		N-Effizienz (kg Kornertrag /Kg N Düngung)	
Schallstadt 2020		Ertrag Depotdüngung	Ertrag Düngung breit konventionell	Depot- düngung	Düngung breit konventionell
N Düngung im Versuch 168 kg N /ha (breit 100 %) 138 kg N/ha (Depot = 80%)		13350	12950	97	77
Dünge niveau 2015 -2018 +)					
0%		12900	13000	93	77
40%		13400	12400	97	74
70%		13500	13300	98	79
100%		13500	12700	98	76
130%		13400	13400	97	80
Mittelwert 40-100 % N		13467	12800	98	76
mittleres Ertragsplus in %		5		28	
		Ertragsplus		Plus bei N-Effizienz in Prozent	
Dünge niveau 2015 -2018		-in Prozent		(Ertrag/kg N Düngung)	
40 % N Dünge niveau		8		32	
70 % N		2		24	
100 % N		6		29	

Auch bei Winterweizen konnte im siebten Jahr der Depotdüngung mit 80 % N (144 kg N/ha als AlzonG 20-8) gegenüber einer konventionellen Düngung mit 180 kg N als KAS ebenfalls leicht höhere Erträge mit flüssiger Depotdüngung (Liq-Inject Technik der Firma cult-tec) erzielt werden (87dt/ha versus 81 dt/ha).

Die N Bilanz war dabei mit 17 kg N/ha bei der Depotdüngung deutlich besser als bei konventioneller Düngung (plus 70 kg N/ha). Der Dünger wurde deutlich besser verwertet (Abbildung 4.1.b).

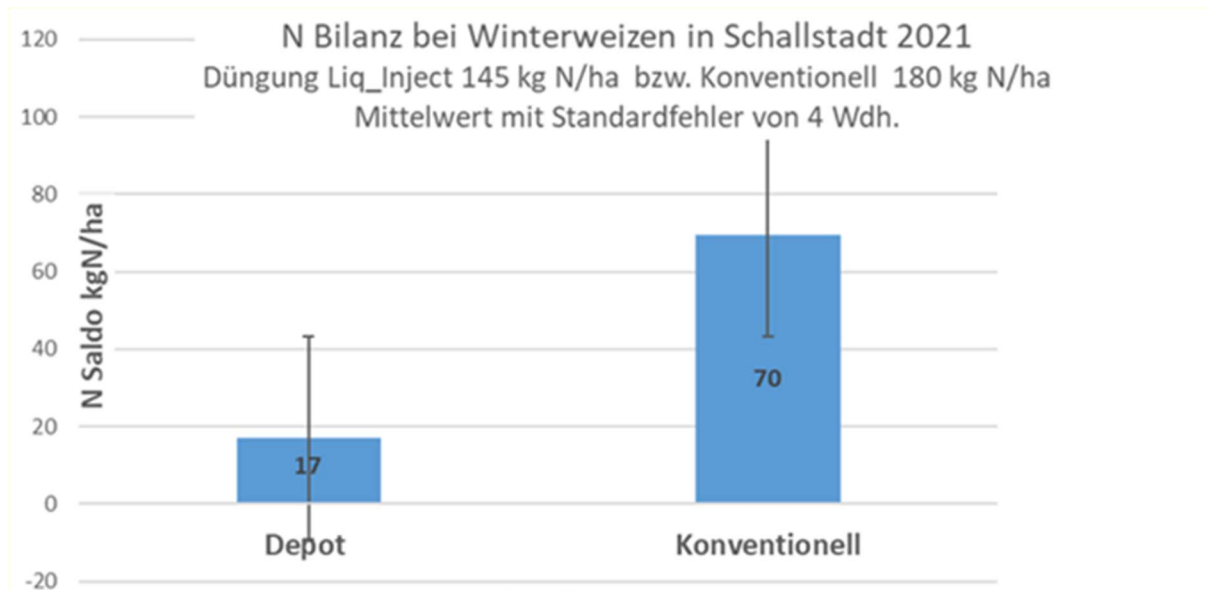


Abbildung 4.1.b: N-Bilanz zu Winterweizen bei flüssiger Depotdüngung mit 80 % N versus konventioneller Düngung mit 100 % N im statischen Dauerdüngerversuch in Schallstadt (7. Versuchsjahr).

Die ammoniumbetonte Stickstoff-Depotdüngung wirkt sich aber nicht nur auf die Effizienz der Düngung und die damit verbunden Vorteile für den Klimaschutz aus, sondern es ist davon auszugehen, dass sie auch Einfluss auf das Bodenleben nimmt. Wie in Abbildung 4.1.c dargestellt, unterscheidet sich die Depotdüngung hinsichtlich der Verteilung des gedüngten Stickstoffs im Boden grundsätzlich von konventioneller Düngung.

Während bei breiter Düngung die gesamte Matrix des Bodens mit einem Stickstoffvorrat angereichert wird, findet bei der Depotdüngung jeweils nur eine punktuelle N-Anreicherung im Bodenprofil statt. Da viele Lebensvorgänge, Symbiosen und Interaktionen zwischen Pflanzen und Bodenleben und biologische Prozesse im Boden stark durch die Anwesenheit von Stickstoff beeinflusst werden, ist davon auszugehen, dass dies auch Auswirkungen auf Mikroorganismen und den Humushaushalt hat.

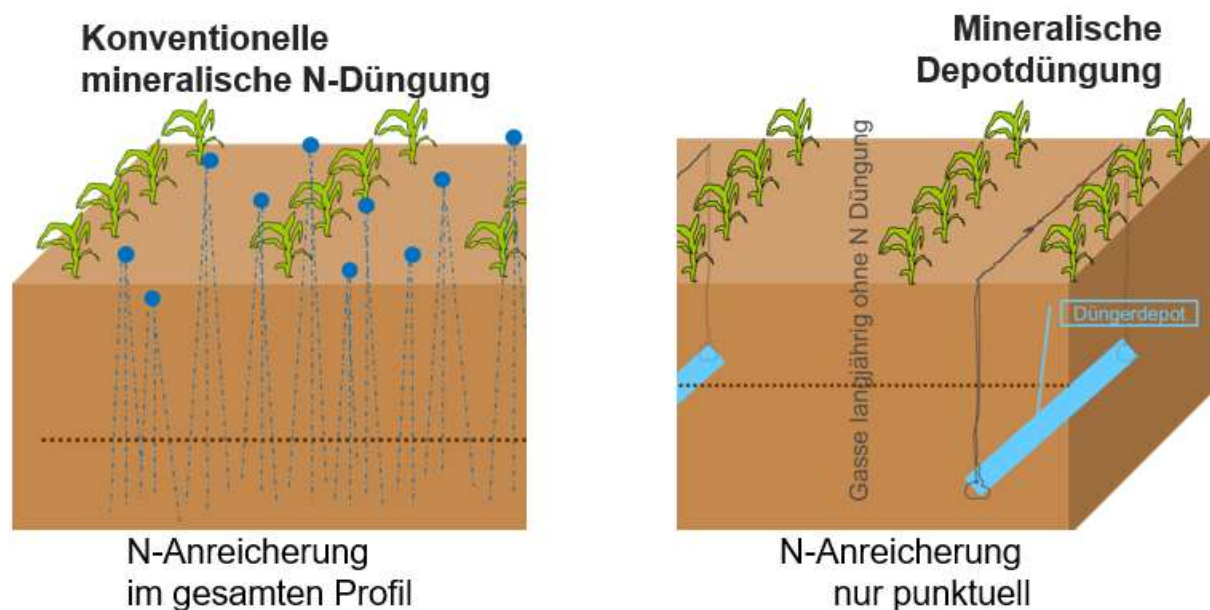


Abbildung 4.1.c: Schematische Darstellung des N Angebots im Boden nach konventioneller Düngung (breit oberflächlich ausgebracht) und bei Depotdüngung mit schnurförmiger N-Ablage in 20 cm Bodentiefe im Abstand von 1,5 m).

Im Jahr 2019 wurde deshalb in zwei Wiederholungen des Versuchs das Maissaatgut mit Rhizopower® der Firma *nadicom* geimpft. Das Produkt enthält frei lebende stickstoffbindende *Azotobacter* Bakterien. Sie können umso effizienter Stickstoff bilden, je ärmer das Bodenmilieu ist. Im vorliegenden Fall wäre das also in den ungedüngten Gassen der Depotdüngewarianten der Fall, während bei konventioneller Düngung die Stickstoffgehalte im gesamten Bodenprofil erhöht sind und es folglich zu weniger N-Bindung durch die Bakterien kommen sollte. Wie die folgenden zwei Abbildungen zeigen, war die N-Versorgung (gemessen an der Anzahl noch grüner Blätter an der Halmbasis) zur Abreife des Mais bei der beimpften Depotdüngewariante tatsächlich besser als ohne Beimpfung und bei konventioneller Düngung (Abbildung 4.1.d). Die Ertragswirkung war verglichen mit der deutlich besseren N-Effizienz der Depotdüngung nur gering und statistisch nicht signifikant (Abbildung 4.1.e). Es ist zu vermuten, dass dieser Effekt bei assoziativ in der Wurzelrinde lebenden Bakterien mit potenziell deutlich höherer N-Fixierungsleistungen (z. B. *Beijerinckia* sp., *Azospirillum* sp.) deutlicher ausgefallen wäre, als bei den wenig leistungsfähigen frei lebenden N-fixierenden Bakterien. Damit stünde dem Mais bei Depotdüngung ein zusätzlicher, biologisch mobilisierter und klimafreundlicher N-Pool zur Verfügung. Weitere Versuche hierzu sind zu empfehlen.

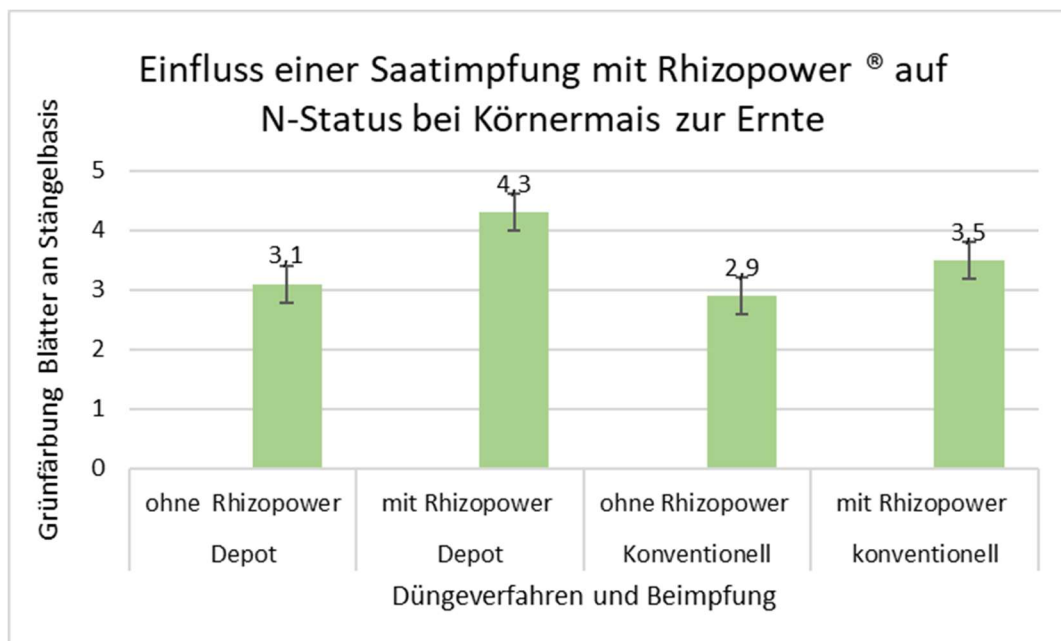


Abbildung 4.1.d: Einfluss von Depotdüngung und einer Beimpfung des Saatguts mit *Azotobacter* auf den N-Status von Maispflanzen zur Abreife.

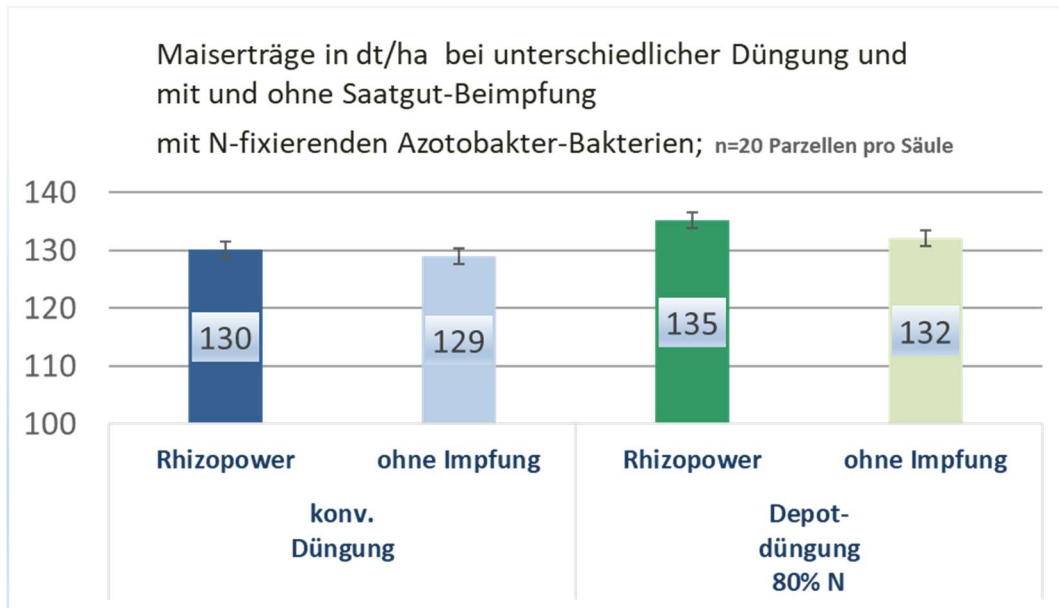


Abbildung 4.1.e: Einfluss von Depotdüngung und einer Beimpfung des Saatguts mit Azotobakter auf den Körnermaisenertrag im statischen Depotdüngerversuch Schallstadt.

Im Folgenden sind die Ergebnisse zur Entwicklung der Humusgehalte im Depotdüngerversuch Schallstadt dargestellt. Zur Beantwortung dieser Frage standen Bodenproben von drei Terminen zur Verfügung die jeweils aus den in Abbildung 4.1.a dargestellten Parzellen entnommen wurden. Es waren dies Proben vom 07.09.2018; vom 21.01.2020 und vom 26.12.2020).

Wie in Abbildung 4.1.f zu erkennen konnte im Verlauf des Projekts eine Abnahme der Humusgehalte beobachtet werden, die vermutlich auf die trocken warme Witterung in diesen Jahren zurückzuführen ist. Die Temperaturen dieser drei Jahre lagen deutlich über dem langjährigen Mittel. Die Niederschläge waren unterdurchschnittlich. Dies führte im Beobachtungszeitraum auch zu einem Anstieg des pH Wertes von 7,1 auf 7,4, was bei Vorliegen von freiem Ca vermutlich auf kapillaren Aufstieg in den Oberboden zurückgeführt werden kann.

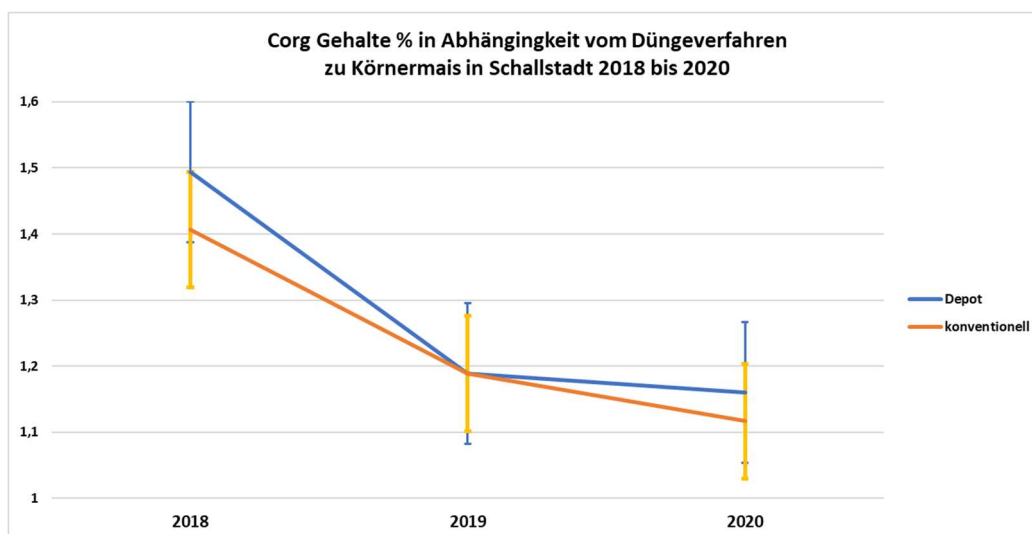


Abbildung 4.1.f Entwicklung der Humusgehalte am Standort Schallstadt im statischen Depotdüngerversuch im 4.-6. Versuchsjahr.

Zunächst kann festgehalten werden, dass die C-Gehalte bei Depotdüngung in der Tendenz um 0,05 bis 0,1 % höher liegen als bei konventioneller Düngung. Die Unterschiede sind wegen der großen Streuung der Ergebnisse statistisch aber nicht abzusichern. Dies würde in etwa 0,5 bis 1 t mehr Corg/ha entsprechen oder einer Senkenleistung von 2 bis 4 t CO₂ gegenüber dem konventionellen Düngeverfahren. Der Unterschied fällt wohl auch deshalb gering aus, weil das Bodenleben bei einem pH Wert über 7 stark bakteriell geprägt ist und Pilze, die eher humusaufbauend wirken, auf dem Standort eher ungünstige Bedingungen vorfinden (siehe auch Kapitel 5.1).

Der Rückgang des Corg Gehaltes um 0,2 - 0,3 % binnen drei Jahren deutet auf methodische Fehler, denn es würde 7-10 t/ha Corg Veränderung entsprechen, was in etwa dem 10-fachen dessen entspricht, was man aus anderen Untersuchungen kennt. Als eine weitere Ursache und Erklärung dieser sehr starken Veränderung (vor allem vom ersten zum zweiten Termin) kann auch der Beprobungstermin dienen. Im Jahr 2018 wurden bereits Anfang November die Bodenproben gezogen (7. Nov. 2018) während es zum Jahr 2019 der 21.01.2020 und für das Jahr 2020 der 26.12.2020 war. Der Termin lag also jeweils 6 - 8 Wochen später und es kann davon ausgegangen werden, dass in diesem Zeitraum (bei milden Wintertemperaturen) leicht abbaubare organische Verbindungen (zum Beispiel aus den Rhizosphären der Pflanzen), die nicht dem stabilen Humus-Pool zugerechnet werden können, noch abgebaut wurden.

Darauf deuten auch die Veränderungen im C/N Verhältnis des Humus hin (folgende Abbildung). Bei den späteren Beprobungsterminen ist das C/N Verhältnis schon eingeeengt und sehr leicht verfügbare frische organische Masse wohl schon abgebaut. Mit Depotdüngung sind C/N Verhältnisse in der Tendenz weiter, was auf einen vermehrten Zuwachs an frischem Humus hindeutet.

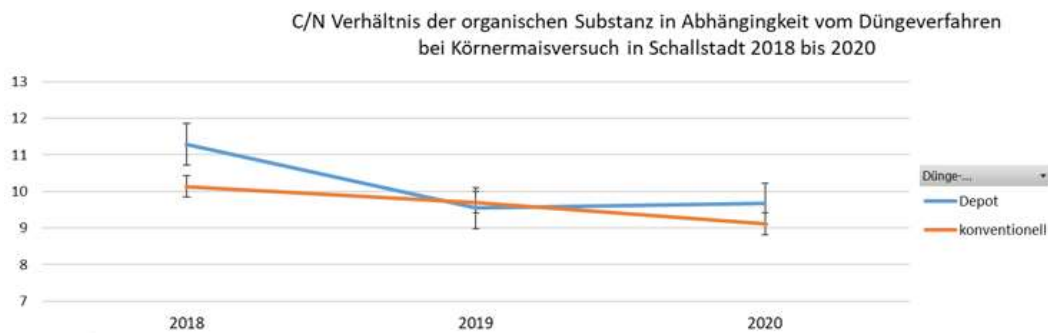


Abbildung 4.1.g C/N Verhältnis der organischen Substanz nach vier bis sieben Jahren mit unterschiedlichen N-Düngerverfahren.

Des Weiteren konnte - wie in den Praxisversuchen - ein deutlicher Zusammenhang zwischen den Humusgehalten und dem C/N Verhältnis der organischen Substanz beobachtet werden. In Böden mit höheren Humusgehalten konnten weitere C/N Verhältnisse beobachtet werden (Abbildung 4.1.h).

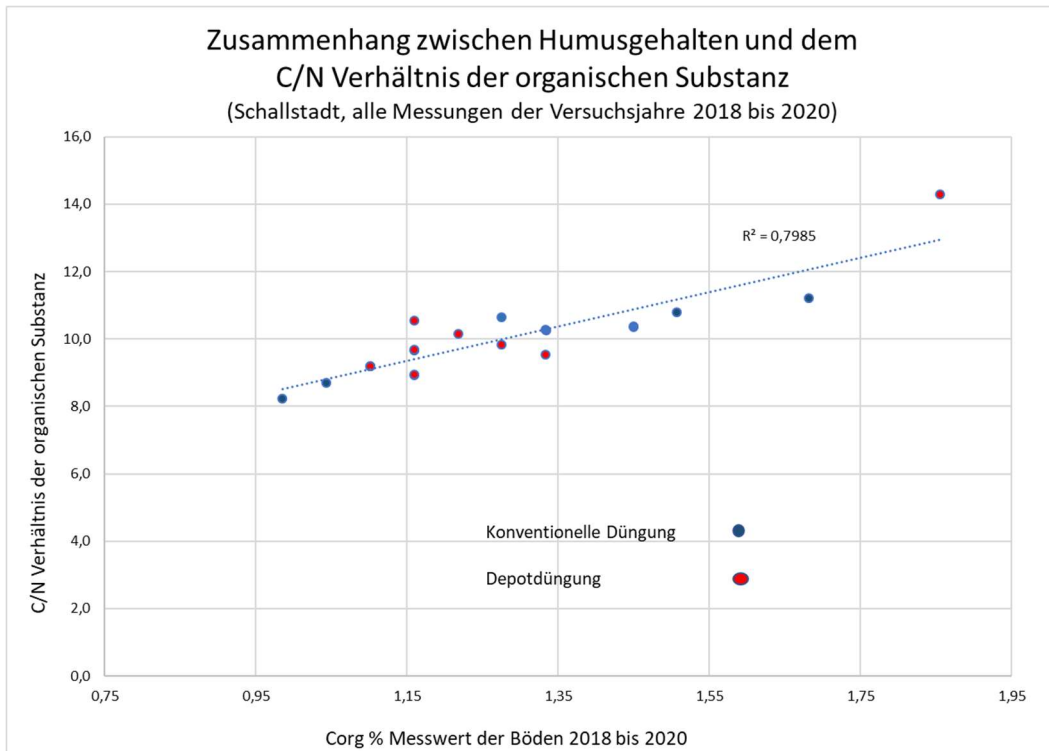


Abbildung 4.1.h Zusammenhang zwischen gemessenen Humusgehalten und der Qualität der organischen Substanz am Standort Schallstadt.

Bezüglich der Biodiversität wurden die Messergebnisse zum Humusgehalt auch noch mit den Ergebnissen der Untersuchungen des AIT verglichen. Es standen für den Vergleich allerdings nur zeitversetzte Proben zur Verfügung, so dass dieser Zusammenhang nur annäherungsweise analysiert werden konnte.

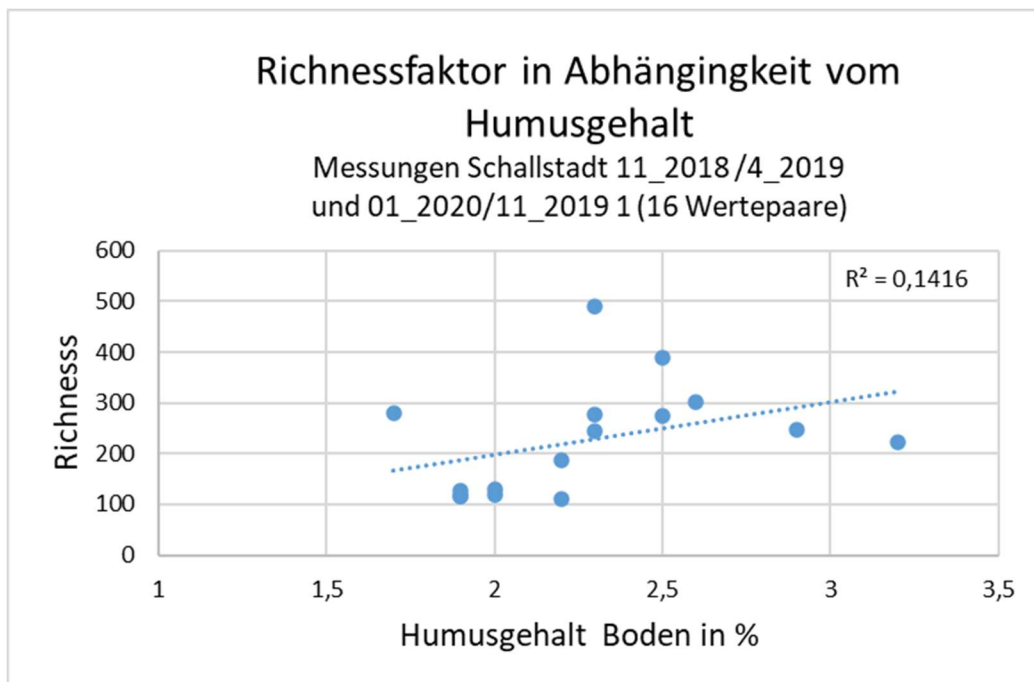


Abbildung 4.1.i Zusammenhang zwischen den gemessenen Humusgehalten der Bodenproben in Schallstadt und dem Richnessfaktor als Indikator für die Biodiversität des mikrobiellen Bodenlebens.

Wie Abbildung 4.1.i zeigt, war der Zusammenhang zwischen dem Richnessfaktor (Indikator für Biodiversität der Bakterienbesiedlung) und dem Humusgehalt des Bodens beim angestellten Vergleich mit um 2 und 5 Monate versetzten Messreihen sehr gering. Auch bei getrennter Betrachtung für Depotdüngung und konventionelle Düngung blieb der Zusammenhang mit einem Bestimmtheitsmaß R^2 von 0,09 und 0,2 bei Depotdüngung und konventioneller Düngung sehr schwach.

Zusammenfassend kann gefolgert werden, dass auf dem Lössstandort Schallstadt die Depotdüngung in der Tendenz humusfördernd gewirkt hat, der Zuwachs konnte aufgrund methodischer Mängel aber nicht statistisch abgesichert werden.

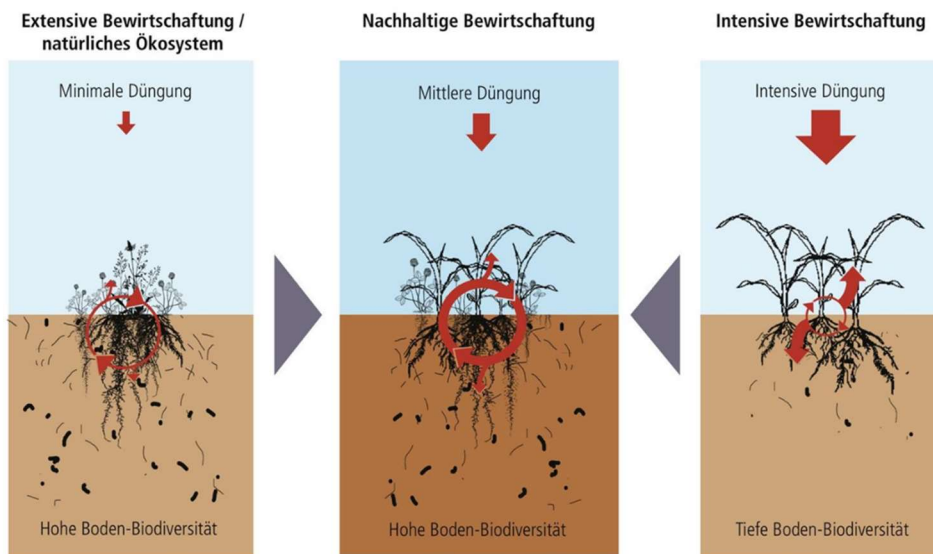
4.2 Praxisversuche Systemvergleich Stickstoffdüngung bei regenerativer Bewirtschaftung

Jürgen Maier

Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Boden-Biodiversität

Die Höhe und Art der Stickstoffdüngung hat offensichtlich Einfluss auf das Bodenleben. Bei intensiver, d. h. in der Regel auch breitflächiger Stickstoffdüngung nimmt demnach die Artenvielfalt des Bodenlebens ab. Umgekehrt nimmt sie zu, je niedriger die Stickstoffdüngung ist:

Boden-Biodiversität und Düngungsintensität



Quelle: https://scnat.ch/en/uuid/i/fd6e96eb-2193-54ed-ab89-d32545efd125-Kluge_Landwirte_setzen_auf_die_Biodiversit%C3%A4t

Im Projekt wurde auf zwei Praxisflächen der AGR LH untersucht, wie sich die Stickstoff-Depotdüngung, d. h. der Verzicht auf breitflächige Stickstoffdüngung in voller Düngungshöhe, auf Ertrag und Bodenleben auswirkt. Bereits an der Bodenoberfläche sind Unterschiede erkennbar, Algenwuchs bei flächiger Stickstoffdüngung (links), kein Algenbewuchs bei Depotdüngung (rechts):

Depotdüngung Getreide (ohne RL) – Stickstoffdüngesystemvergleich Winterweizen Ehrenstetten 2021



RL Praxisversuch Nr. 92 – Vergleich Düngungssysteme

Auf einer Praxisfläche der AGR LH, auf der seit mehreren Jahren, d. h. bereits vor Projektbeginn, nach Kriterien der regenerativen Bewirtschaftung Ackerbau betrieben wird, wurden 2019 die beiden Stickstoffdüngungsverfahren ‚Konventionell 100 % N-Bedarf‘ und ‚Depotdüngung 80 % Düngebedarf‘ in Körnermais in einem Großparzellen on-farm-Versuch verglichen. Für die Depotdüngung wurde das Rauch-Gerät DeePot verwendet:



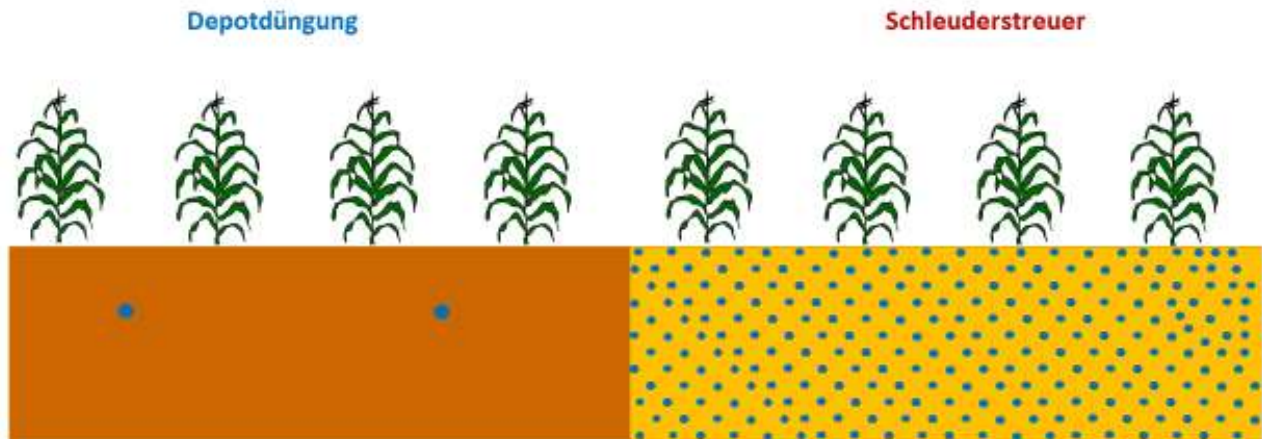
RL & Depotdüngung Körnermais

Wittental 2019

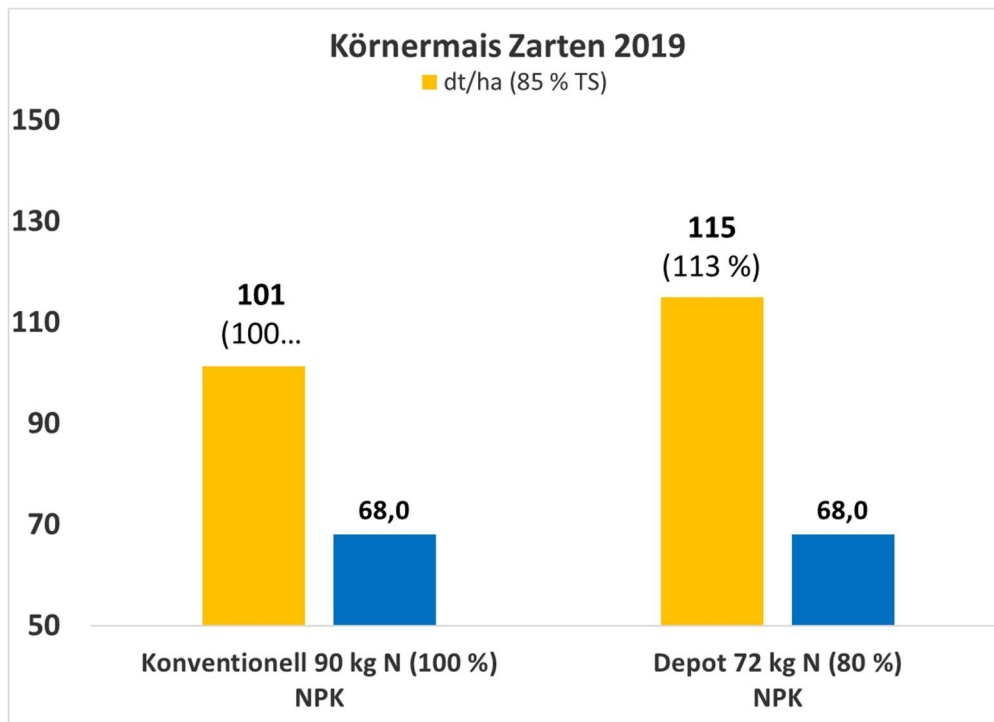


In folgender Schemazeichnung „Stickstoff-/Nitratwirkung auf Bodenleben in Abhängigkeit der Kontaktflächen Dünger mit Boden(leben)“ wird aufgezeigt, dass das Bodenleben bei der Depotdüngung (Depot: ca. 20 cm Bodentiefe, Abstand von 1,5 m, DeePot – Verfahren) um ein Vielfaches weniger mit dem Stickstoff in Berührung kommt als bei der konventionellen Applikation (breit- und oberflächlich, mit Schleuderstreuer), da sich bei dieser der Stickstoff schneller als Nitrat im gesamten Boden- bzw. Wurzelraum verteilt:

Stickstoff-/Nitratwirkung auf Bodenleben in Abhängigkeit der Kontaktfläche Dünger mit Boden(leben)



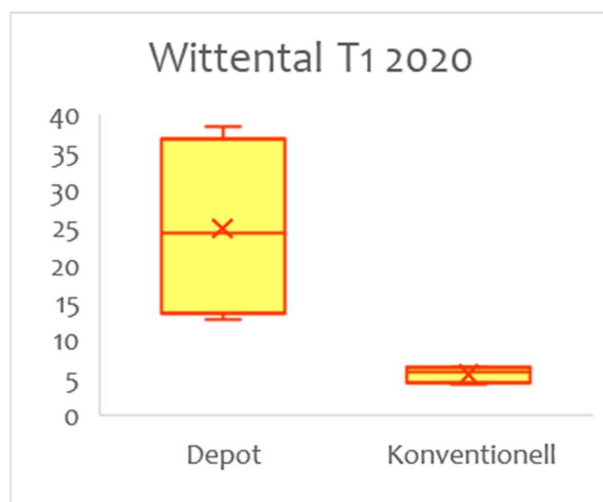
Die Körnermaiserträge waren bei der Depotdüngung um 13 Prozent deutlich höher als bei der konventionellen Düngung. Dies ist vor allem auf die in vielen anderen Versuchen nachgewiesene höhere Effizienz der Stickstoffdüngerausnutzung zurückzuführen:



Im Jahr 2020 wurde auf den selben Parzellen der Systemvergleich mit Winterweizen durchgeführt, bei der Ernte konnte allerdings der Ertrag nicht getrennt erfasst werden wie beim Mais 2019:



Auf den beiden Parzellen wurde das Bodenleben aus Bodenproben vom 08.04.2020 untersucht, d. h. nach der ersten Stickstoffdüngergabe bei konventioneller Düngung und vor der Applikation der Depotdüngung. In der Depotparzelle konnte eine deutlich höhere relative Häufigkeit des Pilzes *Mortierella hyalina* gefunden werden, nämlich zwischen 12 und 40 %, während bei konventioneller Düngung die relative Häufigkeit in allen vier Wiederholungen unter 6,5 % lag. *M. hyalina* besiedelt als Endophyt in Laborversuchen die Wurzeln von *Arabidopsis thaliana* und kann damit das Sprosswachstum fördern und Schädigungen der Wurzel durch den Pathogen *Alternaria brassicae* vermindern:



Die Untersuchung zeigt, dass durch den Verzicht auf eine flächige Ausbringung von Stickstoffdüngern möglicherweise bestimmte nützliche Bodenpilze gefördert werden können.

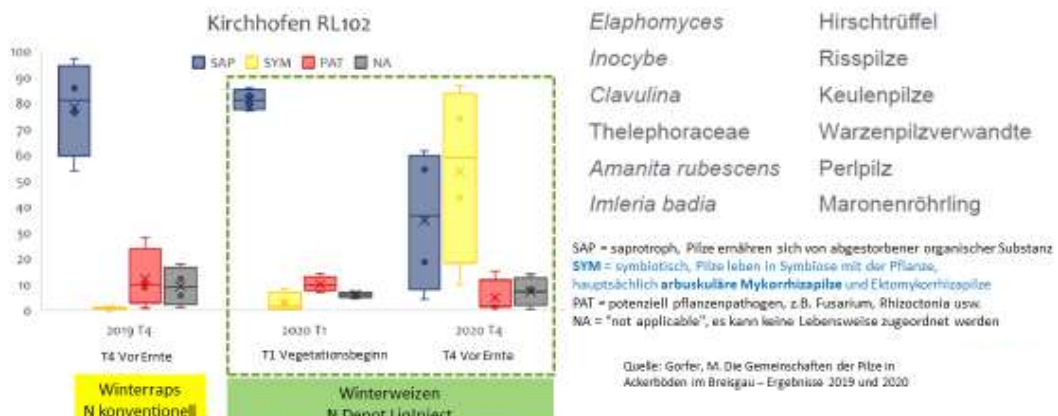
RL Praxisversuch Nr. 102 – Vergleich Düngungssysteme

Auf der Praxisfläche wurde 2020 erstmals regenerativ gewirtschaftet und auch erstmals die Depotdüngung mit Winterweizen durchgeführt, d. h. auf dem gesamten Schlag, so dass kein Vergleich mit konventioneller Stickstoff-Düngung möglich ist. Die Depotdüngung wurde im Gegensatz zum Standort RL Nr. 92 nicht mit dem Injektionsstachelrad mit ca. 5 cm Injektionstiefe, sondern mit dem LiqInject-Injektionsgerät mit ca. 10 cm Injektionstiefe durchgeführt:



Die Analyse der Bodenproben zeigt, dass vor der Ernte des Weizens im Juli 2020 auf dem Schlag signifikant mehr symbiotischen Bodepilze; zu denen auch die arbuskulären Mykorrhizapilze gehören, gefunden wurden als zum gleichen Zeitpunkt in der Vorkultur Raps, die konventionell mit Stickstoff gedüngt wurde:

DIE LEBENSWEISEN DER PILZE IN KIRCHHOFEN RL102



5 Wirkungen/Effekte regenerativer Bewirtschaftung

5.1 Mikrobielles Bodenleben

Markus Gorfer

Die vom LRA Breisgau Hochschwarzwald zur Verfügung gestellten Proben wurden bislang in drei separaten Durchläufen auf mikrobielle Parameter untersucht. Für alle Untersuchungen stand am Beginn eine DNA-Isolierung aus den Bodenproben. Die DNA wurde dann in weiterer Folge für Hochdurchsatzsequenzierungen mit der Illumina MiSeq-Technologie verwendet. Der Fokus lag dabei auf den Gemeinschaften der Pilze in den Bodenproben. Die Rohdaten aus der Sequenzierung wurden von Harald Berger (Bioinformatiker) aufbereitet, um mit dem Datensatz weiterarbeiten zu können. Den Sequenzdaten werden über eine automatische Annotierung taxonomisch klassifiziert, d. h. man bekommt eine Liste mit Gattungen (und Arten) von Pilzen, die in der Probe vorhanden sind. Des Weiteren erhält man für jede einzelne Art die relative Häufigkeit. Mit diesen Daten können dann alle weiteren Analysen durchgeführt werden. So ist eine Einteilung der Pilze in den Proben nach deren Lebensweise möglich, d. h. ob es sich um saprotrophe, symbiotische oder potenziell pflanzenpathogene Pilze handelt.

Details zu den hier angewandten Methoden zur Erfassung der Pilzgemeinschaften und zur Auswertung und Bewertung finden sich in mehreren Fachpublikationen aus unserer Arbeitsgruppe (Klaubauf et al., 2010; Gorfer et al., 2011; Kaiser et al., 2011; Keiblinger et al., 2018; Deltedesco et al., 2020; Gorfer et al., 2021; Mayer et al., 2021; Gorfer et al., 2022; Mayer et al., 2022).

Im ersten Teil der Proben aus einem Vorprojekt wurden zusätzlich verschiedene Gruppen von Mikroorganismen mit molekularen Methoden quantifiziert: Pilze, Bakterien, Ammonium-oxidierende Bakterien und Ammonium-oxidierende Archaeen.

Eine Übersicht über bislang analysierte Proben ist in Tabelle 1 auf der folgenden Seite gegeben, wobei Proben aus 2021 in dieser Tabelle noch nicht erfasst sind. Diese sind zu einem guten Teil bereits aufgearbeitet, d. h. von den meisten Proben gibt es DNA. Es gibt jedoch noch keine Ergebnisse aus der Sequenzierung. Die bislang separat analysierte Datensätze werden separat dargestellt. Erst nachdem alle Daten vorhanden sind, wird der gesamte Datensatz gemeinsam ausgewertet, da dafür die gesamte Bioinformatik neu gemacht werden muss.

Tabelle 1: Übersicht Probenmaterial für DNA-Analysen (Proben aus 2021 teilweise aufgearbeitet aber noch nicht in dieser Tabelle erfasst)

Jahr	2016	2017	2019	2020
Proben	16	24	276	336
DNA	16	24	276	336
PCR	16	24	276	168
Sequenzierung	16	24	276	128
Orte	Norsingen St. Georgen	Norsingen Schallstadt St. Georgen	Biengen Ebnet Ehrenstetten Hausen Hochdorf Kirchhofen March Norsingen Opfingen Schallstadt St. Georgen Wittental Wolfenweiler Zarten	Biengen Ebnet Ehrenstetten Hausen Hochdorf Kirchhofen Norsingen Opfingen Schallstadt St. Georgen Wittental Wolfenweiler Zarten
Kulturen	Mais?		Grünland Körnermais Kürbis Saatmais Speisekartoffel Winterraps Winterweizen Zwischenfrucht	Grünland Körnermais Wintergerste Winterweizen Sommergerste Zwischenfrucht Grünroggen Saatmais
Düngung	Konventionell Depot	Konventionell Depot	Konventionell Depot Var1-5	Konventionell Depot Var
Probenahme-zeitpunkte	T1	T4	T1 T2 T4	T1 T2 T3 T4

5.1.1 Datensatz 1 (DS1)

DS1: Quantifizierungen von Organismengruppen

Für die Menge an Pilzen im Boden gibt es für die verschiedenen Standorte – Freiburg St. Georgen, Norsingen und Schallstadt – keine statistisch signifikanten Unterschiede, bestenfalls Tendenzen (siehe Abbildung 1, links oben). Das liegt u. a. an relativ hohen Standardabweichungen, wie es für viele biologische Parameter nicht unüblich ist. Ebenso wenig gibt es für die einzelnen Standorte zwischen den Jahren sowie zwischen den Düngevarianten (Konventionell vs. Depot) signifikante Unterschiede.

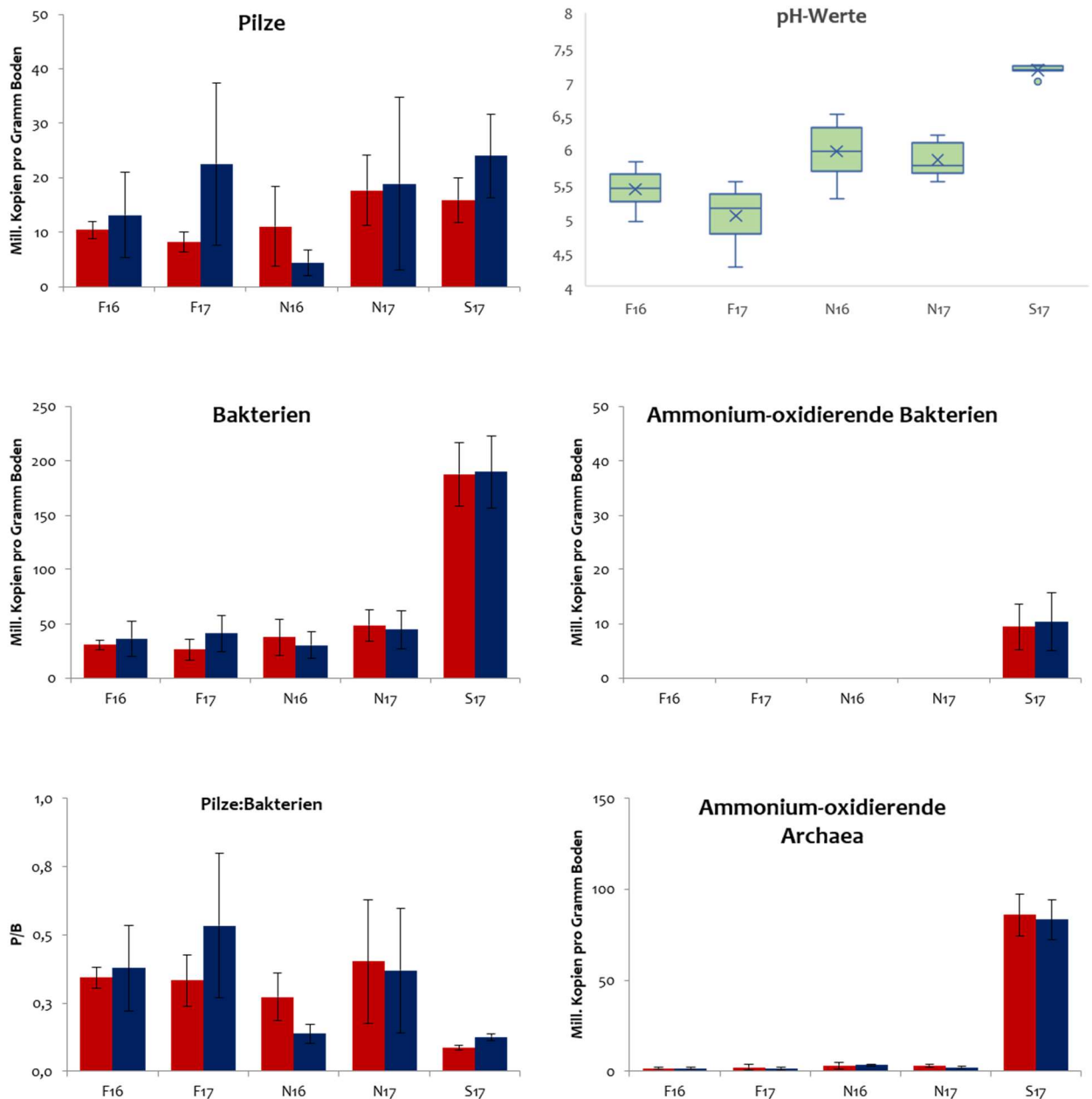


Abbildung 1: Übersicht über verschiedene Bodenparameter: Kopienzahlen für Markergene von Pilzen (links oben), Bakterien (links Mitte), Ammonium-oxidierenden Bakterien (AOB, rechts Mitte), Ammonium-oxidierenden Archaeen (rechts unten) sowie dem Verhältnis von Pilzen zu Bakterien (links unten) sowie dem Boden pH-Werte (gemessen in CaCl₂; rechts oben). Zu den Abkürzungen siehe obenstehende Tabelle; rote Balken konventionelle Düngung; blaue Balken Depotdüngung.

Bei der Menge an Bakterien unterscheidet sich der Standort Schallstadt deutlich von den anderen Standorten durch eine ca. vierfach höhere Menge an Bakterien (siehe Abbildung 1, links Mitte). Dementsprechend liegt auch das Verhältnis Pilze zu Bakterien in Schallstadt deutlich niedriger als in den anderen Proben. Der Grund für diesen Unterschied liegt vermutlich im deutlich höheren pH-Wert in Schallstadt ($\text{pH} > 7$) als in den anderen Böden ($\text{pH} < 6,5$). Dieser Effekt wurde auf vielen Böden oftmals beobachtet. Für die anderen Parameter (Jahr, Düngung) gibt es keine deutlichen Unterschiede in der Menge der Bakterien.

Die Menge an Ammonium-oxidierenden Bakterien (AOB) und Archaeen (AOA) folgt einem ähnlichen Trend wie die Bakterien allgemein, der Effekt ist jedoch für den Standort Schallstadt sehr viel deutlicher ausgeprägt (siehe Abbildung 1, rechts Mitte und unten). AOB lagen in allen anderen Böden unter der Nachweisgrenze.

DS1: Die Gemeinschaften bodenbürtiger Pilze

Aus den über die Hochdurchsatzsequenzierung erhaltenen Daten lässt sich die Zusammensetzung der Pilzgemeinschaften in den Ackerböden ableiten. Da sich die beiden Düngevarianten (Depot vs. Konventionell) in ihren Pilzgemeinschaften nicht stark voneinander unterscheiden (siehe weiter unten) wurden die Daten für aus beiden Varianten für die folgenden Analysen zusammengenommen.

Die Pilze in den Proben aus Schallstadt (S17) haben? eine höhere Biodiversität als die Pilzgemeinschaften in den anderen Proben (siehe Abbildung 2). Das kann u. U. am höheren pH-Wert der Böden aus Schallstadt liegen (siehe *Abbildung 1*). Eine höhere Biodiversität bedeutet, dass mehr verschiedene Pilze in den Böden zu finden sind, und dass nicht einige wenige Arten besonders dominant sind.

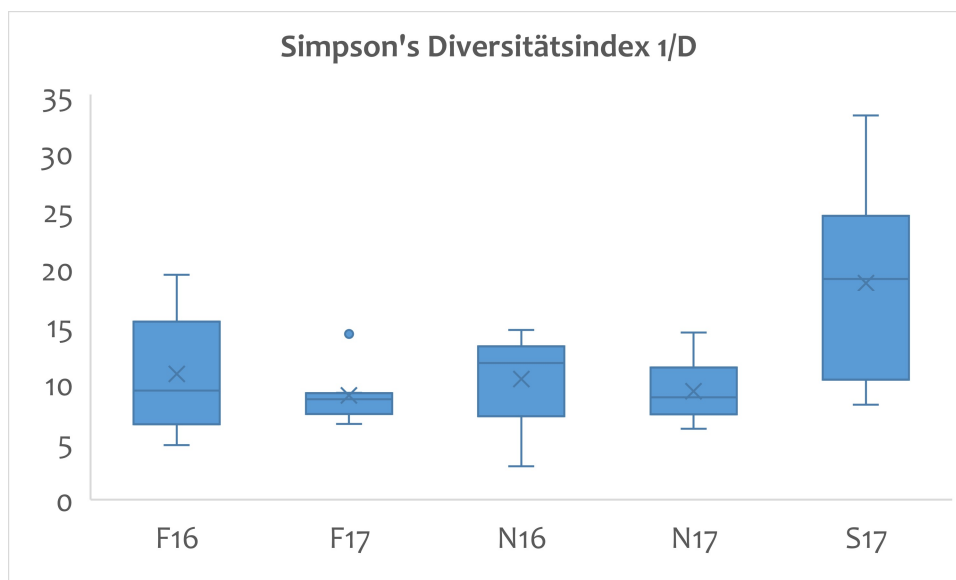


Abbildung 2: Biodiversität der Pilze in den Bodenproben. Zu den Abkürzungen siehe obenstehende Tabelle. In jedem Boxplot sind acht Datenpunkte enthalten.

In weiterer Folge wurden die Pilze über die taxonomische Zuordnung nach unterschiedlichen Lebensweisen kategorisiert (siehe Abbildung 3; vgl. auch dazu Deltedesco et al. 2020). In allen Proben überwiegen die saprotrophen Pilze, d. h. Pilze, die sich von abgestorbenem Pflanzenmaterial ernähren, und somit einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung der Nährstoffe

in den Böden leisten. Nur ein sehr kleiner Teil der Pilze lebt symbiotisch. In Ackerböden handelt es sich hierbei um die sogenannten arbuskulären Mykorrhizapilze aus dem Phylum der Glomeromycota. Diese Pilze können mit Wurzeln vieler Kulturpflanzen Symbiosen eingehen, wobei die Pilze Nährstoffe wie Phosphat und Stickstoff aus dem Boden aufnehmen, und an die Pflanze weitergeben. Im Gegenzug erhalten die Pilze Kohlenstoff, der über die Photosynthese in Kohlehydrate eingebaut wurde. Diese geringen Mengen an arbuskulären Mykorrhizapilzen sind nicht unüblich für Untersuchungen, in denen die Gesamtheit der Pilze nachgewiesen wird. Ein deutlicher Prozentsatz der Pilze – bis zu fast 40 – ist schließlich potenziell pflanzenpathogen. Dazu gehören viele bekannte Schadpilze wie *Fusarium* und *Rhizoctonia*, wobei nicht alle Arten und Stämme dieser Pilze für alle Kulturen pathogen sind. Ob sich Krankheiten entwickeln, hängt immer auch von weiteren Faktoren ab. Auffallend ist, dass in Freiburg St. Georgen und in Norsingen der Anteil der pathogenen Pilze in 2016 geringer war als im darauffolgenden Jahr 2017. Das liegt vermutlich an geänderten Wetterbedingungen. Schlussendlich konnte ein kleiner Teil der Pilze nicht kategorisiert werden, da aufgrund der Sequenzdaten keine eindeutige Zuordnung zu einer Gattung möglich war.

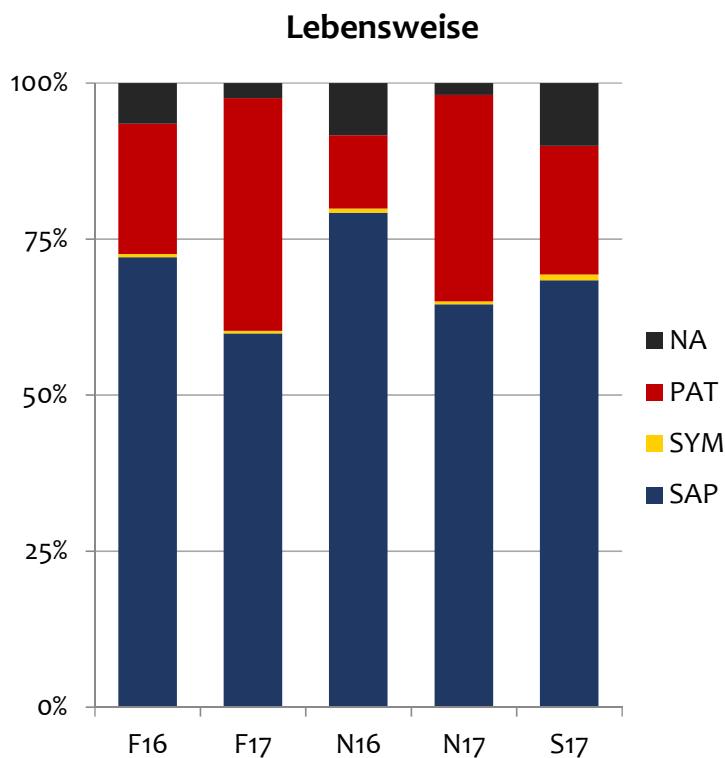


Abbildung 3: Lebensweisen der in den Bodenproben gefundenen Pilze. SAP, saprotrophe Pilze; SYM, symbiotische Pilze; PAT, potenziell pflanzenpathogene Pilze. Jeder Graph stellt den Mittelwert aus acht Wiederholungen dar.

Bei der phylogenetischen Kategorisierung (Abbildung 4) dominieren in fast allen Proben die Ascomycota, wie das für Ackerböden durchaus typisch ist (Klaubauf et al., 2010; Deltedesco et al., 2020; Gorfer et al., 2022). In den Böden aus Freiburg-St. Georgen aus 2016 sind jedoch mehr Basidiomycota als Ascomycota zu finden. Dafür sind u.a. Pilze aus der Gattung *Sistotrema* verantwortlich. Dabei handelt es sich um Weißfäulepilze, die abgestorbenes Pflanzenmaterial relativ oft schnell besiedeln können. Eventuell ist die vergleichsweise große Menge an Basidiomycota daher auf Pflanzenrückstände im Boden zurückzuführen.

Die Gemeinschaften der bodenbürtigen Pilze unterscheiden sich anhand des Standortes, so hat Norsingen eine andere Gemeinschaft als Schallstadt und Freiburg St. Georgen (siehe

Abbildung 5). Die unterschiedlichen Düngevarianten (Abbildung 5 links) bzw. die unterschiedlichen Probenahmejahre (Abbildung 5 rechts) zeigen keine deutlichen Unterschiede.

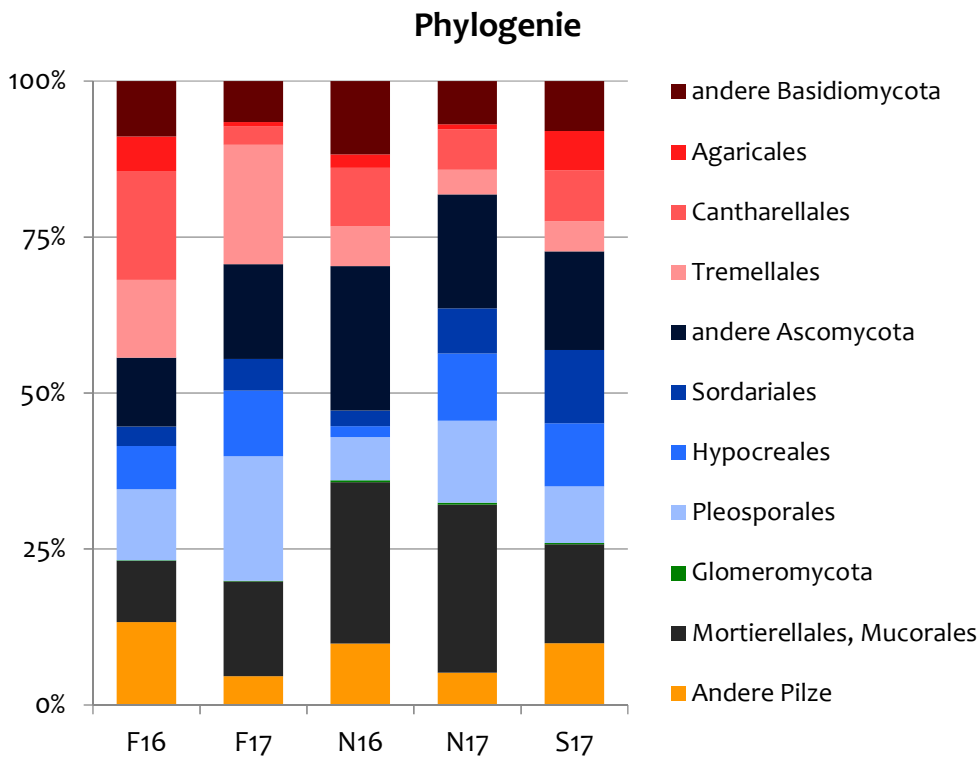


Abbildung 4: Phylogenetische Zuordnung der in den Bodenproben gefundenen Pilze. Rot, Basidiomycota; Blau, Ascomycota; grün, Glomeromycota (= arbuskuläre Mykorrhizapilze); Grau, Mucoromycota und Mortierellomycota; Gelb, alle anderen Pilze.

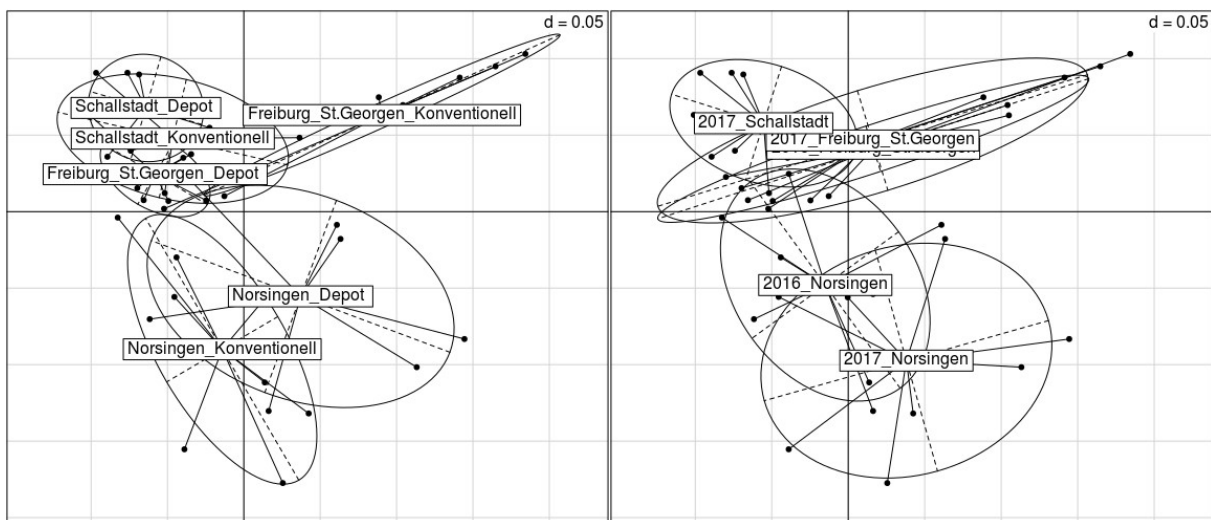


Abbildung 5: Principal Coordinate Analysis der Pilzgemeinschaften in den Bodenproben. Jeder Punkt steht für eine Probe, wobei Proben von der gleichen Probenahmefläche über den gemeinsamen Mittelpunkt verbunden sind, und von einer Ellipse eingefasst sind. Der Abstand zwischen den Punkten ist ein Maß für den Unterschied zwischen den Gemeinschaften. Nahe beieinanderliegende Punkte haben sehr ähnliche Gemeinschaften, weit voneinander entfernte Punkte haben sehr unterschiedliche. Zwischen den Düngevarianten sind keine deutlich ausgeprägten Unterschiede zu erkennen. Der Standort Norsingen unterscheidet sich jedoch deutlich von den beiden anderen Standorten.

5.1.2: Datensatz 2 (DS2)

DS2: ERGEBNISSE GEMEINSCHAFTEN BODENBÜRTIGE PILZE

Der für diesen Bericht analysierte Datensatz enthält Proben von den Standorten Ebnet, Kirchhofen, March, Norsingen, Schallstadt und St. Georgen. Es wurden die Probenahmezeitpunkte T1 (vor der Aussaat der Hauptkultur) und T2 (vegetatives Stadium der Hauptkultur) untersucht. Die Hauptkultur war in den meisten Fällen Körnermais, nur ein Teil der Flächen in Ebnet wurde als Grünland bewirtschaftet. Des Weiteren wurden auf einigen Flächen die Depotdüngung mit konventioneller Düngung verglichen. Von weiteren Bearbeitungsvarianten wie Kompostteeapplikationen, Verwendung von Nawaro Gärdünger, Flächenrotte usw. sind noch nicht alle Details bekannt.

Aus den über die Hochdurchsatzsequenzierung erhaltenen Daten lässt sich die Zusammensetzung der Pilzgemeinschaften in den Ackerböden ableiten. Da sich die verschiedenen Bearbeitungsvarianten (u.a. Depot vs. Konventionell) und auch zwischen den beiden Probenahmezeitpunkten in ihren Pilzgemeinschaften nicht stark voneinander unterscheiden (siehe weiter unten) wurden die Daten aus den unterschiedlichen Varianten für die meisten Analysen zusammengenommen, und nur nach Standort gruppiert.

DS2: Die Biodiversität der Bodenpilze

Aus den Daten der Hochdurchsatzsequenzierung kann die Biodiversität der Bodenpilze berechnet werden. Bei hoher Biodiversität gibt es viele verschiedene Arten, und die Gemeinschaft wird nicht von sehr wenigen sehr häufigen Arten dominiert. Bei niedriger Biodiversität gibt es dahingegen sehr wenige sehr dominante Arten.

Im Großteil der Proben wurden 300-400 verschiedene Arten gefunden ohne deutlich ausgeprägten Unterschieden zwischen Standorten, Probenahmezeitpunkten oder Behandlungsvarianten.

Die Daten wurden nach Standorten gruppiert und in die zwei Probenahmezeitpunkte weiter unterteilt (Abbildung 2). Während es aufgrund der großen Streuung keine ausgeprägten Unterschiede zwischen den Standorten gab, war beim Standort Schallstadt eine statistisch signifikante Steigerung der Biodiversität zwischen den beiden Probenahmezeitpunkten zu sehen. Vor der Aussaat (T1) war die Biodiversität deutlich niedriger als während der vegetativen Entwicklung (T2). In St. Georgen war eine ähnliche Tendenz zu beobachten, aber weniger signifikant ausgeprägt.

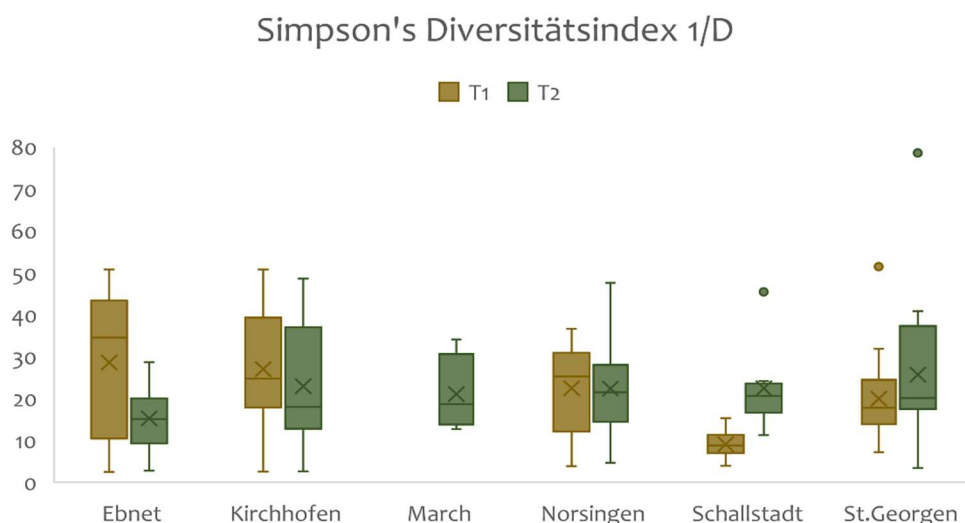


Abbildung 6: Biodiversität der Pilze in den Bodenproben.

DS2: Die Lebensweisen der Bodenpilze

In weiterer Folge wurden über die taxonomische Zuordnung die Pilze nach unterschiedlichen Lebensweisen kategorisiert (siehe Abbildung 3). Die automatisierte taxonomische Klassifizierung wurde manuell nachbearbeitet, um die Zuordnungen zu verbessern.

In allen Proben überwiegen die saprotrophen Pilze, d. h. Pilze, die sich von abgestorbenem Pflanzenmaterial ernähren, und somit einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung der Nährstoffe in den Böden leisten.

Nur ein sehr kleiner Teil der Pilze – im Durchschnitt weniger als 1% – lebt symbiotisch. In Ackerböden handelt es sich hierbei vor allem um die sogenannten arbuskuläre Mykorrhizapilze aus dem Phylum der Glomeromycota. Diese Pilze können mit Wurzeln vieler Kulturpflanzen Symbiosen eingehen, wobei die Pilze Nährstoffe wie Phosphat und Stickstoff aus dem Boden aufnehmen, und an die Pflanze weitergeben. Im Gegenzug erhalten die Pilze Kohlenstoff, der über die Photosynthese in Kohlehydrate eingebaut wurde. Diese geringen Mengen an Arbuskulären Mykorrhizapilzen sind nicht unüblich für Untersuchungen, wo die Gesamtheit der Pilze nachgewiesen wird. In den Proben aus Ebnet Probenahmezeitpunkt T2 konnten interessanterweise auch Ektomykorrhizapilze gefunden werden. Dabei handelt es sich um Pilze, die Symbiosen mit den Wurzeln vieler Baumarten in den Wäldern der gemäßigten und der borealen Zone eingehen. Auch diese Symbiose dient dem Austausch von Nährstoffen zwischen dem Pilz und der Pflanze. In einzelnen Proben konnten Pilze aus den Gattungen *Inocybe* (Risspilze), *Russula* (Täublinge), *Tomentella* und *Hymenogaster* (Erdnuss). Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich vor allem im Grünland, die häufigste Bewirtschaftungsform auf den Flächen in Ebnet, Jungbäume entwickeln, die über Sporenflug schnell von Ektomykorrhizapilzen infiziert werden können. Alle Klassifizierungen als Ektomykorrhizapilze konnten manuell bestätigt werden.

Ein deutlicher Prozentsatz der Pilze – im Durchschnitt zwischen 10 und 15 % – ist schließlich potenziell pflanzenpathogen. Dazu gehören viele bekannte Schadpilze wie *Fusarium* und *Rhizoctonia*, wobei nicht alle Arten und Stämme dieser Pilze für alle Kulturen pathogen sind. Ob sich Krankheiten entwickeln, hängt immer auch von weiteren Faktoren ab.

Schlussendlich konnte ein beträchtlicher Teil der Pilze nicht kategorisiert werden (NA – not assigned), da aufgrund der Sequenzdaten trotz manueller Nachbearbeitung keine eindeutige Zuordnung zu einer Gattung möglich war. Zu einem gewissen Teil handelt es sich hierbei vermutlich um Arten, die noch nicht beschrieben wurden, bzw. die bislang nicht kultiviert werden konnten.

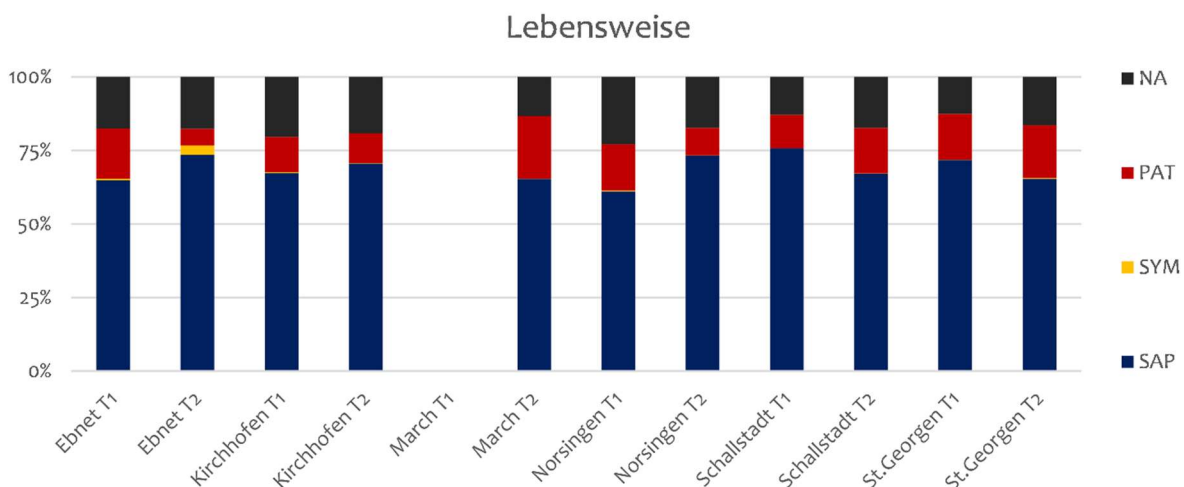


Abbildung 7: Lebensweisen der in den Bodenproben gefundenen Pilze. SAP, saprotrophe Pilze; SYM, symbiotische Pilze; PAT, potenziell pflanzenpathogene Pilze; NA, not assigned – eine Kategorisierung war nicht möglich. Jeder Graph stellt den Mittelwert dar.

DS2: Die Phylogenie der Bodenpilze

Neben der Klassifizierung der Pilze nach ihren Lebensweisen, ist auch eine Klassifizierung nach der Phylogenie bzw. Taxonomie möglich. Die Pilze werden in Gattungen, Familien, Ordnungen, Klassen und Abteilungen eingeteilt. In untenstehender Abbildung 4 sind die Pilze von den verschiedenen Standorten nach Ordnungen zusammengefasst, und gemäß ihrer Zugehörigkeit zu den verschiedenen Abteilungen unterschiedlich eingefärbt. Die Ascomycota sind in unterschiedlichen Blautönen dargestellt, die Basidiomycota in Rottönen, Mortierellomycota in etwas dunklerem Grau und alle übrigen Pilze zusammengefasst in hellerem Grau. Nur Ordnungen mit relativen Häufigkeiten größer 1 % sind separat dargestellt. Alle anderen Ordnungen sind in den höhergeordneten Abteilungen zusammengefasst (Ascomycota other, Basidiomycota other, Fungi other).

Die dominante Abteilung ist auf allen Flächen die Ascomycota, gefolgt von den Basidiomycota. Dies ist typisch für Ackerböden und Grünlandflächen, während in Wäldern üblicherweise die Basidiomycota dominieren (Mayer et al., 2022). Die dominante Ordnung auf den meisten Flächen sind die Sordariales, wo viele Pilze dazugehören, die sehr gut Zellulose und andere Zellwandbestandteile von Pflanzenmaterial abbauen können. Ein Teil dieser Pilze besiedelt den Kot von Pflanzenfressern, der oftmals noch beträchtliche Mengen an Zellulose enthält. Als weitere häufige Ordnung sind die Agaricales oder Champignonartigen zu nennen, die neben den Polysacchariden Zellulose und Xylan auch das komplexe Polymer Lignin abbauen können. Zu guter Letzt sind auch noch viele Mortierellales zu finden, die auf leicht abbaubares pflanzliches Material spezialisiert sind.

Bei der Verteilung der verschiedenen Ordnungen ist bereits sichtbar, dass sich vor allem die Proben von Ebnet von den anderen Standorten unterscheiden.

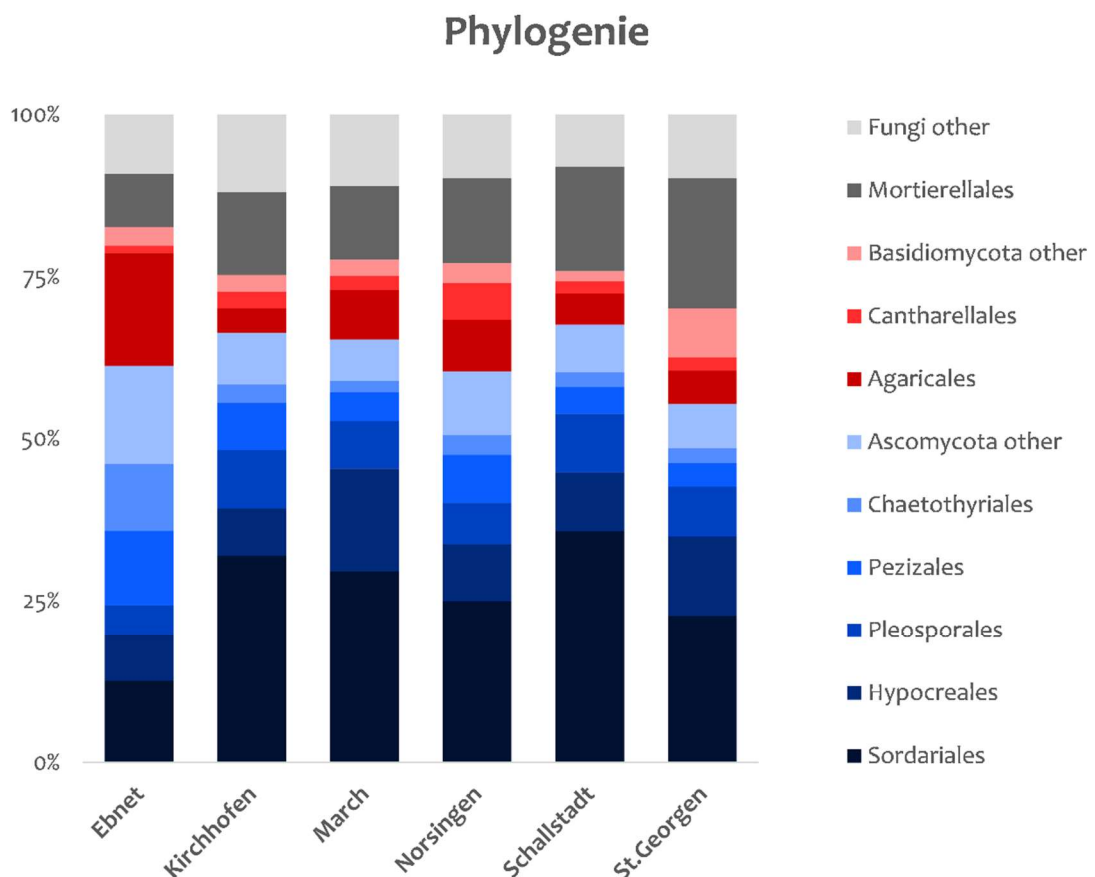


Abbildung 8: Phylogenetische Zuordnung der in den Bodenproben gefundenen Pilze. Blau, Ascomycota; Rot, Basidiomycota; Grau, Mucoromycota und Mortierellomycota; Hellgrau, alle anderen Pilze.

DS2: Die Gemeinschaft der Bodenpilze

Komplexe Gemeinschaften von Lebewesen können in der Ökologie mit verschiedenen Methoden verglichen werden. Wenn zwei Gemeinschaften sehr viele gleiche Arten in sehr ähnlichen Häufigkeiten haben, sind diese zwei Gemeinschaften sehr ähnlich. Wenn sich die relativen Häufigkeiten und die Arten stark unterscheiden, sind die Gemeinschaften sehr unähnlich. Dieser Zusammenhang kann graphisch dargestellt werden, wobei die Pilzgemeinschaft jeder Probe als Punkt auf einer Fläche dargestellt wird. Wenn zwei Punkte nahe nebeneinander liegen, sind sich diese beiden Proben sehr ähnlich, wenn sie weit auseinander liegen, sind die Proben sehr unähnlich. Diese Art der Darstellung wird Hauptkoordinatenanalyse genannt, und es ist sehr schnell ersichtlich, wo die Unterschiede und wo die Ähnlichkeiten liegen.

In untenstehender Abbildung 5 sind alle Proben aus den beiden Probenahmezeitpunkten T1 und T2 gezeigt. Es ist eine deutliche Trennung der Ebnet-Flächen von allen anderen Flächen zu erkennen. Eine Unterscheidung der Probenahmezeitpunkte oder der Behandlungsvarianten (nicht separat gezeigt) war nicht möglich. In Ebnet sind auch Flächen mit Maisanbau (RL Nr. 91 und 92) nicht von den Grünlandflächen (Freiburg Ebnet) zu unterscheiden.

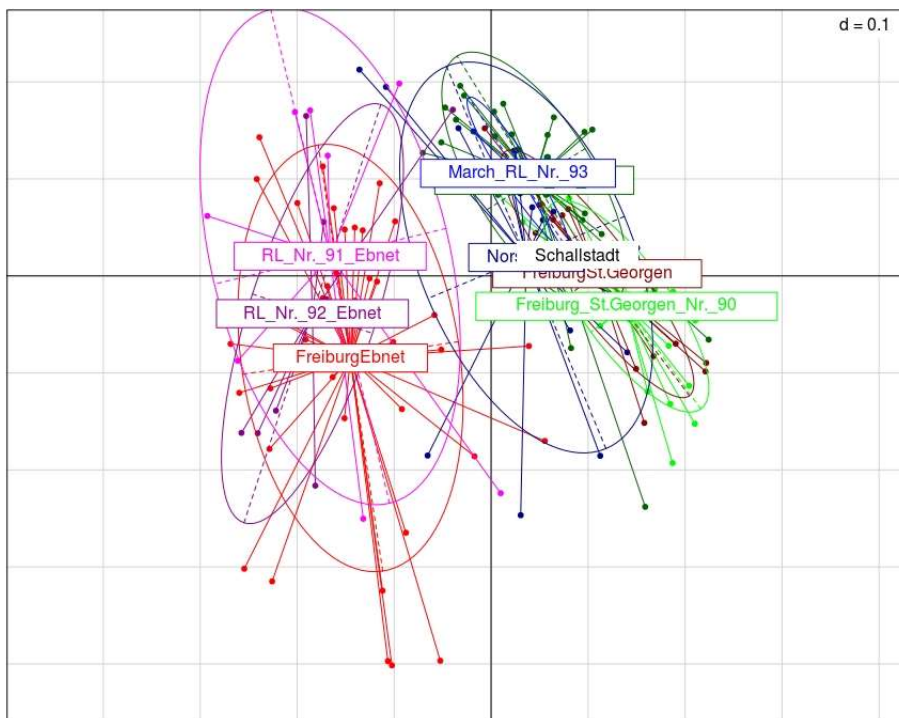


Abbildung 9: Hauptkoordinatenanalyse der Pilzgemeinschaften in den Bodenproben. Jeder Punkt steht für eine Probe, wobei Proben von der gleichen Probenahmefläche über den gemeinsamen Mittelpunkt verbunden sind, und von einer Ellipse eingefasst sind. Der Abstand zwischen den Punkten ist ein Maß für den Unterschied zwischen den Gemeinschaften. Nahe beieinanderliegende Punkte haben sehr ähnliche Gemeinschaften, weit voneinander entfernt liegende sehr unterschiedliche. Zwischen den Düngevarianten sind keine deutlich ausgeprägten Unterschiede zu erkennen. Der Standort Norsingen unterscheidet sich jedoch deutlich von den beiden anderen Standorten.

DS2: Der Einfluss von Bodenfaktoren auf die Gemeinschaft der Bodenpilze

Die Böden der untersuchten landwirtschaftlichen Flächen unterscheiden sich u.a. in ihren pH-Werten (gemessen in CaCl_2). So liegen die pH-Werte an den Standorten Ebnet und Norsingen

zumeist unter 6, in St. Georgen zwischen 5 und 6,5, in Kirchhofen und March zwischen 6 und 7 und in Schallstadt über 7 (Abbildung 10).

Für einige Pilze konnte ein Zusammenhang zwischen dem pH-Wert im Boden und der relativen Häufigkeit gefunden werden. So bevorzugt *Lasiosphaeria* aff. *Hispidia* OTU_1 Böden mit pH-Werten über 5 (Abbildung 11). Dementsprechend wurden an den Standorten Kirchhofen und Schallstadt einige Proben gefunden, wo deutlich über 10 % aller gefundenen Pilze dieser Art zugeordnet werden. In vielen Proben ist das somit die dominante Art. *L. hispidia* wurde als Totholz-bewohnender Pilz beschrieben, wobei Kleinholz in Kontakt mit dem Boden bevorzugt wird (Peršoh and Borken, 2017). Vermutlich wird nicht nur das Totholz von Bäumen besiedelt, sondern auch verholzte Teile in der Streu anderer Pflanzen. Während die Streu reich an Kohlenstoff und Kalium ist, kommen im Boden die restlichen Nährstoffe wie z. B. Stickstoff und Phosphor in größeren Mengen vor. Deshalb verläuft der Abbau bei Streu, die in den Boden eingearbeitet wird, besonders schnell. Da *L. hispidia* zu den Ascomycota gehört, werden nur die Polysaccharide wie Zellulose, Xylane usw. abgebaut, nicht aber das Lignin, das nur durch Weißfäulepilze aus der Abteilung der Basidiomycota abgebaut werden kann.

Ein weiterer Pilz aus dem Datensatz der Proben aus dem Breisgau bevorzugt eher pH-Werte unter 5,5, nämlich *Linnemannia elongata* (Abbildung 12). Dieser Pilz wurde bis vor kurzem *Mortierella elongata* genannt, doch konnten genauere phylogenetische Untersuchungen zeigen, dass diese Art zwar zur Familie Mortierellaceae gehört, aber sich doch von anderen Arten der Gattung *Mortierella* unterscheidet (Vandepol et al., 2020). Viele Pilze innerhalb der Mortierellomycota bevorzugen leicht verwertbare Kohlenstoffquellen, und sind sogenannte r-Strategen, die Substrate sehr schnell besiedeln können, aber nicht sehr kompetitiv sind. Eine ähnliche Abhängigkeit der relativen Häufigkeit von *Linnemannia elongata* vom pH-Wert des Bodens konnte in einer Studie zu einem Buchenstandort in den Nördlichen Kalkalpen Österreichs gefunden werden (Gorfer et al., 2021).

Weitere Bodeneigenschaften wie der Humusgehalt und die Textur können die Pilzgemeinschaften ebenfalls beeinflussen, und somit die unterschiedliche Verteilung der Pilze in den untersuchten Proben erklären. Für die Faktoren Hauptkultur und Düngung konnten in dem hier untersuchten Datensatz jedoch keine starken Effekte auf die Pilzgemeinschaften im Boden gefunden werden

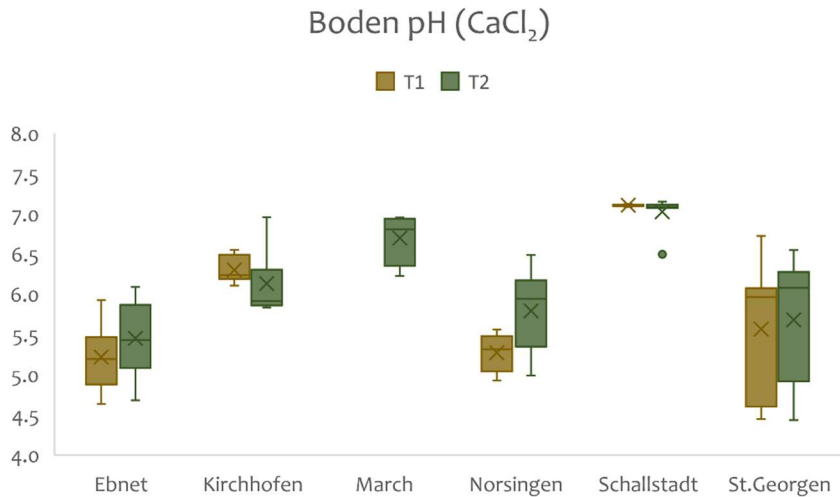


Abbildung 10: pH Werte der Bodenproben (gemessen in CaCl₂) an den verschiedenen Standorten und zu den beiden Probenahmeterminen T1 und T2[^]

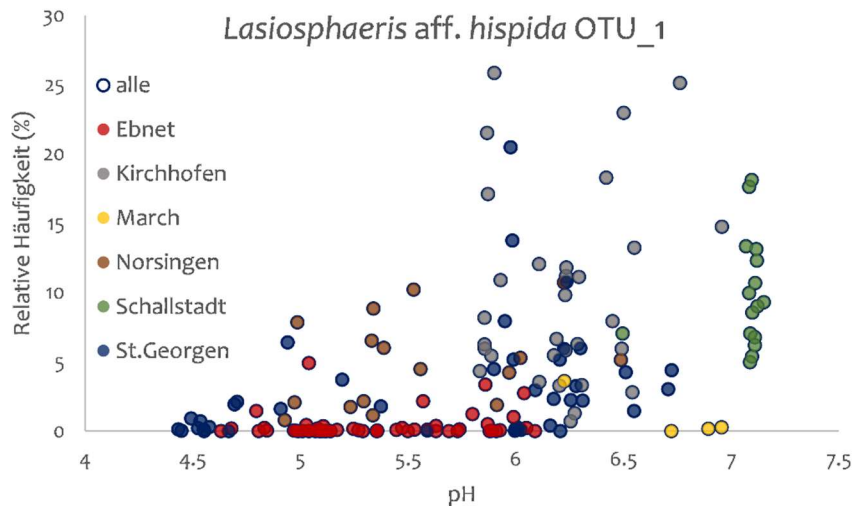


Abbildung 11: Relative Häufigkeit von *Lasiosphaeris aff. hispida* OTU_1 in Abhängigkeit vom pH-Wert.

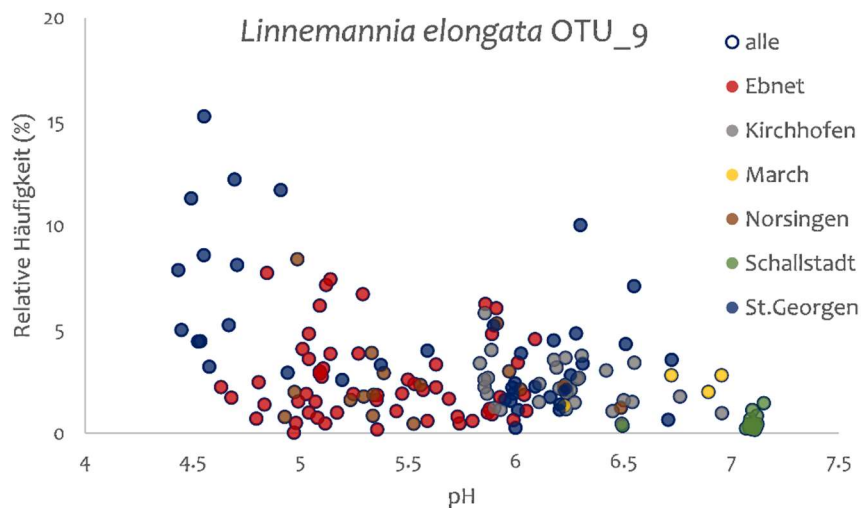


Abbildung 12: Relative Häufigkeit von *Linnemannia elongata* OTU_9 in Abhängigkeit vom pH-Wert.

5.1.3: Datensatz 3 (DS3)

DS3: ERGEBNISSE GEMEINSCHAFTEN BODENBÜRTIGE PILZE

Der für diesen Bericht analysierte Datensatz enthält Proben von den Standorten Biengen, Ebnet, Ehrenstetten, Hausen, Hochdorf, Kirchhofen, Norsingen, Opfingen, Schallstadt, St. Georgen, Wittental, Wolfenweiler und Zarten von den Probenahmezeitpunkten T1 (vor der Aussaat der Hauptkultur), T2 (vegetatives Stadium), T3 (generatives Stadium) sowie T4 (nach der Ernte der Hauptkultur). Auf den Feldern wurden unterschiedliche Hauptkulturen angepflanzt: Speisekartoffel, Winterweizen, Winterraps, Körnermais, Kürbis sowie Wintergerste. Auf einem Teil der Flächen wurde Depotdüngung mit Konventioneller Düngung verglichen

Die Sequenzdaten aus der Hochdurchsatzsequenzierung werden nach verschiedenen Stufen von Qualitätsfiltern (Fehlerrate, Länge, Artefakte usw.) zu sogenannten operational taxonomic units oder kurz OTUs zusammengefasst. Diese Gruppen von beinahe identen Sequenzen entsprechen in etwa einer Art in der klassischen Taxonomie. In vielen Gruppen ist jedoch eine eindeutige Unterscheidung aller Arten mithilfe des phylogenetischen Markers, der für die Hochdurchsatzsequenzierung verwendet wird, nicht immer möglich. OTUs entsprechen daher oft einer Gruppe nahe verwandter Arten. Die taxonomische Zuordnung der OTUs erfolgt automatisch durch den Abgleich mit geeigneten Sequenzdatenbanken. Oftmals muss die automatische Annotierung jedoch manuell nachbearbeitet werden, um eine bessere Datenlage zu bekommen. Dieser sehr aufwendige Prozess wurde für die hier gezeigten Daten noch nicht durchgeführt. Aus den über die Hochdurchsatzsequenzierung erhaltenen Daten lässt sich die Zusammensetzung der Pilzgemeinschaften in den Ackerböden ableiten.

DS3 Die Biodiversität der Bodenpilze

Aus den Daten der Hochdurchsatzsequenzierung kann die Biodiversität der Bodenpilze berechnet werden. Bei hoher Biodiversität gibt es viele verschiedene Arten, und die Gemeinschaft wird nicht von sehr wenigen sehr häufigen Arten dominiert. Bei niedriger Biodiversität gibt es dahingegen sehr wenige sehr dominante Arten.

Für alle Proben wurde Simpson- Diversitätsindex $1/D$ berechnet. Die Daten wurden nach Standorten gruppiert wobei die unterschiedlichen Probenahmezeitpunkte zusammengefasst wurden (Abbildung 2). Hier fällt die geringere Diversität am Standort Wittental verglichen mit den anderen Orten auf. Die Unterschiede zwischen Wittental und St. Georgen sind statistisch signifikant (ANOVA und Bonferroni-Holm Posthoc Test), zwischen allen anderen Orten aufgrund der hohen Schwankungsbreite jedoch nicht. Keine statistisch signifikanten Unterschiede zeigten sich zwischen unterschiedlichen Kulturen, unterschiedlichen Probenahmezeitpunkten oder unterschiedlichen Behandlungsvarianten.

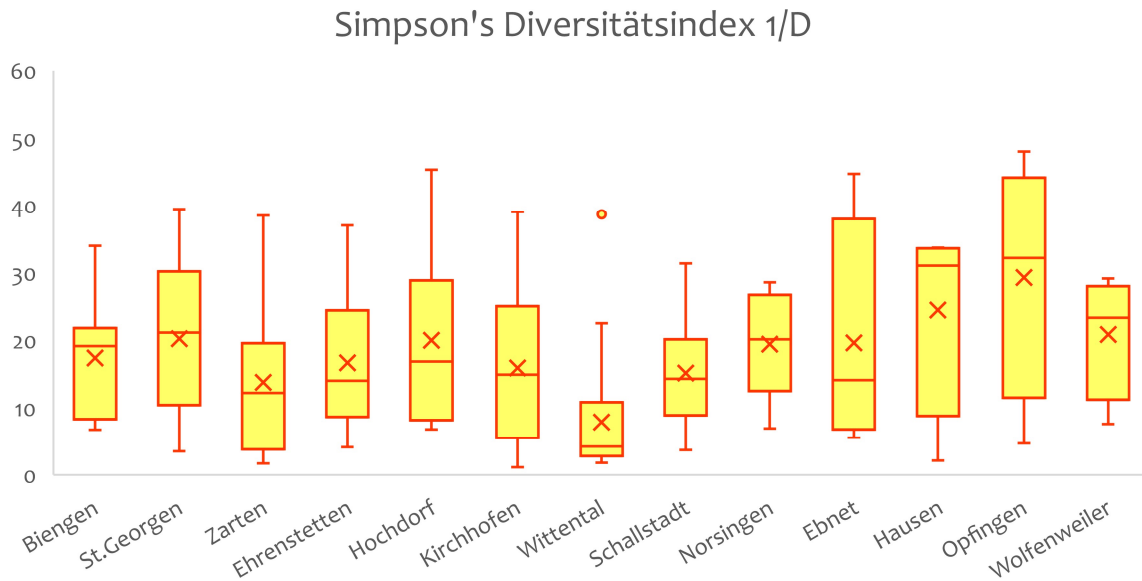


Abbildung 13: Biodiversität der Pilze in den Bodenproben.

DS3: Die Lebensweisen der Bodenpilze

In weiterer Folge wurden über die taxonomische Zuordnung die Pilze nach unterschiedlichen Lebensweisen kategorisiert (siehe Abbildung 3; vgl. dazu auch Deltedesco et al. 2020). Vorerst wurde noch keine manuelle Nachbearbeitung der taxonomischen Klassifizierung vorgenommen, weswegen derzeit in manchen Proben noch ein hoher Anteil an Pilzen gefunden wurde, denen vorerst noch keine eindeutige Lebensweise zugeordnet werden konnte. Der überwiegende Teil der Taxa konnte jedoch gut klassifiziert werden.

An allen Standorten überwiegen die saprotrophen Pilze, d.h. Pilze, die sich von abgestorbenem Pflanzenmaterial ernähren, und somit einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung der Nährstoffe in den Böden leisten. Der relative Anteil der saprotrophen Pilze liegt bei den Mittelwerten aus den Standorten und Probenahmezeitpunkten relativ unverändert bei ca. 70 – 80 %.

Nur ein sehr kleiner Teil der Pilze – meist weniger als 1 % – lebt symbiotisch. In Ackerböden handelt es sich hierbei vor allem um die sogenannten arbuskulären Mykorrhizapilze aus dem Phylum der Glomeromycota. Diese Pilze können mit Wurzeln vieler Kulturpflanzen Symbiosen eingehen, wobei die Pilze Nährstoffe wie Phosphat und Stickstoff aus dem Boden aufnehmen, und an die Pflanze weitergeben. Im Gegenzug erhalten die Pilze Kohlenstoff, der über die Photosynthese in Kohlehydrate eingebaut wurde. Diese geringen Mengen an arbuskulären Mykorrhizapilzen sind nicht unüblich für Untersuchungen, wo die Gesamtheit der Pilze nachgewiesen wird.

Interessanterweise wurden an einigen Probenahmestellen auch teilweise sehr hohe relative Abundanzen von Ektomykorrhizapilzen gefunden. Dabei handelt es sich um Pilze, die Symbiosen mit den Wurzeln vieler Baumarten in den Wäldern der gemäßigten und der borealen Zone eingehen. Auch diese Symbiose dient dem Austausch von Nährstoffen zwischen dem Pilz und der Pflanze. Die häufigsten Gattungen waren *Elaphomyces* (Hirschrüssel), *Inocybe* (Risspilze), und *Clavulina* (Keulenpilze) sowie Vertreter aus der Familie Thelephoraceae (Warzenpilzverwandte). Vereinzelt wurde auch *Amanita rubescebs* (Perlpilze) und *Imleria badia* (Maronenröhrling) gefunden. Besonders auffällig war das häufige Vorkommen von Ektomykorrhizapilzen in allen vier Wiederholungen der Proben von RL Nr. 102 – Kirchhofen zum Zeitpunkt T4, also nach der Ernte der Hauptkultur Winterweizen im Juli 2020, wobei jedoch in den vier Proben jeweils unterschiedliche Ektomykorrhizapilze

gefunden wurden. Nach der Ernte der Hauptkultur Winterraps im November 2019 war das nicht der Fall. Des Weiteren war *Inocybe ochroalba* an fast allen Standorten im Jahr 2019 zum Probenahmezeitpunkt T4 zu finden, wenn auch meist mit geringen relativen Häufigkeiten unter 0,5 %.

Ein deutlicher Prozentsatz der Pilze – im Durchschnitt zwischen 10 und 15 % – ist schließlich potenziell pflanzenpathogen. Es wurden sehr unterschiedliche Schaderreger aus verschiedenen Gattungen wie *Plectosphaerella*, *Colletotrichum*, *Gibellulopsis*, *Fusicolla*, *Plectosphaerella*, *Didymella*, *Periconia*, *Alternaria* und *Fusarium* gefunden. Darunter sind einige Pathogene, die bevorzugt oberirdische Pflanzenteile befallen, und die nach der Ernte mit den Pflanzenresten in den Boden miteingearbeitet wurden.

Schlussendlich konnte ein beträchtlicher Teil der Pilze nicht kategorisiert werden (NA – not assigned), da aufgrund der Sequenzdaten keine eindeutige Zuordnung zu einer Gattung möglich war. Zu einem gewissen Teil handelt es sich hierbei vermutlich um Arten, die noch nicht beschrieben wurden, bzw. die bislang nicht kultiviert werden konnten.

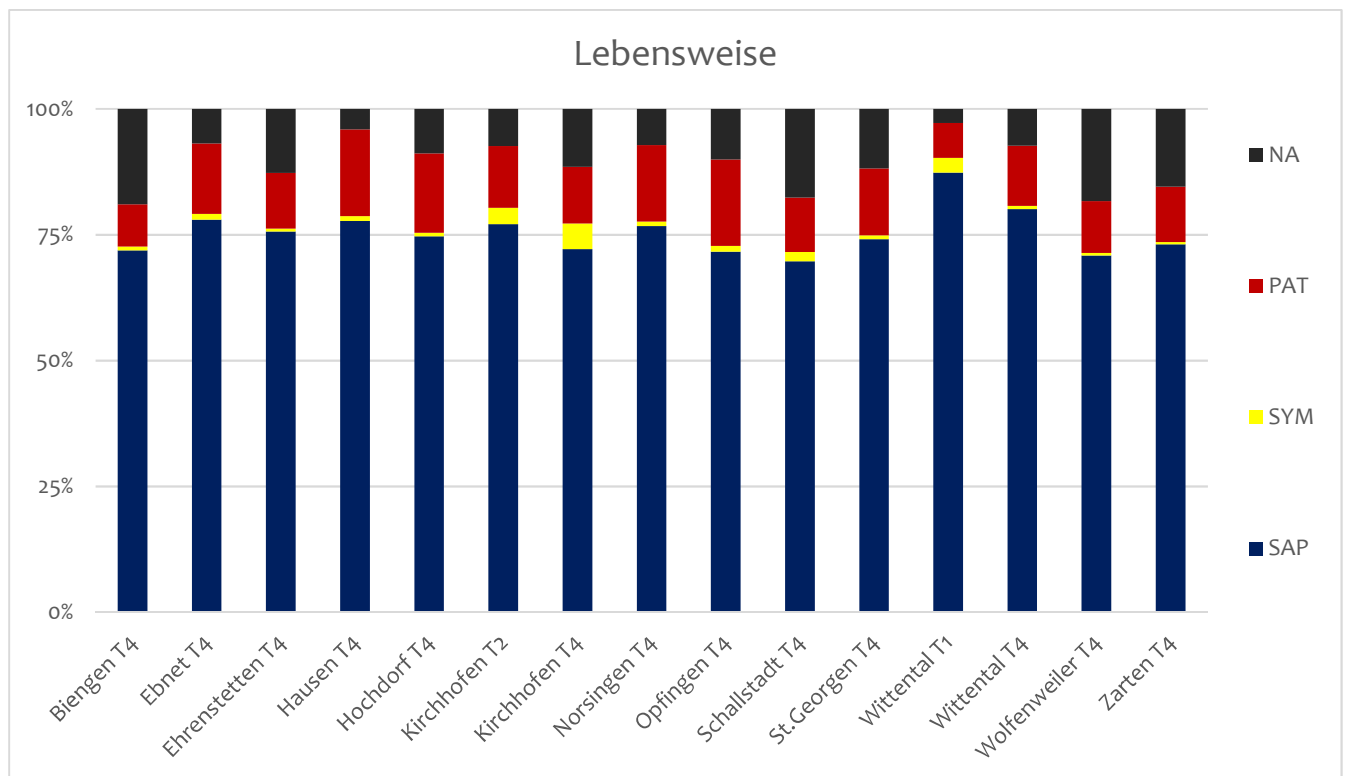


Abbildung 14: Lebensweisen der in den Bodenproben gefundenen Pilze. SAP, saprotrophe Pilze; SYM, symbiotische Pilze; PAT, potenziell pflanzenpathogene Pilze; NA, not assigned – eine Kategorisierung war nicht möglich. Jeder Graph stellt den Mittelwert dar.

DS3: Die Phylogenie der Bodenpilze

Neben der Klassifizierung der Pilze nach ihren Lebensweisen, ist auch eine Klassifizierung nach der Phylogenie bzw. Taxonomie möglich. Die Pilze werden in Gattungen, Familien, Ordnungen, Klassen und Abteilungen eingeteilt. In untenstehender Abbildung 4 sind die Pilze von den verschiedenen Standorten und Probenahmezeitpunkten nach Ordnungen zusammengefasst, und gemäß ihrer Zugehörigkeit zu den verschiedenen Abteilungen

unterschiedlich eingefärbt. Die Ascomycota sind in unterschiedlichen Blautönen dargestellt, die Basidiomycota in Rottönen, Mortierellomycota in etwas hellerem Grau und alle übrigen Pilze zusammengefasst in dunklem Grau. Nur Ordnungen mit relativen Häufigkeiten größer 5 % sind separat dargestellt. Alle anderen Ordnungen sind in den höhergeordneten Abteilungen zusammengefasst (Ascomycota other, Basidiomycota other, Fungi other). Die sehr unterschiedliche Zusammensetzung der Pilzgemeinschaften auf den verschiedenen Standorten ist bereits auf der taxonomischen Ebene von Abteilungen und Ordnungen zu erkennen.

Dominante Abteilungen sind auf fast Flächen die Ascomycota, gefolgt von den Basidiomycota. Dies ist typisch für Ackerböden und Grünlandflächen, während in Wäldern üblicherweise die Basidiomycota dominieren. Die dominante Ordnung auf den meisten Flächen sind die Sordariales, wo viele Pilze dazugehören, die sehr gut Zellulose und andere Zellwandbestandteile von Pflanzenmaterial abbauen können. Ein Teil dieser Pilze besiedelt den Kot von Pflanzenfressern, der oftmals noch beträchtliche Mengen an Zellulose enthält. Des Weiteren sind viele Pilze aus der Ordnung Pezizales, den Becherlingsartigen, zu finden. Darin sind ebenfalls viele saprotrophe Pilze zu finden, und auch hier wieder einige, die oftmals im Kot von Pflanzenfressern zu finden sind. Überdies sind in einigen Proben Pilze aus den Abteilungen Mucoromycota sowie Mortierellomycota dominant. Dazu gehören die Proben aus Ebnet und Wittental, wobei hier zum Zeitpunkt T1 Mortierellomycota dominieren, während zum Zeitpunkt T4 die Mucoromycota stärker vertreten sind. Beide Gruppen von Pilzen können sehr schnell Substrat mit leicht verfügbaren Nährstoffen besiedeln. während komplexe Substrate kaum abgebaut werden.

Phylogenie

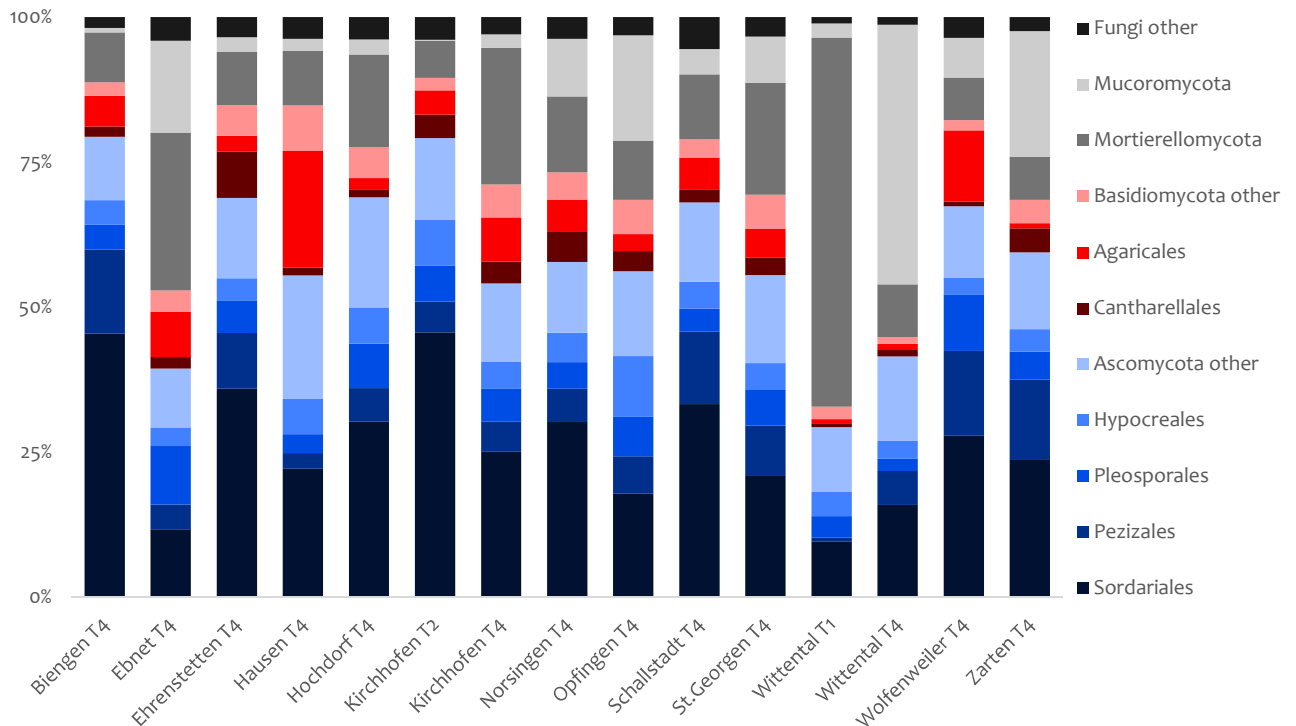


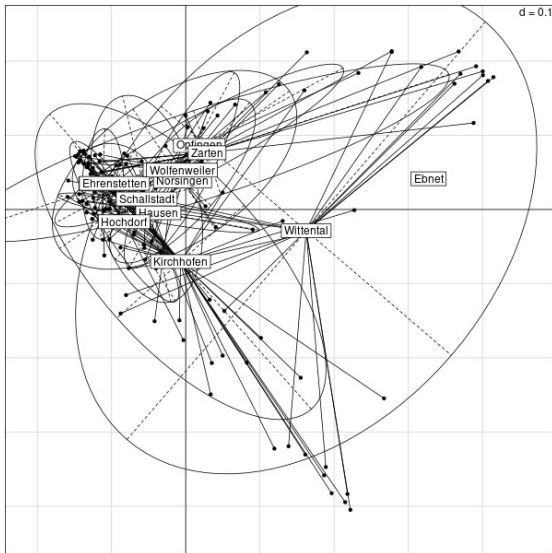
Abbildung 15: Phylogenetische Zuordnung der in den Bodenproben gefundenen Pilze. Blau, Ascomycota; Rot, Basidiomycota; Hellgrau, Mucoromycota und Mortierellomycota; Dunkelgrau, alle anderen Pilze.

DS3: Die Gemeinschaft der Bodenpilze

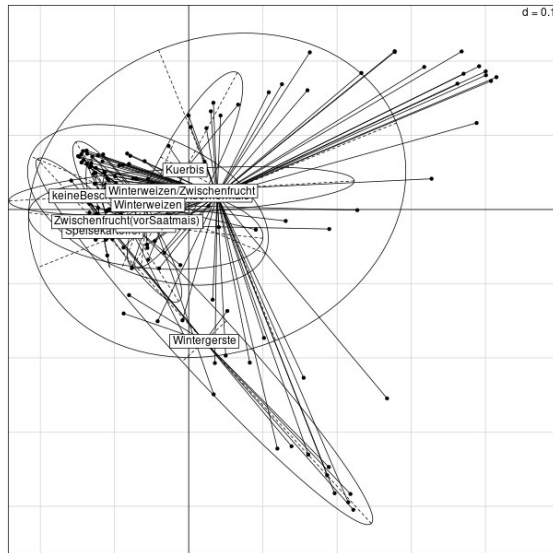
Komplexe Gemeinschaften von Lebewesen können in der Ökologie mit verschiedenen Methoden verglichen werden. Wenn zwei Gemeinschaften sehr viele gleiche Arten in sehr ähnlichen Häufigkeiten haben, sind diese zwei Gemeinschaften sehr ähnlich. Wenn sich die relativen Häufigkeiten und die Arten stark unterscheiden, sind die Gemeinschaften sehr unähnlich. Dieser Zusammenhang kann graphisch dargestellt werden, wobei die Pilzgemeinschaft jeder Probe als Punkt auf einer Fläche dargestellt wird. Wenn zwei Punkte nahe nebeneinander liegen, sind sich diese beiden Proben sehr ähnlich, wenn sie weit auseinander liegen, sind die Proben sehr unähnlich. Diese Art der Darstellung wird Hauptkoordinatenanalyse genannt, und es ist sehr schnell ersichtlich, wo die Unterschiede und wo die Ähnlichkeiten liegen.

In untenstehender Abbildung 5 sind alle Proben der verschiedenen Standorte sowie Probenahmezeitpunkte gezeigt und nach unterschiedlichen Kategorien zusammengefasst. Teilweise ist eine Unterscheidung der verschiedenen Standorte zu erkennen, wobei manche Standorte, wie Wittental und Kirchhofen eine sehr breite Streuung der einzelnen Proben erkennen lassen. Bei der Unterscheidung nach Art der Hauptkultur ist die Wintergerste zumindest teilweise von den anderen Kulturen abgetrennt, überlappt aber teilweise mit Winterweizen Zwischenfrucht. Wintergerste wurde ausschließlich in Wittental angebaut. Es sind daher detailliertere Analysen notwendig, um die Effekte von Standort und Kultur unterscheiden zu können. Ähnliches gilt für das Probenahmedatum und Entwicklungsstadium. Da bei letzterem Proben von Stadium T4 nach der Ernte dominieren, sind detailliertere Aussagen erst nach einer Gesamtanalyse der Daten sinnvoll. Die Kombination aus Standort × Probenahmedatum trennt die verschiedenen Proben aus Wittental deutlich nach dem Probenahmedatum. Die große Variabilität dieser Proben wird also durch saisonbedingte Unterschiede erklärt. Die Düngevarianten zeigen für den Gesamtdatensatz keine klar erkennbaren Trends. Auch hier ist nur eine Detailbetrachtung getrennt nach einzelnen Standorten sinnvoll.

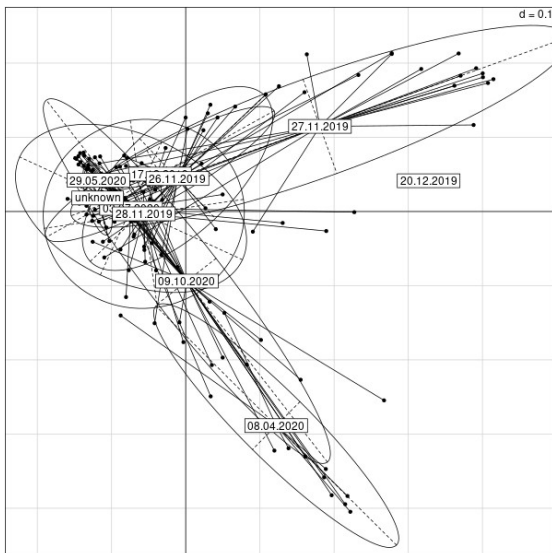
Abbildung 16: Hauptkoordinatenanalyse der Pilzgemeinschaften in den Bodenproben (nächste Seite). Jeder Punkt steht für eine Probe, wobei Proben der gleichen Kategorie über den gemeinsamen Mittelpunkt verbunden sind, und von einer Ellipse eingefasst sind. Der Abstand zwischen den Punkten ist ein Maß für den Unterschied zwischen den Gemeinschaften. Nahe beieinanderliegende Punkte haben sehr ähnliche Gemeinschaften, weit voneinander entfernt liegende sehr unterschiedliche. Die Datenpunkte sind nach folgenden Kategorien zusammengefasst: Standort, Hauptkultur, Probenahmedatum, Entwicklungsstadium, Standort × Probenahmedatum und Düngevarianten.



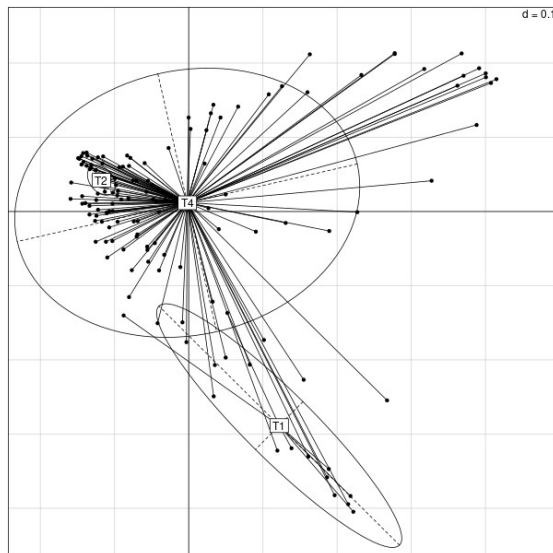
Standort



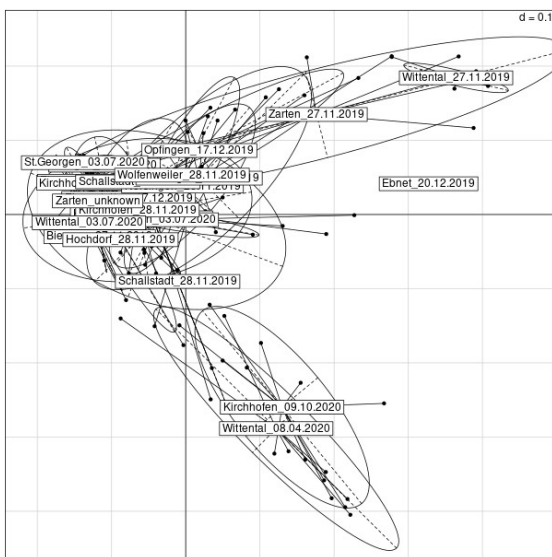
Hauptkultur



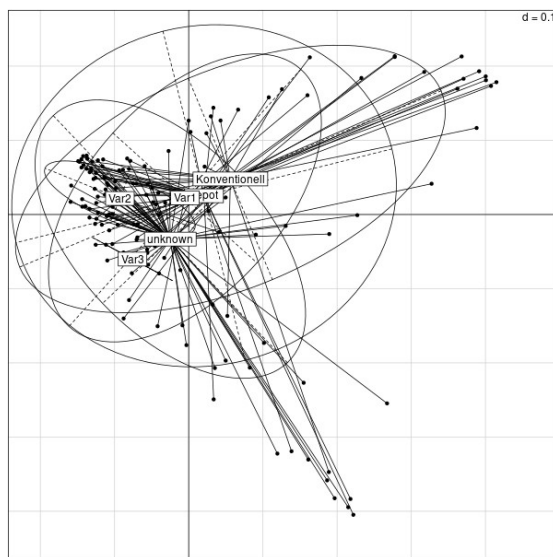
Probenahmedatum



Entwicklungsstadium



Standort x Probenahmezeitpunkt



Düngevarianten

DS3: Der Einfluss von Bodenfaktoren auf die Gemeinschaft der Bodenpilze

Die Böden der untersuchten landwirtschaftlichen Flächen unterscheiden sich u. a. in ihren pH-Werten (gemessen in CaCl₂, siehe Abbildung 10). Pilze, die auch schon bei den vorangegangenen Untersuchungen einen pH-Wert-abhängige Verteilung gezeigt haben, zeigten auch diesmal ein ähnliches Muster. *Liasiosphaeris aff. hispida* nimmt mit steigendem pH-Wert in der relativen Häufigkeit zu, während *Linnemannia elongata* abnimmt.

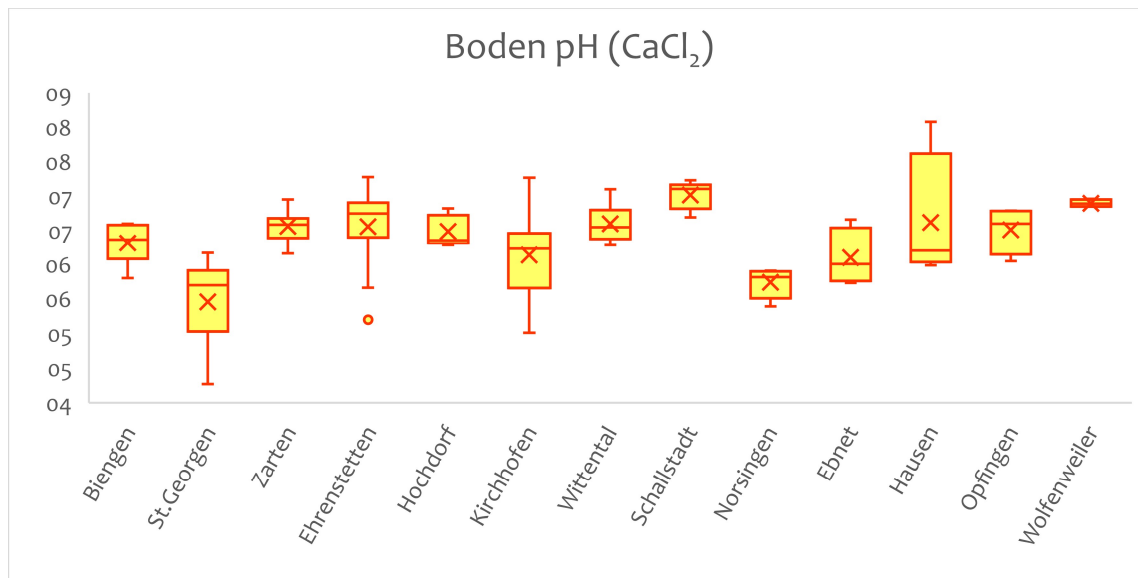
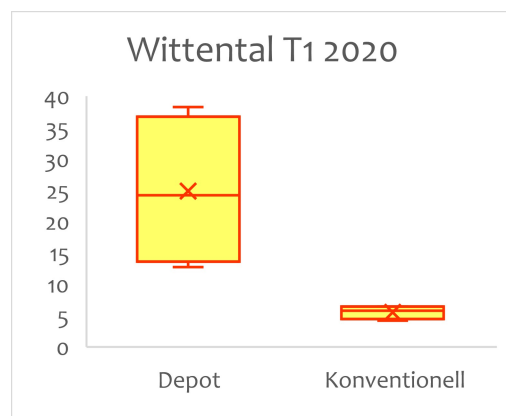


Abbildung 17: pH-Werte der Bodenproben (gemessen in CaCl₂) an den verschiedenen Standorten

DS3: Der Einfluss von Düngevarianten auf die Gemeinschaft der Bodenpilze

Während keine generellen Einflüsse von Düngevarianten auf die Gemeinschaften der Bodenpilze gefunden werden konnten, zeigte sich an einem Standort, dass Depotdüngung vor der Ernte das Wachstum bestimmter Pilze fördern kann. Am Standort Wittental konnten im Jahr 2020 zum Probenahmezeitpunkt T1, also vor Aussaat der Hauptkultur, in der



Depotvariante deutlich höhere relative Häufigkeiten des Pilzes *Mortierella hyalina* gefunden werden, nämlich zwischen 12 und 40 %, während bei konventioneller Düngung die relative Häufigkeit in allen vier Wiederholungen unter 6,5 % lag. *M. hyalina* scheint bei niedrigeren Temperaturen konkurrenzfähiger zu sein (Carreiro and Koske, 1992) und kann ölhaltiges Substrat schnell besiedeln (Weber and Tribe, 2003). Überdies kann dieser Pilz als Endophyt die Wurzeln von *Arabidopsis thaliana* besiedeln und damit das Sprosswachstum fördern und Schädigungen der Wurzel durch den Pathogen *Alternaria brassicae* vermindern (Johnson et al., 2019).

Abbildung 18: Relative Häufigkeit von *Mortierella hyalina* in Versuchsflächen aus Wittental zum Probenahmezeitpunkt T1 in 2020 in Abhängigkeit der Düngevarianten Depot vs. Konventionell.

5.2 Dynamik Humusgehalte

Konrad Schuster

Die organische Bodensubstanz von landwirtschaftlich genutzten Böden ist ständigen Umbauprozessen unterworfen. Die messbare Entwicklung von Humusgehalt, -menge und -qualität wird unter dem Begriff der Humusdynamik zusammengefasst (Brock 2009). Standort- und bewirtschaftungsspezifische Faktoren beeinflussen die Aktivität des Bodenlebens, die Stellschraube der Humusdynamik. Im Rahmen des Versuches wurde versucht mit den Maßnahmen der Regenerativen Landwirtschaft und der Depotdüngung den Humusgehalt zu steigern. Eine gesicherte Entwicklung des Humusgehaltes kann allerdings erst nach den ersten 10 Jahren festgestellt werden (Körschens 1992), da laut Kolbe (2012) die Faktoren Niederschlag und Temperatur sowie weitere Standortbedingungen mindestens 70 % haben.

Die Bestimmung des Humusgehaltes wird durch die Variabilität bei der Bodenprobenahme und der Messunsicherheit der Humusanalyse beeinflusst. Um die Heterogenität des Bodens zu minimieren, wurde die Probenahme georeferenziert, eine Mischprobe aus mindestens 10 Einzelproben erstellt und eine einheitliche Beprobungstiefe von 30 cm vorgenommen. Der Einfluss des Skelettanteils und der Lagerungsdichte konnten nicht berücksichtigt werden. Jahreszeitliche und Fruchtfolge bedingte Schwankungen erschweren ebenfalls die Vergleichbarkeit der Humusgehalte. Die Bodenprobenahmen erfolgte bis auf wenige Ausnahmen zum Ende der Vegetationsperiode. Bei der Messunsicherheit der Humusanalyse muss berücksichtigt werden, dass der analytische Messfehler im Labor mindestens $\pm 0,1 \%$ Corg beträgt (Flaig 2021).



Humus ist laut Definition die Gesamtheit an toter organischer Substanz im Boden (Scheffer & Schachtschabel 2010). Ob es sich dabei um Wurzel- und Erntereste, mikrobielle Biomasse oder humifizierte organische Substanz handelt, wird bei der Elementaranalyse nach DIN EN 15936 : 2012-11 (Dumas) nicht näher charakterisiert. Bei der Probenaufbereitung wird die Bodenprobe bei 60 °C getrocknet. Dabei können leicht flüchtige Kohlenstoffverbindungen bereits entweichen. Bei Böden mit einer hohen mikrobiellen Aktivität, wie es bei regenerativ bewirtschafteten Flächen anzunehmen ist, kann es daher zu einem niedrigeren Humusgehalt führen.

Die organische Bodensubstanz besteht außerdem aus der freiliegenden partikulären organischen Substanz. Das sind schwer mikrobiell abbaubare Kohlenstoffverbindungen, wie bspw. Lignin aus Ernteresten. Eine weitere Fraktion ist die aggregatgeschützte organische Substanz, welche vor mikrobiellem Abbau bzw. Umbau zu Huminstoffen geschützt ist (Sobotik 2020).

Die Bodenproben werden auf eine Partikelgröße kleiner als 2 mm gesiebt. Die freiliegende partikuläre organische Substanz und die aggregatgeschützte organische Substanz werden dabei miterfasst, obwohl ihre Wirkung auf die Bodenfruchtbarkeit viel geringer ist als die der mineralassoziierten organischen Substanz (Ton-Humus-Komplexe). Je nach Fruchtfolge, Bodenbearbeitung und weiterer Bewirtschaftungsmaßnahmen variieren diese Fraktionen des Humusgehaltes. Ziel der regenerativen Maßnahmen ist es, die Huminstoff bildenden Prozesse mittels verstärkter mikrobieller Aktivität zu fördern. Dabei soll der Anteil an Mineral assoziierter organischer Substanz (Ton-Humus-Komplexe), welche zum Großteil aus mikrobiellen Stoffwechselprozessen entsteht, gesteigert werden und gleichzeitig zu einem aktiveren Bodenleben führen.

Der Humusgehalt ist neben der Bewirtschaftung vor allem von den Standorteigenschaften, wie Bodenart, Wasserhaushalt und Klima, stark geprägt. Höhere Temperaturen beschleunigen die Umsetzungsprozesse der Bodenorganismen. Milde Winter, warme Frühlinge und Herbstes fördern die bodenbiologischen Abbauprozesse der organischen Bodensubstanz. Deswegen wird bei steigenden Temperaturen durch den Klimawandel von einer Humusabnahme ausgegangen (Waldmann & Weinzierl 2014, Wiesmeier et al. 2016). Somit ist auch davon auszugehen, dass die extremen Hitze- und Trockenphasen im Zeitraum von 2018 bis 2020 eine humusabbauende Wirkung hatten, siehe Abbildung (?). Dabei sind das langjährige Mittel (1961-90) des Jahresniederschlages 761 mm und der Jahresdurchschnittstemperatur 10,3 °C.



Quelle: Agrarmeteorologie Baden-Württemberg

Die jährliche Niederschlagsverteilung beeinflusst die Umsetzungsprozesse ebenfalls. So führt eine Sommertrockenheit zur Hemmung der biologischen Aktivität und damit zu einer verringerten Abbaurate. Hierbei könnte die Bodenbiologie in den letzten Jahren stark geschädigt worden sein. Die überdurchschnittlich hohe Niederschlagsmenge im Sommer 2021 könnte wiederum zu einer Humusanreicherung geführt haben, da es zu einem verstärkten Pflanzenwachstum und damit erhöhter CO₂-Bildung im Boden gekommen sein.

Humusdynamik der Praxisflächen

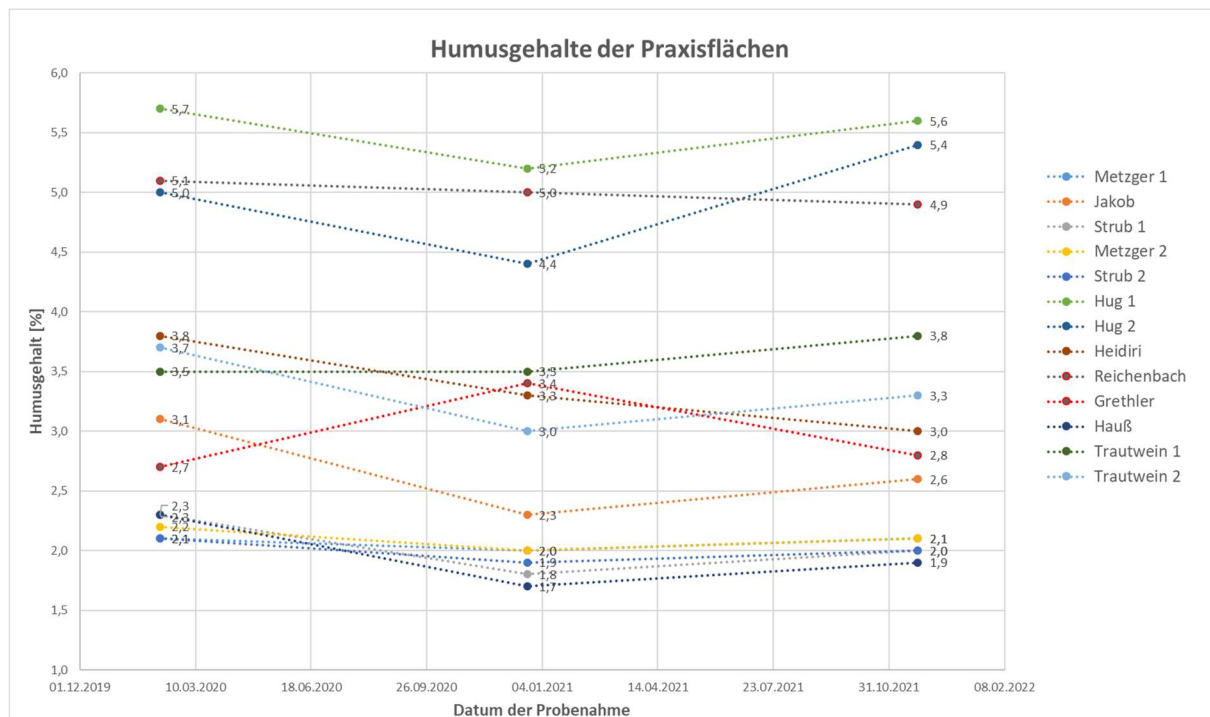
Die Bodenproben der 13 Praxisflächen wurden im Februar und Dezember 2020 sowie im November 2021 gezogen. Für eine bessere Vergleichbarkeit wäre die Erstbeprobung im

November 2019 gut gewesen, aus organisatorischen Gründen war dies aber nicht möglich. Es konnte auf fast allen Standorten eine Abnahme des Humusgehaltes über den gesamten Zeitraum festgestellt werden. Dies deckt sich auch mit den Messungen von anderen Versuchsflächen in Südbaden (Larbig 2022) und der generellen Tendenz in Mitteleuropa aufgrund des Klimawandels (Jacobs et al. 2018).

Humusgehalt (C/N-Verhältnis)	Probenahmedatum			Humuszunahme bzw. -abnahme in %
	08.02.2020	22.12.2020	25.11.2021	
Nr. 91 Hug 1 (Flst. 181)	5,7 % (10,7)	5,2 % (10,1)	5,6 % (10,5)	-0,1
Nr. 92 Hug 2 (Flst. 749)	5,0 % (10,4)	4,4 % (10,6)	5,4 % (11,2)	0,4
Nr. 93 Heidiri (Flst. 781)	3,8 % (10,0)	3,3 % (12,0)	3,0 % (10,9)	-0,8
Nr. 95 Reichenbach (Flst. 366-368)	5,1 % (10,2)	5,0 % (10,4)	4,9 % (10,5)	-0,2
Nr. 96 Grethler (Flst. 1021/1024/2)	2,7 % (9,2)	3,4 % (9,9)	2,8 % (10,2)	0,1
Nr. 97 Hauß (Flst. 1455)	2,3 % (9,5)	1,7 % (11,0)	1,9 % (13,8)	-0,4
Nr. 98 Trautwein 1 (Flst. 3920)	3,5 % (10,7)	3,5 % (8,8)	3,8 % (9,2)	0,3
Nr. 99 Trautwein 2 (Flst. 6117,6118)	3,7 % (10,7)	3,0 % (10,2)	3,3 % (11,3)	-0,4
Nr. 100 Metzger 1 (Flst. 8829)	2,1 % (9,4)	2,0 % (9,7)	2,1 % (10,2)	0,0
Nr. 101 Jakob (Flst. 11123/11124)	3,1 % (10,6)	2,3 % (10,3)	2,6 % (10,8)	-0,5
Nr. 102 Strub 1 (Flst. 3513-3518)	2,3 % (8,9)	1,8 % (9,5)	2,0 % (10,5)	-0,3
Nr. 104 Metzger 2 (Flst. 8824)	2,2 % (9,8)	2,0 % (9,7)	2,1 % (11,1)	-0,1
Nr. 105 Strub 2 (Flst. 6565-6567)	2,1 % (8,7)	1,9 % (10,0)	2,0 % (10,5)	-0,1

Allerdings wurde die Abnahme des Humusgehaltes vorwiegend von 2019 auf 2020 festgestellt. Die hohen Niederschlagsmengen im Jahr 2021 führten hingegen bei den meisten Flächen zu

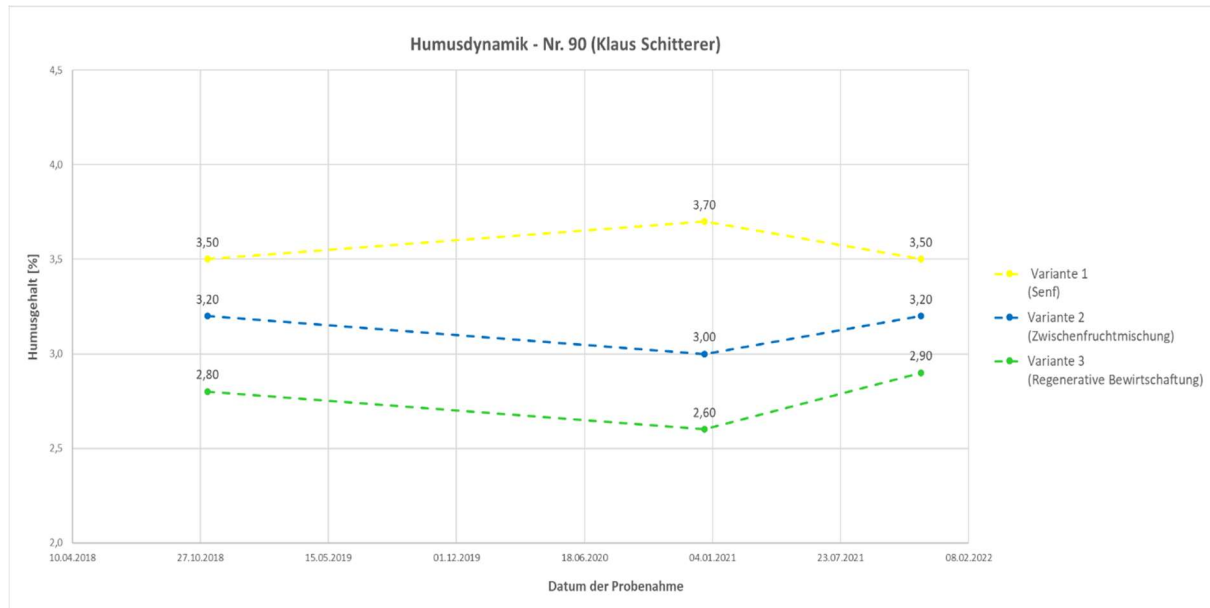
einer Humuszunahme. Dies zeigt, dass kurzfristig betrachtet der Jahreseinfluss des Wetters stärker als die Bewirtschaftungsmaßnahmen sind.



Versuchsfläche Nr. 90 (Klaus Schitterer)

Auf der Versuchsfläche Nr. 90 von Klaus Schitterer wurden 3 verschiedene Bewirtschaftungsvarianten durchgeführt. Der sandige Lehm hat einen sehr hohen Skelettanteil und einen Magnesium-Überschuss.

Anhand der Erstbeprobung zeigt sich, dass die Versuchsfläche eine hohe Bodenheterogenität aufweist (Abbildung), dabei hat die Variante 1 mit 3, 5 % den höchsten und Variante 3 mit 2,8 % den niedrigsten Humusgehalt. Im Dezember 2020 stieg bei Variante 1 der Humusgehalt um 0,2 %, während bei den anderen beiden Varianten der Humusgehalt um 0,2 % abnahm. Bei der letzten Probenahme im November 2021 konnte nur bei der regenerativ bewirtschafteten Variante eine geringe Steigerung des Humusgehaltes um 0,1 % festgestellt werden. Diese Differenz liegt innerhalb der Variabilität von Probenahme und Laboranalyse. Die Varianten 1 und 2 weisen den gleichen Humusgehalt wie zur Erstbeprobung auf. Somit ist festzustellen, dass es durch die unterschiedliche Bewirtschaftung als auch durch das Wetter bisher keinen Einfluss auf den Humusgehalt gibt.



Das Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis weist nur geringfügige Schwankungen ohne Einfluss von Jahr und Bewirtschaftungsvariante auf (Tab). Das weiteste C/N-Verhältnis wurde mit 10,7 bei Variante 1 im Dezember 2020 und das engste mit 9,9 bei Variante 3 im November 2021 festgestellt.

Humusgehalt [%] (C/N-Verhältnis)			
Probenahmedatum	7.11.2018	22.12.2020	25.11.2021
Variante 1 (Senf)	3,5 % (10,2)	3,7 % (10,7)	3,5 % (10,2)
Variante 2 (ZF-Mischung)	3,2 % (10,3)	3,0 % (10,2)	3,2 % (10,3)
Variante 3 (Regenerative Bewirtschaftung)	2,8 % (10,2)	2,6 % (9,4)	2,9 % (9,9)

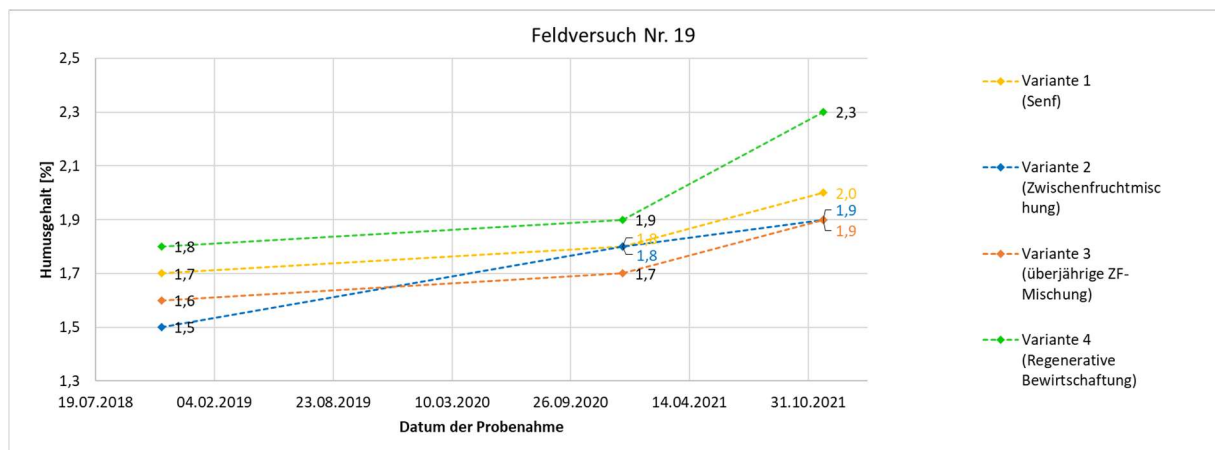
Versuchsfläche Nr. 19 (Hubert Ruh)

Der Boden der Versuchsfläche Nr. 19 ist ein schluffiger Lehm mit einer Calcium-Übersättigung und Magnesium-Defizit. Die Bodenstruktur befand sich während des Versuchszeitraums größtenteils in einem schlechten Zustand, da die biologische Aktivität (negativer Carbonattest) fehlte.

Die Humusgehalte schwanken bei der Erstbeprobung vom 07.11.2018 zwischen 1,5 und 1,8 %. Diese Heterogenität des Bodens kann durch die Vorbewirtschaftung entstanden sein. Die Humusgehalte zeigen in allen Varianten einen positiven Trend (Tab.?). Die Regenerative Variante weist die größte Zunahme und mit 2,3 % den höchsten Gehalt auf. Dies ist vor allem auf die regenerative Bewirtschaftung von 2020/2021 zurückzuführen. Die Varianten 1 bis 3 haben einen Humusgehalt von 1,9 bzw. 2,0 %.

Das Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis zeigt größerer Unterschiede zwischen den Jahren als zwischen den Varianten (Tab?). Dabei nimmt es über den Versuchszeitraum in allen Varianten zu. Grund ist einerseits die Abnahme der hohen Stickstoffgehalte von November 2018 auf Dezember 2020, da im Jahr 2018 durch die extremen Trocken- und Hitzephasen geringere Erträge erzielt wurden, und andererseits die stetige Zunahme des Kohlenstoffgehalts.

Humusgehalt [%] (C/N-Verhältnis)			
Probenahmedatum	7.11.2018	22.12.2020	25.11.2021
Variante 1 (Senf)	1,7 % (6,6)	1,8 % (9,5)	2,0 % (12,9)
Variante 2 (abfrierende ZF-Mischung)	1,5 % (6,7)	1,8 % (10,4)	1,9 % (12,2)
Variante 3 (überjährige ZF-Mischung)	1,6 % (7,7)	1,7 % (9,9)	1,9 % (10,0)
Variante 4 (Regenerative Bewirtschaftung)	1,8 % (8,0)	1,9 % (10,0)	2,3 % (12,1)



5.3 Bewertung CO₂-Zertifikatehandel

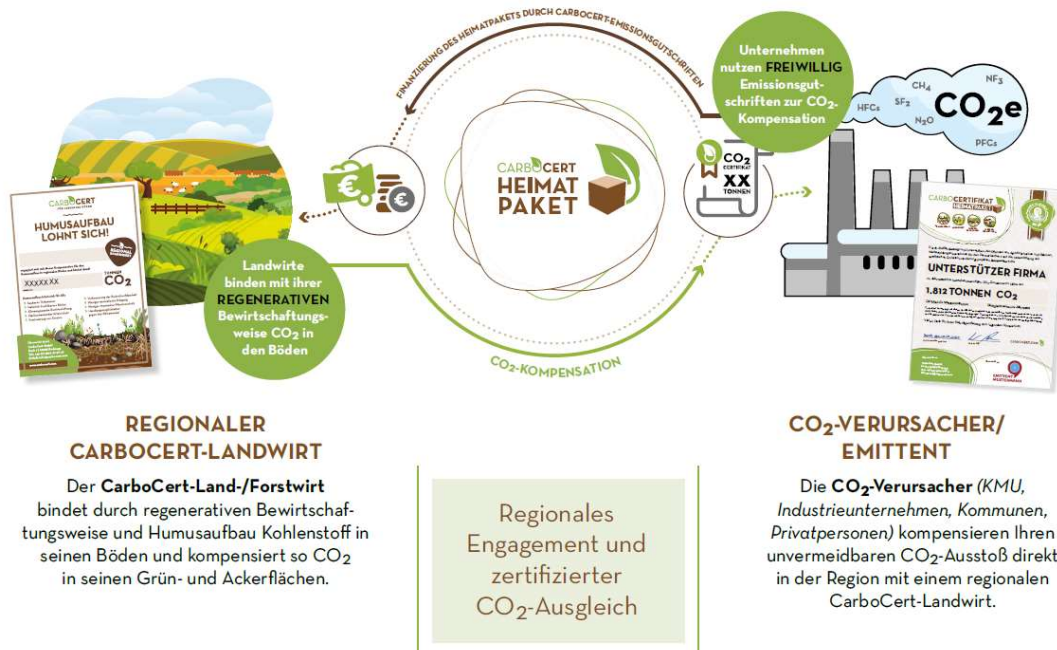
Wolfgang Abler

Ziel Emissionsrechtehandel

Der Emissionsrechtehandel auf Basis der Mehrung des organisch gebundenen Kohlenstoffanteils im Boden gewinnt aktuell durch die CarbonFarming Diskussion auf EU-Ebene an Fahrt. Emissionsrechtehandel schafft Anreize damit sich Landwirtschaft und landwirtschaftliche Bewirtschaftungsweisen in die Richtung bewegt wie sie Politik und Gesellschaft gerne haben wollen. Dies durch ein finanzielles Anreizsystem durch die Vergütung von positivem Humusgehalt über die Vertragslaufzeit. Somit wird ein Kapitalfluss von der Wirtschaft hin zur regional positiv wirtschaftenden Landwirtschaft geschaffen. CarboCert bietet mittlerweile als etablierter Anbieter auf diesem Markt von der zertifizierten Bodenprobenentnahme bis zum zertifizierten Emissionsrecht die erforderliche Bandbreite um glaubhafte und vermarktbar Emissionsrechte den Kunden bieten zu können. Regionale Emissionsrechte werden gerne von regionalen Kunden angenommen. Durch den regionalen Bezug entstehen neue wertvolle Beziehungen zwischen der Landwirtschaft und der Wirtschaft. Neue Eindrücke und besseres Verständnis füreinander werden gefördert. Durch den Landwirt erbrachte Ökosystemdienstleistungen werden durch den Emissionsrechtehandel belohnt. Eine ganze Reihe an zusätzliche Ökosystemdienstleistungen wird dabei unterstützt. Höhere Vielfalt in den Landschaften, sauberes Trinkwasser, weniger Erosion, besserer Rückhalt von Starkniederschlägen, weniger Nitrat im Grundwasser usw.

Verfahrensablauf Emissionsrechtehandel bei CarboCert





Bewertung CO₂-ZH am Standort Kirchhofen 19 Variante 9 - 12 nach 3 Jahren (4 Varianten)
 Humusentwicklung

Durchschnittlicher Humusgehalt der Fläche zu Beginn:	1,650 Prozent
Durchschnittlicher Humusgehalt nach drei Jahren:	2,025 Prozent
Steigerung Humusgehalt:	0,375 Prozent
Pro Jahr:	0,125 Prozent

Auszahlung CO₂-Zertifikate in EURO

Kann erst nach Flächenangabe dargestellt werden!

Schlussfolgerung für RL

CarboFarming ist eine Möglichkeit Anreize zu schaffen, um eine energiereduzierte und natürlich fruchtbare Landwirtschaft zu fördern. CarbonFarming schafft Bewusstsein für die Lebendigkeit des Bodens. CarbonFarming bringt Stadt und Land, Wirtschaft und Landwirtschaft einander näher. CarbonFarming fördert eine klimaresilientere Landwirtschaft gerade auch im Rheintal um klimatisch bedingte Starkereignisse abzuf puffern. CarbonFarming schafft gesunde Böden für gesunde Pflanzen und somit die Grundlage für gesunde Futter- und Nahrungsmittelproduktion.

Als CarboCert 2017 mit seinem Humusaufbauprogramm begann gab es den Begriff CarbonFarming noch nicht. Mittlerweile sucht die Politik Lösungen, um CarbonFarming flächendeckend in der EU-Landwirtschaft zu etablieren. Auch die Industrie erkennt die Vorteile von regionalen Klimaschutzlösungen, um ihre Klimastrategie glaubhaft und regional umsetzen zu können. An dieser Stelle konnte CarboCert mit seinen zertifizierten ISO Credits ein passendes Produktangebot schaffen. Ein funktionierender Kapitaltransfer von der Wirtschaft hin zur Landwirtschaft konnte erfolgreich etabliert werden.

6. Wissenstransfer in die Praxis

Dietmar Näser

Friedrich Wenz

Die Projektdurchführung zeigt, dass der Transfer in die Praxis durch das praktische Beispiel unterstützt werden sollte, weil Versuche methodische Grenzen haben. Im Anbaugeschehen kann ein Betrieb flexibler reagieren als ein Versuchsansteller. Ein Versuch bringt aber die Meßwerte, die zum Verständnis der Wirkungen und Zusammenhänge der einzelnen Anbaumethoden erforderlich sind. Wir schlagen vor, beides gemeinsam als Basis des Wissenstransfers in die Praxis zu nutzen.

Das Ziel des DeNAe-Projektes, auf den intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen der Wasserschutzzonen den Nitratreintrag ins Grundwasser durch Humusaufbau zu reduzieren, braucht nach den drei Versuchsjahren einen weiteren Schritt: den Anbauvergleich. Dafür sollte ein oder mehrere Landwirtschaftsbetriebe gewonnen werden, die im normalen Anbauablauf die Methoden der Regenerativen Landwirtschaft schrittweise einbeziehen bzw. bereits praktizieren. Dadurch können die bestehenden, am Standort bis jetzt besten Anbaumethoden weiterentwickelt werden. Diese Weiterentwicklung bezieht die mikrobiologischen und pflanzenbaulichen Zusammenhänge aktiv ein.



Die Zielgruppe für den Praxistransfer sollte zunächst eingrenzt werden: die bisherige Projektgruppe der teilnehmenden Landwirte erscheint dafür geeignet. Nach einer angemessenen Zeit, nach unserer Erfahrung durchschnittlich vier Jahre, sind die Wirkungen der Regenerativen Anbaumethoden sichtbar und messbar in der Öffentlichkeit kommunizierbar.

Die Wirkungen der Bodenleben- und Pflanzenentwicklung fördernden Anbaumethoden sollten am besten, weil am überzeugendsten, durch Feldrundgänge im späten Frühjahr und Frühherbst erfahrbar gemacht werden. Die Mitglieder der Projektgruppe können z. B. nach einem definierten Beobachtungsrahmen feststellen, was sich geändert resp. entwickelt hat.

Der (von der Projektgruppe festzulegende) Bewertungsrahmen kann z.B. enthalten:

- Aktuelle Pflanzenentwicklung in den Kulturen (Stadium, starke Halme/m², Wurzelentwicklung)
- Bewertung des physiologischen Leistungsfähigkeit der Kultur (Brixwert im Blattsaft)
- Bewertung des biologischen Leistungsfähigkeit des Standortes (Unkraut, Blatt-/Halmbasis-/Wurzelkrankheiten, Schaderreger)
- Gareansprache (Tiefe des Wurzelbereiches, Krümelform-/Gleichmäßigkeit-/Größe-/Wasserbeständigkeit)
- Wasser-Versickerungstest

Am Jahresende kann die Arbeit der Projektgruppe ergänzt werden durch ein Kolloquium, bei dem der/die Transferbetrieb/e Erfahrungen, Arbeitsablauf, Ernteergebnisse, aber auch die Beobachtungen und die Beweggründe veränderten Handelns darlegen. Diese Themen sind die Grundlage der weiterführenden Diskussion in der Projektgruppe.

Auf dieser Basis kann der Methodenkatalog der regenerativen Anbaumethoden, zusammen mit den Grundlagen und den Normalbereichen der Beobachtungen und Messungen, für die Praxis der Freiburger Betriebe angepaßt werden. Es entsteht weiterhin eine kollektive Erfahrung. Da der Anbau landwirtschaftlicher Kulturen unter sich ständig veränderten Freilandbedingungen erfolgt, nicht nach einem starren System mit fixem Umgebungsbedingungen, muß bäuerlicher Erfahrung mit einem Beobachtungs- und Interpretationsrahmen kombiniert werden, der die Bodenbiologie und die Pflanzenentwicklung abbildet. Das ist in der bisherigen Berufsausbildung, aber auch im limitierenden Fachrecht, nicht enthalten.

Ein endgültiger Transfer in die breite Praxis ist erst mit Akzeptanz durch überzeugende Praxisbeispiele möglich. Da dies Lernen, nicht nur den Austausch von Verfahren, Technik oder Betriebsmitteln erfordert, sollten das Lernangebot und das erforderliche Curriculum aus diesem vorlaufenden Schritt des Wissenstransfers über einen/mehrere Referenzbetriebe und das kollektive Denken der Projektgruppe erfolgen. Praktiker orientieren sich am meisten an Praktikern – aber in diesem Fall entsteht die angestrebte Veränderungen – Verringerung des Nitratreintrages durch Humusaufbau - erst durch kombiniertes Lernen und Beispiel geben.



7. Erreichen der gesetzten Meilensteine:

Meilenstein 1: Versuche angelegt, Untersuchungen durchgeführt (05/2019 – 04/2021)

- Alle Versuche und Projekt-Praxisflächen realisiert
- Alle möglichen geplanten Untersuchungen Boden und Pflanzen auf Versuchs- und Praxisflächen durchgeführt, mit Ausnahme der D.N.A.-Proben
- Abschließende Probenahmen und Untersuchungen nach der Körnermaisernte Oktober / November 2021 geplant

Meilenstein 2: Erstes Fazit, Diskussion (01/2020-04/2021)

- Das Interesse und die Motivation der teilnehmenden Landwirte ist ungemindert hoch, sie probieren auf ihren Praxisschlägen die unterschiedlichsten Anbaumaßnahmen, z. B. Fräse, Tiefenlockerer usw.
- Die im Projekt beteiligten Landwirte produzieren teilweise in Eigenregie die RL-Präparate wie z. B. Rottelenker und Komposttee
- Erste, nicht abschließende Schlussfolgerungen aus Versuchs- und Praxisflächen werden intensiv diskutiert
- Manche Anbaumaßnahmen der RL sind in der Region in der Praxis schwierig umzusetzen, wie z. B. die doppelte Zwischenfrucht
- Die Kombination Depotdüngung und RL scheint zusätzliche Ertragsvorteile zu haben als bei der getrennten Anwendung beider Verfahren

Meilenstein 3: Vertiefte Bewertung RL (05/2020-12/2021)

- Die Ergebnisse der Boden- und Pflanzenuntersuchungen sowie Ergebnisse der Versuchsflächen bis 2020 ausgewertet, Auswertung 2021 steht an, wenn die letzten Untersuchungsergebnisse nach der Maisernte vorliegen
- Nach ersten Auswertungen bis 2020 können noch keine eindeutigen Aussagen zu Stickstoffdynamik, Bodenleben, Humusaufbau, Dünge- und Pflanzenschutzmittelreduktion durch RL gemacht werden; bei Depotdüngung (ohne RL, d. h. bei konventioneller Bewirtschaftung) sind bei Mais und Getreide im Durchschnitt ca. 10 Prozent höhere Erträge bei einer um 20 Prozent reduzierten Stickstoffdüngermenge realisierbar, bei Verzicht auf mit chemisch-synthetischen Bioziden stabilisierte Stickstoffdünger; bei Getreide kann der Pflanzenschutzmitteleinsatz zusätzlich durch Verzicht auf Wachstumsregulatoren, teilweise Fungizide und teilweise Herbizide reduziert werden. Die Kombination von Depotdüngung mit RL könnte diese Effekte weiter verstärken
- Datensammlung Anbaumaßnahmen auf Praxisflächen bis einschließlich 2021 fast abgeschlossen

Meilenstein 4: Beratungsgrundlage RL erstellt (01/2021-04/2022)

- Eine mögliche Beratungsgrundlage wird erst nach Abschluss der Auswertung ab 01/2022 erarbeitet werden. Das Ziel wurde aus Zeitgründen und aufgrund der unterschiedlichen, nicht eindeutigen Ergebnisse nicht erreicht
- Es ist geplant, die Versuchsflächen RL in einem grenzüberschreitenden Projekt ‚Anpassung an den Klimawandel und Klimaschutz‘ des Interreg VI-Programmes weiterzuführen und zu untersuchen v.a. im Hinblick auf eine den Trockenstress reduzierenden Humusmehrung
- Wegen der ansteigenden Kosten für Betriebsmittel, insbesondere für mineralische Dünger, sollten bei einer Weiterführung des Projektes als neues Ziel die Neuausrichtung der Düngung durch stabile Verbesserung der Nährstoffverfügbarkeit aus dem Bodenstoffwechsel einbeziehen.

- Die Wasserverfügbarkeit für Kulturen und Bodenleben durch eine der Trockenheit angepasste Bewirtschaftung sollte ebenfalls als neues, erweitertes Projektziel aufgenommen werden.

8. Projekterkenntnisse

Darstellung drei wesentlicher Erkenntnisse für die Praxis aus dem Projekt:

1.	<p><u>Mikrobielles Bodenleben:</u> Es konnte wissenschaftlich kein signifikanter Einfluss auf das Bodenleben bei regenerativer Bewirtschaftung festgestellt werden. Nur bei Verzicht auf flächige mineralische Stickstoffdüngung (Depotdüngung) konnten einzelne Bodenpilze signifikant mehr festgestellt werden.</p>
2.	<p><u>Humusaufbau:</u> In dem dreijährigen Untersuchungszeitraum konnte, mit Ausnahme einer Versuchsvariante regenerativ, bei der eine Tendenz zur Zunahme zu beobachten war, keine eindeutige Zunahme des Humusgehaltes im Boden nachgewiesen werden.</p>
3.	<p><u>Reduktion Einsatz Dünge- und Pflanzenschutzmittel:</u> Das größte Potenzial zur Reduktion liegt im Anbau von Zwischenfruchtmischungen, die den Stickstoff im Boden ‚halten‘ und der Depotdüngung, bei der durch Reduktion von Stickstoffverlusten bis 20 Prozent Stickstoffdünger eingespart werden kann.</p>

9. Ausblick

Die Quintessenz aus den 3 Projektjahren kann kurz zusammengefasst so heißen: viele (eindeutige und uneindeutige) Ergebnisse, viele Fragen! Beim Abschlusskolloquium am 11.06.2022 waren sich alle beteiligten Projektpartner einig, dass folgende Aspekte in Folgeprojekten unbedingt weiter vertieft werden sollten:

1. Humus:

Aufbau zur Anpassung an den Klimawandel und zum Klimaschutz:

Da Tendenzen zur Humussteigerung durch regenerative Bewirtschaftung zumindest an einem Versuchsstandort zu erkennen waren, und Humusaufbau ein langfristiger Prozess ist, sollte mindestens an den im Projekt georeferenzierten Probenahmestellen der Humusgehalt über weitere Jahre kontrolliert werden, bei konkretem Pflichtenheft für den Anbau (Fruchtfolge, Zwischenfruchtmischungen, Rottelenker, Depotdüngung ...).

Ein Aufnahme in das langjährige Humusmonitoring der LTZ Augustenberg wäre wünschenswert und wird angestrebt.

2. Bodenbiodiversität:

Förderung von Mykorrhizapilzen mit ‚Intelligentem Ackerbau‘ (Regenerative Bewirtschaftung mit Depotdüngung):

Untersuchung des Einflusses des Stickstoffdüngeverfahrens (konventionell und Depot) auf Bodenpilze, die die Boden- und Pflanzengesundheit nachhaltig positiv beeinflussen (z.B. symbiotische arbuskuläre Mykorrhizapilze)

3. Demonstrationsbetrieb ‚Intelligenter Ackerbau‘:
Regenerative Landwirtschaft mit Depotdüngung:

Auf einem Demonstrationsbetrieb soll nach einem genauen Pflichtenheft ‚Intelligenter Ackerbau‘, d.h. vor allem mit der Kombination Regenerative Landwirtschaft mit Depotdüngung, aber auch integriertem Pflanzenschutz, innovative Anbauverfahren praktiziert werden. Auf ausgewählten Flächen werden entsprechende Untersuchungen (Stickstoff-Dynamik, Bodenleben, -Bodenpilze, Erträge, Qualitäten usw.) erfasst, mit regelmäßigen Feldbesichtigungen sollen Landwirt und Berater sensibilisiert werden.

Quellennachweis

Maier, J., Larbig, G., Heigl, M.

Mit regenerativer Landwirtschaft für dauerhaften Humusaufbau. Badische Bauernzeitung BBZ Nr.22,1. Juni 2019, S. 20

Näser, D. Regenerative Landwirtschaft. 2., erweiterte Auflage 2021. Ulmer Verlag. ISBN 978-3-8186-1366-2.

Literatur

Scheffer, F.; Schachtschabel, P. & Blume, H.-P. (2010): Lehrbuch der Bodenkunde. Heidelberg, Berlin: Spektrum, Akad. Verl.

Flaig, Holger (LTZ) – Carbon Farming – Humusmanagement. In Fortbildungsveranstaltung für die Landwirtschaftsverwaltung: „Pflanzenproduktion 2021“.

Jacobs, Anna; Flessa, Heinz; Don, Axel (2018): Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland - Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. Verlag Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei.

Larbig, Gabi (2022): Mündliche Mitteilungen.

Sobotik, Monika; Eberwein, Roland K.; Bodner, Gernot; Stangl, Rosemarie; Loiskandl, Willibald (2020): Pflanzenwurzeln. DLG-Verlag.

Wiesmeyer, M., Christopher Poeplau, Carlos A. Sierra, Harald Maier, Cathleen Frühauf, Rico Hübner, Anna Kühnel, Peter Spörlein, Uwe Geuß, Edzard Hangen, Bernd Schilling, Margit von Lützwow & Ingrid Kögel-Knabner (2016): Projected loss of soil organic carbon in temperate agricultural soils in the 21st century: effects of climate change and carbon input trends. Scientific Reports.

Waldmann, F. & Weinzierl, W. (2014): Organische Kohlenstoffvorräte der Böden Baden-Württembergs in Abhängigkeit von Bodentyp, Bodenart, Klima und Landnutzung. KILOMPASS-Berichte.

Techniken:

Rottelenker

Präparat	Verwendung		
Kräuterferment	<p>vorrangig Bodenbehandlung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - zur Lenkung der Flächenrotte - zur Auflösung von Verdichtungsschäden - bei der partiellen Unterbodenlockerung - zur Strohrotte/ Laubrotte - zur Güllebelebung und Kompost starten - zur Stabilisierung organischer Reststoffe 		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> <p>Standardrezept für 1000lt Ansatz (einschließlich 2. Vermehrung)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 30lt Zuckerrohrmelasse • 30lt Ferment (Urferment oder 1. Vermehrung) • 3 Kg Meer/Steinsalz (ohne Zusätze) • chlorficicа Wozзcr (30-37°C) • frische oder getrocknete Kräuter/Pflanzen (Region) <p><i>Vorgehen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Salz in Behälter mit 50-100lt heißem Wasser lösen • Melasse zugeben und mit heißem Wasser lösen • mit Wasser auffüllen bis ca. 900lt (Temp. 30-37°C) • Ferment einmischen • Pflanzen in Gewebesack oder Nylonstrumpf zugeben • Behälter luftdicht verschließen (1-2 mm Loch in Deckel, Fermentation fertig -> Klebeband) • fertig, wenn pH mind. 3,8 oder tiefer </td> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> <p>Aufwandmengen</p> <p><i>hohe Aufwandmengen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • 50-150lt/ha, beliebig verdünnt mit Wasser • bei erstmaligem Einsatz • große Mengen oberirdischer org. Masse • niedrigen Temperaturen • starke Bodenverdichtungen <p><i>niedrige Aufwandmengen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • 20-50lt/ha, beliebig verdünnt mit Wasser • bei langjährigem Einsatz UND • geringe Mengen oberirdischer org. Masse • guter Bodenstruktur • mineralisch ausgeglichenen Böden (Basensättigung) <p><i>Ergänzungen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • mit energetischen Mitteln (z.B. BioAktiv Kompost 100g/ha) </td> </tr> </table>		<p>Standardrezept für 1000lt Ansatz (einschließlich 2. Vermehrung)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 30lt Zuckerrohrmelasse • 30lt Ferment (Urferment oder 1. Vermehrung) • 3 Kg Meer/Steinsalz (ohne Zusätze) • chlorficicа Wozзcr (30-37°C) • frische oder getrocknete Kräuter/Pflanzen (Region) <p><i>Vorgehen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Salz in Behälter mit 50-100lt heißem Wasser lösen • Melasse zugeben und mit heißem Wasser lösen • mit Wasser auffüllen bis ca. 900lt (Temp. 30-37°C) • Ferment einmischen • Pflanzen in Gewebesack oder Nylonstrumpf zugeben • Behälter luftdicht verschließen (1-2 mm Loch in Deckel, Fermentation fertig -> Klebeband) • fertig, wenn pH mind. 3,8 oder tiefer 	<p>Aufwandmengen</p> <p><i>hohe Aufwandmengen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • 50-150lt/ha, beliebig verdünnt mit Wasser • bei erstmaligem Einsatz • große Mengen oberirdischer org. Masse • niedrigen Temperaturen • starke Bodenverdichtungen <p><i>niedrige Aufwandmengen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • 20-50lt/ha, beliebig verdünnt mit Wasser • bei langjährigem Einsatz UND • geringe Mengen oberirdischer org. Masse • guter Bodenstruktur • mineralisch ausgeglichenen Böden (Basensättigung) <p><i>Ergänzungen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • mit energetischen Mitteln (z.B. BioAktiv Kompost 100g/ha)
<p>Standardrezept für 1000lt Ansatz (einschließlich 2. Vermehrung)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 30lt Zuckerrohrmelasse • 30lt Ferment (Urferment oder 1. Vermehrung) • 3 Kg Meer/Steinsalz (ohne Zusätze) • chlorficicа Wozзcr (30-37°C) • frische oder getrocknete Kräuter/Pflanzen (Region) <p><i>Vorgehen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Salz in Behälter mit 50-100lt heißem Wasser lösen • Melasse zugeben und mit heißem Wasser lösen • mit Wasser auffüllen bis ca. 900lt (Temp. 30-37°C) • Ferment einmischen • Pflanzen in Gewebesack oder Nylonstrumpf zugeben • Behälter luftdicht verschließen (1-2 mm Loch in Deckel, Fermentation fertig -> Klebeband) • fertig, wenn pH mind. 3,8 oder tiefer 	<p>Aufwandmengen</p> <p><i>hohe Aufwandmengen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • 50-150lt/ha, beliebig verdünnt mit Wasser • bei erstmaligem Einsatz • große Mengen oberirdischer org. Masse • niedrigen Temperaturen • starke Bodenverdichtungen <p><i>niedrige Aufwandmengen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • 20-50lt/ha, beliebig verdünnt mit Wasser • bei langjährigem Einsatz UND • geringe Mengen oberirdischer org. Masse • guter Bodenstruktur • mineralisch ausgeglichenen Böden (Basensättigung) <p><i>Ergänzungen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • mit energetischen Mitteln (z.B. BioAktiv Kompost 100g/ha) 		

Komposttee

	<p>Komponenten Komposttee (Mengenangaben für 200lt, kursiv)</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Bakterien- Pilz- und Huminstoffquelle:</i> qualitativ perfekter Kompost, z.B. alter Holzkompost, Wurmkompost (Qualitätscheck mit Kriebstest) 1 Liter • <i>Energiequelle:</i> Zuckerrohrmelasse, Zuckerrübensirup (Achtung! keine Vinasse verwenden!) 0,2 Liter • <i>Energie- und Mykorrhizaquelle:</i> Malzkeimdünger mit Mykorrhiza 200g • <i>energetische Komponente:</i> BioAktiv Pflanze 30g und Eifelgold (Gesteinsmehl) 100g
	<p>vorrangig zur Vitalisierung wachsender Kulturen</p> <ul style="list-style-type: none"> - zur Auflaufbehandlung - zur Vermeidung von abiotischem Streß - zur frühen Behebung fehlerhafter Nährstoffaufnahme
Komposttee	<ul style="list-style-type: none"> - zur Sicherung des Weiterwachsens in Trockenphasen - als Wirkungsunterstützung für mineralische Komponenten zur Blattbehandlung

Der **Bodenkurs im Grünen 2018** ist ein gemeinsamer Jahreskurs von *Grüne Brücke – Büro für Regenerative Landwirtschaft* und der *Wenz Academy*. Er wird in gastgebenden Landwirtschaftsbetrieben veranstaltet.

Termine der einzelnen Ausbildungsmodule:

Deutschland 14.-16.2. / 12.-13.4. / 25.-26.5. / 27.-28.9.18
 Schweiz 14.-16.2. / 10.-11.4. / 23.-24.5. / 25.-26.9.18
 Weitere Kurse in Frankreich, Italien, Dänemark, Norwegen und Schweden

Kursbeitrag (Preise zuzügl. 19% MwSt.):
 2000 EUR (1500 EUR für Wiederholer und Betriebsmitarbeiter; 1000 EUR für Familienangehörige und Studenten). In dem Preis sind Unterkunft und Verpflegung nicht enthalten.



Anmeldung bei:

Friedrich Wenz
 Wenz Academy
 D-77963 Schwanau
 T. 0049 7824-3712

Mail: academy@humusfarming.de
www.humusfarming.de

Dietmar Näser
 Grüne Brücke
 Büro für Bodenfruchtbarkeit
 D-01844 Neustadt/Sa.
 T. 0049 3596-5081572

www.gruenebruecke.de

Anmeldungen bitte über die beiden Internetseiten!

Der Bodenkurs im Grünen 2018

Belebter Boden - vitale Kulturen - gute Ernte!



Unsere Vision

Lebensprozesse im Boden und in den Kulturpflanzen als wichtigstes Werkzeug nutzen!
 Eine ertragreiche, rentable Landwirtschaft ist eine belebte Landwirtschaft!

Dies ist eine gemeinschaftliche Ausbildungsreihe zur Einführung in die regenerative Landwirtschaft.

Von:

Friedrich Wenz und Dietmar Näser

**Seien Sie willkommen,
 Theorie und Praxis der Boden-Regeneration
 vor Ort - auf den Feldern - zu erleben!**

