



# Bericht zum Wirkungsmonitoring und zur wissenschaftlichen Begleitung

Ressourcenprojekt Humus Solothurn

Stéphane Burgos, Franziska Büeler, Patricia Fry, Mirjam Pfister, Roxane Tuchschnid  
29.09.2025

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Hintergrund, Einbettung ins Ressourcenprojekt</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Wissenschaftliche Fragestellungen und Ziele</b>	<b>2</b>
	<b>TEIL I: Wirkungsmonitoring</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Methodik</b>	<b>3</b>
4.1	Auswahl der Betriebe und Parzellen für das Wirkungsmonitoring . . . . .	3
4.2	Beprobung der Parzellen . . . . .	4
4.2.1	Am Projektanfang und am Projektende . . . . .	4
4.2.2	Jährliche C <sub>org</sub> -Beprobung und -analyse . . . . .	5
4.2.3	Beprobungszeitpunkte . . . . .	5
4.3	Auswertung der Daten aus dem Wirkungsmonitoring . . . . .	5
4.3.1	Ergebnisse der Laboranalysen von C <sub>org</sub> -Gehalt und Lagerungsdichte . . . . .	6
4.3.2	Analyse der Spatenprobe und Aggregatstabilität . . . . .	6
4.3.3	Verwendung der HBR-Daten . . . . .	7
4.3.4	Analyse der Monitoringparzellen . . . . .	7
4.3.5	Analyse der Betriebe . . . . .	7
4.4	Arbeit im Arbeitskreis . . . . .	7
<b>5</b>	<b>Resultate und Diskussion</b>	<b>8</b>
5.1	Entwicklung des C <sub>org</sub> -Gehalts und des C <sub>org</sub> -/Ton-Verhältnisses . . . . .	8
5.2	Entwicklung der Lagerungsdichte . . . . .	14
5.3	HB und Analyse der Fruchtfolge . . . . .	16
5.4	Aggregatstabilität und Spatenproben . . . . .	20
<b>6</b>	<b>Forschungsfragen WM</b>	<b>23</b>
	<b>TEIL II: Wissenschaftliche Begleitung</b>	<b>26</b>
<b>7</b>	<b>Methoden</b>	<b>26</b>
7.1	Entwicklung und Inhalte des Befragungsinstruments . . . . .	26
7.2	Stichprobe und soziodemographische Angaben . . . . .	26
7.3	Auswertung der Daten . . . . .	27
<b>8</b>	<b>Resultate und Diskussion</b>	<b>27</b>
8.1	Teilnahmegründe und Nutzen durch die Teilnahme am Projekt . . . . .	27
8.2	Humusaufbauende Massnahmen . . . . .	29
8.3	Einstellung und Motivation . . . . .	32
8.4	Zufriedenheit mit dem HBR . . . . .	33
8.5	Teilnahme am AK . . . . .	34
8.6	Fördernde und hemmende Faktoren, Aufwand, Ziele und Anregungen . . . . .	36
<b>9</b>	<b>Forschungsfragen WB</b>	<b>40</b>
	<b>TEIL III: Beurteilungen und Synthese</b>	<b>49</b>
<b>10</b>	<b>Nachhaltigkeitsbeurteilung</b>	<b>49</b>
<b>11</b>	<b>Kosten-Nutzen-Analyse</b>	<b>51</b>
<b>12</b>	<b>Schlussfolgerungen und Ausblick</b>	<b>55</b>
	<b>Literatur</b>	<b>57</b>
<b>13</b>	<b>Anhang 1: Dokumentation AK</b>	<b>61</b>
<b>14</b>	<b>Anhang 2: Beispiel Spatenprobe-Aufnahmeblatt 1</b>	<b>71</b>
<b>15</b>	<b>Anhang 3: Beispiel Spatenprobe-Aufnahmeblatt 2</b>	<b>72</b>



**Titelfoto:** Spatenprobe in einer Gründung, Beprobung 2023 (Roxane Tuchschnid, BFH-HAFL)

**Fachliche Mitarbeit, Feldarbeit und Laborarbeit im Projekt (alle BFH-HAFL):** Dylan Tatti, Bruno Häller, Stefanie Graf, Daniel Barton, Valentine Copt, Max Fuchs, Simon Heiniger, Liv Kellermann, Cwan Kendi, Denise König, Vincent Kern, Killian Leuba, Benoıt Loup, Anne-Thérèse Parel, Léa Poggiali, Laure Prat, Nathan Pythoud, Sophie van Geijtenbeek, Raphael Vogel, Stefan Vogel



## Dank

Wir danken dem BLW und dem Kanton Solothurn für die grosszügige Finanzierung und die Möglichkeit, in diesem spannenden und sehr zukunftsgerichteten Projekt mitwirken zu dürfen. Speziell danken möchten wir Jenny Jauch, Gaby von Rohr und Annika Winzeler für die sehr angenehme und konstruktive Zusammenarbeit.

Nicht nur während der Projektlaufzeit, sondern schon lange vorher gleisten zahlreiche motivierte Bodenliebhaverinnen und Bodenliebhaber das Projekt auf. Auch ihnen gilt ein grosser Dank.

Ein sehr herzlicher Dank geht zudem an die motivierten Teilnehmerinnen und Teilnehmer des RP Humus, speziell an alle Betriebsleiterinnen und Betriebsleiter, die Monitoringparzellen zur Verfügung gestellt und im Arbeitskreis mitgewirkt haben. Ohne ihren Einsatz wären die wertvollen Erkenntnisse nicht möglich gewesen.

Peter Weisskopf und der Gruppe Bodenqualität und Bodennutzung von der Agroscope möchten wir speziell danken für die wertvolle Zusammenarbeit zur Weiterentwicklung des Humusbilanz-Rechners.

## Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Begriff
HBR	Humusbilanz-Rechner ( <a href="https://humusbilanz.ch/">https://humusbilanz.ch/</a> )
C <sub>org</sub> -Gehalt	Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff
HB	Humusbilanz
CV	Variationskoeffizient
DF	Düngbare Fläche
GVE	Grossvieheinheiten
SD	Standardabweichung
PSM	Pflanzenschutzmittel
ZF	Zwischenfrucht
WM	Wirkungsmonitoring
WB	Wissenschaftliche Begleitung

## Zusammenfassung

Die nachhaltige Bodennutzung ist dem Kanton Solothurn ein zentrales Anliegen. Er möchte die längerfristige Fruchtbarkeit der Böden sicherstellen und die Landwirtinnen und Landwirte für eine nachhaltige Humusbewirtschaftung sensibilisieren und weiterbilden. Aus diesem Grund hat die Trägerschaft, bestehend aus dem Solothurner Bauernverband (SOBV), dem Amt für Landwirtschaft (ALW) und dem Amt für Umwelt (AfU) des Kantons Solothurn das Ressourcenprojekt Humusbewirtschaftung in der Landwirtschaft (RP Humus) ausgearbeitet. Das Projekt läuft von 2017 bis 2025 und wird durch das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) und den Kanton SO finanziert. Um den Humusaufbau in Ackerböden zu fördern, konnten die teilnehmenden Landwirtinnen und Landwirte während 6 Projektjahren folgende humusaufbauende Massnahmen umsetzen und wurden dafür finanziell vergütet: Mistkompostierung, Untersaat, Gründüngung früh, Gründüngung spät, Gründüngung vor Winterkultur, Zwischenfutter, Kunstwiese mit Luzerne, mehrjährige Kunstwiese und ganzjährige Bodenbedeckung.

Die Teilnehmenden mussten zudem jährlich im Humusbilanz-Rechner von Agroscope (HBR) ihre Humusbilanz berechnen. Pro Projektjahr nahmen rund 220 Betriebe teil. Rund 1/5 davon berechnete nur die Humusbilanz, da sie für die Massnahmen nicht zugelassen waren. Grund dafür war, dass sie den für das Projekt vorgegebenen Viehbestand von 1.1 Grossvieheinheiten pro Hektare düngbare Ackerfläche überschritten. Für die Massnahmen wollte man möglichst nur Betriebe, von denen man einen vergleichsweise tiefen  $C_{org}$ -Gehalt erwartete.

Das RP Humus wurde von der BFH-HAFL in Zollikofen wissenschaftlich begleitet. Der vorliegende Bericht dokumentiert die Arbeiten, die an der BFH-HAFL durchgeführt wurden. Dazu gehörten die Akzeptanzanalyse durch die wissenschaftliche Begleitung und das Analysieren im Feld messbarer Indikatoren für den Humusaufbau durch das Wirkungsmonitoring. Im Rahmen der **wissenschaftlichen Begleitung** wurden über die Projektlaufzeit 3 Online-Umfragen (2018, 2020 und 2023) mit allen Teilnehmenden durchgeführt. Die Teilnehmenden beantworteten Fragen zu den Gründen ihrer Teilnahme, zur Umsetzung der Massnahmen, zu fördernden und hemmenden Faktoren, zum HBR, zu den Projektzielen und zur eigenen Einstellung und Motivation. Damit konnten wissenschaftliche Fragestellungen zur Akzeptanz und den Herausforderungen und somit zur Umsetzbarkeit des HBR und der Massnahmen in der Praxis untersucht werden. Mit einer Gruppe aus 14 freiwilligen Projektteilnehmenden wurde zudem ein Arbeitskreis gegründet, der sich zweimal jährlich traf. Das Ziel des Arbeitskreises war, Umsetzungsaspekte der Massnahmen in der Praxis zu diskutieren, Wissen und Erfahrungen auszutauschen und den Wissenstransfer zwischen Forschung, Praxis und Verwaltung zu fördern.

Im **Wirkungsmonitoring** wurde auf 75 ausgewählten Monitoringparzellen jährlich der  $C_{org}$ -Gehalt im Labor gemessen. Zu Projektbeginn und Projektende wurde zusätzlich die Körnung analysiert (nur zu Projektbeginn), die Lagerungsdichte erhoben und Spatenproben und Aggregatstabilitätsmessungen als Indikatoren für die Bodenstruktur durchgeführt. Der  $C_{org}$ -Gehalt und die Lagerungsdichte sollten als direkte Indikatoren Aussagen zur Entwicklung des Kohlenstoffs im Boden erlauben. Mit dem Wirkungsmonitoring wurde untersucht, ob innerhalb der Projektlaufzeit messbare Veränderungen des  $C_{org}$ -Gehalts nachweisbar sind und ob die Massnahmen einen messbaren Einfluss auf die Bodenstruktur haben. Weiter wurde analysiert, ob Zusammenhänge zwischen der Humusbilanz, den Massnahmen, dem  $C_{org}$ -Gehalt und dem  $C_{org}$ /Ton-Verhältnis bestehen. Um die  $C_{org}$ - und Lagerungsdichte-Analysen validieren zu können, wurden zudem Fehleranalysen durchgeführt.

Die Resultate der wissenschaftlichen Begleitung zeigen, dass es anfänglich Schwierigkeiten mit dem Ausfüllen der Humusbilanz im HBR gab, sich die Teilnehmenden im Verlauf des Projekts aber mehrheitlich an das Tool gewöhnten. Die Begleitung und Beratung durch die Mitarbeitenden des Kantons hat sich als sehr wichtig herausgestellt. Der HBR ist auf den Betrieben anwendbar, einige Punkte zur Praxistauglichkeit wurden jedoch kritisiert. Für die Sensibilisierung der Landwirtinnen und Landwirte für ihre Humusbewirtschaftung hat sich der HBR als nützlich herausgestellt.

Die humusaufbauenden Massnahmen wurden rege umgesetzt, wobei frühe Gründüngungen und mehrjährige Kunstwiesen am beliebtesten waren. Untersaaten und Mistkompostierung sind technisch herausfordernd und aufwändig und wurden am wenigsten umgesetzt. Speziell bei der Mistkompostierung kommt dazu, dass sie mit relativ hohen Kosten und Aufwand verbunden ist und die betrieblichen Voraussetzungen gegeben sein müssen (genügend Mist).

Die allgemeinen Rückmeldungen zum Projekt waren durchaus positiv und das zeitliche Engagement angemessen. Die Antworten in den Umfragen zeigten auch, dass gut die Hälfte der Teilnehmenden den Zustand ihrer Böden nach Projektende als besser wahrgenommen hat als zu Projektbeginn.

Die Arbeiten im Arbeitskreis wurden von den Teilnehmenden als positiv wahrgenommen. Er hat sich als wertvolles Instrument für den Wissensaufbau- und -austausch herausgestellt und die Teilnehmenden wären motiviert dazu, diesen in irgendeiner Form weiterzuführen.

Die Resultate des Wirkungsmonitorings zeigen nach den 8 Projektjahren (6 Messjahre) keine signifikante Veränderung des  $C_{org}$ -Gehalts auf den 75 Monitoringparzellen, obwohl der grösste Teil der berechneten Humusbilanzen positiv war. Es wurden jährliche Schwankungen des  $C_{org}$ -Gehalts auf den Monitoringparzellen beobachtet. Gründe dafür können einerseits die sehr unterschiedlichen Witterungsbedingungen während der Beprobung sein, die einen Einfluss auf die Bodenbeschaffenheit haben. Andererseits kann auch die Fruchtfolge, das heisst die aktuelle Kultur und die damit verbundene Bewirtschaftung, einen Einfluss haben. Dieser konnte jedoch nicht, wie zu Projektbeginn geplant, quantifiziert werden, da die Bedingungen auf Praxisbetrieben nicht mit denen in genau kontrollierten Feld- und Laborstudien vergleichbar sind. Die notwendigen Daten aus den Feldkalendern wurden zwar erhoben und analysiert, aber aufgrund der sehr hohen Diversität konnten keine Korrelationen erkannt werden.

Weiter ist die Messung mittels akkreditierter Standardmethode mit einem natürlichen Fehler verbunden, der eine tatsächlich stattgefundene Veränderung in der Realität erst ab einem bestimmten Grössenbereich von mind. 3 Tonnen  $C_{org}$  pro ha nachweisen kann. Ein Grund für das Ausbleiben deutlicher Trends kann sein, dass der Humusaufbau einerseits Zeit braucht, mögliche Effekte sind also nicht nach 5-6 Jahren schon messbar, sondern verschwinden im Fehlergeräusch. Dies belegen auch wissenschaftliche Studien. Andererseits basiert der HBR auf vielen Annahmen und ist nicht primär dafür vorgesehen und geeignet, einen direkten und kurzfristig messbaren Effekt auf den  $C_{org}$ -Gehalt vorauszusagen. Er dient jedoch als wichtiges Tool, um Trends anzuzeigen und Auswirkungen von Massnahmen auf die längerfristige Entwicklung des  $C_{org}$ -Gehalts im Boden aufzuzeigen. Werden die Projektmassnahmen weiter umgesetzt und wird zusätzlich wo möglich auf genügend Eintrag externer organischer Substanz (Hofdünger wie Mist und Kompost) geachtet, können innerhalb eines längeren Zeitraums von mind. 10 Jahren sehr wahrscheinlich positive und messbare Effekte im Boden erwartet werden.

Die Lagerungsdichte auf den Monitoringparzellen erhöhte sich im Schnitt leicht. Dies könnte mit dem sehr nassen Beprobungsjahr am Ende des Projekts und den vermuteten, zwangsläufigen Überfahrten (z.B. Herbsterten) unter zu feuchten Bedingungen erklärt werden. Die Aggregatstabilität hat sich ebenfalls leicht erhöht. Dies widerspricht zahlreichen wissenschaftlichen Studien, die eine Erhöhung der Aggregatstabilität in Verbindung mit erhöhtem  $C_{org}$ -Gehalt beobachteten. Letzterer konnte jedoch nicht nachgewiesen werden und weitere, wissenschaftlich fundierte Gründe können im Rahmen dieses Versuchsrahmens nicht gefunden werden. Deshalb wird die verwendete Methode hier kritisch hinterfragt und die Resultate zur Aggregatstabilität sollten weder positiv noch negativ überinterpretiert werden.

Obwohl im RP Humus kein messbarer und signifikanter Einfluss der Massnahmen auf den  $C_{org}$ -Gehalt im Boden beobachtet werden konnte, sollen die humusaufbauenden Massnahmen weiter gefördert und umgesetzt werden. Der Aufbau von  $C_{org}$  im Boden dauert zwar länger als die im Projekt beprobten 6 Jahre, aber die Massnahmen haben weitere wichtige positive und wissenschaftlich nachgewiesene Effekte, solange sie nicht mit unnötig vielen zusätzlichen Überfahrten verbunden sind. Vor allem die erhöhte Bodenbedeckung ist positiv zu beurteilen, sie verbessert den Erosionsschutz, erhöht die Durchwurzelung des Bodens und kann zu einer erhöhten Wasserinfiltrationsfähigkeit und verbessertem Bodenleben beitragen.

Das RP Humus hat eine wertvolle Gelegenheit geboten, um unter Praxisbedingungen die Zeit realistisch einzuschätzen, die es braucht, um Effekte von humusaufbauenden Massnahmen im Boden zu quantifizieren. Die Schwierigkeiten, ein verlässliches Monitoring unter Praxisbedingungen durchzuführen, wurden deutlich und können in die Planung weiterer Projekte einfließen. Dank der Umfragen mit allen teilnehmenden Betrieben und des direkten Austausches innerhalb des Arbeitskreises konnten zudem wichtige Aspekte zur Akzeptanz und Umsetzbarkeit der Massnahmen und des HBR gesammelt werden. Schliesslich soll auch der wertvolle Aspekt der Sensibilisierung des Projekts betont werden. Das Thema Humus wurde zum Gespräch; das Projekt hat einen wichtigen Beitrag dazu geleistet, dass sich Landwirtinnen und Landwirte vermehrt mit ihrem Boden auseinandersetzen. Ein grosser Teil will die im Projekt umgesetzten Massnahmen weiterführen und ermöglicht dadurch zahlreiche positive ökologische Effekte im Boden.

# 1 Einleitung

Da die nachhaltige Bodennutzung im Kanton Solothurn ein zentrales Anliegen ist, haben das Amt für Landwirtschaft (ALW), das Amt für Umwelt (AfU) und der Solothurner Bauernverband (SOBV) das Ressourcenprojekt “Humusbewirtschaftung in der Landwirtschaft” (kurz: RP Humus) ausgearbeitet (ALW, 2023). Das Projekt wird vom Kanton Solothurn und vom Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) finanziert.

Das Hauptziel des Projekts, das sich über acht Jahre erstreckt (2017-2025), ist die nachhaltige Sicherstellung der Bodenfruchtbarkeit von Ackerböden durch die Förderung des Humusaufbaus (Dallo et al., 2017). Zur Zielerreichung werden den Solothurner Betrieben verschiedene humusaufbauende Massnahmen angeboten, deren Umsetzung finanziell vergütet wird. Damit erhofft man sich eine nachhaltige Erhöhung des Humusgehalts auf den Betrieben (Dallo et al., 2017). Die Landwirtinnen und Landwirte sollen für die Bedeutung des Humus sensibilisiert werden, Massnahmen zum Aufbau der organischen Substanz umsetzen und die Humusbilanz (HB) auf dem Betrieb berechnen (ALW, 2023). Deshalb besteht für die Teilnehmenden die Verpflichtung, die HB im Humusbilanz-Rechner (HBR) der Agroscope einmal jährlich zu berechnen. Bei der Berechnung der HB und bei der Auswahl und Umsetzung der Massnahmen auf dem Boden werden die Betriebsleitenden von Beratungspersonen unterstützt. Zusätzlich werden regelmässig Weiterbildungsanlässe angeboten (ALW, 2023). Nach Ablauf der Projektzeit sind die Massnahmen zum Humusaufbau und die Berechnung der HB auf den Betrieben etabliert und sollen auch ohne finanziellen Anreiz weitergeführt werden (ALW, 2023). Betriebe mit mind. 4.5 ha Ackerfläche und maximal 1.1 Grossvieheinheiten (GVE) pro Hektare düngbare Fläche (DF) sind zur Umsetzung von humusaufbauenden Massnahmen berechtigt, die abgegolten werden (ALW, 2023).

## 2 Hintergrund, Einbettung ins Ressourcenprojekt

Der vorliegende Bericht dokumentiert alle Arbeiten, die an der BFH-HAFL für das Projekt durchgeführt wurden und beschreibt die resultierenden Erkenntnisse zur Wirkung der Massnahmen im Projekt. Die Arbeiten des Wirkungsmonitorings (WM) umfassen einerseits die Messung und somit das Monitoring von direkten Indikatoren (vgl. auch Kap. 3): dem  $C_{org}$ -Gehalt und der Lagerungsdichte als Indikatoren für die Entwicklung des Kohlenstoffs im Boden und der Spatenprobe und Messung der Aggregatstabilität als Indikatoren für die Bodenstruktur (Gefüge, Stabilität).

Andererseits wurde im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung (WB) die Akzeptanz der Massnahmen und des HBR von Agroscope mittels Online-Umfragen bei allen teilnehmenden Betrieben untersucht.

Der Bericht wird aus Gründen der Lesbarkeit für die Kapitel “Methoden”, “Resultate und Diskussion” und “Beantwortung der Forschungsfragen” in die zwei Teile WM und WB unterteilt. Mit dem Begriff WM ist hier primär der Teil der Messungen im Feld und die Verknüpfung der Analysedaten mit Resultaten des HBR gemeint, welcher von der Gruppe Bodennutzung und Bodenschutz der BFH-HAFL unter der Leitung von Stéphane Burgos durchgeführt wurde. Mit WB sind die Arbeiten der Akzeptanzuntersuchung durch Online-Umfragen, Wissenstransfer etc. gemeint, die primär durch das Team von Patricia Fry und (ehemals) Bruno Häller der BFH-HAFL durchgeführt wurden. In den Bereich WB gehört auch die Dokumentation der Arbeiten im Arbeitskreis (AK), der in direkter Zusammenarbeit mit Mitarbeitenden des Kantons bestand. Eine Zusammenfassung der Arbeiten im AK, basierend auf Berichten von Samuel Tschumi, findet sich in Anhang 1 (13). Da ein regelmässiger Austausch zwischen den HAFL-Teams stattfand und Schlussfolgerungen nur durch Synthese der beiden Teile gezogen werden können und dürfen, können sie aber nicht klar voneinander abgegrenzt werden. Beispielsweise sind die Arbeiten des AK direkt verknüpft mit dem WM, da die Messungen auf Parzellen des AK durchgeführt wurden. Beide Teile gehören also zur umfassenden wissenschaftlichen Begleitung des RP Humus. Auch die Resultate der Online-Umfragen im Rahmen der WB flossen in die Diskussion des WM mit ein.

Die Forschungsfragen der WB wurden zu einem grossen Teil bereits im Schlussbericht der Projektleitung von Februar 2024 (Jauch et al., 2024) beantwortet und werden teilweise noch ergänzt.

Im dritten Teil des Berichts werden u.a. Rückmeldungen und offene Fragen zum Schlussbericht seitens BLW diskutiert. Teil III umfasst insbesondere folgende Punkte:

- Diskussion der Wirkung und Akzeptanz, der Stärken und Schwächen der 9 Massnahmen (ausser Massnahme HBR: diese wird im Schlussbericht ausführlich diskutiert) anhand der Resultate im WM

- Ergänzen der Nachhaltigkeitsbeurteilung im Schlussbericht (vgl. [Jauch et al. \(2024\)](#), S. 22-24) mit Erkenntnissen aus dem WM und der WB
- Analyse der Kosten der humusaufbauenden Massnahmen (vgl. Schlussbericht [Jauch et al. \(2024\)](#), S. 19, Abschnitt h)) und Ausblick

### 3 Wissenschaftliche Fragestellungen und Ziele

Das Ziel des WM und der WB war, durch Messungen von Bodenparametern die Wirkung der umgesetzten Massnahmen im Praxiskontext zu prüfen und deren Akzeptanz wissenschaftlich zu untersuchen. Damit leisten die Arbeiten einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Lernziele. Die Arbeiten und Analysen erfolgten anhand der unten aufgelisteten Fragen. Sie entsprechen den Fragestellungen im Projektgesuch ([Dallo et al., 2017](#)) und wurden z.T. leicht ergänzt.

Folgende Fragen beziehen sich primär auf die mit dem WM untersuchten Aspekte:

- Kann man innerhalb von 8 Jahren einen Einfluss der umgesetzten Massnahmen auf den Humusaufbau und die  $C_{org}$ -Speicherung feststellen? Lassen sich die Veränderungen messen?
- Zeigen sich Auswirkungen der umgesetzten Massnahmen auf die Qualität und Stabilität der Bodenstruktur? Welches Potenzial besitzen dabei die Spatenprobe und die Analyse der Aggregatstabilität, um Strukturverbesserungen festzustellen?
- Wie verändert sich die Anzahl an Bodenbefahrungen und die Dauer der Bodenbedeckung durch die umgesetzten Massnahmen?

Diese Fragen beziehen sich auf den HBR, die Motivation der Teilnehmenden und die Akzeptanz der Massnahmen (WB):

- Kann der HBR von den Bewirtschaftenden selbstständig ausgeführt und interpretiert werden?
- Ist der HBR auf den Betrieben anwendbar/praxistauglich? Wie ist die Akzeptanz der Humusbilanzierung bei den Bewirtschaftenden?
- Können die Bewirtschaftenden mit dem Einsatz des HBR für die Humusbilanzierung sensibilisiert und das Verständnis gefördert werden?
- Führen die gewählten Massnahmen zu einer Veränderung der HB und sind alle humusrelevanten Massnahmen und Bewirtschaftungszweige mit der HB abgedeckt?
- Welche Massnahmen sind praxistauglich? Wie ist die Akzeptanz der humusaufbauenden Massnahmen?
- Welche hemmenden Faktoren bestehen bei der Wahl und Umsetzung der humusaufbauenden Massnahmen?
- Welche Motivationsargumente sind nötig für ein Fortführen der Massnahmen nach dem Projekt?
- Wie sind die Kosten der humusaufbauenden Massnahmen?
- Ist eine Entschädigung aufgrund der HB-Ergebnisse praxistauglich und sinnvoll? Welche zusätzliche Unterstützung (in Form von Informationen, Beratung etc.) benötigen die Landwirtinnen und Landwirte bei der ergebnisorientierten Entschädigung?
- Wie sind die Erfahrungen, Vorteile, Herausforderungen und Probleme aus Sicht der Landwirt/innen und der Verwaltung? Hat das Entschädigungsmodell einen Einfluss auf die Wahl der Massnahmen zur Verbesserung des Bilanzergebnisses (Vergleich massnahmenorientierte versus ergebnisorientiert Entschädigung)?
- Wie sind der Austausch und Lerneffekt in den geplanten Arbeitskreisen?

# TEIL I: Wirkungsmonitoring

## 4 Methodik

Die ausführliche Beschreibung der Methodik zur Erarbeitung des Beprobungsdesigns und die genaue Beschreibungen der Labormethoden (z.B. Aggregatstabilität) sind im Zwischenbericht (Burgos et al., 2021) zu finden. Eine detaillierte Beschreibung und Visualisierung des Clustering-Prozesses und der Auswahl der Projektbetriebe findet sich im Bericht zur Analyse der Betriebsdaten (Burgos et al., 2018).

### 4.1 Auswahl der Betriebe und Parzellen für das Wirkungsmonitoring

Die Feldmessungen der direkten Indikatoren fanden auf insgesamt 16 Betrieben und 75 Monitoringparzellen statt. Für die Auswahl der zu beprobenden Parzellen wurden in der Projektvorbereitungsphase die für das Projekt angemeldeten Betriebe (182, alle  $< 1.1$  GVE/ha DF) auf ihre Repräsentativität für die gesamte Solothurner Landwirtschaft analysiert. Es wurde eine Principal Component Analysis (PCA) durchgeführt. Der Anteil der Kulturen wurde dabei verwendet, um Gruppen von Betriebstypen zu definieren. Das Resultat waren drei Betriebsgruppen (= Cluster), die ähnliche Betriebstypen darstellen. Innerhalb dieser drei Gruppen weisen zwei (Cluster 2 und 3) ein erhöhtes Risiko für eine defizitäre HB auf. Diese Gruppen beinhalten entweder (Cluster 2) Betriebe ohne Nutztiere, oder (Cluster 3) Betriebe mit einer geringen Anzahl an Nutztieren, die hauptsächlich Mais für die Fütterung der Rinder nutzen. Die Betriebe der dritten Gruppe (Cluster 1) weisen eher höhere Anteile Wiesen und Weiden auf. Letztere wurden nicht in die engere Auswahl für den Arbeitskreis (Parzellen des WM) aufgenommen, da für das Humusprojekt Betriebe gesucht waren, von denen erwartet wurde, dass die Böden durch tiefe Ausgangswerte relativ schnell Veränderungen des Humusgehaltes aufweisen könnten. Mit interessierten Betrieben aus Cluster 2 und 3 wurde der Arbeitskreis (AK), bestehend aus 14 Betrieben, aufgebaut. Danach wurden auf diesen Betrieben und auf zwei zusätzlichen, geeigneten Betrieben, insgesamt 75 Parzellen für die Beprobung ausgewählt. Sie sollten eine Mindestfläche von 0.8 ha aufweisen und somit vergleichbar mit gängigen Landwirtschaftsparzellen sein. Die Wahl der 75 Parzellen erfolgte in Absprache mit den Bewirtschafterinnen und Bewirtschaftern der 16 Betriebe, um sicher zu gehen, dass sie keine speziellen Eigenheiten aufwiesen. Die Lage und Verteilung der Parzellen im Kanton sind in Abb. 1 dargestellt. Die wichtigsten Daten der Betriebe mit den Monitoringparzellen sind in Tab. 1 zu finden.

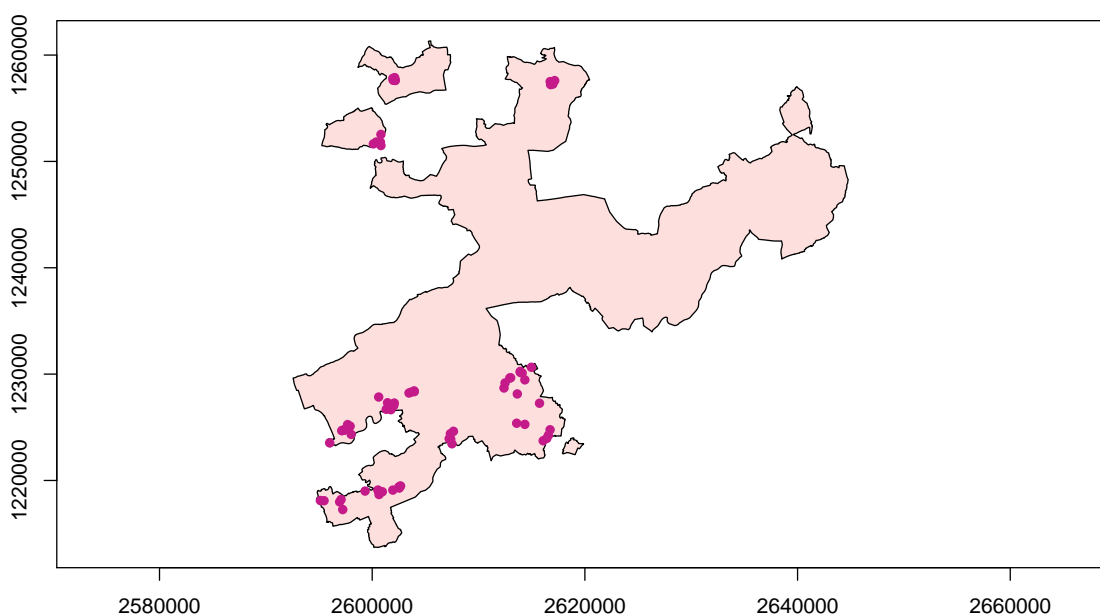


Abbildung 1: Lage der 75 ausgewählten Parzellen (Punkte) im Kanton Solothurn (schwarz=Kantonsgrenze)

Tabelle 1: Allgemeine Betriebsdaten der Betriebe mit den beprobten Parzellen, Stand 2024. LN=Landwirtschaftliche Nutzfläche, GVE/ha DF DF=Grossvieheinheit pro ha düngbare Fläche, AF/LN = Ackerfläche pro LN in Prozent, KW/AF = Kunstwiese pro AF in Prozent

Gemeinde	LN (a)	GVE/ha DF (%)	AF/LN (%)	KW/AF (%)	Anzahl Monitoringparzellen
Aetigkofen (Buchegg)	1229	0.81	83	0	6
Lütterswil (Buchegg)	3004	0.00	77	22	5
Grenchen	1879	0.00	91	21	7
Grenchen	2296	0.51	75	28	3
Deitingen	2407	0.57	78	0	6
Schnottwil	1756	0.00	92	0	5
Bellach	2801	0.00	92	0	4
Kleinlützel	3198	0.06	56	0	5
Selzach	5362	0.85	89	12	5
Deitingen	1184	0.01	92	3	4
Lohn-Ammannsegg	1977	0.24	72	0	5
Gempen	4973	2.33	72	3	5
Metzerlen	4565	0.00	59	0	5
Aeschi (SO)	1868	0.00	85	0	4
Selzach	6230	0.76	73	29	3
Horriwil	2383	0.51	84	26	3

## 4.2 Beprobung der Parzellen

Abb. 2, S. 6 zeigt ein Beispiel einer Monitoringparzelle und die Lage der Beprobungspunkte für die verschiedenen Parameter, die unten ausführlicher beschrieben werden. Die 75 Monitoringparzellen wurden jährlich (insgesamt 6 mal) für die Analyse des  $C_{org}$ -Gehalts beprobt. Zusätzlich wurden am Anfang und am Ende des Projekts weitere wichtige Parameter erhoben, die für die Einordnung und Interpretation der  $C_{org}$ -Analysen relevant waren.

### 4.2.1 Am Projektanfang und am Projektende

Jeweils am Anfang und am Ende des Projekts wurden zusätzlich zum  $C_{org}$ -Gehalt folgende Parameter gemessen bzw. Methoden angewendet:

- **Lagerungsdichte:** Entnahme von je 5 Zylinderproben (Volumen:  $100\text{ cm}^3$ ) pro Monitoringparzelle auf zwei verschiedenen Tiefenstufen (5-10 cm und 20-25 cm). Die Zylinder wurden im Labor während ca. 48 h bei  $105^\circ\text{C}$  getrocknet. Falls der Skelettgehalt auf mehr als 2% geschätzt wurde, wurde das Skelett anschliessend nass durch ein 2 mm Sieb ausgesiebt, getrocknet und gewogen. Volumen und Gewicht des trockenen Zylindermaterials wurden nach Skelettgehalt korrigiert und die Lagerungsdichte für jeden Zylinder berechnet (Methode PYZYL-D, (Agroscope, 2020a)). Die Angaben pro Monitoringparzellen und Tiefe sind Mittelwerte aus den 5 Beprobungspunkten.
- **Spatenprobe:** Jeweils am 1. und 3. Beprobungspunkt der Zylinder-Probenahme, wurde neben dem Zylinderprobe-Loch mit einem 40 cm Drainagespaten eine Spatenprobe entnommen. Vor Ort wurden die Boden-Horizonte angesprochen und auf Merkmale wie Pflugsohle, Abbaugrad von Ernteresten, Aggregatformen etc. untersucht. Anhang 2 und 3 (14, 15) zeigen Beispiele für eine Spatenprobe-Beschreibung im Feld.
- **Aggregatstabilität:** An den gleichen Punkten wie die Spatenproben entnommen wurden, wurde auf 8-15 cm Tiefe je ca. 1 kg möglichst ungestörtes und unverdichtetes Probenmaterial entnommen. Diese Aggregatproben wurden danach im Labor auf ihre Stabilität untersucht. Die genaue Beschreibung der Methode ist dem Zwischenbericht (Burgos et al., 2021) auf S. 8+9 zu entnehmen. Sie entspricht einem adaptierten Protokoll nach Le Bissonnais und Le Souder (1995). Unter anderem wurde die Grösse der Aggregate auf 1-2 cm erhöht, da die in der Methode vorgeschlagene Grösse von wenigen Millimetern für tonige Proben ungeeignet war (es gibt kaum solch kleine Aggregate bei tonigen Proben).



- **Analyse der Körnung:** Die Mischproben (vgl. unten) für die  $C_{org}$ -Beprobung wurden am Anfang des Projekts zusätzlich auf Ton-, Schluff- und Sandgehalt analysiert (Analyse der Körnung gemäss Methode KOF ([Agroscope, 2020b](#))). Diese Analyse war ursprünglich nicht geplant, musste aber durchgeführt werden, da die vorhandenen ÖLN-Analysen keine belastbaren Aussagen zur Körnung bereitstellten.

#### 4.2.2 Jährliche $C_{org}$ -Beprobung und -analyse

Alle 75 Monitoringparzellen wurden jährlich GPS-genau gemäss Schema in Abb. 2 beprobt. 60 Monitoringparzellen wurden mit einem Probenquad der Firma bodenprobe.ch befahren. Die 15 Parzellen im Norden des Kantons (Metzerlen, Kleinfürst und Gempfen) wurden aufgrund der mit dem Probenquad zu schlechten Erreichbarkeit von Hand durch HAFL-Mitarbeitende beprobt. Dafür wurde ein Stechbohrer eingesetzt. Das Material der 20 Einstiche wurde gemischt und danach bei 40°C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Anschliessend wurde die Feinerde durch ein 2 mm Sieb abgetrennt (sehr tonreiche Proben wurden vor dem Sieben mit einem Backenbrecher zerkleinert). Für die  $C_{org}$ -Analyse wurde ein Teil der Probe zusätzlich fein gemörsert und danach mit der Referenzmethode Corg ([Agroscope, 2020c](#)) analysiert. Grundsätzlich wurde von jeder Mischprobe mindestens eine Doppelbestimmung gemacht (inkl. Blindwerte und Referenzproben-Analyse). Lag der Variationskoeffizient (CV) über 3 %, wurde noch einmal eine Doppelbestimmung durchgeführt bis der CV von allen Messungen einer Probe im erlaubten Bereich war. Der CV zeigt die Streuung der Standardabweichungen (= standard deviation SD) um den Mittelwert und wird folgendermassen berechnet:  $CV = SD / \text{Mittelwert}$

Aus den Doppel- bzw. Mehrfachbestimmungen wurde ein Mittelwert pro Parzelle errechnet und für die Analysen genutzt. Nur in wenigen Ausnahmefällen wurde ein offensichtlicher Outlier (Wert, der sich von den anderen sehr stark unterscheidet) nicht in den Mittelwert eingerechnet.

Am Anfang des Projekts (Projektjahr 1) wurde der  $C_{org}$ -Gehalt zusätzlich mit der Methode Glühverlust ([Hoogsteen et al., 2018](#); [Bakr & El-Ashry, 2018](#); [Ghabbour et al., 2014](#)) bestimmt mit dem Ziel, die (zeit-)aufwändige und von giftigen Chemikalien abhängige Corg-Methode zu ersetzen. Die Genauigkeit war aber für die Fragestellungen zu tief, weshalb die Methode danach verworfen wurde.

Zum heutigen Zeitpunkt gäbe es eine weitere geeignete Methode zur Analyse von  $C_{org}$  im Boden, die weniger Zeit beansprucht und keine Chemikalien benötigt. Es handelt sich um die Temperaturgradientenmethode (TOC, [Agroscope \(2021\)](#)), welche die Methode Corg mittelfristig als Referenzmethode ablösen wird ([Agroscope, 2021](#)). Die TOC war zum Zeitpunkt der Projektplanung noch kaum bekannt bzw. ungenügend etabliert.

#### 4.2.3 Beprobungszeitpunkte

Die  $C_{org}$ -Beprobungen wurden grundsätzlich jedes Jahr zur gleichen Zeit gemacht, zwischen Oktober und Dezember, um möglichst nur abgeerntete Parzellen mit dem Quad zu befahren und um möglichst vergleichbare (Witterungs-)bedingungen erwarten zu können. Zudem wurde darauf geachtet, geeignete Bedingungen für die Überfahrt abzuwarten (Feuchtigkeit). Während der ersten und letzten Probenahme, bei der auch noch andere Parameter aufgenommen werden mussten, war die Organisation komplexer und es entstanden leichte Verzögerungen. Die Probenahme fand teilweise etwas früher oder später statt. In Tab. 2 ist eine Übersicht der Zeitpunkte zusammengestellt.

Tabelle 2: Übersicht der analysierten Parameter im Projektverlauf auf den 75 Monitoringparzellen der 16 Betriebe

Parameter, Methode	Zeitpunkt
$C_{org}$ -Gehalt	2018-2023, jährlich jeweils zwischen Oktober und Dezember
Lagerungsdichte, Aggregatstabilität und Spatenprobe	April bis September 2019 und September 2023 bis März 2024

### 4.3 Auswertung der Daten aus dem Wirkungsmonitoring

Im Folgenden wird beschrieben, wie die im Projekt erhobenen Daten analysiert und auf Ebene der Monitoringparzellen ausgewertet wurden.

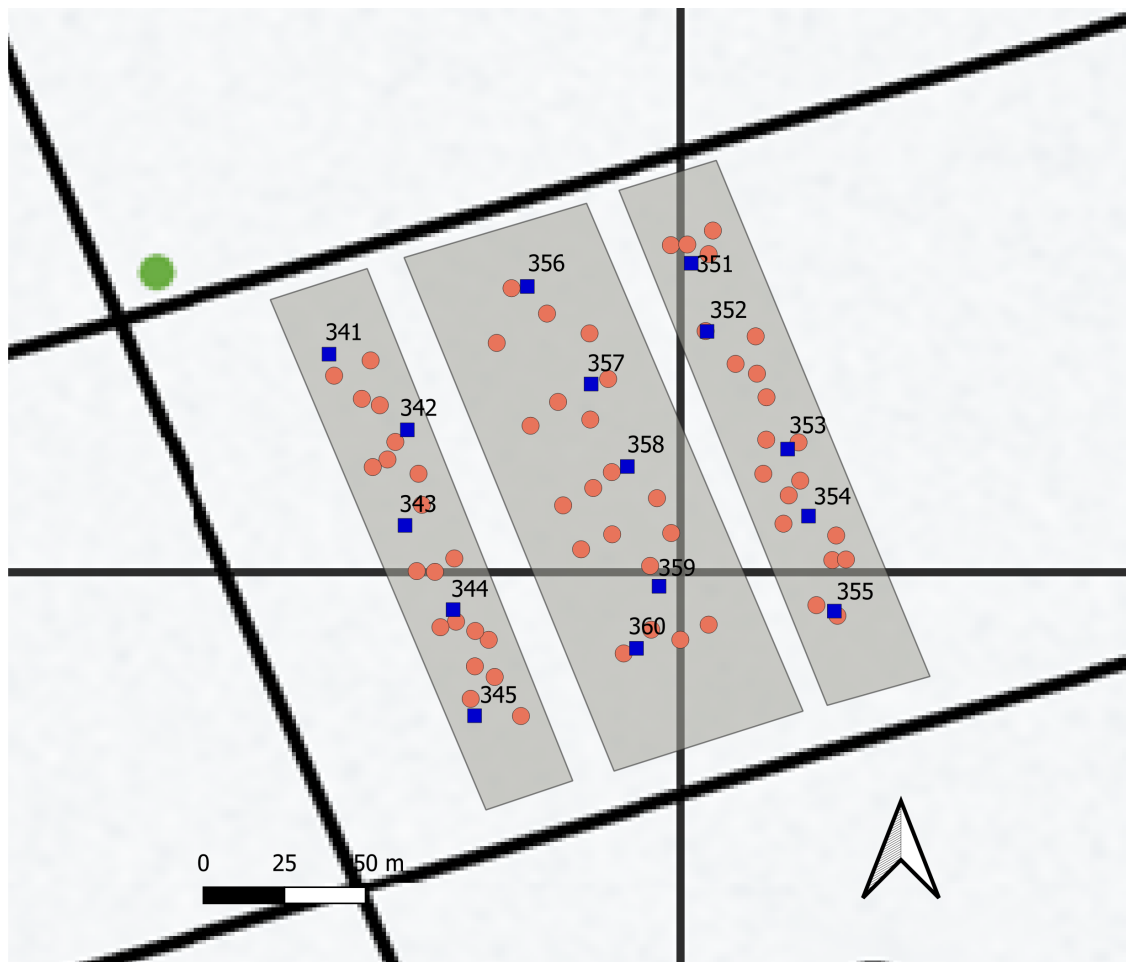


Abbildung 2: Beispiel eines Beprobungsplans für drei nebeneinanderliegende Monitoringparzellen. Die graue Fläche entspricht der Beprobungszone, zum Rand der Parzelle besteht ein 5 m Pufferstreifen, um Randeffekte auszuschliessen. Pro Parzelle ist folgendes dargestellt: 20 orange Punkte für die Mischprobe ( $C_{org}$ - und Körnungsanalyse) und 5 blaue, nummerierte Quadrate für die Zylinderproben in 5-10 cm und 20-25 cm Tiefe (Lagerungsdichte). Jeweils bei der ersten und dritten Nummer (d.h. bei 341+343, 356+358 und 351+353) wurden zudem eine Spatenprobe bis ca. 40 cm entnommen und beschrieben und eine Aggregatprobe in 8-15cm Tiefe entnommen und im Labor analysiert.

#### 4.3.1 Ergebnisse der Laboranalysen von $C_{org}$ -Gehalt und Lagerungsdichte

Die Ergebnisse der verschiedenen Labormessungen wurden zusammengefasst und auf Plausibilität geprüft. Dafür wurden die einzelnen Replikate (5 Zylinder bei der Lagerungsdichte und Doppel- oder Mehrfachbestimmung bei  $C_{org}$ ) der Bodenanalysen pro Monitoringparzelle untersucht, um die Genauigkeit des Labors zu bewerten. Dazu wurde der CV für jede Probe gemäss den Vorgaben für Referenzanalysen von Agroscope berechnet. Die Probenahme- und Analysefehler wurden berechnet, um die kleinste Veränderung zu schätzen, die auf einer Monitoringparzelle innerhalb eines realen Systems einer Fruchtfolge analytisch nachgewiesen werden kann. Danach wurden die Werte pro Monitoringparzelle und pro Jahr gemittelt, um Analysen auf Ebene Monitoringparzelle machen zu können.

#### 4.3.2 Analyse der Spatenprobe und Aggregatstabilität

Die Spatenproben-Daten (zwei Spatenproben pro Parzelle) wurden horizontweise erhoben und digitalisiert. Danach wurden horizontweise Noten gemäss [Nievergelt et al. \(2002\)](#) gegeben. Die Horizontnoten wurden gewichtet und nach Horizontmächtigkeit zu einer Gesamtnote pro Spatenprobe verrechnet. Aus diesen aggregierten Noten wurde eine gemittelte Note pro Parzelle gerechnet. Generell gilt, je grösser und kantiger das Aggregat, desto kleiner die Note. Das Resultat der Aggregatstabilitätsanalyse waren Stabilitätswerte in Prozent pro Parzelle. Diese wurden in Beziehung gesetzt zu Resultaten der Spatenproben (Aggregattyp), zu Tongehalt und zu  $C_{org}$ -Gehalt und es wurden mögliche Korrelationen untersucht.

### 4.3.3 Verwendung der HBR-Daten

Um Zusammenhänge zwischen Messungen und der Bewirtschaftung machen zu können, wurden auch die Daten zu den HB aus dem HBR von Agroscope extrahiert, in welchem die Teilnehmenden jährlich ihre Daten eingegeben hatten. Die Auszüge der teilnehmenden Betriebe enthielten parzellenspezifische Angaben zur HB und zur Fruchtfolge. Der Datensatz wurde homogenisiert und die fehlenden Daten bei den Monitoringparzellen in Bezug auf Fruchtfolge und Aussaatdatum von den Teilnehmenden ergänzt. Die Parzellennamen (IDs) wurden angepasst, wenn Parzellen in einem Jahr von jemand anderem bewirtschaftet wurden.

Es wurden zwei Datensätze erstellt: der Datensatz für die 16 Betriebe mit den Monitoringparzellen und der Datensatz aller Solothurner Betriebe, die am Projekt teilnahmen (inkl. der 16 Monitoring-Betriebe). Die Daten letzterer konnten nicht validiert werden und die Parzellen mit fehlenden oder abweichenden Daten wurden entfernt.

Für die Monitoringparzellen wurden einerseits Korrelationen gerechnet zwischen der HB und der Änderung des  $C_{org}$ -Gehalts im nächsten Jahr (bspw. HB aus Jahr 2018 mit Änderung  $C_{org}$  im Messjahr 2019). Andererseits wurden Korrelationen gerechnet zwischen einem HB-Jahr und dem übernächsten Messjahr. So konnte eruiert werden, ob die Massnahmen einen direkten, messbaren Effekt auf den  $C_{org}$ -Gehalt hatten.

### 4.3.4 Analyse der Monitoringparzellen

Die Datensätze der HB und der Analysen wurden in einer einzigen Datei zusammengestellt, um die statistischen Auswertungen durchzuführen.

Für jede Monitoringparzelle wurde die Entwicklung des  $C_{org}$ -Gehalts und des Verhältnisses  $C_{org}$ -/Tongehalt analysiert. Zwischen diesen Werten und der Zeit (Projektjahre) wurden lineare Regressionen gerechnet und die Signifikanz des Trends beurteilt. Parzellen mit einer signifikanten Steigung markieren dabei eine positive Entwicklung des  $C_{org}$ -Gehalts auf der Parzelle.

Im Rahmen einer Masterarbeit an der BFH-HAFL ([Prat, 2020](#)) wurde auch eine Analyse des Verhältnisses  $C_{org}$ -/Tongehalt auf 48 Dauergrünlandparzellen durchgeführt, die an eine Auswahl der Monitoringparzellen des Humusprojekts angrenzen. Damit wurden die Höchstgehalte an  $C_{org}$  eruiert, die in diesen Böden in Abhängigkeit von Tongehalt und klimatischen Bedingungen zu erwarten sind.

Weiter wurde ein Vergleich zwischen HBs und der Entwicklung des  $C_{org}$ -Gehalts gemacht, um zu erkennen, ob ein direkter Link zwischen der Bewirtschaftungsweise (organische Substanz, Zwischenfrüchte, Fruchtfolge,...) und dem  $C_{org}$ -Gehalt auf der Parzelle besteht.

Indem die Masse des Bodens mit den gemessenen  $C_{org}$ -Werten multipliziert wurde, konnte ein Vergleich der im Boden gespeicherten Kohlenstoffmengen vorgenommen werden.

Schliesslich wurden die verschiedenen Ergebnisse in den Kontext von Klima/Wetter und angebauten Kulturen gestellt, um Fehlinterpretationen zu vermeiden.

### 4.3.5 Analyse der Betriebe

Eine Auswertung der Entwicklung der HB wurde durchgeführt, um Trends im Verhalten der Bewirtschafterinnen und Bewirtschafter vor und am Ende des Projekts zu bewerten.

## 4.4 Arbeit im Arbeitskreis

Der Arbeitskreis, bestehend aus 14 Betrieben, die Monitoringparzellen zur Verfügung stellten, traf sich zweimal jährlich (mit "Pause" während Covid-19). Er wurde geleitet von Samuel Tschumi, ehemaliger Berater beim Bildungszentrum Wallierhof (Kanton SO). Die Treffen fanden jeweils auf einem der Betriebe der 14 Teilnehmenden statt. Jedes Mal wurde eine Aufgabe für die Landwirtinnen und Landwirte formuliert, z.B. die Analyse einer Fruchtfolge oder die Menge organischer Substanz, die einem Betrieb zur Verfügung stand (wer hat genug, wer zu wenig?). Zudem gab es jeweils einen wissenschaftlichen Input seitens BFH-HAFL (Stéphane Burgos). Diskutiert wurden v.a. technische Themen und technische Fragen bzgl. Umsetzung von Massnahmen. In einer (immer noch bestehenden) Whatsapp-Gruppe wurden fachliche Überlegungen ausgetauscht. Während Covid-19 wurde bspw. ein persönlicher Film über die Analyse einer Spatenprobe von jedem Teilnehmenden durchgeführt und vorgestellt.

## 5 Resultate und Diskussion

Im Folgenden werden zuerst die wichtigsten Messresultate zusammengefasst dargestellt. In einem zweiten Teil werden diese verknüpft mit Resultaten der HB, Informationen zur Fruchtfolge, zur Witterung und zu den umgesetzten Massnahmen. Meist werden beispielhaft die Resultate eines Betriebs gezeigt. Die Gesamtheit der Resultate und Analysen liegt der Projektleitung (Kanton SO) in einer Beilage vor.

Die dargestellten Abkürzungen für die 75 Monitoringparzellen wurden anonymisiert.

Für die Interpretation der Resultate wurden auch Niederschlagsdaten aus 4 umliegenden Wetterstationen von MeteoSchweiz ([MeteoSchweiz, 2025](#)) genutzt. Diese sind in Abb. 3 dargestellt. Abb. 4 zeigt die Verteilung über die Monate in den 6 Projektjahren an der Station Grenchen (GRE). Die Niederschlagsdaten der 3 weiteren konsultierten Stationen finden sich in Anhang 4 (16).

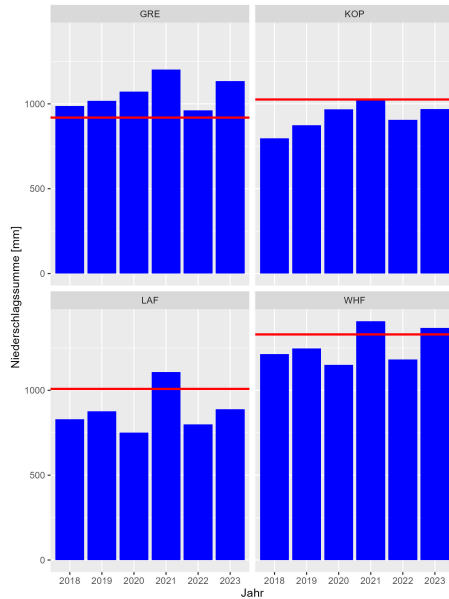


Abbildung 3: Jährliche Niederschläge [mm] während der Projektdauer und Normwerte 1991-2020 als rote, horizontale Linie in den Wetterstationen Grenchen (GRE), Koppigen (KOP), Riedholz/Wallierhof (WHF) und Laufen (LAF). An der Station GRE sind erst seit 2010 Messwerte vorhanden, der Normwert ist also der Schnitt von 2010-2020. Normwerte: GRE - 919 mm; KOP - 1026 mm; LAF - 1008 mm; WHF - 1330 mm (MeteoSchweiz, 2025)

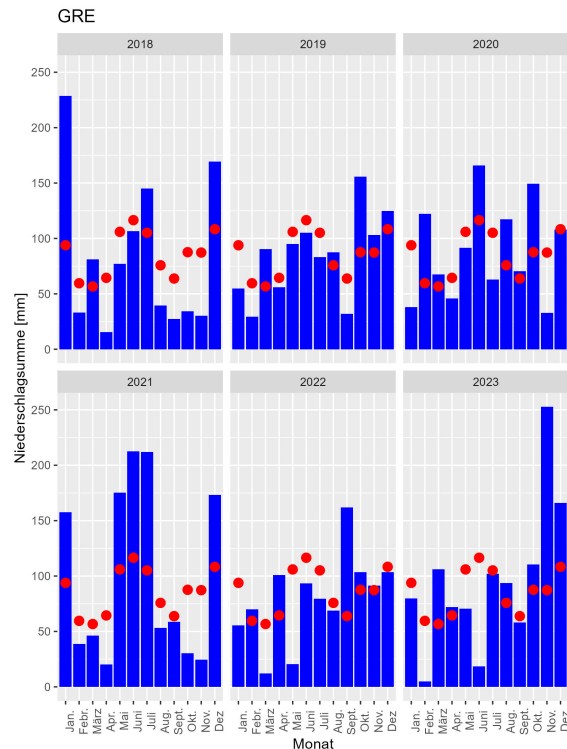


Abbildung 4: Monatliche Verteilung der Niederschläge [mm] und Normwerte 2010-2020 als rote Punkte an der Station Grenchen (GRE) in den 6 Projektjahren. Messbeginn 2010 (MeteoSchweiz, 2025)

### 5.1 Entwicklung des $C_{org}$ -Gehalts und des $C_{org}$ -/Ton-Verhältnisses

Die folgenden Resultate und Diskussionen basieren nur auf  $C_{org}$ -Messungen mit der Referenzmethode Corg von Agroscope ([Agroscope, 2020c](#)). Die Methode Glühverlust wurde nach dem 1. Projektjahr verworfen, weil der Fehler zu gross war. Mit einer durchschnittlichen SD von 0.4%  $C_{org}$  liegt er höher als bei der Referenzmethode Corg, wo er 0.05 %  $C_{org}$  beträgt. Für hohe Gehalte (4%, Schätzung) wäre das nicht problematisch, aber für tiefere ist der Fehler zu gross. Denn bei tiefen  $C_{org}$ -Werten wird auch der CV-Wert mit gleicher SD grösser. Die Werte der beiden Messmethoden korrelieren zudem ungenügend und die Glühverlust-Methode überschätzt den  $C_{org}$ -Gehalt.

Abb. 5 zeigt die Entwicklung des  $C_{org}$ -Gehalts auf den Monitoringparzellen eines Betriebs. Sie bildet sowohl die Steigungen der Entwicklung der  $C_{org}$ -Gehalte ab als auch die p-Werte (Signifikanz-Niveau=0.05) dieser Steigungen. Letztere zeigen an, ob die Steigung signifikant von 0 (keine Steigung) abweicht. Ein p-Wert von  $< 0.05$  würde bedeuten, dass sich der  $C_{org}$ -Gehalt signifikant verändert hat.

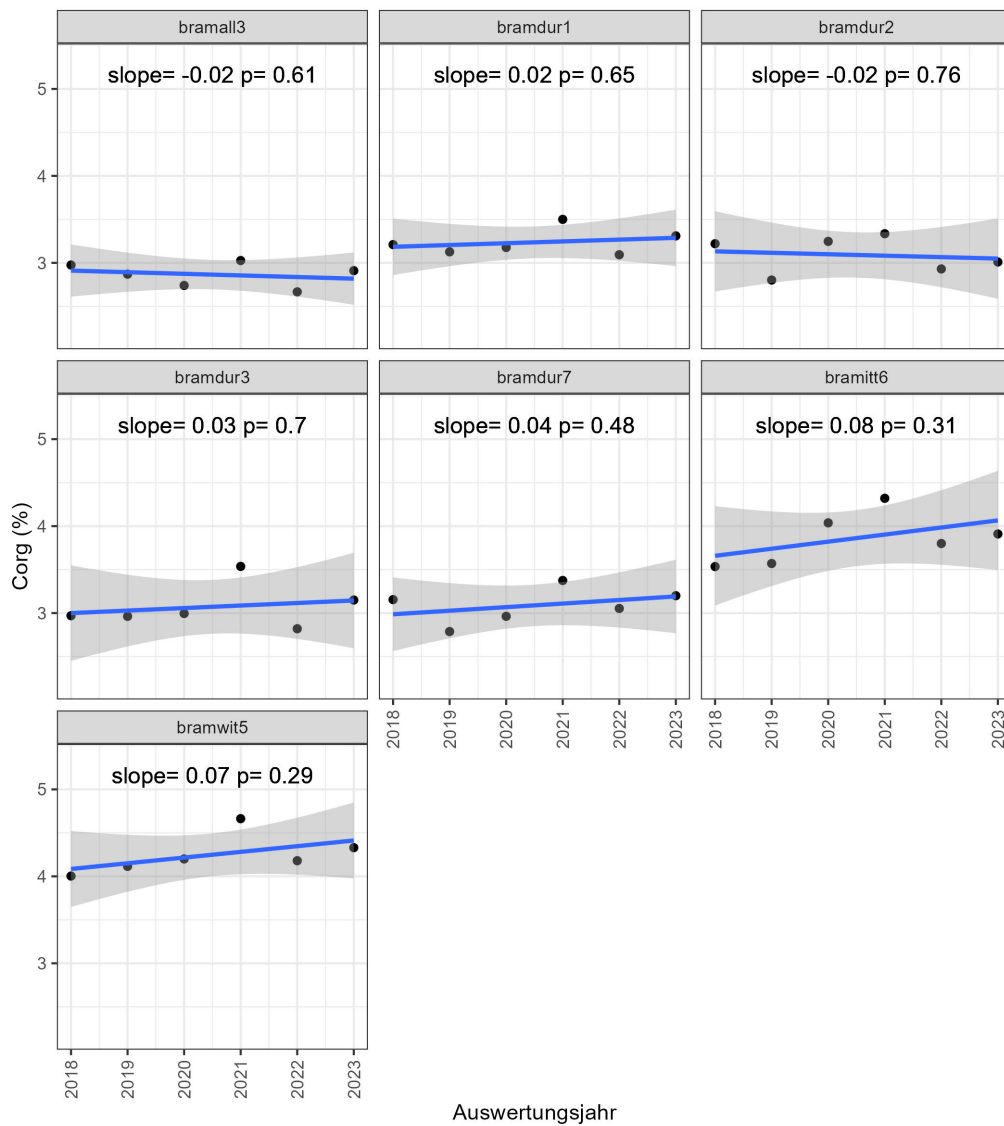


Abbildung 5: Entwicklung des C<sub>org</sub>-Gehalts, der Steigung [slope = C<sub>org</sub>-Gehalt/Jahr] und dem p-Wert über die Projektdauer auf einem Beispielbetrieb (anonymisiert)

Es gibt sowohl auf diesem Betrieb als auch auf den 15 anderen keine signifikanten Steigungen, das heisst, weder signifikante Zu- noch Abnahmen des C<sub>org</sub>-Gehalts über die Projektdauer (p-Wert  $\geq 0.05$ ). Diese Erkenntnis wird auch in Abb. 6 für alle 75 Monitoringparzellen visualisiert. Die Länge eines Balkens zeigt den Wert der Steigung für eine Monitoringparzelle an und die Farbe den zugehörigen p-Wert. Es gibt sowohl leicht positive als auch leicht negative Entwicklungen (Grösse des Balkens) aber alle p-Werte sind grösser als 0.05, die Veränderungen sind also nirgends statistisch signifikant.

Der im Projekt ermittelte CV der C<sub>org</sub>-Messungen liegt über alle Jahre im Durchschnitt bei 2.65% und ist in Abb. 7 dargestellt. Nur im Jahr 2019 liegt der CV etwas höher, was als akzeptierbar erachtet wird. Die Streuung der CV auf Ebene der Monitoringparzellen ist in Abb. 8 visualisiert. In der Referenzmethode Corg von Agroscope (2020c) werden verschiedene Mehrfachbestimmungen beschrieben und ebenfalls CV-Werte in diesem Grössenbereich aufgelistet. Die C<sub>org</sub>-Analysen im RP Humus liegen also innerhalb der Normen und weisen somit die erforderliche Qualität auf.

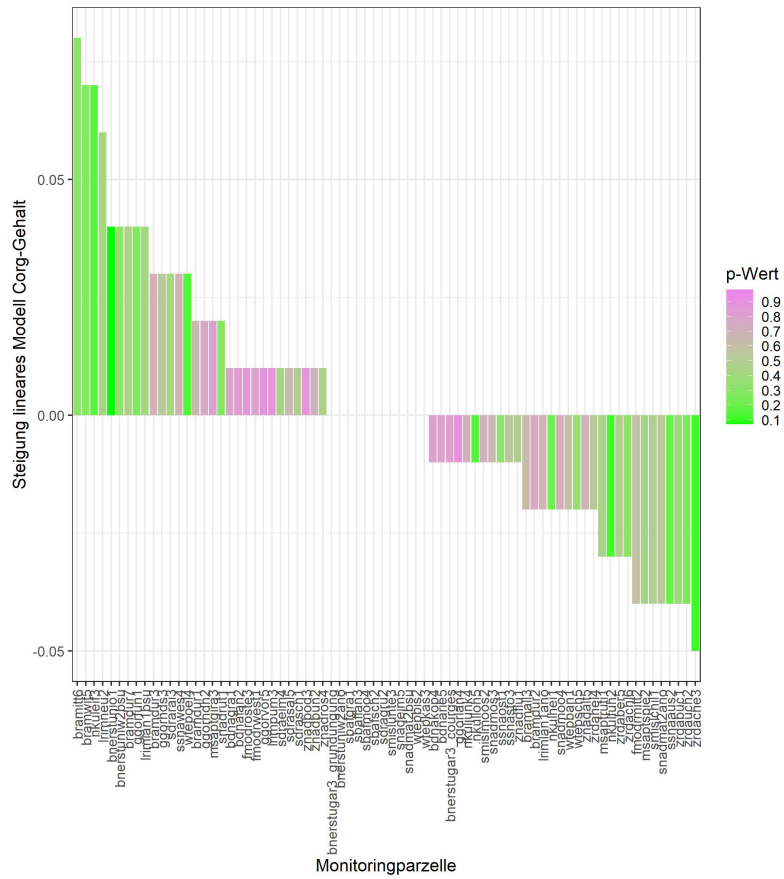


Abbildung 6: Streuung der Steigungen (Balken) der linearen Regressionen des C<sub>org</sub>-Gehalts über die Projektjahre für jede Monitoringparzelle (Balken). Eine positive Steigung bedeutet insgesamt eine Zunahme über die Projektjahre, eine negative Steigung eine Abnahme des C<sub>org</sub>-Gehalts. Die Steigungen (Farben grün bis rosa) sind jedoch nicht signifikant (p-Werte  $\geq 0.05$ )

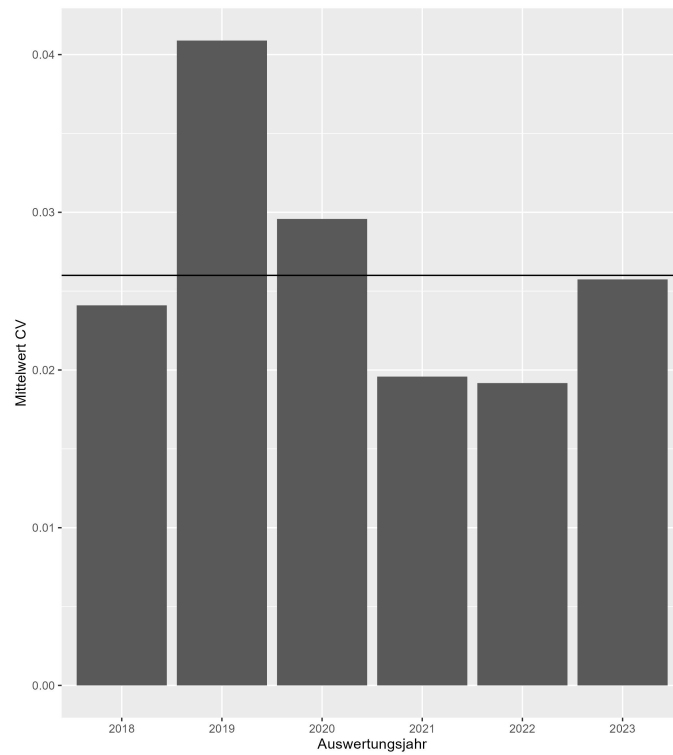


Abbildung 7: Jährliche Mittelwerte der Variationskoeffizienten (CV) des C<sub>org</sub>-Gehalts über alle Monitoringparzellen, Mittelwert CV über alle Projektjahre = 2.65% (horizontale schwarze Linie). Um einen CV in % zu erhalten, müssen die Werte mit 100 multipliziert werden.

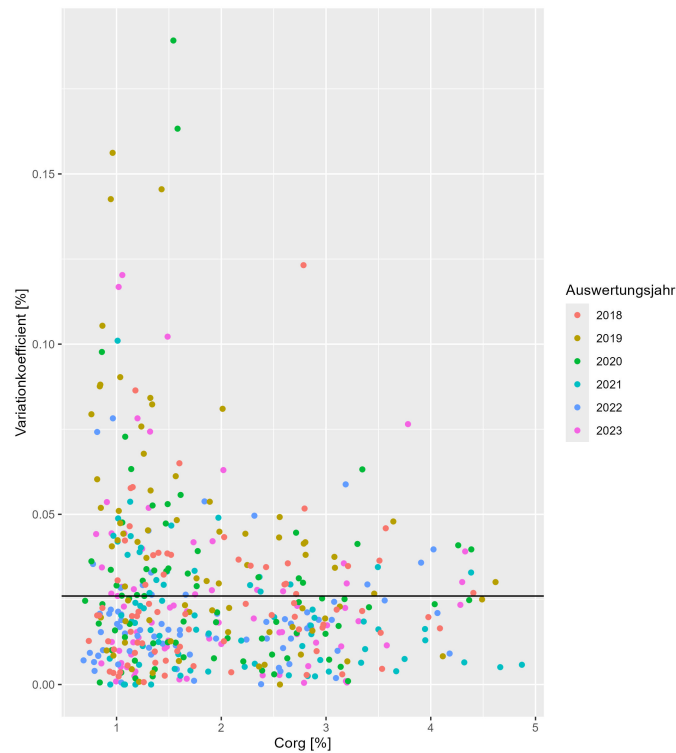


Abbildung 8: Streuung der Variationskoeffizienten (CV) der Monitoringparzellen für die  $C_{org}$ -Messung über die verschiedenen Projektjahre (Farbcodes), Mittelwert CV über alle Projektjahre = 2.65%. Um einen CV in % zu erhalten, müssen die Werte mit 100 multipliziert werden.

Die Grafiken der  $C_{org}$ -Entwicklung (Abb. 5) zeigen Schwankungen zwischen den Jahren. Die grösste gemessene Differenz auf einer Parzelle lag bei 0.4%  $C_{org}$ , im Schnitt sind es 0.1-0.2%  $C_{org}$ . Gründe für diese Schwankungen und das Ausbleiben deutlicher Trends können sein:

- Es gibt einen der Methode zugrunde liegenden Messfehler bei der nasschemischen Analyse von  $C_{org}$  (Agroscope, 2020c). Der CV liegt bei 2.4%. Die Parzelle *bramdur1* im Beispiel in Abb. 5 enthält 50% Ton und 3.3%  $C_{org}$  (2023). Sie weist eine Lagerungsdichte von 1.2 g/cm<sup>3</sup> im Oberboden auf. Der  $C_{org}$ -Gehalt inklusive Angabe des Messfehlers liegt also bei 3.3%  $\pm$  0.08%. Dieser Fehler entspricht 2.4 Tonnen  $C_{org}$  (also rund 4.13 Tonnen Humus) auf einer Hektare Fläche. Schwankungen, die bei dieser Parzelle innerhalb der 0.08%  $C_{org}$  liegen, gehören zum Fehlergeräusch und können nicht als tatsächliche Änderungen interpretiert werden. Um eine tatsächliche Änderung feststellen zu können, muss also eine Änderung mindestens 3 Tonnen  $C_{org}$  betragen.
- Die Prozesse der Humifizierung (Stabilisierung von  $C_{org}$ ) im Boden brauchen Zeit, die komplexen Mechanismen sind noch nicht klar und die verschiedenen Fraktionen der organischen Substanz sind nach wie vor Gegenstand der Forschung (Lützow et al., 2006; Feng et al., 2014; Castellano et al., 2015). Ein klarer Trend ist nicht nach 6 Jahren schon sichtbar.
- Der Humusgehalt im Boden ist ein Parameter, der extrem mit anderen Parametern korreliert. Es ist daher generell, aber vor allem in einer solchen Praxisstudie kaum möglich, die Einflüsse der verschiedenen Parameter auf den  $C_{org}$ -Gehalt aufzuschlüsseln. Dies bestätigen auch die Untersuchungen der NABO (Gubler et al., 2019)
- Wir vermuten einen Einfluss der Fruchtfolge auf die Schwankungen (Gubler et al., 2019). Dieser konnte jedoch im Rahmen dieses Projekts nicht genau untersucht werden, da sich die Fruchtfolge im Verlaufe des Projekts aus diversen betrieblichen Gründen anpassen. Sie konnte nicht, wie in einer wissenschaftlichen Feld-Labor-Studie am Anfang des Projekts fix definiert und dann eingehalten werden. Es handelt sich hier um eine Praxisstudie.
- Die Umstände bei der Beprobung, vor allem die Feuchtigkeit, können einen Einfluss auf die gemessenen  $C_{org}$ -Gehalte und die Lagerungsdichte haben. Dies zeigt die Studie von Gubler et al. (2016). Sie beschreiben, dass der Einfluss zwar in natürlich gelagerten Böden grösser ist als in bearbeiteten Ackerböden, weil da die oberste Bodenschicht deutlich mehr  $C_{org}$  enthält. Ändert sich ihre Lagerungsdichte aufgrund von hohem Wassergehalt (oberste Schicht dehnt



sich aus), kann das einen höheren  $C_{org}$ -Gehalt für die beprobte Tiefe zur Folge haben. Die absolute Menge im Boden ändert sich aber nicht. Aber auch in Ackerböden sind Einflüsse zu beobachten, z.B. durch die Bodenbearbeitung.

Abb. 9 zeigt den  $C_{org}$ -Gehalt in Bezug zum Tongehalt für die beprobten Monitoringparzellen über die Projektdauer. Dieses Verhältnis korreliert mit der Entwicklung des  $C_{org}$ -Gehalts, weil der Tongehalt als konstant angenommen wird und im Projekt deshalb nur einmal gemessen wurde. Die Geraden in Abb. 9 stellen Grenzwerte für die Wahrscheinlichkeit von stabilem oder instabilem Gefüge gemäss Johannes et al. (2017) dar; die grüne Gerade zeigt das Idealverhältnis von 0.125, orange entspricht dem Wert 0.1 und somit der Grenze zwischen einer wahrscheinlich guten und wahrscheinlich mittleren Stabilität. Die rote Gerade stellt das Verhältnis 0.08 dar. Ab diesem Wert steigt laut Johannes et al. (2017) die Wahrscheinlichkeit für instabiles Gefüge. Es ist ersichtlich, dass der Grossteil der Monitoringparzellen unter dieser roten Gerade liegt. Das bedeutet nicht, dass das Gefüge tatsächlich instabil ist, sondern dass die Wahrscheinlichkeit dafür erhöht ist und es Potenzial für Humusaufbau gibt (um das Verhältnis zu erhöhen). Genauso heisst ein hohes Verhältnis nicht automatisch, dass ein Gefüge stabil ist. Auch hier kann es sich um geschädigtes und bspw. mechanisch verdichtetes Gefüge handeln. Diese Erkenntnisse zu den Monitoringparzellen sind nicht überraschend, da für das Projekt explizit solche Parzellen ausgewählt wurden, die ein wahrscheinlich erhöhtes Potenzial für Humusaufbau aufweisen und sich darum dafür eignen, den Effekt von Massnahmen zu sehen.

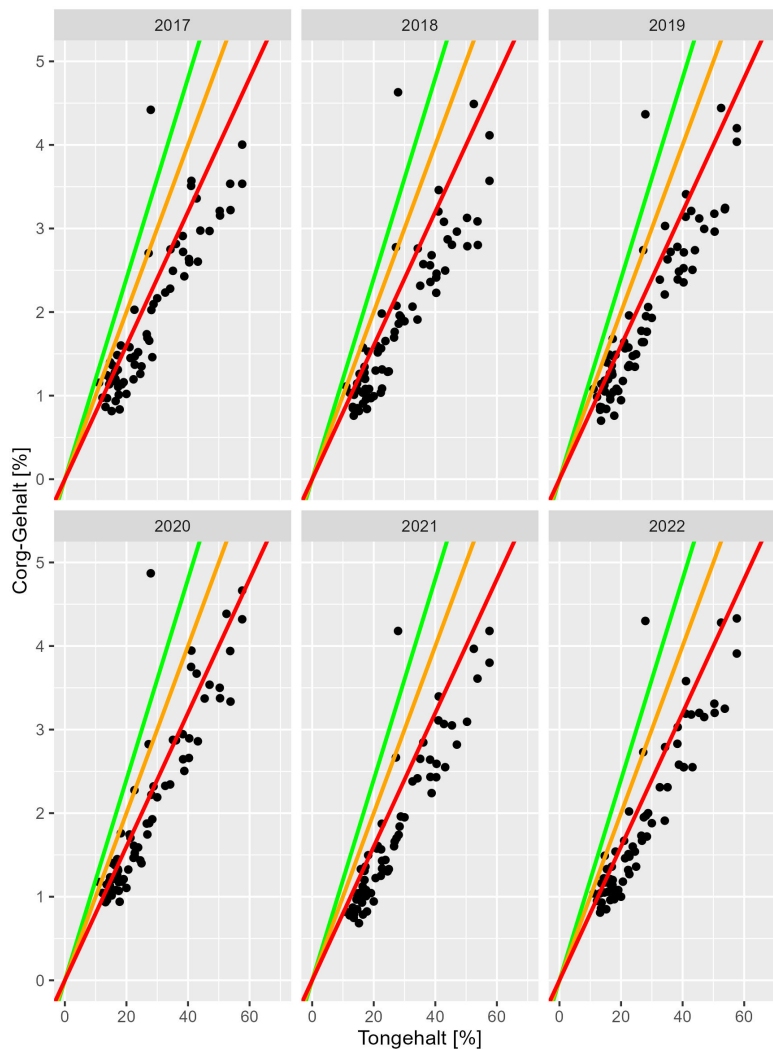


Abbildung 9:  $C_{org}$ -Gehalt in Bezug zum Tongehalt aller Monitoringparzellen für alle Projektjahre. Die grüne Linie markiert gemäss Johannes et al. (2017) ein Optimalverhältnis des  $C_{org}$ /Ton-Verhältnisses von 0.125, das heisst, die Wahrscheinlichkeit für eine gute Stabilität ist hoch. Die orange Gerade zeigt ein  $C_{org}$ /Ton-Verhältnis von 0.1 und ist die Grenze zwischen der Wahrscheinlichkeit für mittlere und gute Stabilität. Die rote Linie zeigt ein  $C_{org}$ /Ton-Verhältnis von  $\leq 0.08$  und damit eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für ein instabiles Gefüge.



Die Anwendbarkeit der Schwellenwerte nach Johannes et al. (2017) und des Verhältnisses  $C_{org}$ -/Tongehalt wird in der Literatur aber auch kritisch diskutiert. Poeplau und Don (2023) bspw. wendeten die Schwellenwerte in 2958 sehr unterschiedlichen, deutschen Böden an und kritisieren die starke Abhängigkeit vom Tongehalt. Sie beurteilen das Verhältnis als ungeeignet zur Beschreibung des Bodenfruchtbarkeitszustands und beobachten, dass v.a. überproportional viele tonige Böden ein tiefes Verhältnis (wahrscheinlich instabil) aufweisen. Die Studie von Johannes et al. (2017) hat Böden mit einem beschränkten Spektrum an Tongehalten untersucht, sie liegen durchschnittlich bei 20.5% und das Maximum beträgt 34.3%. Eine Schweizer Studie mit Untersuchungen im Schweizer Jura wiederum bewertet die Anwendbarkeit der Schwellenwerte positiv, auch in tonigen Böden (Johannes et al., 2023). Im Rahmen der Masterarbeit von Prat (2020) wurde das Verhältnis  $C_{org}$ -/Tongehalt auf 47 Dauergrünlandparzellen untersucht, die sehr nahe an den Monitoringparzellen des RP Humus liegen. Sie sollten als Referenz dienen, um den potenziell möglichen  $C_{org}$ -Gehalt unter den gegebenen Bedingungen (klimatisch, Stand der Bodenentwicklung) abschätzen zu können. Bei Dauergrünlandparzellen mit Tongehalten unter 30% lag das Verhältnis  $C_{org}$ -/Tongehalt bei durchschnittlich 0.101, also sehr nahe am Optimalverhältnis gemäss Johannes et al. (2017). Bei Dauergrünlandparzellen mit Tongehalten zwischen 30% und 60% lag es durchschnittlich bei 0.082, also nur noch knapp über dem Schwellenwert von einem wahrscheinlich instabilen Gefüge. Dies führt uns zu dem Schluss, dass das Verhältnis  $C_{org}$ -/Tongehalt in Böden mit hohem Tongehalt sorgfältig angewendet und interpretiert werden muss und weitere wissenschaftliche Untersuchungen notwendig sind. Ein weiterer Hinweis darauf liefert auch die Studie von Neyroud et al. (1997), die als Basis für den HBR dient. Sie nutzen für die HB einen “erwünschten”  $C_{org}$ -Gehalt (analog zu “souhaitable” in Neyroud et al. (1997)) als Funktion des Tongehalts. Dieser notwendige  $C_{org}$ -Gehalt bei gegebenem Tongehalt ist vor allem bei schweren Böden deutlich niedriger, als wenn man das Verhältnis von 0.1 gemäss Johannes et al. (2017) anwendet.

Auch die Böden auf den Monitoringparzellen des Beispielbetriebs von oben (vgl. Abb. 5) weisen sehr hohe Tongehalte zwischen 44% und 57% auf. Die Entwicklung des  $C_{org}$ -/Ton-Verhältnisses über die Projektjahre ist in Abb. 10 dargestellt und verläuft analog zur Entwicklung des  $C_{org}$ -Gehalts (Abb. 5). Es liegt bei allen Monitoringparzellen des Beispielbetriebs unter dem Schwellenwert von 0.08.

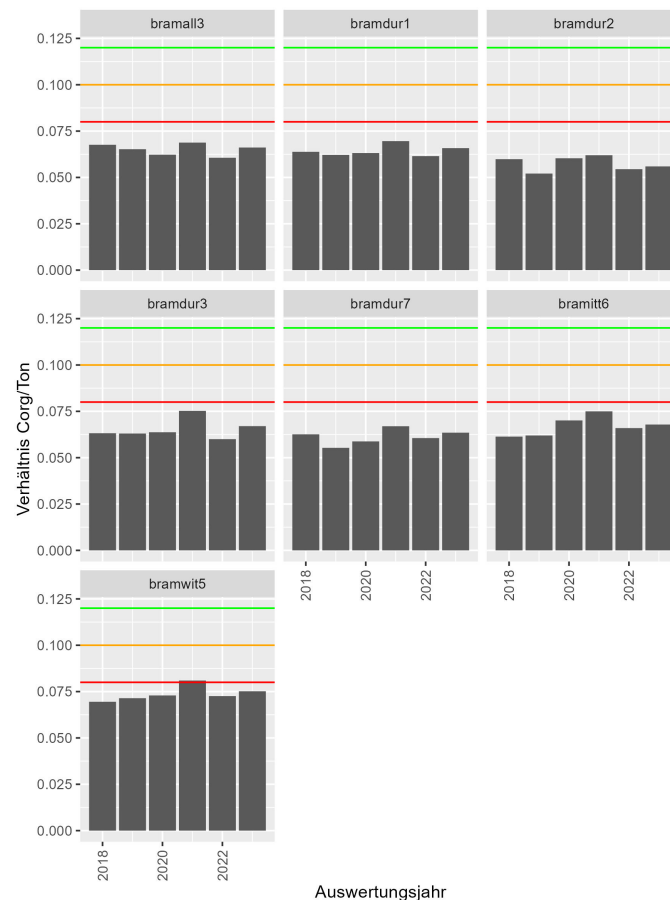


Abbildung 10: Entwicklung des  $C_{org}$ -/Ton-Verhältnisses über die Projektlaufzeit auf einem Beispielbetrieb. Die Tongehalte der Monitoringparzellen liegen zwischen 44% und 57%.

Momentan ist also noch umstritten, wie gut sich das Verhältnis  $C_{\text{org}}/\text{Tongehalt}$  eignet, um die Stabilität und das Potenzial der  $C_{\text{org}}$ -Speicherung in tonigen Böden beurteilen zu können. Die Gründe dafür müsste man weiter untersuchen. Viele weitere Faktoren könnten eine wichtige Rolle spielen, so z.B. die Entstehungsbedingungen der Böden, verschiedene Typen von Tonmineralien oder die klimatischen Bedingungen und somit Abbaubedingungen von organischer Substanz. Trotzdem erachten wir das Verhältnis  $C_{\text{org}}/\text{Tongehalt}$  generell als wertvollen Hinweis zur Bewertung des aktuellen  $C_{\text{org}}$ -Gehalts und der Stabilität des Bodens. Es ist auf jeden Fall wichtig, beide Größen zu kennen um den Boden beurteilen und den Gehalt an organischer Substanz einordnen zu können.

Auch bei der Messung des Tongehalts gibt es einen Laborfehler. Die Referenzmethode KOF birgt mehrere Fehlerquellen, weshalb die Quantifizierung des Gesamtfehlers nicht trivial ist. Insgesamt muss sicher von einer SD von 0.8% ausgegangen werden (Agroscope, 2020b). Da die Gehalte an Ton deutlich höher sind, als die Gehalte an  $C_{\text{org}}$ , fällt dieser Fehler viel weniger ins Gewicht. Zudem wird der Tongehalt als konstant angenommen und so bleibt auch der Messfehler im Verhältnis  $C_{\text{org}}/\text{Tongehalt}$  konstant. Streng genommen muss der Fehler bei der Entwicklung des  $C_{\text{org}}/\text{Ton}$ -Verhältnisses berücksichtigt werden. Um eine möglichst sichere Interpretation der Werte machen zu können, müssen aber primär Fehler bei der Beprobung vermieden und der Messfehler bei der  $C_{\text{org}}$ -Messung angemessen berücksichtigt werden, wie oben im Kapitel beschrieben.

## 5.2 Entwicklung der Lagerungsdichte

Die durchschnittliche Lagerungsdichte über alle Monitoringbetriebe erhöht sich von 1.27 zu Beginn des Projekts auf 1.32  $\text{g}/\text{cm}^3$  am Ende des Projekts und ist in Abb. 11 dargestellt. Die Entwicklung pro Betrieb ist in Abb. 12 und Abb. 13 sichtbar. Es zeigt sich durchwegs eine Tendenz zur Erhöhung der Lagerungsdichte. Die Gründe dafür können nicht direkt abgeleitet, sondern nur Vermutungen aufgestellt werden. Dabei gilt zu berücksichtigen, dass es sich bei den Messungen lediglich um zwei Momentaufnahmen handelt, es liegen rund 4 Jahre dazwischen, in denen nicht bekannt ist, wie sich die Lagerungsdichte entwickelt hat. Weiter zeigt die Analyse der Aggregatproben (vgl. unten, Kap. 5.4) eine Erhöhung der Aggregatstabilität. Dieser Befund könnte die erhöhte Lagerungsdichte bestätigen.

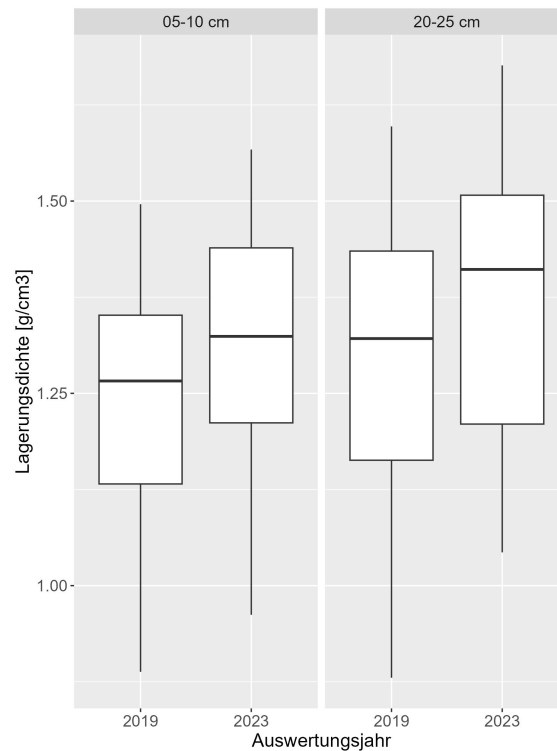


Abbildung 11: Vergleich der durchschnittlichen Lagerungsdichte zwischen Beginn und Ende des Projekts. Horizontaler Strich im Boxplot: Median. Vertikale Striche: Oberes und unteres Quartil

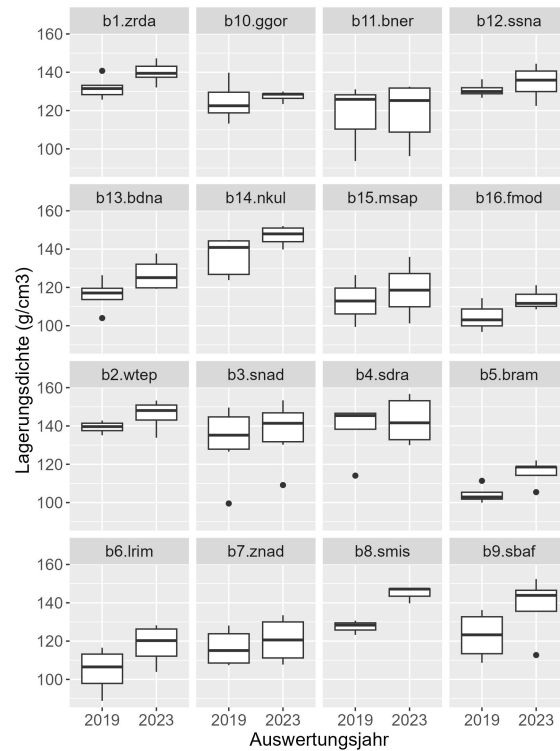


Abbildung 12: Vergleich der Lagerungsdichte pro Monitoringbetrieb zwischen Beginn und Ende des Projekts in 5-10 cm Tiefe. Die Werte sind Mittelwerte über alle Monitoringparzellen auf dem jeweiligen Betrieb. Horizontaler Strich im Boxplot: Median. Vertikale Striche: Oberes und unteres Quartil

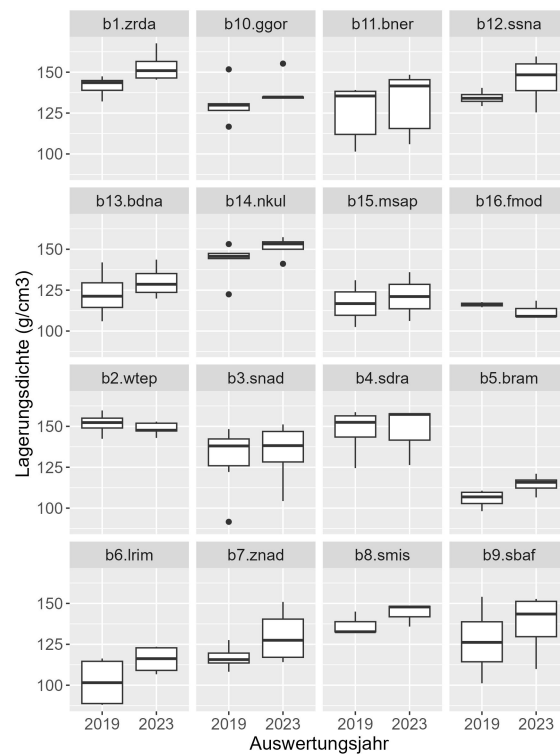


Abbildung 13: Vergleich der Lagerungsdichte pro Monitoringbetrieb zwischen Beginn und Ende des Projekts in 20-25 cm Tiefe. Die Werte sind Mittelwerte über alle Monitoringparzellen auf dem jeweiligen Betrieb. Horizontaler Strich im Boxplot: Median. Vertikale Striche: Oberes und unteres Quartil

Der Grund für die Verdichtung ist am ehesten auf die Bedingungen zur Zeit der Bodenbearbeitung und Saat zurückzuführen. Die Niederschlagsdaten der vier Messstationen Grenchen, Koppigen, Laufen und Riedholz/Wallierhof für das Jahr 2023 (Abb. 3, Abb. 4 und Anhang 4 (16)) zeigen, dass die totale jährliche Niederschlagsmenge in diesem Jahr am zweithöchsten (nach dem "Nassjahr" 2021) war. Die Verteilung der Niederschläge über die Monate innerhalb der 6 Projektjahre ist schwieriger zu interpretieren. Es zeigt sich aber, dass im Oktober und Dezember und vor allem im November - also zur Zeit von Saat und Bodenbearbeitung von Wintergetreide und Ernte der Zuckerrüben, die Niederschläge hoch und in den Messstationen Grenchen, Wallierhof und Koppigen über der Norm lagen (Abb. 4 und Anhang 4 (16)). Dies deckt sich mit den Schwierigkeiten, um die Schlussbeprobung zu planen und durchzuführen. Aufgrund der nassen Witterung musste diese teilweise um 1-2 Monate nach hinten geschoben werden, weil sich auch die Termine der Bodenbearbeitung und Saat seitens Betriebsleitung änderten. Wir vermuten, dass viele Überfahrten schliesslich zwangsläufig bei zu nassen Bedingungen gemacht wurden.

Die Niederschläge im Herbst 2018, also vor der *ersten* Beprobung hingegen, lagen bei allen vier Stationen deutlich unter der Norm (Abb. 4, Anhang 4 (16)). Die Böden waren trocken bis sehr trocken und folglich die Gefahr für Verdichtungen viel geringer. Dies deckt sich auch mit den internen Notizen zu den Beprobungsbedingungen am Anfang des Projekts: Sie mussten nach hinten geschoben werden (auf Frühling/Sommer 2019) aufgrund zu hoher Trockenheit.

Es wurde kein Trend bzw. signifikanter Unterschied des Fehlers der Lagerungsdichte-Messungen abhängig von Tongehalt oder Tiefe festgestellt. Der Fehler liegt überall bei ca.  $0.1 \text{ g/cm}^3$  und unterscheidet sich nicht wesentlich zwischen den zwei Messjahren. Dies kann bekräftigen, dass die Lagerungsdichte tatsächlich erhöht wurde.

### 5.3 HB und Analyse der Fruchtfolge

Die HB der Monitoringbetriebe wurden für die Jahre 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 und 2022 extrahiert und mit den Messungen des jeweiligen Folgejahres verglichen. Abb. 14 zeigt die HB auf Betriebsebene für alle Monitoringbetriebe in den verschiedenen Projektjahren. Sie ist zu einem grossen Teil positiv. Die y-Achse zeigt die HB in der Einheit  $\text{kg Humus/ha}^*\text{Jahr}$  an.

Um Aussagen über den Zusammenhang mit Fruchtfolge,  $C_{\text{org}}$ -Gehalt, Aggregat- und Gefügestabilität etc. machen zu können, muss die HB jedoch auf Parzellenebene berechnet werden. In Abb. 15 ist dies beispielhaft für einen Betrieb dargestellt. Die obere Ziffer über dem Balken (HB) stellt dabei den Anteil Humus durch Eintrag organischer Dünger dar. Dass auf einer Parzelle nicht jedes Jahr organische Dünger eingebracht werden, hat wahrscheinlich damit zu tun, dass dieser auf anderen Parzellen des Betriebs verteilt wird. Die untere Ziffer bezieht sich auf den Eintrag durch auf dem Feld belassene Erntereste. Das Belassen und allenfalls Häckseln von Ernteresten auf dem Feld war keine im Rahmen des Projekts abgeordnete Massnahme. Dass sie trotzdem umgesetzt wurde, bedeutet wahrscheinlich, dass sich die Betriebsleitenden dank ihrer Kenntnisse des HBR bewusst waren, dass die Massnahme einen Effekt hat. Deren Humusaufbauwerte von 500 oder 550  $\text{kg Humus/ha}^*\text{Jahr}$  sind durchaus relevant.

Weiter zeigt Abb. 15 die Interpretation verschiedener HB-Werte (rote, orange und grüne Linien, (Agroscope, o. J.)) und die Entwicklung der  $C_{\text{org}}$ -Gehalte (rote Punkte). Für den Vergleich der Ergebnisse der HB mit den  $C_{\text{org}}$ -Messungen ist eine Umrechnung Humus- $C_{\text{org}}$  notwendig. Für Böden mit  $C_{\text{org}}$ -Gehalten im Bereich der im Projekt untersuchten Ackerböden lautet die Umrechnungsformel wie folgt (Agroscope, 2020c):

$$\text{Humus} = C_{\text{org}} * 1.725$$

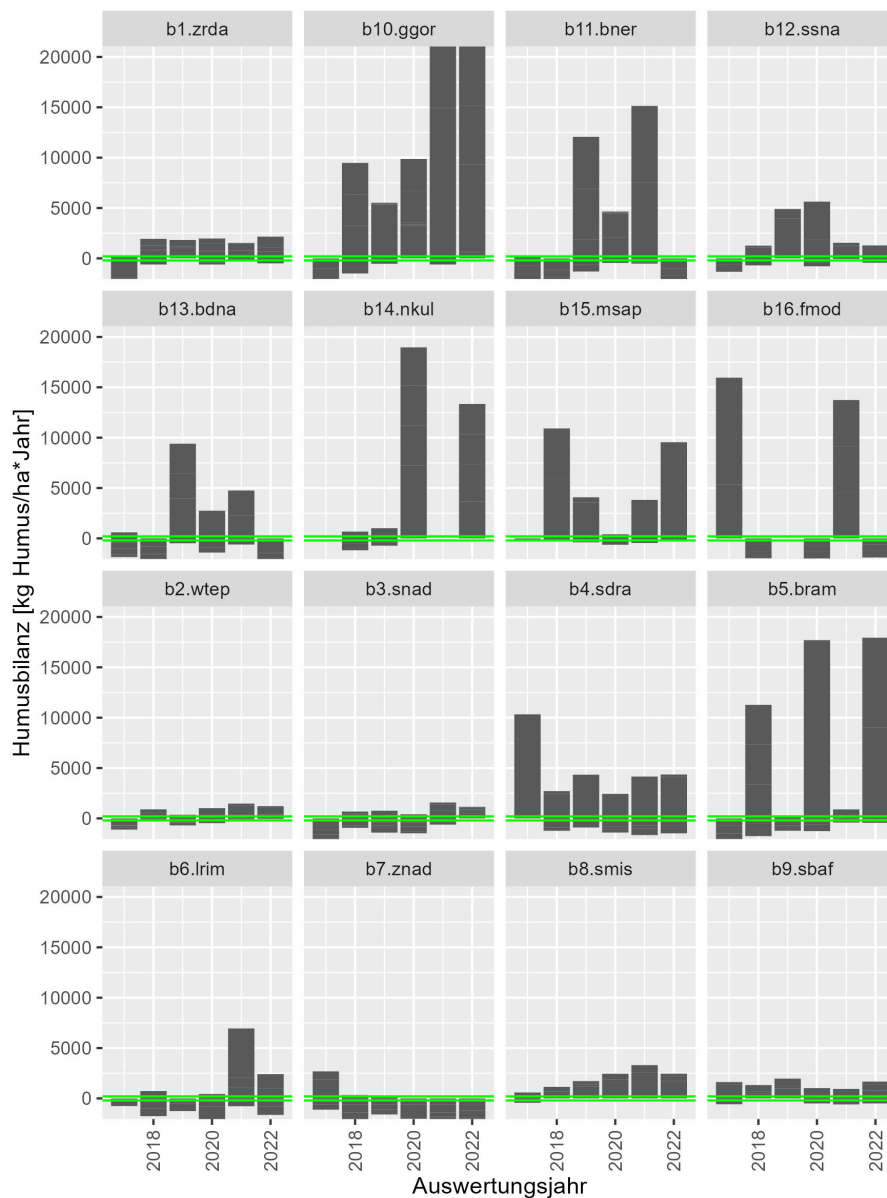


Abbildung 14: HB-Mittelwerte auf Betriebsebene über die Projektdauer. Die Einheit ist kg Humus/ha\*Jahr. Die grünen Geraden bei -200 und +200 markieren den Bereich, innerhalb welchem man von einer ausgeglichenen HB ausgehen kann.

Die Monitoringparzellen *zrdaber5* oder *zrdachl6* in Abb. 15 bspw. könnten vermuten lassen, dass ein Zusammenhang besteht zwischen jährlich gemessenen  $C_{org}$ -Gehalten und den HB-Werten; nach einer negativen HB folgt im Folgejahr ein tieferer  $C_{org}$ -Gehalt und nach einer (stark) positiven HB ein höherer  $C_{org}$ -Gehalt. Solche Beispiele sind in anderen Parzellen ebenfalls zu beobachten. Gegenteilige Beispiele mit umgekehrten oder keinen Trends sind jedoch ebenfalls sichtbar, z.B. in Parzelle *zrdabuc1*. Die Auswertungen haben keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen jährlicher HB und dem Gehalt an organischer Substanz erkennen lassen, sowohl im selben Jahr als auch im Folgejahr. Das heisst, es gab keine Korrelation zwischen bspw. einem hohen HB-Wert im Jahr 2019 mit einem zunehmenden  $C_{org}$ -Gehalt im Jahr 2020 oder 2021. Die HB ist vor allem abhängig von der Fruchtfolge (Hauptkultur, Zwischenkulturen), dem Anteil Kunstwiese und der Applikation organischer Substanz.

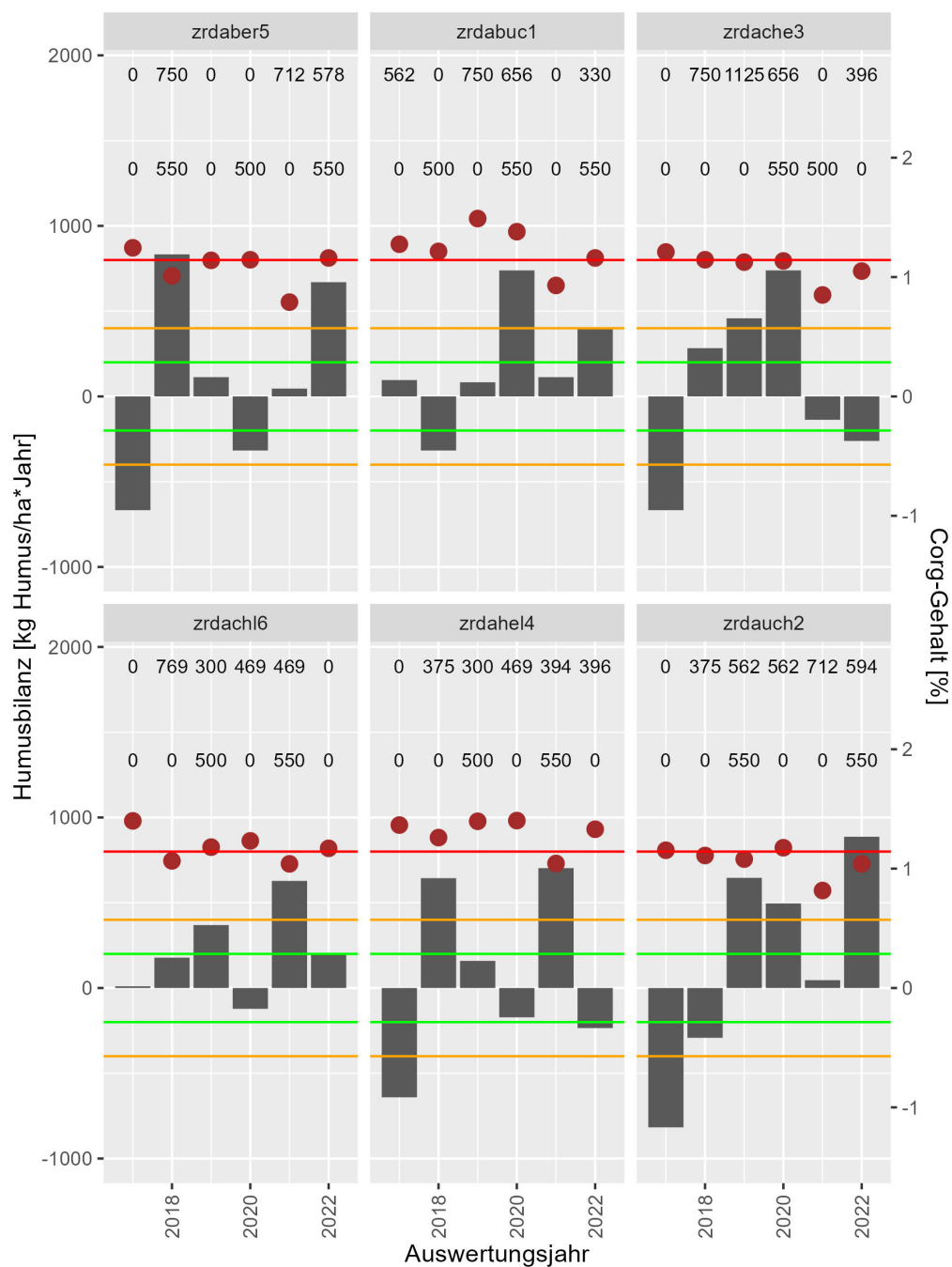


Abbildung 15: HB (graue Balken) eines Beispielbetriebs auf Parzellenebene über die Projektjahre in kg Humus/ha\*Jahr. Rote Punkte =  $C_{org}$ -Gehalt, zwischen den grünen Geraden (-200 bis +200) geht man von einer ausgeglichenen HB aus. Unter -400 (orange Gerade unten) ist die HB sehr tief, zwischen -200 und -400 tief, zwischen +200 und +400 (orange Gerade oben) ist sie hoch und zwischen +400 und 800 sehr hoch. Eine HB über 800 (rote Gerade oben) ist kritisch, da sie mit der Gefahr von Überdüngung und Nährstoffauswaschung einhergeht (Agroscope, o.J.). Die untere Ziffer über den Balken zeigt den Eintrag durch auf dem Feld belassene Erntereste, die obere die Zufuhr durch organische Dünger.

Abb. 16 zeigt die Anwendung der Zwischenkulturen und Kunstwiesen auf den Projektbetrieben. Im HBR kann nicht nach den gleichen Massnahmen wie im RP Humus unterschieden werden, darum unterscheiden sich die Bezeichnungen der Massnahmen (x-Achse) von denen im RP Humus. Die Abbildung zeigt die Anzahl der Umsetzungen der Massnahme auf jedem der 16 Betriebe. Es zeigt sich kein deutliches Bild. Die Massnahme Untersaat wird nur selten umgesetzt, was sich auch mit den Erkenntnissen aus den Online-Umfragen deckt (Abb. 22).

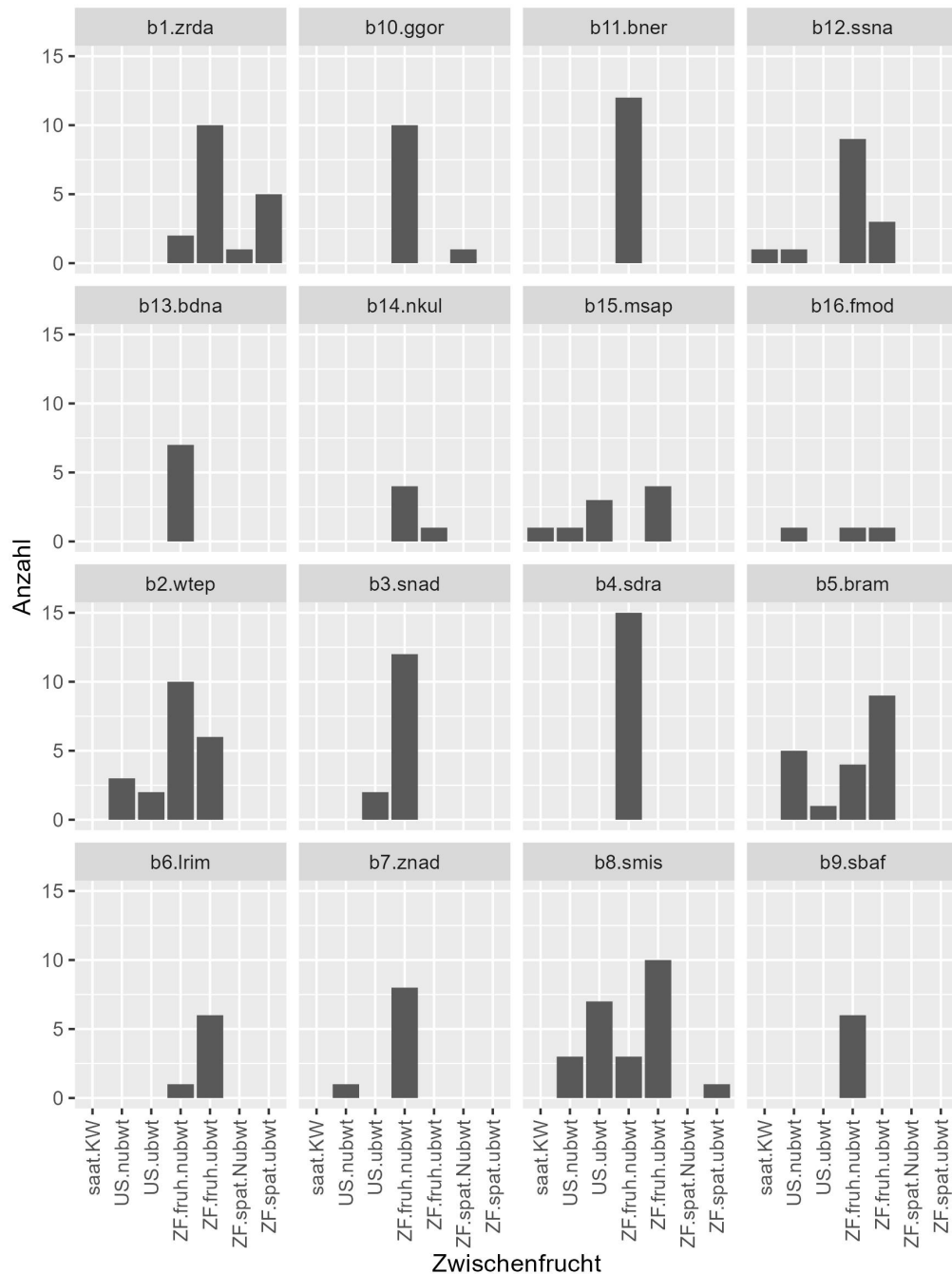


Abbildung 16: Umsetzung der Zwischenfrucht (ZF)-Massnahmen auf den Monitoringbetrieben über die Projektjahre. Die Balken entsprechen der summierten Anzahl pro Massnahme auf dem Monitoringbetrieb. Abkürzungen x-Achse v.l.n.r.: Ansaat Kunstwiese, Untersaat nicht überwinternd, Untersaat überwinternd, ZF Frühsaat nicht überwinternd, ZF Frühsaat überwinternd, ZF Spätsaat nicht überwinternd, ZF Spätsaat überwinternd

## 5.4 Aggregatstabilität und Spatenproben

Die Stabilität der Aggregate hat sich zwischen 2018 und 2023 erhöht (Abb. 17). Dies gilt insbesondere für Texturen mit einem Tongehalt von weniger als 30%. Für Proben mit Tongehalten über 30% liegen die Aggregatstabilitätswerte in beiden Messjahren in einem hohen Bereich über 75%. Es konnte keinerlei Differenzierung der Messung innerhalb dieses Bereichs gemacht werden. Wir vermuten, dass der Tongehalt eine Zerschlagung der Aggregate (mehrmaliges Eintauchen des Aggregats ins Wasser) verunmöglicht bzw. stark erschwert und schliessen daraus, dass die verwendete Methode nicht für schwere Böden geeignet ist.

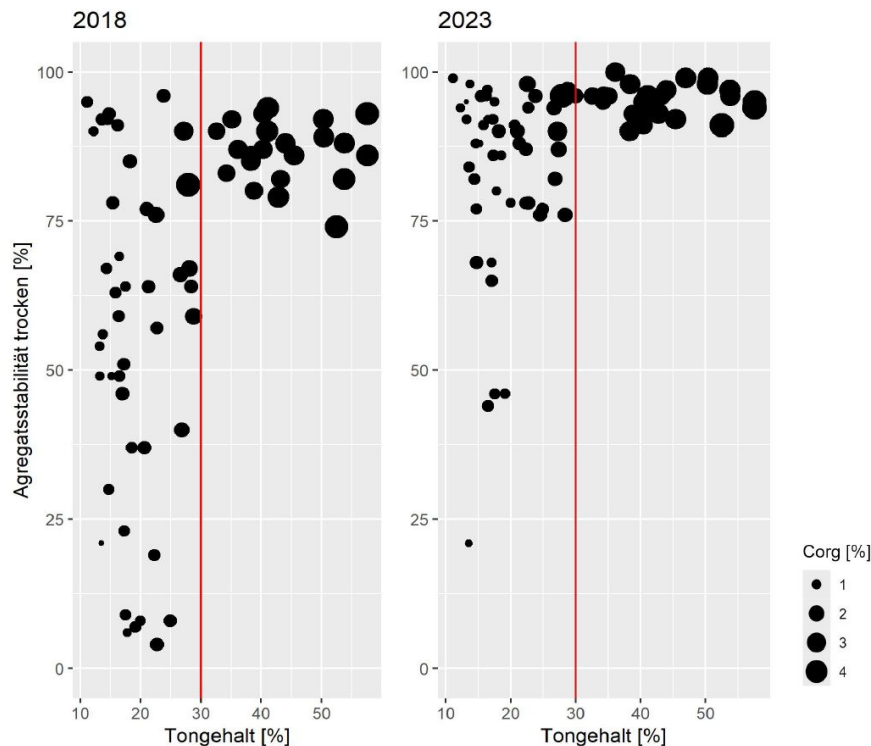


Abbildung 17: Aggregatstabilität der Monitoringparzellen zu Beginn (2019) und am Ende (2023) des Projekts in Abhängigkeit des Tongehalts. Je höher der Wert, desto höher die Stabilität. Die Grösse der Punkte gibt den Gehaltsbereich von  $C_{org}$  an. Die rote Linie markiert die Grenze zu eher schweren Böden, für die diese Methode nicht geeignet zu sein scheint (30% Ton)

Abb. 18 zeigt, dass die Proben mit weniger als 30% Ton und einer Zunahme der Aggregatstabilität durchaus auch eine Zunahme der Lagerungsdichte aufweisen. Die Erhöhung der Lagerungsdichte geht einher mit verringertem Porenraum und wird generell durch Verdichtung verursacht. Die möglichen Gründe wurden in Kap. 5.2 diskutiert. Die Korrelation von Aggregatstabilität und Lagerungsdichte führt uns zu der Vermutung, dass die beobachtete erhöhte Aggregatstabilität auch durch die erhöhte Lagerungsdichte mitverursacht wurde. Die Verdichtung der Aggregate könnte die Zerschlagung der Aggregate beim Eintauchen ins Wasser erschwert haben. In der Literatur wird jedoch generell von negativen Korrelationen zwischen Aggregatstabilität und Lagerungsdichte berichtet (Özdemir et al., 2022); d.h. je höher die Aggregatstabilität, desto niedriger die Lagerungsdichte.

Es könnte aber auch andere Gründe für die erhöhte Aggregatstabilität geben, wie die längere Bewurzelungszeit durch Zwischenfrüchte, ähnlich einer Dauerwiese (Prat, 2020), oder mikrobielle Ausscheidungen. Solche Parameter wurden aber im Rahmen des Projekts nicht erhoben.

Der erwähnte Widerspruch von erhöhter Aggregatstabilität und erhöhter Lagerungsdichte deutet auch darauf hin, dass die Methode kritisch hinterfragt werden muss und die Resultate hier nicht überinterpretiert werden dürfen. Das Resultat der Methode hängt zu einem gewissen Teil auch von der Beobachtung und Interpretation der durchführenden Person ab. Diese muss sich am Anfang eichen, um eine visuelle Einschätzung des Prozentanteils der Aggregate machen zu können, der bei der Methode intakt zurückbleibt. Zudem müssten, wie erwähnt, für eine verlässliche Analyse der Aggregatstabilität wohl auch andere Parameter gemessen werden. Laut Kodešová et al. (2009); Le Bissonnais und Le Souder (1995) beeinflussen diverse Parameter die Aggregatstabilität. Unter anderem hat eine Erhöhung der organischen Substanz einen positiven Einfluss auf die Aggregat-



bildung und auf deren Stabilität (Abiven et al., 2009; Chaney & Swift, 1984). Mit einer Erhöhung der organischen Substanz ist auch oft eine tiefere Lagerungsdichte verknüpft. Da in diesem Projekt keine statistisch signifikante Veränderung des  $C_{org}$ -Gehalts beobachtet werden konnte, kann auch dieser Faktor nicht als Erklärung für die erhöhte Aggregatstabilität dienen.

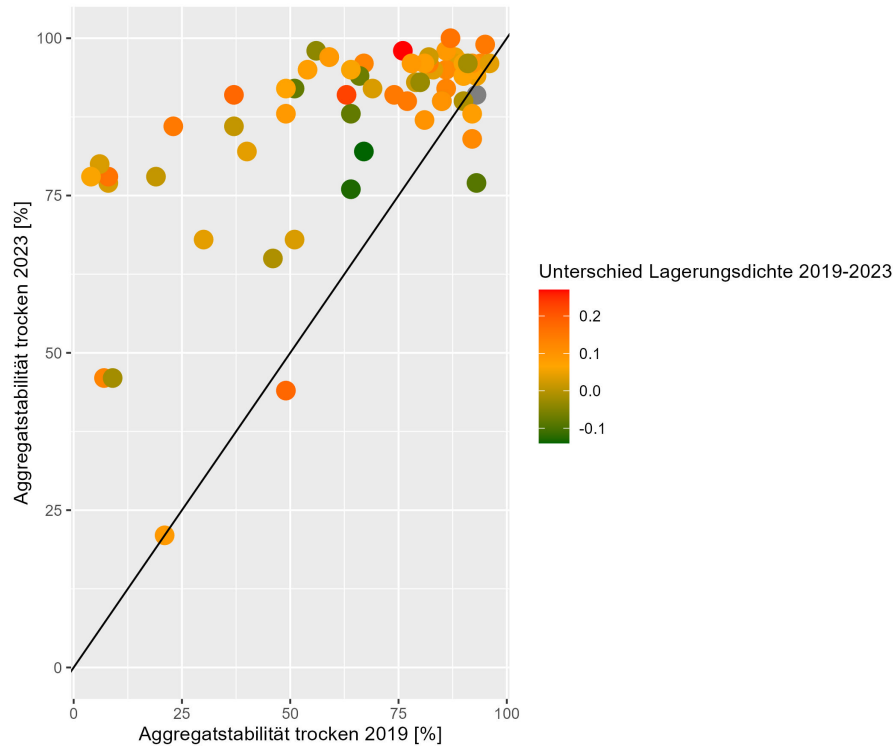


Abbildung 18: Korrelation der Aggregatstabilität am Anfang und am Ende des Projekts und Veränderung der Lagerungsdichte auf den Monitoringparzellen. Eine positive Differenz zeigt einen Anstieg der Lagerungsdichte

Die Analyse der Spatenproben ist in Abb. 19 dargestellt. Die y-Achse zeigt die gewichtete Note gemäss Nievergelt et al. (2002) und die x-Achse die Aggregatstabilität. Tiefere Noten bei der Spatenprobe bedeuten generell grössere und kantigere Aggregate. Die Analyse zeigt, dass das Gefüge (Aggregatformen) in 2019 und 2023 unterschiedlich beschrieben wurde. Die dominierenden Strukturen sind in beiden Jahren Polyeder (Po) und Subpolyeder (Sp). Im Jahr 2023 wurden mehr Aggregate als Polyeder beschrieben, die in 2019 als Subpolyeder beschrieben wurden. Dies kann einerseits auf die hohe Bodenfeuchtigkeit im Jahr 2023 zurückzuführen sein, die eine Überschätzung der Klasse der Polyeder zur Folge hatte. Andererseits spielt sicher auch der Faktor der Subjektivität eine Rolle. Genauso verhält es sich mit den Krümeln. Im Jahr 2019 wurden einzelne Aggregate als Krümel beschrieben, 2023 spielten diese im Schnitt keine Rolle mehr. Dies bedeutet jedoch nicht zwingend, dass sich die Aggregatform an sich wesentlich geändert hat, sondern einfach dessen Beschreibung. Verschiedene Personen interpretieren die verschiedenen Aggregatformen unterschiedlich, je nachdem, wie sie geeicht sind.

Es ist deutlich zu erkennen, dass die meisten stabilen Strukturen der Polyeder-Klasse angehören. Zudem korrelieren die Polyeder mit hohem Tongehalt, was mit unseren Beobachtungen im Feld übereinstimmt.

Die Unterschiede zwischen den Jahren zeigen, dass es praktisch unmöglich ist, Messungen unter ähnlichen Bedingungen im Abstand von 6 Jahren durchzuführen, vor allem wenn sich die Witterungsbedingungen in den zwei Beprobungsjahren so wesentlich unterscheiden und die Böden im Herbst/Winter nur langsam abtrocknen.

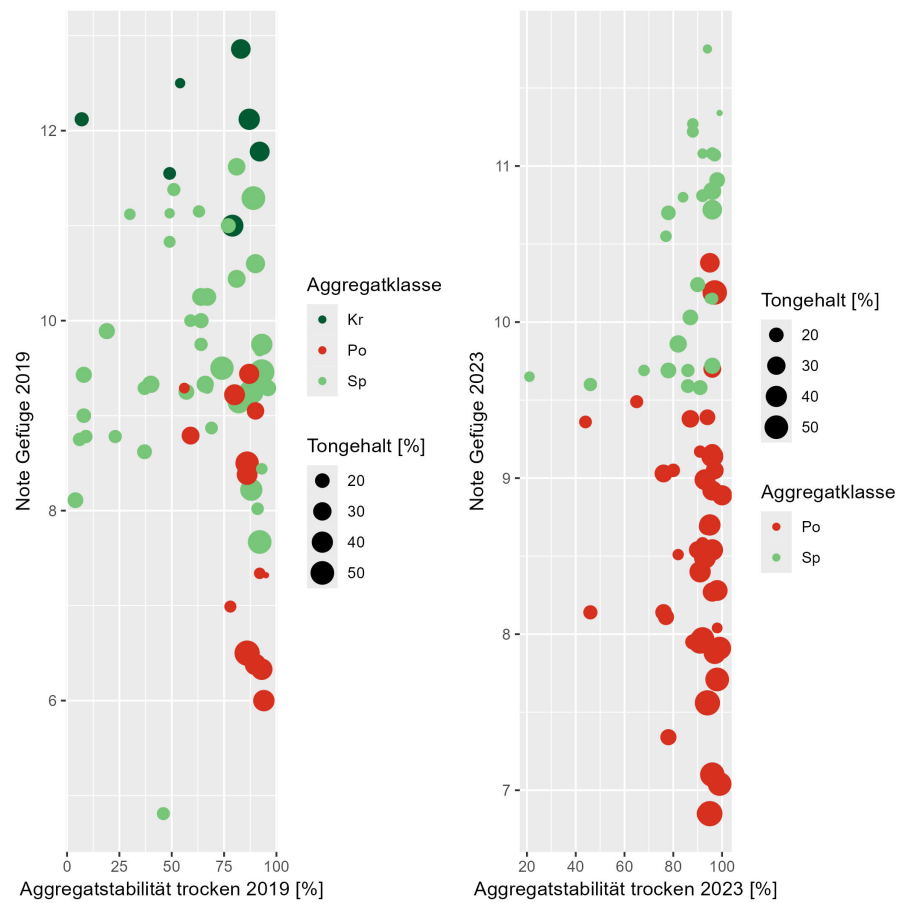


Abbildung 19: Note zur Bewertung des Gefüges nach Nievergelt et al., 2002 als Funktion der Aggregatstabilität. Höhere Noten für die Spatenproben bedeuten eher kleinere und rundere Aggregate und tiefere Noten eher grosse, kantige Aggregate. Die Grösse der Punkte markiert den Tongehalt und die Farbe den Aggregattyp: Br=Bröckel, Ko=Kohärent, Kr=Krümel, Po=Polyeder, Sp=Subpolyeder

## 6 Forschungsfragen WM

Die Forschungsfragen des WM im RP Humus können wie folgt beantwortet werden:

### **Kann man innerhalb von 8 Jahren einen Einfluss der umgesetzten Massnahmen auf den Humusaufbau und die C-Speicherung feststellen? Lassen sich die Veränderungen messen?**

Anhand der Entwicklung der  $C_{org}$ -Gehalte lässt sich kein deutlicher Einfluss der Massnahmen beobachten. Sowohl positive als auch negative Entwicklungen des  $C_{org}$ -Gehalts sind nicht signifikant. Dasselbe gilt für die Entwicklung des Verhältnisses  $C_{org}$ - / Tongehalt, da der Tongehalt als konstant angenommen wird und nur am Anfang des Projekts gemessen wurde. Es stellt sich also die Frage, warum trotz der Massnahmen und trotz steigender HB laut dem HBR eine messbare Erhöhung des  $C_{org}$  ausbleibt. Die Beobachtung deckt sich mit den Erkenntnissen von [Rainford et al. \(2024\)](#). Humusbilanzrechner wie der von Agroscope wurden entwickelt, um Landwirtinnen und Landwirten und Beratungspersonen ein Tool in die Hand zu geben, um ihre Fruchtfolge und den Einsatz organischen Düngers hinsichtlich Bodenqualität zu optimieren. Die Studie von [Rainford et al. \(2024\)](#) führte auf 14 Schweizer Versuchsstandorten sowohl 133 Kurzzeituntersuchungen (Fruchtfolge von 5-6 Jahren) als auch 26 Langzeituntersuchungen (Fruchtfolge > 10 Jahre) durch. In den Langzeituntersuchungen mit humusaufbauenden Massnahmen konnte eine leichte Tendenz von  $C_{org}$ -Aufbau beobachtet werden, nicht aber in kürzeren Zeitabschnitten von 5-6 Jahren, welche mit der vorliegenden Projektdauer vergleichbar sind. Frühere Studien haben positive Korrelationen zwischen HB-Zahlen und der Änderung des  $C_{org}$  im Boden beobachtet ([Brock et al., 2015](#)). Laut [Rainford et al. \(2024\)](#) ist das statistische Bestimmtheitsmass  $R^2$  zwar ein Mass für die Korrelation zwischen den beiden Faktoren HB und  $C_{org}$ -Gehalt. Je näher  $R^2$  bei 1 liegt, desto stärker hängen die zwei Grössen zusammen. Dies bedeutet aber nicht, dass die eine Grösse die andere auch wirklich vorausagen kann. Es heisst nicht, dass die Vorhersage der HB für einzelne Fruchtfolgen zwingend korrekt ist. [Rainford et al. \(2024\)](#) haben bspw. negative  $C_{org}$ -Veränderungen gemessen an Versuchsstandorten, wo die HB ausgeglichen war ([Rainford et al., 2024](#)).

Die Resultat-Zahl aus der HB basiert auf so vielen Annahmen im Modell, dass die messbare Änderung des  $C_{org}$ -Gehalts auf der Parzelle damit nicht vorhergesagt und quantifiziert werden kann - zumindest nicht in einer kurzen Zeitspanne von wenigen Jahren. Wenn man dem Modell jedoch folgt, wird man Massnahmen umsetzen, die längerfristig zielführend sind und zu einem höheren  $C_{org}$ -Gehalt im Boden führen. Weiter wurden die im RP Humus vorgeschlagenen Massnahmen in der relativ kurzen Zeitspanne insgesamt nur wenige Male auf den Parzellen durchgeführt. Betrachtet man die Humuszufuhr, die sie bewirken können (200-400 kg gemäss HBR), dienen sie in dieser Zeit primär dazu, einen Teil der Verluste zu kompensieren. Dies kann an einem Rechenbeispiel aus der Praxis veranschaulicht werden. Ein Boden mit einem  $C_{org}$ -Gehalt von 1.2% (entspricht 2.1% Humusgehalt) und 15% Ton verliert durch Mineralisierung pro Hektare pro Jahr laut HBR mind. 850 kg Humus, tendenziell mehr. Abhängig von der Kultur werden ca. 300 kg Humusverlust durch auf dem Feld bleibende Stoppeln und Wurzeln kompensiert. Allein mit Zwischenfrüchten kann der Rest kaum kompensiert werden. Kann kein Mist oder Kompost zugefügt werden, müssen für die vollständige Kompensation (also Erhaltung des Humusgehalts) alle möglichen Massnahmen wie Zwischenfrüchte, Belassen von Ernteresten auf dem Feld, Stroh häckseln etc. umgesetzt werden.

Um die Fragen nach dem Einfluss der Fruchtfolge auf den  $C_{org}$ -Gehalt vollständig untersuchen und beantworten zu können, ist das Versuchssetting nicht geeignet. Hier handelt sich um eine Praxisstudie, keine Laborstudie. Aus einem Ressourcenprojekt in der natürlichen Welt mit Betriebsleitenden, die die Fruchtfolge, Düngerapplikation etc. situativ anpassen müssen, können nicht Schlüsse gezogen werden wie in einer Labor- oder kontrollierten Feldstudie, wo Einfuhr von organischer Substanz und Ernte genau geplant und nach Protokoll durchgeführt werden. Die Messungen konnten im Projekt nicht massnahmenspezifisch durchgeführt werden und es gab auch keine Messungen auf Kontrollparzellen. Es muss zudem generell beachtet werden, dass die Versuchsparzellen eines Projektbetriebs nicht zwingend repräsentativ für die restlichen Betriebsparzellen sind. Dies kann ein Learning für Abgeltungen pro Parzelle oder pro Massnahme sein.

### **Zeigen sich Auswirkungen der umgesetzten Massnahmen auf die Qualität und Stabilität der Bodenstruktur?**

Die Messergebnisse erlauben nicht, eine Veränderung zu postulieren und darzustellen. Bei der Aggregatstabilität zeigt sich, dass der Tongehalt bei schweren Böden (>30%) eine dominierende Rolle spielt und sich Unterschiede der Aggregatstabilität in der Realität mit dieser Methode nicht erkennen lassen. Die Aggregatformen bei tonigen Böden sind von Natur aus eher polyedrisch (kan-

tig, mit glatten Oberflächen), ziemlich grob und stabil und wirken kompakter. Dies war auch bei der Beschreibung der Spatenproben zu erkennen. Die Diversität der Bodentypen und Körnungen und die unterschiedlichen Bodenbearbeitungen führen zu einer grossen Variation an Formen und Grössen von Aggregaten. Die feuchten Bedingungen im Herbst 2023 einerseits und wahrscheinlich auch die unterschiedlichen Personen im Labor andererseits führten dazu, dass die Aggregatstabilitätsanalysen nicht mit denen von 2019 vergleichbar waren. Diese Problematik wird sich in allen Projekten mit WM unter Praxisbedingungen zeigen.

### **Welches Potenzial besitzt die Spatenprobe um Strukturverbesserungen festzustellen?**

Die Spatenprobe eignet sich, ähnlich wie die Aggregatstabilitätsmessung, nur bedingt als Methode für ein wissenschaftliches Monitoring. Spatenproben werden stark von den aktuellen Bedingungen beeinflusst, bspw. ist die Festigkeit eines Aggregats, v.a. in tonreichen Böden, von der Feuchtigkeit abhängig. Weiter besteht trotz vorgegebenen aufzunehmenden Parametern eine subjektive Komponente und das Resultat ist auch abhängig von der Erfahrung der beschreibenden Person. Verschiedene Personen schätzen beispielsweise die Form und Grösse von Aggregaten oder die Menge an Wurzeln in einem Horizont anders ein.

Spatenproben sind sehr aufwändig im Vergleich zu ihrem Nutzen für ein wissenschaftliches Monitoring. Als Mittel zur Sensibilisierung für die Bewirtschaftenden sind sie jedoch sehr wertvoll, weil sie eine Orientierung bieten, um den Boden systematisch zu beschreiben und zu beobachten und so besser kennenzulernen. Von den Teilnehmenden des AK wurden die Spatenproben weitgehend akzeptiert. Sie wurden in die Praxis umgesetzt und dienten als Instrument der Diagnostik und der Reflexion. Zudem waren sie Gegenstand mehrerer Weiterbildungsveranstaltungen im Rahmen des Projekts.

### **Wie verändert sich die Anzahl an Bodenbefahrungen und die Dauer der Bodenbedeckung durch die umgesetzten Massnahmen?**

Diese Frage ist sehr umfassend und hängt von verschiedenen Faktoren ab. Zum einen muss man bei den Befahrungen zwischen solchen unterscheiden, die ohne Bodenbearbeitung erfolgen (z. B. Saat oder Mähen), solchen, die mit einer oberflächlichen und nur reduzierten Mineralisierung fördernden Bodenbearbeitung verbunden sind (z.B. Stoppelbearbeitung), und solchen Bodenbearbeitungen, die die Mineralisierung organischer Substanz fördern und am stärksten in den Boden eingreifen. Zu letzteren gehören bspw. das Pflügen, Eggen oder Grubbern. Ein weiterer wichtiger Faktor ist der Zustand des Bodens zur Zeit der Befahrung. Ist er zu feucht, erhöht sich die Gefahr einer Bodenverdichtung.

Um eine Veränderung analysieren oder beschreiben zu können, muss zudem ein Anfangszustand bekannt sein. Man müsste den Zustand zu Beginn einer Fruchtfolge mit dem gleichen Zustand zu Beginn der nächsten Fruchtfolge vergleichen können. Wie bereits erwähnt, musste die Fruchtfolge der Landwirtinnen und Landwirte im AK aus Praxisgründen im Verlauf des Projekts jedoch angepasst werden. Der "Wunschzustand", die Messungen am Anfang und Ende des Projekts bei der gleichen Kultur unter gleichen Bedingungen zu machen, konnte nicht eingehalten werden. Es stellen sich also die folgenden Fragen zum Anfangszustand und zur Umsetzung:

- Hat der/die Bewirtschaftende vorher schon Massnahmen wie Gründüngungen umgesetzt?
- Wenn ja, wurden sie gleich umgesetzt wie während des Projekts?
- Um welche Vorkultur handelt es sich? Diese unterscheiden sich wesentlich. Bei einer Gründüngung nach Hackfrüchten wie Kartoffeln muss bspw. kaum mehr eine Bodenbearbeitung gemacht werden, weil der Boden genügend gewendet wurde.
- Wie waren die Umstände bzgl. Krankheitsdruck, Feuchtigkeit, Wetter etc. vor und bei der Umsetzung einer Massnahme? Welche Mischungen werden eingesetzt?
- Sind die Boden- und Klimabedingungen geeignet dafür, dass die ZF oder Kunstwiese wachsen und somit den Boden auch wirklich genügend bedecken kann?

Eine wissenschaftlich fundierte, systematische Auswertung dieser Fragen würde die Auswertung von detailliert geführten Feldkalendern und Gesprächen mit Bewirtschaftenden voraussetzen. Dies war im RP Humus nicht vorgesehen. Aus den Arbeiten im AK und ihren Einträgen in den HBR können jedoch folgende Antworten auf die Frage gegeben werden. Dabei gehen wir von sehr sensibilisierten Teilnehmenden des AK aus, die den Eingriff in den Boden auf ein Minimum beschränken wollen und sich der Problematik des Humusverlusts sehr bewusst sind:

Die Ansaat einer ZF findet meist in den Monaten Juli und August nach der Ernte der Vorkultur statt. Im Vergleich zu Herbstmonaten kann eher von guten bzw. trockenen Bodenbedingungen ausgegangen werden und die Gefahr der Bodenverdichtung ist beschränkt. Nach der Ernte findet meist sowieso eine Stoppelbearbeitung statt, die eine Direktsaat der ZF oder Kunstwiese ermöglicht. Je nach Feuchtigkeit, Unkrautdruck oder Vorkultur muss vor der Saat noch eine oberflächige Bodenbearbeitung durchgeführt werden. Das heisst, die Massnahme ist mit 1-2 zusätzlichen Überfahrten verbunden. Die selben Faktoren haben auch einen wesentlichen Einfluss auf das Auflaufen und das Wachstum der Zwischenkultur und somit darauf, wie gut der Boden zwischen den Hauptkulturen wirklich bedeckt ist.

Die Umsetzung der Massnahmen innerhalb der Fruchtfolge wird u.a. in Kap. 10 diskutiert. Grundsätzlich ist die Umsetzung von Massnahmen wie Zwischenfrüchten in einer Fruchtfolge aber mit rund 5 zusätzlichen Überfahrten verbunden.

## TEIL II: Wissenschaftliche Begleitung

### 7 Methoden

Im Rahmen der WB füllten die Teilnehmenden drei Online-Fragebogen aus: zu Beginn (2018), in der Hälfte (2020) und am Ende des Projekts (2023). Dabei bezogen sich die Fragen auf die Akzeptanz und Umsetzbarkeit der Massnahmen, sowie die Interpretierbarkeit des HBR. Die Teilnehmenden wurden zudem nach dem Einverständnis mit den Projektzielen und nach der Motivation als Betriebsleitende sowie nach dem Lerneffekt gefragt. Damit die im Rahmen des RP Humus eingeführten Massnahmen auch nach Projektende weitergeführt werden und sich etablieren, waren Kenntnisse über die Motivation der Teilnehmenden und über fördernde und hemmende Faktoren für die Umsetzung der Massnahmen von zentraler Bedeutung. Auch die Arbeiten und Diskussionen im Arbeitskreis (AK) lieferten wichtige Aussagen zu den eben genannten Themen.

#### 7.1 Entwicklung und Inhalte des Befragungsinstruments

Die Umfragen wurden mithilfe eines strukturierten Online-Fragebogens auf der Plattform Unipark durchgeführt. Der Fragebogen bestand aus vier Teilen:

Der erste Teil befasste sich mit den Gründen für die Teilnahme am Projekt, den Hindernissen durch die Projektteilnahme und dem persönlichen Wissenszuwachs (Lerntransfer). Die Fragen zu den Teilnahme Gründen und Hindernissen wurden intern an der BFH-HAFL entwickelt und bereits in zwei weiteren Projekten erfolgreich eingesetzt: Im Projekt Provieh im Auftrag von Bio Suisse und im Ressourcenprojekt Terres Vivantes. Für die Erhebung des Wissenszuwachses wurde die validierte Lerntransferskala von [Ritzmann et al. \(2014\)](#) verwendet. Dabei geht es um Wissenszuwachs und um die Nützlichkeit des neu erworbenen Wissens.

Im zweiten Teil wurde die Zufriedenheit mit dem HBR erhoben. Die Befragten konnten den HBR mit einer fünfstufigen Likert-Skala bewerten (*trifft gar nicht zu* bis *trifft voll und ganz zu*). Die Fragen zum HBR wurden durch eine offene Frage zu den Wünschen zum HBR ergänzt. Zusätzlich wurden die Umsetzung der Massnahmen, die Zielkonflikte, der Zeitbedarf für die Umsetzung des Projekts und die Informationsquellen zur Bodenqualität mit geschlossenen Fragen abgefragt. Diese Ja/Nein-Fragen wurden alle intern an der BFH-HAFL entwickelt. Der Massnahmenkatalog wurde auf das vierte Projektjahr mit den drei Massnahmen späte Gründung, Gründung vor Winterkultur und ganzjährige Bodenbedeckung ergänzt. Diese drei Massnahmen wurden in der dritten Umfrage ebenfalls aufgenommen.

Im dritten Teil ging es um die Selbsteinschätzung der persönlichen Arbeit und um die Motivation als Betriebsleiterin oder Betriebsleiter. Die Antworten sind auf einer Likert Skala von 1 (*trifft überhaupt nicht zu*) bis 5 (*trifft voll und ganz zu*) vorgegeben. Zur Erfassung dieses Merkmals wird die situationsspezifische Motivationsskala verwendet ([Guay et al., 2000](#)). Ebenfalls in diesem Teil wird die validierte Skala zur eigenen Wirksamkeit ([Schwarzer & Jerusalem, 1999](#)) eingesetzt. Beide Skalen beziehen sich auf die Tätigkeit der Betriebsleitenden und lieferten in vergleichbaren Projekten wertvolle Erkenntnisse ([Pfister et al., 2019](#)).

Im letzten Teil wurden soziodemografische Daten wie Alter, Geschlecht, Betriebsgrösse, Berufserfahrung sowie Aus- und Weiterbildung erfasst.

Bei der dritten Umfrage fügte man zusätzliche Fragen zur abschliessenden Qualitätseinschätzung des Bodens und zum Feedback an das Projekt ein. Offene Fragen thematisierten die fördernden und hemmenden Faktoren des Projekts und Anregungen. Am Schluss wurde in einer offenen Frage nach dem Aha-Erlebnis gefragt.

Den Mitgliedern des AK wurden anlässlich der zweiten und dritten Umfrage zusätzliche Fragen zu ihrer Tätigkeit im AK gestellt.

In den folgenden Kapiteln werden die Resultate des Fragebogens thematisch geordnet dargestellt und diskutiert.

#### 7.2 Stichprobe und soziodemographische Angaben

Der Rücklauf war in allen drei Umfragen ähnlich hoch:

- Erste Umfragen: 208 Personen von insgesamt 222 im Projekt eingeschriebenen
- Zweite Umfrage: 200 Teilnehmende von insgesamt 223
- Dritte Umfrage: 213 von insgesamt 223

Ein Grossteil der Befragten war männlich, der Anteil Betriebsleiterinnen blieb während des gesamten Projektverlaufs im tiefen Bereich zwischen 8.6% (erste Umfrage) und 7.5% (dritte Umfrage). Das Durchschnittsalter bei der ersten Umfrage betrug 47.7 Jahre.

Die Berufserfahrung betrug durchschnittlich 18.2 Jahre. Betrachtet man die Ausbildung der Befragten, so gaben 2% als höchste abgeschlossene Ausbildung die obligatorische Schulzeit an, 46% verfügten über eine berufliche Grundbildung, 2.4% schlossen mit der Matura oder einem Lehrdiplom ab, 40% hatten eine höhere Berufsbildung und 10% einen Hochschulabschluss.

71.6% der Befragten gaben an, in den letzten zwei Jahren eine Weiterbildung besucht zu haben. Die Betriebe hatten eine landwirtschaftliche Nutzfläche zwischen 1 und 127 ha, im Durchschnitt 26 ha.

### 7.3 Auswertung der Daten

Im Rahmen der drei Umfragen gab es im Fragebogen Antwortmöglichkeiten auf geschlossene und auf offene Fragen. Die quantitativen Daten wurden mit dem Statistikprogramm SPSS Version 26 ausgewertet. Die Antworten auf die offenen Fragen wurden kategorisiert und anschliessend in quantitative Daten überführt oder nach [Mayring \(2010\)](#) qualitativ ausgewertet. Die offenen Fragen der dritten Umfrage werden aufgrund der Vielzahl von Antworten nur summarisch kategorisiert. Statistische Tests sind nur möglich, wenn die Daten auf ordinaler oder metrischer Skala liegen. Daher können die Fragen auf der Ebene der Nominalskala (beispielsweise ja/nein Antworten) nicht getestet werden

## 8 Resultate und Diskussion

Im folgenden Kapitel werden die Resultate der Umfragen zu den Themen Teilnahmegründe, umgesetzte Massnahmen, Einstellung und Motivation und Zufriedenheit mit dem HBR dargestellt und diskutiert. Weiter werden die Resultate der zusätzlichen Fragen an den AK beschrieben. In einem letzten Teil finden sich Rückmeldungen zu fördernden und hemmenden Faktoren für die Massnahmen, zum zeitlichen Aufwand und zu den Zielen und weitere Anregungen.

Die Resultate der Online-Umfragen im Rahmen der WB können zudem auch in Form einer Publikation in der Agrarforschung Schweiz nachgelesen werden ([Pfister et al., 2025](#)).

### 8.1 Teilnahmegründe und Nutzen durch die Teilnahme am Projekt

Für über 90% der Teilnehmenden war der Schutz des Bodens der Hauptgrund für die Teilnahme am Projekt. Weitere wichtige Teilnahmegründe waren die Verbesserung der Nachhaltigkeit auf dem Betrieb und das Interesse an neuen Entwicklungen (Abb. 20).

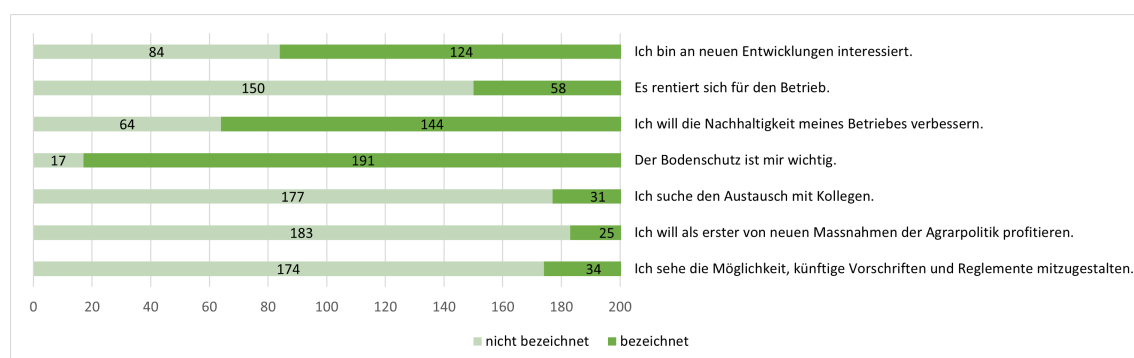


Abbildung 20: Teilnahmegründe, erste Umfrage, n=208

Das Ziel, den Boden für die nächste Generation zu bewahren, wurde von den Betriebsleitenden über die Rendite des Betriebs gestellt. Dies ist ein wichtiger Hinweis für deren intrinsische Motivation. Die finanzielle Abgeltung als extrinsischer Motivator war nur für etwa 1/3 der Befragten ein Grund für die Teilnahme. Den Austausch untereinander fanden die Betriebsleitenden deutlich weniger wichtig. Auch die Mitgestaltung zukünftiger Vorschriften oder das Profitieren von neuen Massnahmen war für die meisten Teilnehmenden kein Teilnahmegrund. Der Fokus lag also primär auf dem eigenen Betrieb (Abb. 20).

In einer offenen Frage konnten weitere Gründe für die Teilnahme am Projekt genannt werden (Tab.

Tabelle 3: weitere Gründe für die Teilnahme am Projekt, Einzelnennungen, dritte Umfrage

Boden/Humus ist die Grundlage der Landwirtschaft
Humusaufbau wichtig für Biobetrieb
Boden bestimmt das Einkommen
Bodenfruchtbarkeit
Enkeltaugliche Landwirtschaft
Geschlossener Betriebskreislauf, CO <sub>2</sub> -Bindung, Karbonisierung
Hoffnung für ergänzende sinnvolle Massnahmen
Standortbestimmung bezüglich Humus
Regenerative Landwirtschaft
Humusaufbau seit Generationen

3).

Ein Vergleich dieser Ergebnisse mit den Erkenntnissen aus dem Projekt “Ressourceneffizienz im Dienste der Ernährungssicherheit” (kurz REDES) zeigt ein gänzlich anderes Bild: Für die Betriebsleitenden im Projekt REDES war der Austausch eines der zentralen Projektziele (Pfister et al., 2019). Zudem war das aktive Mitwirken an der zukünftigen Landwirtschaftspolitik von grosser Bedeutung (Pfister et al., 2019). Ein möglicher und denkbarer Grund für die Unterschiede liegt in der Gruppengrösse. Während im Projekt REDES nur eine kleine Gruppe von innovativen Landwirten befragt wurde, waren es beim vorliegenden Projekt über 200. In einer solchen Gruppe ist die Heterogenität grösser.

Die Resultate zu den Fragen nach dem erwarteten Nutzen aus dem Projekt fielen in allen drei Umfragen sehr ähnlich aus. Die Ergebnisse der ersten Umfrage sind in Abb. 21 dargestellt. Ein grosser Teil der Befragten erachtete die Teilnahme am RP Humus als nützlich, sowohl für sich persönlich als auch für die Ausübung des Berufs. Die für das Projekt investierte Zeit wurde als sinnvoll erachtet. Rund die Hälfte der Teilnehmenden gab an, ihr Wissen zu erweitern und es auch langfristig anwenden zu können. Die Betriebsleitenden trauten sich zu, das neu Erlernte erfolgreich umzusetzen.

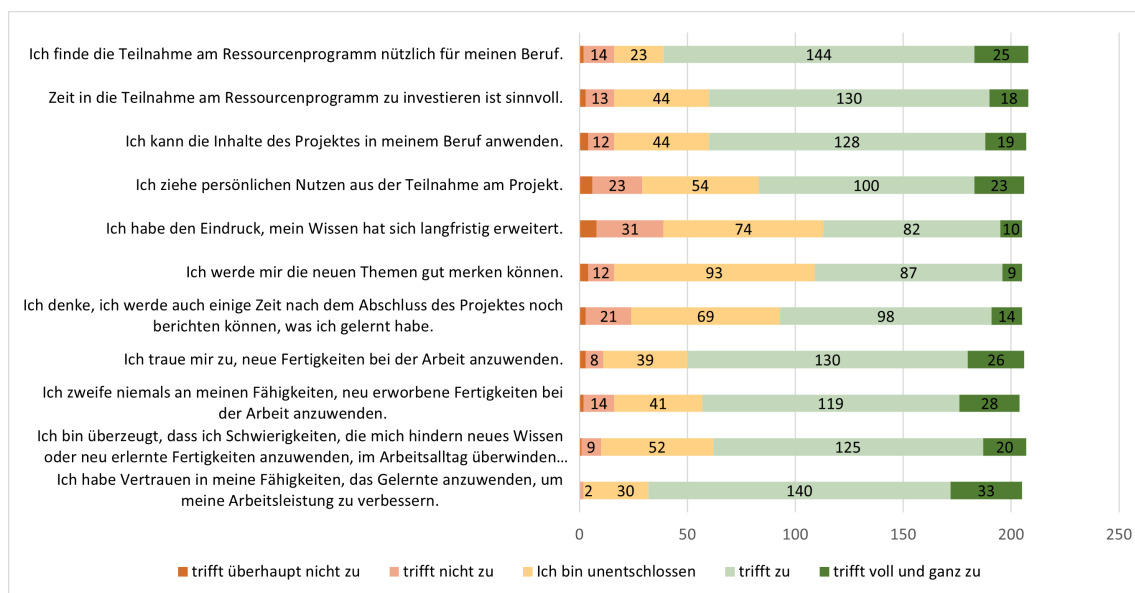


Abbildung 21: Erwarteter Nutzen aus der Teilnahme am Projekt, erste Umfrage, n=208



## 8.2 Humusaufbauende Massnahmen

Die Teilnehmenden setzten die humusaufbauenden Massnahmen über die gesamte Projektdauer rege um, wie in Abb. 22 zu sehen ist. Dabei ist zu beachten, dass alle teilnehmenden Betriebe hier angeben haben, welche Massnahmen sie umsetzen, unabhängig davon, ob sie diese im Projekt anmelden konnten oder nicht (da hoher Viehbestand).

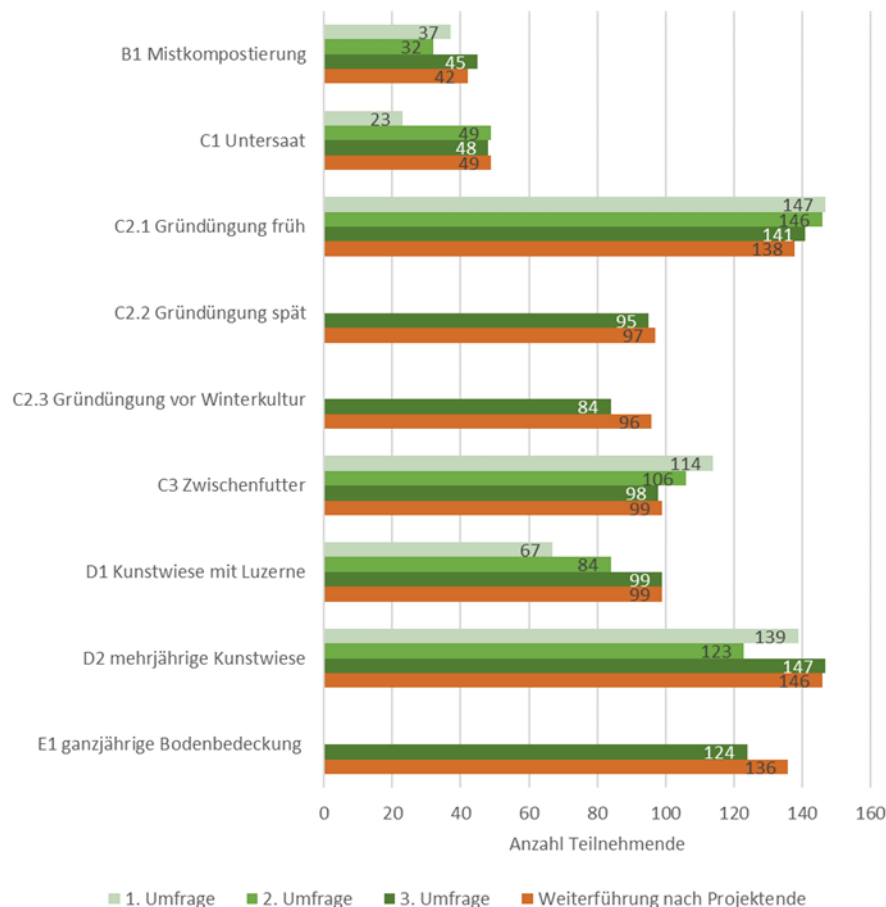


Abbildung 22: Umgesetzte Massnahmen auf dem Betrieb, erste Umfrage (n=208), zweite Umfrage (n=200) und dritte Umfrage (n=213) und Weiterführung der Massnahmen nach Projektende (dritte Umfrage)

Die frühe Gründung (71-66% von der 1. bis 3. Umfrage) sowie die mehrjährigen Kunstwiesen (67-69%) wurden insgesamt von den meisten Teilnehmenden über die Jahre umgesetzt. Auch das Zwischenfutter (55-46%) und Kunstwiesen mit Luzerne (32-46%) wurden häufig angebaut. Diese Massnahmen sind vor allem bei den Betrieben mit Viehbestand sinnvoll und gut in die Fruchtfolge integrierbar. Die beiden Massnahmen Mistkompostierung (18-22%) und Untersaat/Einsaat (11-23%) wurden am seltensten angewendet. Beide Massnahmen passen nicht in jedes Betriebskonzept und sind eher aufwändig bzw. riskanter. Bei den Untersaaten sieht man aber einen Anstieg von der ersten zur zweiten Umfrage (von 11% auf 25%). Dies zeigt, dass einige Teilnehmende dank des Projekts Neues ausprobierten. 23% wollen diese Anbaumethode auch weiterführen.

Zwischen der zweiten und dritten Umfrage (Abb. 22) wurden drei weitere Massnahmen eingeführt: Gründung spät, Gründung vor der Winterkultur und ganzjährige Bodenbedeckung.

Die neue Massnahme ganzjährige Bodenbedeckung wurde von 2/3 der Teilnehmenden umgesetzt. Bei den Gründungen setzte die Mehrheit weiterhin die frühe Gründung um, knapp die Hälfte der Teilnehmenden baute Gründung vor Winterkultur oder die späte Gründung an. Generell blieben die Massnahmen über die ganze Projektzeit von 2018-2023 relativ stabil. Offenbar blieben die Betriebsleitenden nach Projektstart bei den Massnahmen, die sich auf ihrem Betrieb bewährt hatten.

Anlässlich der dritten Umfrage erhob man von den Teilnehmenden zusätzlich, welche Massnahmen sie nach Projektende weiter umsetzen werden. Die Betriebsleitenden planten, die von ihnen im Rahmen des RP Humus umgesetzten Massnahmen in Zukunft in ähnlichem Rahmen fortzusetzen, wie Abb. 22 zeigt. Bei der Frage nach den Aha-Erlebnissen im Projekt nannten die Befragten auch Aha-Erlebnisse in Bezug auf die Massnahmen wie beispielsweise *“Durch eine ständige Begrünung*

des Bodens hat sich nun gezeigt, dass sich die Struktur des Bodens rasch verändern kann. Darauf werde ich auch in Zukunft aufbauen.“ oder „Durch das Humusprojekt wurde [mir] der Vorteil von Untersaaten und winterharten Gründüngungen bewusst“. Das positive Feedback zu dieser Massnahmenengruppe lässt hoffen, dass diese auch in Zukunft eingesetzt wird.

Die Betriebsleitenden wurden gefragt, aus welchen Gründen sie gewisse Massnahmen nicht weiter umsetzen werden: Die Mehrheit der Befragten äusserte keine Gründe.

Die Mistkompostierung ist vier Befragten zu teuer und zu aufwändig und wird deshalb nicht mehr weitergeführt. Dazu kommt wahrscheinlich die Betriebsstruktur der für die Massnahmen zugelassenen Betriebe (wenig bis kein Vieh: Mistkompostierung benötigt eine ausreichende Menge Mist). Auch die Gründüngung wird von einer kleinen Anzahl der Betriebsleitenden (n=5) nicht mehr umgesetzt, einerseits wegen der Kosten und andererseits auch, weil Zwischenfutter benötigt wird oder durch die Gründüngung Schädlinge auftraten. Zwei Betriebe werden aufgegeben und führen deshalb die Massnahmen nicht weiter. Einzelnennungen beziehen sich auf die Kunstwiese mit Luzernen, welche nicht mehr ins Betriebskonzept passt. Eine teilnehmende Person merkte an, dass sich die Untersaat in Raps in trockenen Jahren nicht eignen würde.

Die meisten der im Fragebogen vorgeschlagenen Hemmnisse für die Umsetzung der Massnahmen wurden von den Teilnehmenden nur zu einem geringen Anteil bezeichnet. Die Ergebnisse der dritten Umfrage sind in Abb. 23 dargestellt. Rund die Hälfte der Befragten betrachtete den Mehraufwand als Hindernis. Ebenso waren bei rund 1/3 der Befragten die notwendigen Maschinen nicht verfügbar. Diese Anteile blieben über die ganze Projektdauer relativ stabil. Ein weiterer Faktor dafür, dass eine Massnahme nicht umgesetzt werden konnte, ist die Fruchtfolge. Dieser Faktor nahm von der ersten (27%) zur dritten Umfrage (38%) zu (Abb. 23). Bei 1/4 der Betriebsleitenden erschwerten die ergriffenen Massnahmen anfangs die Betriebsführung. Dieser Anteil ging im Verlauf des Projekts auf 1/5 (Abb. 23) zurück, den Betriebsleitenden gelang es scheinbar immer besser, die Massnahmen umzusetzen und sich zu organisieren.

Bei allen anderen Hemmnissen ergaben sich nur kleine Abweichungen zwischen den drei Umfragen. Die Befragten hatten Gelegenheit, in einer offenen Frage auf weitere Hemmnisse einzugehen. Die zusammengefassten Einzelmeldungen der zweiten Umfrage finden sich in Tab. 4. Die erwähnten Hemmnisse unterschieden sich in der dritten Umfrage nicht wesentlich.

Die Stellungnahmen zu den Hemmnissen zeigen, dass der administrative Aufwand bemängelt wurde. Auch mit der finanziellen Abgeltung waren Einzelne nicht einverstanden. Bereits in einer frühen Phase des Projekts fühlten sich Betriebsleitende mit Tierhaltung ausgeschlossen.

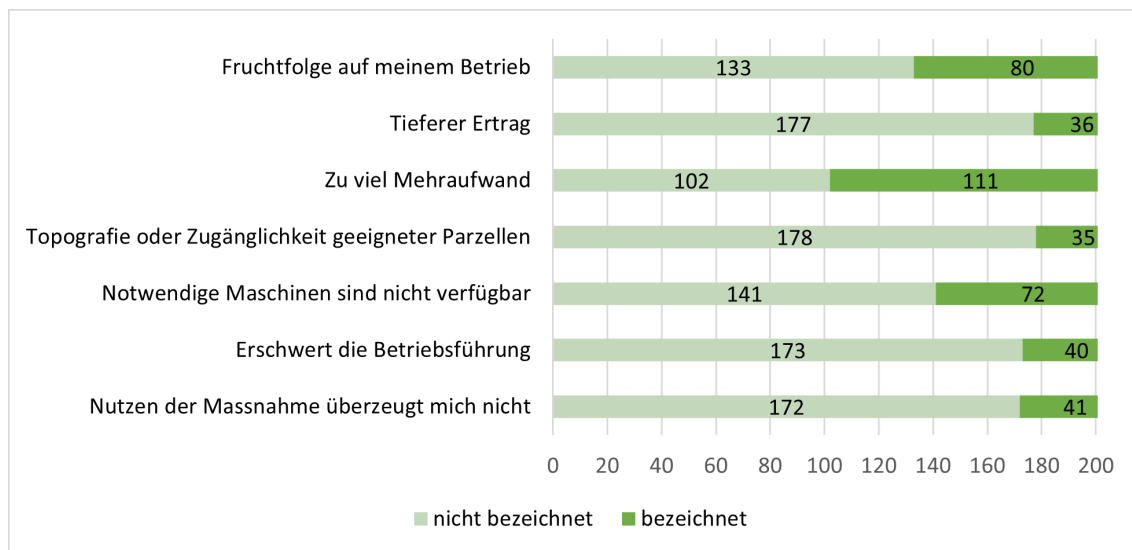


Abbildung 23: Wichtigste Hemmnisse für die Umsetzung weiterer Massnahmen, dritte Umfrage, n=213

Tabelle 4: Weitere Hemmnisse, genannt in der zweiten Umfrage, n=200

**Weitere Hemmnisse**


---

Abgeltung der erbrachten Leistung nicht sicher (n=2)
Administrativer Aufwand (n=5)
Beschränkung mit GVE/ha DF (n=4)
Kompostieren ist für uns nicht möglich da kein Tierbetrieb
Kosten Nutzen stimmt nicht überein
Konflikte mit anderen Programmen, LQB, Nitrat (n=3)
Einsatz von Glyphosat
Nährstoffbilanz
Passt nicht zu meinem Betrieb
Tierbestand

---

Die Teilnehmenden wurden zudem gefragt, woher sie ihre Informationen zur Bodenqualität beziehen. Bei allen Umfragen standen Fachzeitschriften im Vordergrund. 2/3 bis 3/4 der Betriebsleitenden konsultierten diese regelmässig, der Anteil nahm im Verlauf des Projekts zu. Abb. 24 zeigt die Resultate der ersten Umfrage. Am zweithäufigsten wurde das Internet genutzt. Knapp die Hälfte der Befragten verwendete die Projektunterlagen. Persönliche Kontakte waren für rund 1/3 wichtig, der AK nur für knapp 1/4. Über die lange Beobachtungszeit ergaben sich nur minimale Abweichungen. Die Beteiligten änderten ihre Informationsquellen kaum. Es ist auffällig, dass die Projektunterlagen, insbesondere zu Projektbeginn, nicht von einer Mehrheit genutzt wurden.

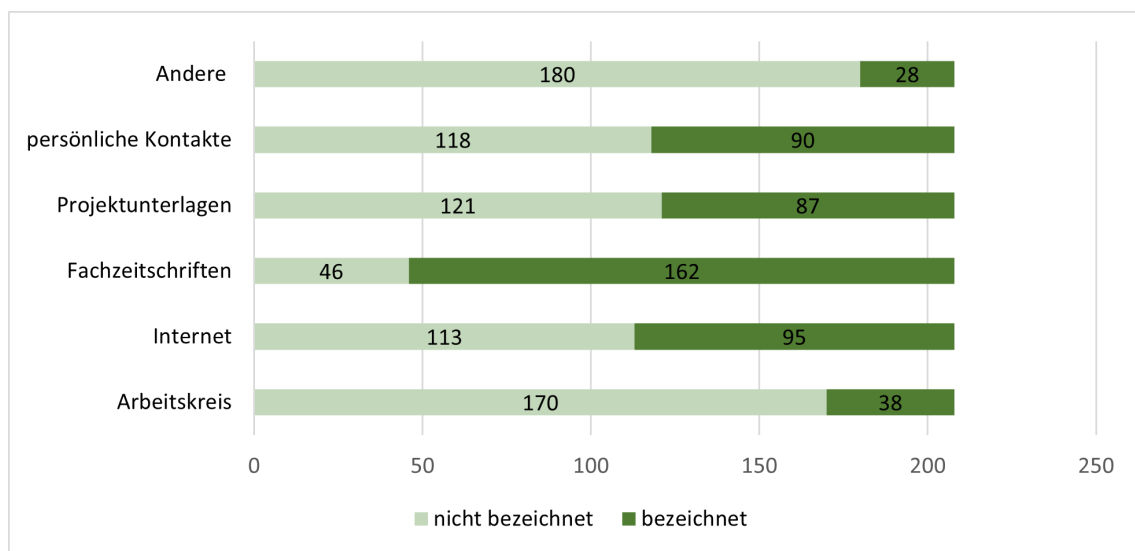


Abbildung 24: Informationsquellen, erste Umfrage, n=208

In einer offenen Frage hatten die Befragten die Gelegenheit, weitere Informationsquellen aufzuzählen. Die wichtigste zusätzliche Informationsquelle war die Bodenprobe/Bodenanalyse sowie eigene Beobachtungen und Erklärungen. Auch die Berufsausbildung war für einzelne Teilnehmende eine wichtige Informationsquelle. Die Einzelnennungen der ersten Umfrage können der Abb. 25 entnommen werden.

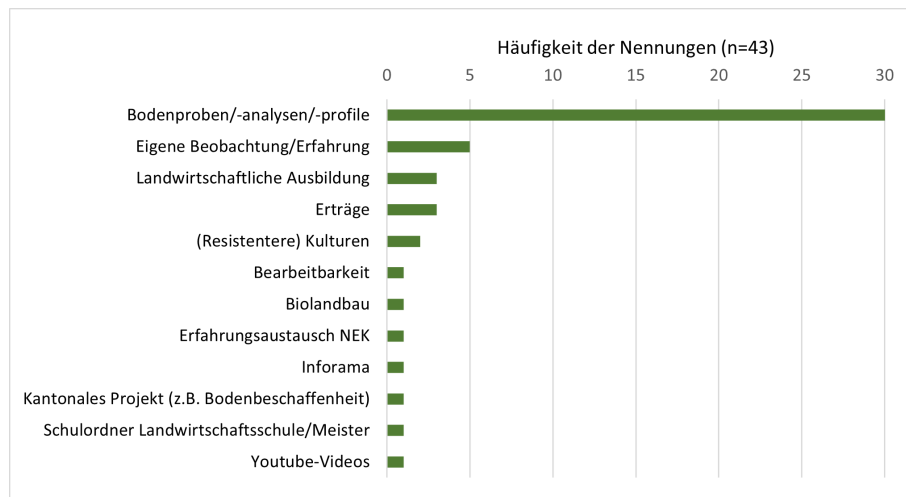


Abbildung 25: Weitere genutzte Informationsquellen zur Bodenqualität, erste Umfrage.

### 8.3 Einstellung und Motivation

Die folgenden Auswertungen befassen sich mit den validierten Skalen zur Nützlichkeit des neu erworbenen Wissens, zum Lerntransfer, zur eigenen Wirksamkeit im Beruf (Vertrauen, eine Handlung erfolgreich ausführen zu können) und zur Motivation als Leiterin oder Leiter eines landwirtschaftlichen Betriebs.

Das Lernen setzt sich aus den folgenden zwei Skalen zusammen:

- der Nützlichkeit des erworbenen Wissens
- dem Lerntransfer

Die Motivation setzt sich aus den folgenden drei Skalen zusammen:

- dem Interesse an der Tätigkeit des Betriebsleitenden
- der freien Wahlmöglichkeit der Tätigkeiten auf dem Betrieb
- der Einschätzung der eigenen Kompetenz

Die beiden Dimensionen des Lernens lagen in allen drei Umfragen über der Skalenmitte von 2.5, aber etwas tiefer als die drei Dimensionen der Motivation (Abb. 26). Die befragten Betriebsleitenden wendeten die neuen Kenntnisse durchschnittlich bis leicht überdurchschnittlich häufig an. Der von den Betriebsleitenden selbst eingeschätzte Lerntransfer wurde jedoch in diesem Projekt tiefer eingeschätzt als in vergleichbaren Projekten (Pfister et al., 2019). Den Teilnehmenden war der Austausch untereinander laut eigenen Aussagen weniger wichtig. Dies kann sich negativ auf den Lerntransfer auswirken. Die Antworten auf die offenen Fragen legen die Vermutung nahe, dass die Befragten den Lerntransfer selbstkritisch einschätzten, da sie an sich viel über den Boden gelernt haben.

Die Betriebsleitenden schätzten ihre Interventionen auf dem Betrieb als wirkungsvoll ein. Dies zeigen die Werte der eigenen Wirksamkeit, die deutlich über der Skalenmitte von 2.5 lagen und zeitlich stabil blieben (t-Test nicht signifikant). Sie wussten, dass sie mit ihren Massnahmen auf dem Betrieb etwas bewirken können. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für die Umsetzung von innovativen Ideen auf dem Betrieb. Alle drei Skalen der Motivation (Interesse an der Tätigkeit als Betriebsleitung, eigene Kompetenz in Bezug auf die Betriebsführung und die freie Wahlmöglichkeit der Tätigkeiten auf dem Betrieb) sind in den drei Umfragen hoch und zeigen keine signifikanten Veränderungen (t-Test nicht signifikant). Diese gleichbleibend hohe Einschätzung der Teilnehmenden über die sechs Projektjahre ist positiv zu bewerten und zeigt, dass viele engagierte und interessierte Betriebsleiterinnen und Betriebsleiter teilgenommen haben.

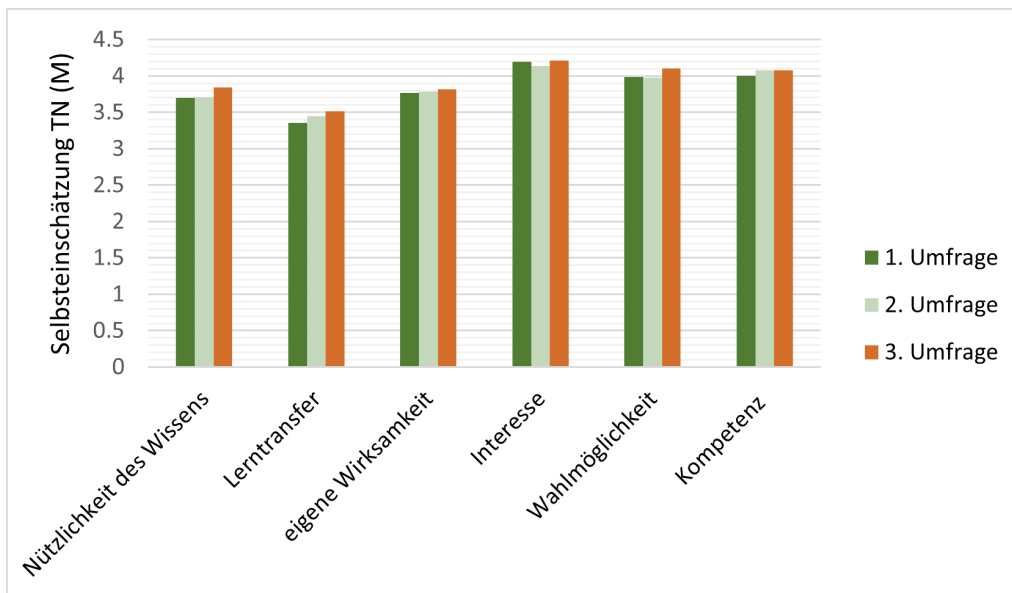


Abbildung 26: Selbsteinschätzung der Teilnehmenden in Bezug auf die Nützlichkeit des Wissens, den Lerntransfer, die eigene Wirksamkeit und die Motivation (Interesse, Wahlmöglichkeiten, Kompetenz), alle drei Umfragen. M=Mittelwert

## 8.4 Zufriedenheit mit dem HBR

Die Zufriedenheit mit dem HBR und die Interpretation der Ergebnisse waren zwei zentrale Fragen für den Projektverlauf (Abb. 27).

Die Zufriedenheit stieg über die gesamte Projektlaufzeit leicht an und befand sich insgesamt auf hohem Niveau. Dabei war der Anstieg der Zufriedenheit von der ersten zur zweiten Umfrage signifikant (t-test für abhängige Stichproben signifikant,  $t=-2.85$ ,  $df=156$ ,  $p< 0.01$ ) und blieb bei der dritten auf hohem Niveau stabil.

Die Interpretation der Ergebnisse fiel den Teilnehmenden schon bei der ersten Umfrage eher leicht. Anlässlich der zweiten und dritten Umfrage nahm diese Fähigkeit in der Tendenz zu (t-Test für abhängige Stichproben knapp nicht signifikant).

Zu Projektbeginn zeigten viele Teilnehmenden Unsicherheiten beim Ausfüllen des HBR und es wurde viel Hilfe vom Projektteam eingefordert. Die anfänglichen Schwierigkeiten mit dem HBR verringerten sich im Projektverlauf. Dies zeigt, dass sich die Teilnehmenden nach mehrmaligem Ausfüllen an den HBR gewöhnt hatten und sich auch die Beratung, Weiterbildung und der Austausch untereinander positiv auswirkten. Die Ergebnisse zeigen, dass es sich lohnt, Tools wie den HBR im Rahmen eines von Beratungspersonen begleiteten Projekts einzuführen.

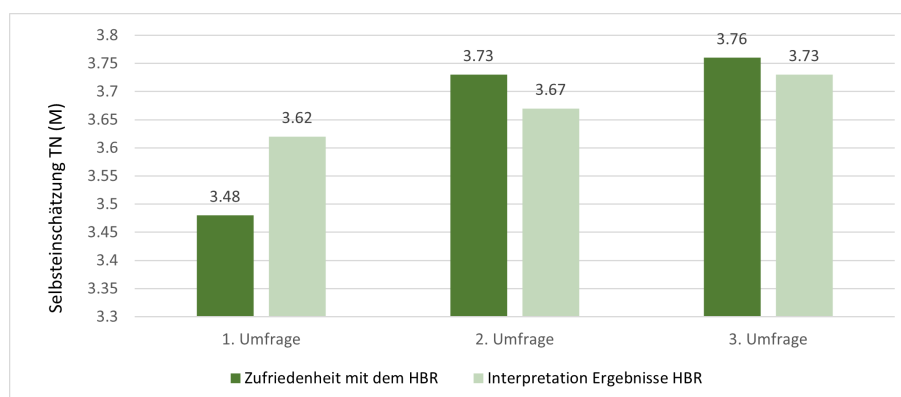


Abbildung 27: Zufriedenheit mit dem HBR und Interpretation der Ergebnisse, alle drei Umfragen, n=200-209

In einer offenen Frage konnten die Teilnehmenden weitere Rückmeldungen zum HBR äussern. Die Resultate der ersten Umfrage sind in Abb. 28 dargestellt. Bei allen Umfragen wurde der nachvollziehbare Wunsch nach einer Verknüpfung mit der Agrardatensystem GELAN/Agate sowie eine bessere Benutzerfreundlichkeit am häufigsten genannt. Jedoch gingen diese Nennungen bei der

zweiten Umfrage deutlich zurück.

Der Informationsbedarf sank bei der zweiten Umfrage ab, sehr viele Teilnehmende äusserten in den offenen Fragen keine Wünsche oder Rückmeldungen.

Die bei den offenen Fragen erwähnte Belastung durch administrativen Aufwand mag mit der Handhabung des HBR und der fehlenden Verknüpfung zusammenhängen. Grundsätzlich fühlen sich nicht wenige Betriebsleitende durch die E-Governance belastet, wie eine entsprechende Untersuchung in der Schweiz belegt (Stoinescu et al., 2020).

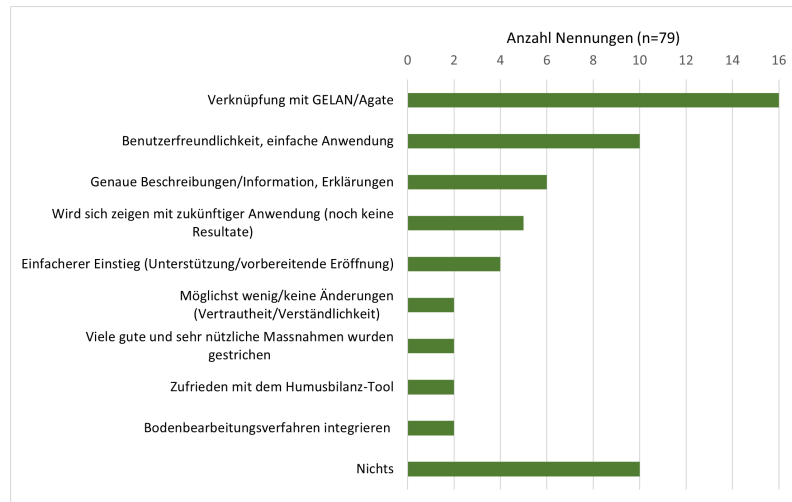


Abbildung 28: Weitere Wünsche und Rückmeldungen an den HBR, erste Umfrage

## 8.5 Teilnahme am AK

Im Rahmen der zweiten und dritten Umfrage wurden den Mitgliedern des AK (n=13-14) sieben zusätzliche Fragen zu den bearbeiteten Themen, zur Moderation und zur Motivation gestellt. Nachfolgend werden jeweils die Resultate der dritten Umfrage dargestellt.

Fast alle AK-Mitglieder erachteten die Teilnahme am AK für den Betrieb als sinnvoll oder sehr sinnvoll (Abb. 29). So erstaunt es auch nicht, dass alle Teilnehmenden motiviert bzw. sehr motiviert waren, am AK teilzunehmen (Abb. 30).

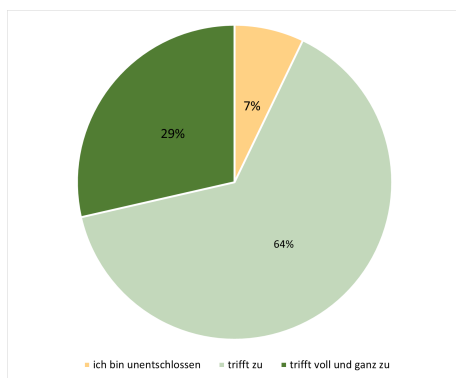


Abbildung 29: Antwort auf: Die Teilnahme am AK ist für meinen Betrieb sinnvoll. Dritte Umfrage, n=14

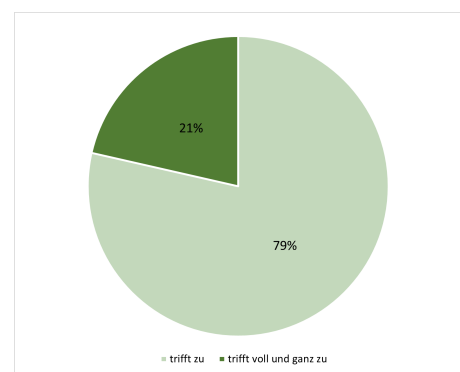


Abbildung 30: Antwort auf: Ich bin motiviert, am AK teilzunehmen. Dritte Umfrage, n=14

Auch die Zufriedenheit mit der Moderation war anfangs bereits hoch und nahm im Projektverlauf noch zu (Abb. 31). Mit der Organisation des AK waren die Teilnehmenden sowohl bereits bei der Gründung des AK als auch am Schluss zufrieden oder sehr zufrieden (Abb. 32).

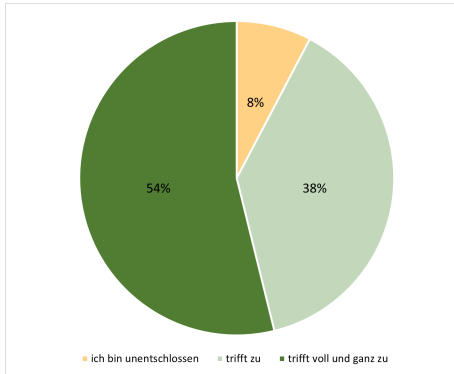


Abbildung 31: Antwort auf: Mit der Moderation des AK bin ich zufrieden. Dritte Umfrage, n=13

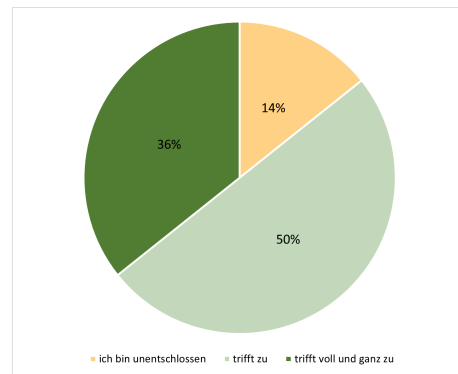


Abbildung 32: Antwort auf: Mit der Organisation des AK bin ich zufrieden. Dritte Umfrage, n=14

Ein Grossteil der Teilnehmenden fand den zeitlichen Aufwand für den AK bei der dritten Umfrage angemessen, bzw. nicht gross. Nur 4 Personen fanden ihn gross oder waren unentschlossen (Abb. 33).

Ein AK soll den Austausch unter den Berufskolleginnen und -kollegen fördern und die Teilnehmenden haben diesen Austausch im RP Humus als wertvoll wahrgenommen (Abb. 34).

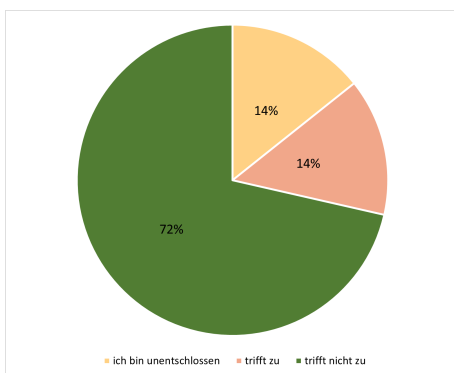


Abbildung 33: Antwort auf: Die Teilnahme am AK ist mit einem grossen zeitlichen Aufwand verbunden. Dritte Umfrage, n=14

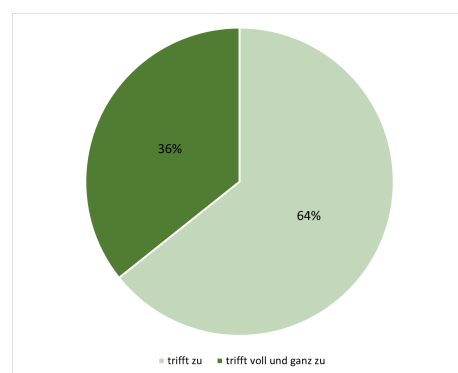


Abbildung 34: Antwort auf: Der Austausch mit anderen Betriebsleitern im AK ist für mich wertvoll. Dritte Umfrage, n=14

Einzig die ausgewählten Themen fanden vor allem zu Beginn nicht immer die volle Zustimmung bei den Befragten: In der zweiten Umfrage waren noch 42% der Teilnehmenden unentschlossen, was die Themenwahl betrifft. Bis zur dritten Umfrage jedoch verringerte sich dieser Anteil und für fast alle Teilnehmenden (93%) waren die im AK besprochenen Themen wichtig (Abb. 35).

Die Arbeit des AK im RP Humus wurde und wird als sehr positiv bewertet. Ein Arbeitskreis stellt als Bindeglied zwischen Theorie und Praxis hohe Anforderungen an die Teilnehmenden und an die Moderation (Buess et al., 2011; Rocha, 2015). Dass diese Herausforderung gemeistert werden konnte, zeigen die sehr positiven Bewertungen der Teilnehmenden.

Arbeitskreise sind so organisiert, dass die Teilnehmenden über eine hohe Autonomie verfügen, welche gemäss Deci und Ryan (1993) die intrinsische Motivation fördern. Laut Würth und Lehmann (2013) ist die Motivation der Teilnehmenden eine wichtige Gelingensbedingung für den Arbeitskreis. Diese scheint für die untersuchte Stichprobe grossmehrheitlich erfüllt zu sein. Ebenso wichtig ist die Motivation der Moderierenden, denn sie überträgt sich auf die Teilnehmenden (Würth & Lehmann, 2013).

Diese Beratungsform ermöglicht Wissensaustausch und eine hohe Effizienz und Effektivität bei der Umsetzung von Innovationen (Pfister et al., 2019).

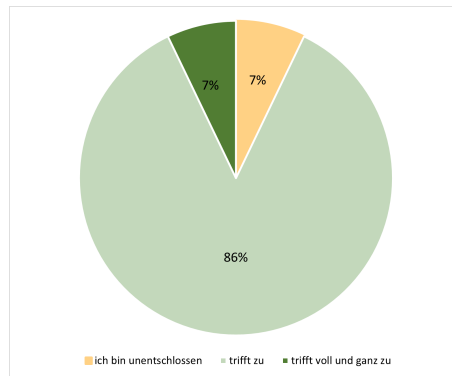


Abbildung 35: Antwort auf die Frage: Die für meinen Betrieb wichtigen Themen werden im AK besprochen. Dritte Umfrage, n=14

## 8.6 Fördernde und hemmende Faktoren, Aufwand, Ziele und Anregungen

Im folgenden Kapitel werden die Resultate der Umfragen zusammengefasst, die Fragen zur Projektakzeptanz, zum Aufwand, der Umsetzung, zu Erfolgserlebnissen und weitere Rückmeldungen abdecken.

Abb. 36 zeigt die Resultate der dritten Umfrage zu potenziell hemmenden Faktoren, zum Gewinn aus dem Projekt und zum (zeitlichen) Aufwand. Die Resultate der beiden ersten Umfragen zeigen ein ähnliches Bild (t-Tests nicht signifikant).

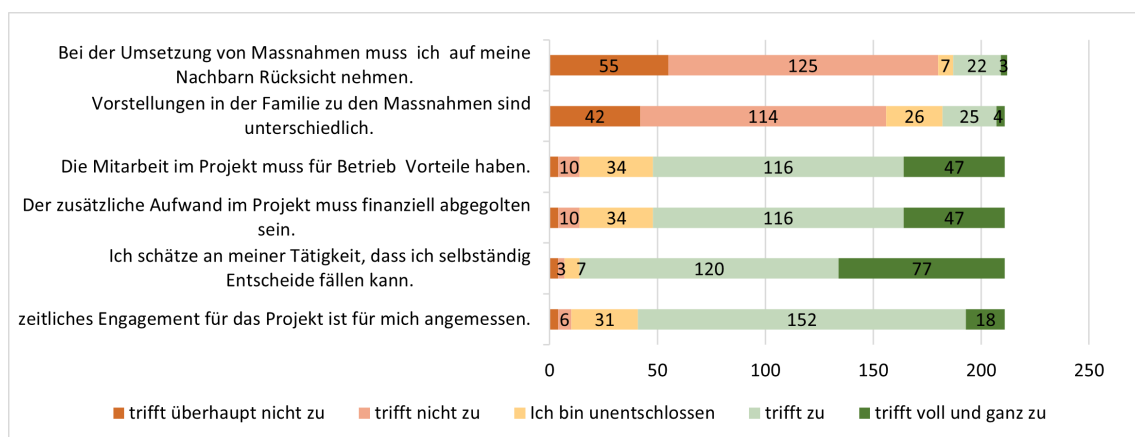


Abbildung 36: Einschätzung der Massnahmen, Tätigkeit im Projekt und zeitlicher Aufwand, dritte Umfrage, n=211-212

Die meisten Teilnehmenden fühlten sich in der Umsetzung der Massnahmen frei und weder die Nachbarinnen und Nachbarn noch die Familie stellten in irgendeiner Form ein Hemmnis dar. Die Autonomie in ihrer Arbeit schätzten die Teilnehmenden; sie trafen Entscheide eigenständig und unabhängig. Die Mehrheit der Teilnehmenden (80%-88%) war sich bei allen Umfragen einig, dass die Mitarbeit im Projekt für den Betrieb erkennbare Vorteile haben muss. Auch die finanzielle Entschädigung, die allen Teilnehmenden im Projekt ausgezahlt wurde, fand bei den Befragten klare Zustimmung.

Das zeitliche Engagement erachteten 70% der Teilnehmenden in der ersten Umfrage als angemessen. Dieser Wert stieg bis zur dritten Umfrage auf 80% (Abb. 36). Eine Quantifizierung des Zeitaufwands zum Zeitpunkt der dritten Umfrage findet sich in Abb. 37. Die Resultate der ersten zwei Umfragen sind damit vergleichbar. Die Hälfte der Teilnehmenden hatten über alle Umfragen hinweg einen Jahresaufwand von weniger als 15 Stunden pro Jahr und wie die Ergebnisse oben zeigen, fanden sie den Aufwand vertretbar.

In den offenen Fragen gab es jedoch mehrere negative Kommentare dazu, wobei nicht klar unterschieden wurde, ob die Massnahmen oder die Administration Zeit kosteten. Die Erfahrungen während der Projektlaufzeit deuten jedoch darauf hin, dass die negativen Kommentare sich eher auf den HBR beziehen.



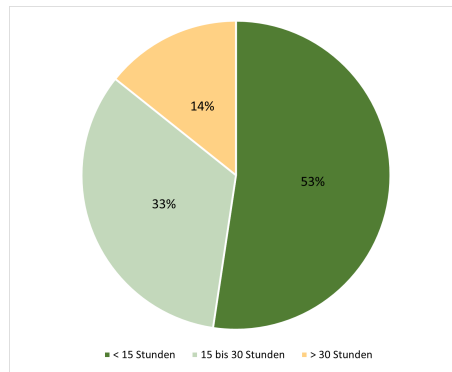


Abbildung 37: Zeitaufwand, dritte Umfrage, n=210

Die Teilnehmenden sollten die Projektziele sowie die Regeln und Abmachungen im Projekt einschätzen (Abb. 38). Knapp 2/3 der Befragten stimmten in der ersten Umfrage den Zielen des RP Humus vollständig zu. Dieser Anteil stieg in der zweiten Umfrage auf 3/4 an und blieb in der dritten Umfrage auf einem stabilen hohen Wert von knapp 80%.

Auch die Klarheit und Verständlichkeit der Projektziele war mit über 75% bereits in der ersten Umfrage gegeben, stieg anlässlich der zweiten Umfrage statistisch signifikant ( $t = -3.088, df = 159, p \leq 0.01$ ) auf über 90% an und blieb ungefähr auf diesem Niveau (Abb. 38).

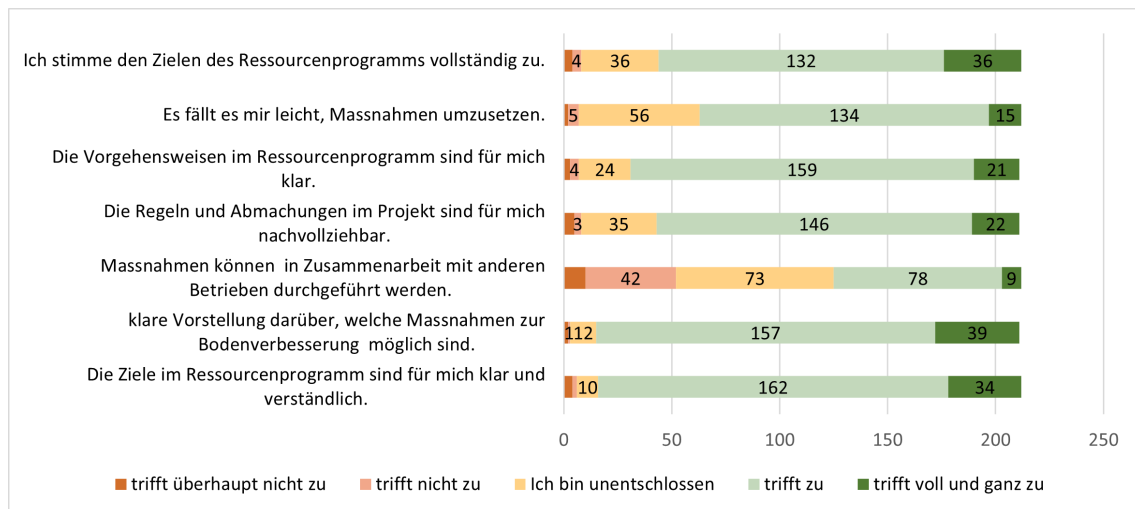


Abbildung 38: Einschätzung der Projektziele und Massnahmen, dritte Umfrage, n=211-212

Der Mehrheit der Teilnehmenden fiel es schon bei Projektbeginn leicht, die Massnahmen umzusetzen. Dieser Anteil stieg in der zweiten Umfrage nochmal deutlich an und blieb bei der dritten stabil auf 70% (Abb. 38).

Auch die Vorgehensweisen sowie die Regeln und Abmachungen im Projekt waren der Mehrheit bereits zu Beginn klar. Der Anteil an Zustimmung stieg anlässlich der dritten Umfrage auf 70% bzw. 85% (Abb. 38).

Ob die Massnahmen besser allein oder in Kooperation umgesetzt werden, konnte nicht eindeutig beantwortet werden. Nur knapp die Hälfte der Teilnehmenden stimmte dem in allen drei Umfragen zu, viele Teilnehmende waren diesbezüglich unentschieden. Es ist wahrscheinlich, dass es hier sehr auf die einzelnen Massnahmen und die jeweiligen Betriebsstrukturen ankommt. Die überwiegende Mehrheit der Teilnehmenden hat eine klare Vorstellung darüber, welche Massnahmen zur Bodenverbesserung ihres Betriebs beitragen. Die Zustimmung stieg anlässlich der zweiten Umfrage signifikant an ( $t = -3.901, df = 156, p \leq 0.01$ ) und pendelte sich in der dritten Umfrage bei 90% ein. Die Teilnehmenden zeigten also bereits zu Beginn ein grosses Commitment, dieses steigerte sich jedoch im Projektverlauf noch deutlich.

Im Rahmen der letzten Umfrage wurden den Teilnehmenden einige abschliessende, offene Zusatzfragen gestellt. Unter anderem konnten sie ihre Bodenqualität beurteilen, Feedback zum Projekt geben und zu den Erfolgsfaktoren und Hemmnissen Stellung nehmen. Die Antworten zur Beurtei-

lung der Bodenqualität sind in Abb. 39 dargestellt.

Trotz der überwiegend positiven Rückmeldungen zum Projekt mit seinen Zielen und dem HBR gingen 53% der Befragten nur von einer leichten Verbesserung des Bodens aus und lediglich 6% von einer deutlichen. Für rund 40% der Befragten war trotz aller Massnahmen keine Optimierung beobachtbar (Abb. 39). Dies spiegeln auch die Ergebnisse des WM wider. Innerhalb von 6 Projektjahren konnte keine signifikante Steigerung des  $C_{org}$ -Gehalts gemessen werden. Jedoch haben einige Teilnehmende von sicht- und spürbaren Verbesserungen auf ihren Feldern berichtet. Zudem hat ein Teil der Betriebsleitenden bereits vor dem Projektbeginn mit humusaufbauenden Massnahmen gearbeitet, was ebenfalls einen Einfluss darauf haben könnte, dass im Projekt keine Verbesserung der Qualität festgestellt wurde.

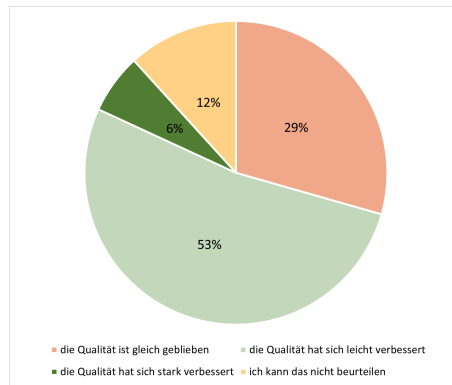


Abbildung 39: Abschliessende Beurteilung der Bodenqualität, dritte Umfrage, n=213

Auf die Frage nach einer Gesamtbeurteilung des Projekts äusserten sich 70% der Befragten positiv oder sehr positiv (Abb. 40). Gut 1/4 hatte eine neutrale Einstellung und nur 3% der Teilnehmenden äusserten sich negativ (Abb. 40).

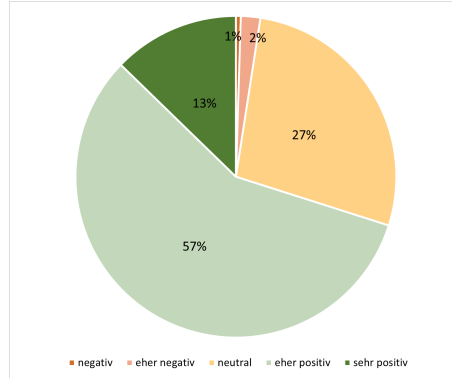


Abbildung 40: Abschliessendes Feedback an das Gesamtprojekt, dritte Umfrage, n=204

Alle Mehrfachnennungen zur Frage nach den Erfolgsfaktoren des Projekts wurden zu Kategorien zusammengefasst und quantifiziert (Abb. 41). Die Antworten beinhalteten bei der überwiegenden Mehrheit die Verbesserung der Bodenqualität und den Aufbau von Humus. Auch der Aufbau von neuem Wissen und der Austausch mit den Teilnehmenden wurden als Erfolgsfaktor erwähnt. Bei jeder Massnahme überlegten sich die Teilnehmenden, welche Auswirkungen diese auf den Boden und die Bodenlebewesen hat. Wissen und Erfahrung konnten untereinander ausgetauscht werden, dies wurde von etlichen Betriebsleitenden lobend erwähnt. Auch die fachliche Begleitung wurde als positiv wahrgenommen.

Die finanzielle Abgeltung für den Zusatzaufwand wurde bei den offenen Fragen von einer Vielzahl der Teilnehmenden erwähnt. Diese scheint ein notwendiger Erfolgsfaktor zu sein, ohne den das Projekt nicht möglich gewesen wäre.

Einzelne Meldungen bezogen sich auf die Nützlichkeit des HBR: *“Beim Ausfüllen im HBR sehe ich, wie der Boden noch fruchtbarer gemacht werden könnte”*.

Die Teilnehmenden zählten deutlich mehr Erfolgsfaktoren als Hemmnisse auf.

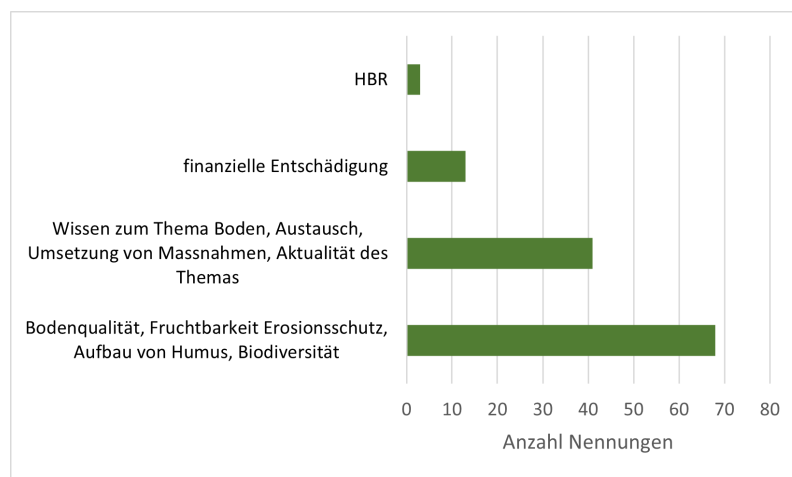


Abbildung 41: Erfolgsfaktoren

Die hemmenden Faktoren (Abb. 42) bezogen sich vor allem auf die Umsetzung einzelner Massnahmen wie Anpassungen der Fruchtfolge, die ganzjährige Bodenbedeckung oder Mistkompostierung, wie folgendes Zitat belegt: *“Nur bei einzelnen Massnahmen wie Mistkompostierung ist der Aufwand sehr hoch, was mich momentan noch von der Umsetzung abhält”*.

Sowohl der administrative Aufwand als auch der allgemeine Aufwand für das Projekt wurden öfters bemängelt. Ebenso stiessen die Ausschlusskriterien für Betriebe mit zu vielen Tieren auf Unverständnis.

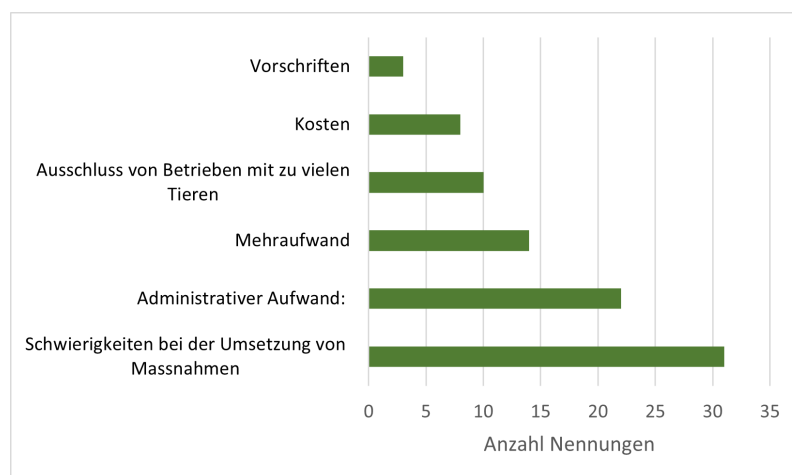


Abbildung 42: Hemmende Faktoren

Zum Abschluss der Umfrage konnten die Teilnehmenden ihre Aha-Erlebnisse beschreiben. Hierbei tauchten erneut ähnliche, bereits aufgeführte Themen wie Bodenverbesserung, Abbau administra-

tiver Hürden, finanzielle Abgeltung, Wissensaustausch und einzelne Massnahmen auf. Das nachfolgende Zitat zeigt, dass mit geringen Veränderungen deutliche Optimierungen des Bodens erzielt werden können: *“Mein Aha-Erlebnis war, dass eine Luzerne Grasmischung schön tief wurzelt und so keine Staunässe entsteht. Das werde ich in Zukunft mehr in meine Planung einfließen lassen”*. Diese Aha-Erlebnisse zeigen, dass sich die Betriebsleitenden sehr intensiv mit der Bodenverbesserung auseinandergesetzt haben und die Massnahmen weiterführen werden, weil sie von deren Wirksamkeit überzeugt sind.

Einige Betriebe waren schon vor Projektbeginn sehr weit mit dem Bodenschutz und mussten nicht viel anpassen, so dass kein Aha-Erlebnis zu berichten war: *“Auf unserem Betrieb arbeiten wir schon seit Generationen am Humusaufbau”*.

Ein zentrales Ziel von Ressourcenprojekten ist die Zusammenarbeit von Landwirtinnen und Landwirten mit der Wissenschaft und Verwaltung und dies scheint im vorliegenden Projekt erfüllt zu sein, wie folgender Kommentar zeigt: *“Es ist meiner Meinung nach wichtig, solche Projekte zu lancieren. Es fliesst Geld an die Landwirte, Fachstellen und Verwaltung im Kanton. Zudem haben kantonale Projekte Ausstrahlungs- und Vorzeigecharakter auf nationaler Ebene.”*

Die Teilnehmenden hatten zudem zahlreiche Anregungen für die Zukunft. Wobei auch hier meist schon bereits genannte Themen wie bei den fördernden und hemmenden Faktoren angesprochen wurden. Exemplarisch und verkürzt wurden folgende zusätzliche Anregungen gemacht:

Die Betriebsleitenden wünschen sich, dass die Theorie zugunsten der Praxis verkürzt wird und die Praktikerinnen und Praktiker ihren Stellenwert behalten: *“Weiterhin starker Einbezug von Praktikern, die eine anwenderfreundliche Praxis möglich machen. Auch sollten deren Aufwendungen angemessen entlohnt werden”*. Die Zusammenarbeit unter den Landwirtinnen und Landwirten im Rahmen eines Projekts wurde geschätzt, wie folgendes Zitat zeigt: *“Weiterhin mit Landwirten zusammen an Projekten mögliche Zukunftsformen etc. erforschen/begleiten”*. Ebenso geschätzt wurden die Informationsanlässe und der Austausch mit Berufskolleginnen, -kollegen und Fachleuten. Ein zentrales Anliegen der Rückmeldenden war auch, dass der Boden nicht nur im Rahmen des Projekts, sondern längerfristig geschützt wird. Die Mehrheit der Rückmeldungen bezog sich deshalb auf die Weiterführung des Projekts.

Ganz in diesem Sinne bemerkte eine teilnehmende Person: *“Es wäre schön, dieses Projekt in irgendeiner Form weiterzuführen!”*

Kritische Anregungen bezogen sich auf die Koordination und Kompatibilität der Daten zum HBR mit anderen Datenbanken wie beispielsweise dem GELAN: *“[Die] Kompatibilität der HB sollte verbessert werden, damit Daten aus verschiedenen Feldkalendern übernommen werden können (z.B. Barto)”*. Auch der Zeitpunkt der Umfragen im Frühjahr und die Fragen zur Motivation wurden kritisiert. *“Was bitte bringen die vielen Fragen zur Motivation am Beruf und zur Einschätzung meiner Fähigkeiten, den Beruf auszuüben, im Zusammenhang mit dem Projekt?”*. Solche kritischen Rückmeldungen zum Fragebogen zeigen, dass der Zweck der Fragen zu den Einstellungen von den Teilnehmenden nur bedingt verstanden wurde. Hier wäre es wichtig, die Gründe dafür zu Projektbeginn zu erläutern und die Betriebsleitenden stärker einzubinden.

Einige Teilnehmende meinten abschliessend, dass die Bodenfruchtbarkeit aus eigenem Antrieb verbessert werden sollte, ohne dass es ein separates Projekt benötige: *“Weiter finde ich, dass jeder Betriebsleiter selbst verantwortlich für die Bodenfruchtbarkeit ist”*.

## 9 Forschungsfragen WB

Im folgenden Kapitel werden die Forschungsfragen (vgl. Kap. 3) aufgelistet und mit den oben präsentierten Resultaten beantwortet. Fragen, die den HBR betreffen, wurden weitgehend bereits im Schlussbericht (Jauch et al., 2024) beantwortet. Aus Gründen besserer Lesbarkeit und Vollständigkeit werden die betroffenen Abschnitte nochmals wörtlich zitiert und *kursiv* dargestellt. Die für das Textverständnis notwendigen Abbildungen werden noch einmal aus dem Schlussbericht übernommen. Die Ergänzungen seitens BFH-HAFL sind in Normalschrift dargestellt.

### Kann der HBR von den Bewirtschaftenden selbstständig ausgeführt und interpretiert werden?

*Etliche Teilnehmende zeigten zu Projektbeginn Schwierigkeiten mit der Handhabung des HBR und der Interpretation der Ergebnisse. Beim erstmaligen Ausfüllen der betriebseigenen HB sind sehr viele Fragen aufgetaucht, die via Telefon vom Projektteam beantwortet wurden. Insbesondere Teilnehmende, die mit der Datenverarbeitung am PC wenig Erfahrung hatten, benötigten Hilfe. Deshalb wurden im ersten Projektjahr Schulungen angeboten, um den Teilnehmenden das Tool besser zu*

erklären und weniger PC-affinen Teilnehmenden beim Ausfüllen der Bilanz zu helfen. Problematisch blieb jedoch bis zum Projektende eine hohe Fehlerquote beim Ausfüllen der HB. Das Projektteam hat in den ersten Projektjahren noch jede HB mit den Angaben aus dem GELAN verglichen und gemeinsam mit den Landwirten die Bilanzen korrigiert. Es wurden häufig falsche Flächenangaben (Grösse und/oder Einheit) oder Kulturen eingegeben bzw. Flächen gänzlich vergessen. Auch für die Bilanz relevante Angaben wie die parzellenspezifischen Bodeneigenschaften wurden oft nicht genau eingegeben, sondern eine Bodenprobe für den gesamten Betrieb verwendet. Der Aufwand bei mehr als 200 Betrieben die HB zu kontrollieren und zu korrigieren war jedoch deutlich zu hoch und wurde somit ab Projektmitte nicht mehr bei allen Teilnehmenden durchgeführt. Es wurden nur noch offensichtliche Fehler korrigiert.

Die anfänglichen Probleme der Teilnehmenden beim Ausfüllen der HB verringerten sich mit den Jahren deutlich. Die zunehmende Zufriedenheit mit dem HBR im Projektverlauf zeigt, dass sich die Teilnehmenden nach mehrmaligem Ausfüllen an das Tool gewöhnt haben und die Ausführung leichter ging. Zudem wird das Ausfüllen auch einfacher, wenn alle Flächen auf dem Betrieb einmal erfasst sind und sich an den Flächen nichts verändert. Dies zeigt sich auch an dem abnehmenden Aufwand des Projektteams in der telefonischen Beratung.

Die selbstständige Interpretation der Ergebnisse hat sich im Verlauf der Jahre auch etwas verbessert, wobei die Ergebnisse der Online-Umfragen hier nicht signifikant sind. In der HBR-Umfrage im vierte Projektjahr hat die Mehrheit der Teilnehmenden angegeben, dass sie die Berechnung der HB verstehen (Abb. 43). Es verblieben aber 14% der Teilnehmenden, die nach wie vor Probleme mit dem Verständnis hatten.

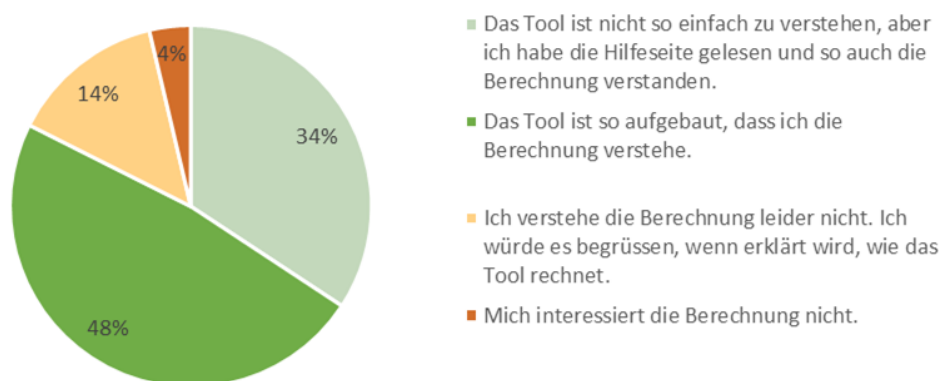


Abbildung 43: Ergebnis der HBR-Umfrage 2021 (n=108) - Verständnis der Berechnung der HB

Die Beratungen, Weiterbildungen sowie der Austausch untereinander hatten wahrscheinlich positive Effekte auf die Anwendung des HBR. Die Ergebnisse zeigen, dass es sich lohnt, ein solches Tool im Rahmen eines begleiteten Projekts mit entsprechenden Beratungspersonen einzuführen. In der letzten Online-Umfrage konnten die Befragten Wünsche und Anregungen zum HBR äussern. Dabei wurde – wie bereits in den Jahren zuvor – der Wunsch geäussert, den HBR mit der Agrardatenbank GELAN zu verknüpfen. Dies würde die Benutzerfreundlichkeit erhöhen und den administrativen Aufwand sowie die Fehlerquote deutlich senken. Dieser Anpassungswunsch wurde von den Teilnehmenden bereits seit Projektbeginn immer wieder geäussert. Das Projektteam hat dies dem BLW bereits frühzeitig weitergeben (siehe Jahresbericht 2019 (15.05.2020); Zwischenbericht 2020 (17.12.2020)).

### Ist der HBR auf den Betrieben anwendbar/praxistauglich? Wie ist die Akzeptanz der Humusbilanzierung bei den Bewirtschaftenden?

Die sechs Projektjahre haben gezeigt, dass die Berechnung der HB auf den Betrieben anwendbar ist. Alle Teilnehmenden haben ihre Eingaben jährlich im HBR gemacht – teils mit Hilfe, teils selbstständig (siehe Frage oben). Die Praxistauglichkeit wurde dagegen immer wieder in Frage gestellt – dies sowohl bei den telefonischen Beratungen als auch im Arbeitskreis. Es wird kritisiert, dass der aktuelle Zustand auf dem Feld nicht in jedem Fall abgebildet werden kann (z.B. mehrere Kulturen pro Parzelle und Jahr; mehr als eine Zwischenkultur pro Parzelle und Jahr; keine Angaben zu Bodenbearbeitung). Zudem kann man auch keine Rückschlüsse auf die Bilanz der einzelnen Parzelle ziehen, sondern erhält immer nur die gesamtbetriebliche Bilanz. Auch die im Tool hinterlegten Werte wurden häufig hinterfragt und kritisiert (z.B. organische Dünger führen zu einem sehr star-

ken Anstieg der HB – zu stark?). Für eine breite Akzeptanz der HB sind hier Anpassungen und eine gute Kommunikation sicherlich sinnvoll. Laut der HBR-Umfrage findet ein grosser Teil der Landwirtinnen und Landwirte die HB aber sinnvoll und interessant (Abb. 44). Nur 16% traut dem Ergebnis nicht oder berechnet die HB nur, weil es im Projekt Pflicht ist. Weitere 10% wissen nicht genau, was sie mit dem Ergebnis anfangen sollen. Betriebsberatungen können hier eine sinnvolle Ergänzung sein.

Durch die Auswertungen der HBs der Teilnehmenden wurden Fehler in der Berechnung entdeckt. Im Sommer 2021 wurden diese in enger Zusammenarbeit von Stéphane Burgos (BFH-HAFL) und Peter Weisskopf (ehem. Agroscope) angepasst (siehe Jahresbericht 2021 (08.08.2022)).

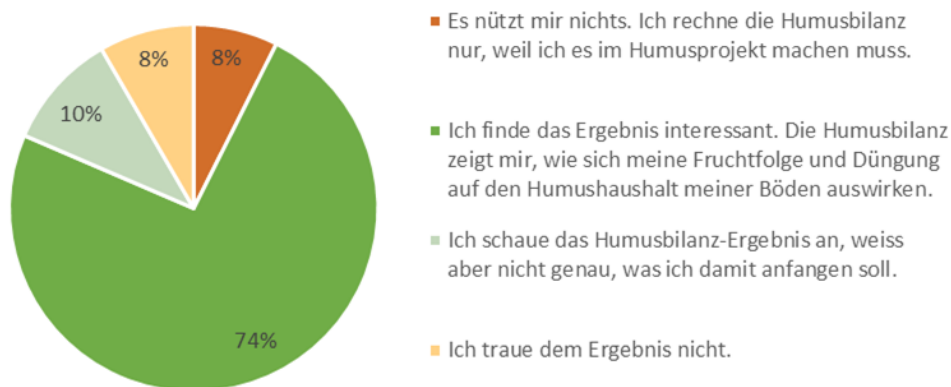


Abbildung 44: Ergebnis der HBR-Umfrage 2021 (n=108) - Akzeptanz der HB

#### Können die Bewirtschaftenden mit dem Einsatz des HBR für die Humusbilanzierung sensibilisiert und das Verständnis gefördert werden?

Die Teilnehmenden des Arbeitskreises schätzen den HBR als sehr nützlich für die Sensibilisierung der Humusbewirtschaftung ein. Durch die jährliche Berechnung der HB hinterfragen die Teilnehmenden automatisch einmal pro Jahr ihre Bewirtschaftung. Wenn sie im HBR sehen, dass sie in der Tendenz Humus verlieren, so setzen sie sich vermehrt mit möglichen Massnahmen und Anpassungen auseinander. Die Ergebnisse der HBR-Umfrage zeigen, dass mehr als die Hälfte der Teilnehmenden die HB nutzen, um ihre Humusbewirtschaftung zu optimieren (Abb. 45). Der restliche Teil der Landwirtinnen und Landwirte hat zum damaligen Zeitpunkt auf ihrem Betrieb keine Anpassungen aufgrund der HB vorgenommen. Dennoch zeigte ja ein Grossteil der Teilnehmenden Interesse am Ergebnis der HB (siehe vorherige Frage).

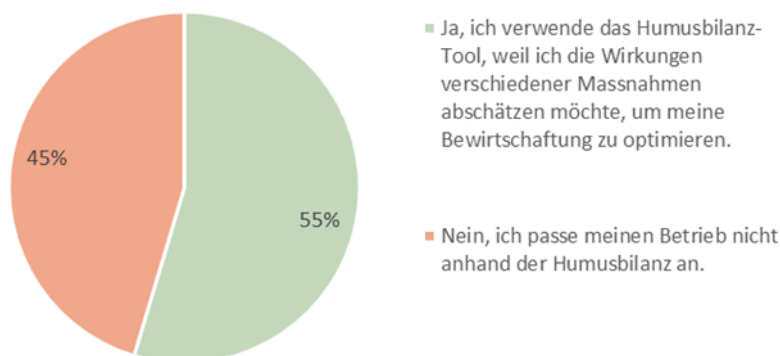


Abbildung 45: Ergebnis der HBR-Umfrage 2021 (n=108) - Verwendung des HBR

Inwiefern die Teilnehmenden die HB auch nach Projektende weiter berechnen werden, kann nicht abschliessend gesagt werden (Abb. 46). Das Projektteam schätzt die Lage aufgrund der Rückmeldungen wie folgt ein: Landwirtinnen und Landwirte, die sich stark mit der Humusbewirtschaftung auf ihrem Betrieb auseinandersetzen und gute Erfahrungen mit bestimmten Massnahmen während der Projektlaufzeit gemacht haben, werden die HB wohl weiterhin benutzen wollen. Diese Teilnehmenden haben aktiv am Projekt teilgenommen, waren an den Weiterbildungsveranstaltungen und haben grosses Interesse an der gesamten Thematik. Wie in jedem Projekt gibt es aber auch eine



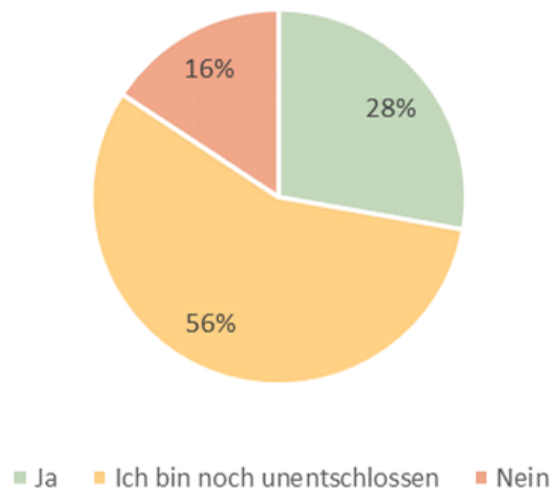


Abbildung 46: Ergebnis der HBR-Umfrage 2021 (n=108) - Berechnung der HB auch nach Projektende

*Gruppe an Teilnehmenden, die sich nicht ganz so stark mit dem Thema auseinandersetzt und deren Teilnahmegründe anderer Art sind (z.B. Massnahmen, die sie bereits umgesetzt haben und nun Beiträge für bekommen). Diese Teilnehmende werden die HB nach Projektende wohl eher nicht mehr berechnen.*

*Grundsätzlich ist es sicherlich von Vorteil, wenn der HBR in ein System integriert wird, in dem eine automatische Berechnung möglich ist. Je weniger zusätzlichen Aufwand die Landwirtinnen und Landwirte haben, desto eher werden sie sich mit der HB auseinandersetzen. Die Sensibilisierung der Teilnehmenden durch den HBR schützt das Projektteam unter Einbezug aller Ergebnisse als gut ein. Neben dem HBR sind aber auch Weiterbildungen, Beratungen und weitere Unterstützungsangebote wichtig, um die Landwirtinnen und Landwirte für den Humusaufbau zu sensibilisieren und zu motivieren.*

Ergänzung BFH-HAFL: Der Einsatz eines solchen Instruments macht langfristig Sinn. Eine jährliche Berechnung kann teilweise zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen von einem Jahr zum anderen führen. Letztendlich ist es die Fruchtfolge, die ein Maximum an Informationen liefert. Die Berechnung der Bilanz nach jedem Fruchtfolgezyklus ist wahrscheinlich genauso relevant, um strategische Entscheidungen über den Betrieb zu treffen. Die Lücken im HBR, die während des Projekts sichtbar wurden, sind Gegenstand von Forschungsarbeiten an der Agroscope. Das Tool wird also weiter verbessert.

#### **Führen die gewählten Massnahmen zu einer Veränderung der HB und sind alle humusrelevanten Massnahmen und Bewirtschaftungswege mit der HB abgedeckt?**

*Im HBR stehen für fast alle Massnahmen Auswahlkategorien bei den Zwischen- und Hauptkulturen oder der organischen Düngung zur Verfügung. Dabei sind immer Werte für den Humusgewinn hinterlegt (obligatorische Ernterückstände, Zwischenkultur oder organische Düngung). Die Werte zeigen, mit welchem Humusgewinn pro Massnahmen gerechnet werden kann. Alle Massnahmen verzeichnen einen Humusgewinn und führen damit immer zu einer positiven Veränderung der HB. Je nach Fruchtfolge und angebauten Kulturen kann es durch eine hohe Mineralisierung (= Humusverlust) aber trotz humusaufbauender Massnahmen insgesamt zu einem Humusverlust kommen.*

*Die Massnahme B1 Mistkompostierung kann unter der Kategorie «organische Düngung» ausgewählt werden (Mistkompost 35% TS; Mistkompost 55% TS). Die Eingabe einer organischen Düngung führt zu einem sehr starken Humusgewinn und hat grossen Einfluss auf die HB. Es wurde mit den wissenschaftlichen Experten immer wieder diskutiert, ob diese Werte gerechtfertigt sind. Es sind wissenschaftliche Untersuchungen nötig, um die Werte zu verifizieren.*

*Die Massnahmen C1 Untersaat, C2.1 Gründüngung früh, C2.2 Gründüngung spät und C3 Zwischenkultur können bei der entsprechenden Dropdown-Liste unter Zwischenkulturen eingegeben werden (Abb. 47). Die Massnahme C2.3 Gründüngung vor Winterkultur ist bislang nicht entsprechend im HBR abgebildet. Landwirtinnen und Landwirte, die diese Massnahmen umgesetzt haben, haben sie als «Zwischenfrucht, Frühsaat, nicht überwinternd» angegeben.*

Bei den Massnahmen D1 Kunstwiese mit Luzerne oder D2 mehrjährige Kunstwiese können die Teilnehmenden zwischen verschiedenen Kunstwiesetypen – je nach Standort und Intensität der Bewirtschaftung - als Hauptkultur wählen (Abbildung 7). Wird eine Kunstwiese neu angelegt, dann wählen die Teilnehmenden zusätzlich noch «Ansaat Kunstwiese als Hauptkultur» unter der Kategorie Zwischenkultur. Somit wird auch noch der Zeitraum im Herbst berücksichtigt, in dem die Kultur gesät wurde (Abb. 47).

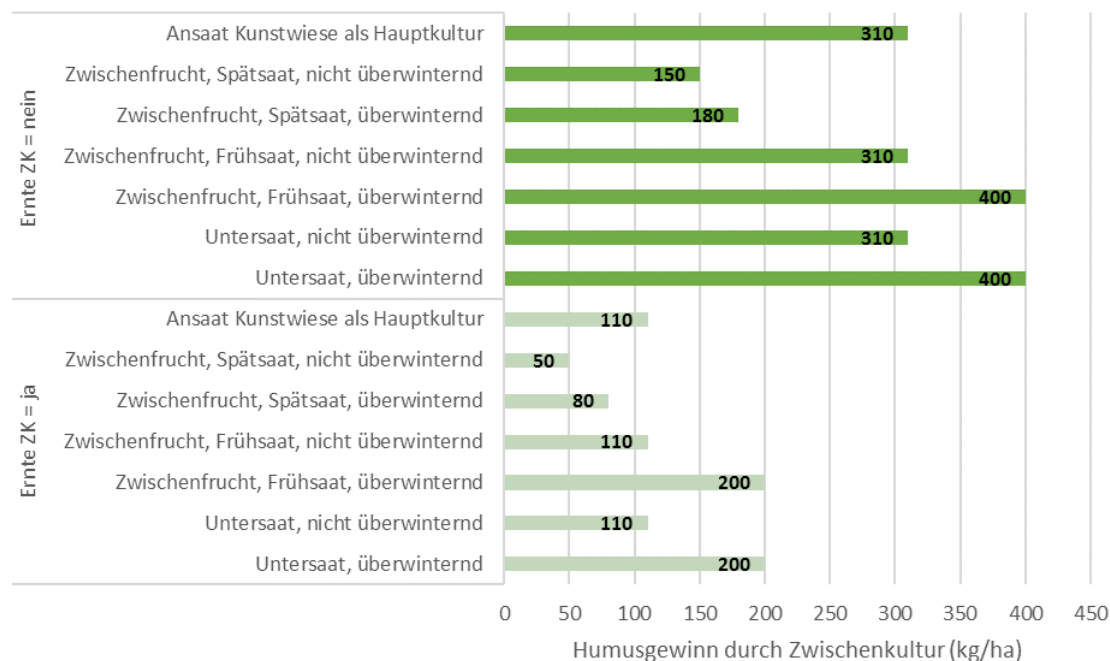


Abbildung 47: Hinterlegte Werte im HBR für den Humusgewinn von angebauten Zwischenkulturen (ZK = Zwischenkultur)

Die Massnahme E1 ganzjährige Bodenbedeckung wird über die Eingabe von den entsprechend angebauten Zwischenkulturen abgedeckt.

Der HBR deckt demnach insgesamt viele humusaufbauende Massnahmen ab. Dennoch gibt es einige Lücken in der Eingabe, wie z.B. die bereits genannte Massnahmen Gründüngung vor Winterkultur oder die Eingabe von mehreren Kulturen und/oder mehrerer Zwischenkulturen pro Parzelle und Jahr. So können beispielsweise Betriebe mit Gemüse- oder Kräuternanbau oder speziellen Systemen wie Misch- oder Staffelnkulturen oder Agroforst nur schlecht im HBR abgebildet werden.

Ergänzung BFH-HAFL: Nebst den oben genannten Faktoren gibt es noch Potenzial bei der Angabe der Intensität der Bodenbearbeitung. Diese spielt eine wesentliche Rolle beim Auf- bzw. vor allem beim Abbau von Humus (Mazzoncini et al., 2011). Momentan kann diese im HBR nur sehr grob mit dem Prozentanteil von Hackfrüchten berücksichtigt werden. Seit der Einführung des HBR haben sich zahlreiche Techniken zur konservierenden Bodenbearbeitung etabliert (die u.a. auch via Ressourceneffizienzbeiträge vergütet werden), die im HBR berücksichtigt werden sollten.

Weiter ist die korrekte Interpretation der HB wichtig. Es reicht nicht, den Anfangszustand (erstes Projektjahr) mit dem Endzustand (letztes Projektjahr) zu vergleichen. Es ist klar, dass bspw. bei einer humuszehrenden Kultur am Anfang des Projekts die HB auf der Parzelle kleiner war als am Ende des Projekts bei einer humusmehrenden Kultur. Daraus kann kein definitiver Schluss gezogen werden. Die HB muss also über die Fruchtfolge hinweg betrachtet werden. Die Frage ist, ob sich die Strategie des Betriebs über die Projektdauer geändert hat und ob diese insgesamt zu einer besseren HB geführt hat. Zudem muss auch der Aspekt der organischen Dünger berücksichtigt werden. Diese haben in der HB einen grossen Effekt, Dünger wie Kompost sind aber nicht für alle Kulturen möglich, vor allem aus qualitativen Gründen. Es ist daher umso wichtiger, die ganze Fruchtfolge zu betrachten und nicht nur einzelne Kulturen bzw. einzelne Jahre.

### Welche Massnahmen sind praxistauglich? Wie ist die Akzeptanz der humusaufbauenden Massnahmen?

Die humusaufbauenden Massnahmen wurden von den teilnehmenden Landwirtinnen und Landwirten rege umgesetzt, wie in Kap. 8.2 bereits erläutert. Vor allem die Gründüngungen (früh), Zwi-



schenfutter und die Kunstwiesen wurden häufig umgesetzt. Der Arbeitskreis schätzt die Massnahmen folgendermassen ein: Gründüngungen, Zwischenfutter und Kunstwiesen sind besonders praxistauglich. Dagegen wagen sich nicht so viele Teilnehmende an die Untersaaten, da hier das Risiko für Misserfolg deutlich höher ist. Bei der Gründüngung vor Winterkultur und der ganzjährigen Bodenbedeckung ist der Aufwand sehr hoch und es fallen zusätzliche Arbeiten in den bereits sehr arbeitsintensiven Sommermonaten an. Die zunehmende Sommertrockenheit erhöht das Risiko, dass die Kulturen nicht auflaufen. Die Teilnehmenden des Arbeitskreises sehen vor allem drei Punkte als relevant für die Praxistauglichkeit und Akzeptanz einer Massnahme an:

- Je geringer das Risiko für einen Misserfolg, desto eher wird eine Massnahme umgesetzt.
- Je einfacher eine Massnahme mit der betriebseigenen Mechanisierung umgesetzt werden kann, desto eher wird die Massnahmen umgesetzt.
- Je eher bzw. stärker eine Verbesserung der Bodenstruktur festgestellt werden kann (z.B. mittels Spatenprobe), desto eher wird eine Massnahme umgesetzt.

In den drei Online-Umfragen wurde ebenfalls abgefragt, welche Massnahmen durch die Teilnehmenden umgesetzt werden. Die Zahlen decken sich dabei nicht exakt mit den Auswertungen aus den letzten Projektjahren – in den Umfragen ist die Anzahl Teilnehmende, die eine Massnahme umsetzen, höher. Dies liegt daran, dass die Teilnehmenden die Frage ausgefüllt haben, unabhängig davon, ob sie die Anforderungen im Rahmen des Projektes einhalten müssen und ob sie Massnahmen im Projekt umsetzen dürfen. Das heisst, es setzen weit mehr Teilnehmende humusaufbauende Massnahmen um, auch wenn sie diese im Projekt nicht anmelden konnten. Daraus lässt sich schliessen, dass die Massnahmen generell praxistauglich sind. Die überwiegende Mehrheit der Landwirtinnen und Landwirten plant, die Massnahmen auch nach Projektende weiterzuführen.

Die Ergebnisse der Online-Umfragen zeigen auch, dass es für die Mehrheit der Teilnehmenden bereits zu Beginn des Projekts leicht war, die Massnahmen umzusetzen (Kap. 8.6). Dieser Anteil stieg in der zweiten Umfrage nochmals deutlich an und blieb anschliessend stabil. Zudem hatten die Teilnehmenden von Anfang an eine klare Vorstellung darüber, welche Massnahmen zur Bodenverbesserung für ihren Betrieb sinnvoll sind.

Für die Teilnehmenden des Arbeitskreises spielen die folgenden hemmenden Faktoren die grösste Rolle: Kosten für Saatgut und Arbeit, betriebseigene Mechanisierung, Zeitdruck in saisonalen Spitzen, Anbauerfolg und Planung der Fruchtfolge.

Ergänzungen vgl. Kap. 10

### **Welche hemmenden Faktoren bestehen bei der Wahl und Umsetzung der humusaufbauenden Massnahmen?**

Die in den Online-Umfragen abgefragten Hemmnisse bei der Wahl und Umsetzung der humusaufbauenden Massnahmen sind über die Jahre hinweg recht konstant geblieben. Mehr als die Hälfte der Teilnehmenden betrachtete den zusätzlichen Mehraufwand beim Umsetzen einer Massnahme als grösstes Hindernis. Bei rund einem Drittel ist die Fruchtfolge auf dem Betrieb der hemmende Faktor oder die notwendigen Maschinen stehen nicht zur Verfügung. Zusätzlich nannten die Teilnehmenden noch weitere hemmende Faktoren, wie den hohen administrativen Aufwand im Projekt, die Beschränkung für Betriebe mit hohem Tierbesatz oder den Konflikt mit anderen Programmen (z.B. LQB oder Nitratprojekt).

### **Welche Motivationsargumente sind nötig für ein Fortführen der Massnahmen nach dem Projekt?**

Für die teilnehmenden Landwirtinnen und Landwirte ist der Bodenschutz und die Nachhaltigkeit des eigenen Betriebs zentral, wie die Auswertungen der Online-Umfrage zeigen. Somit werden die Teilnehmenden vor allem Massnahmen weiterhin umsetzen, bei denen sie eine Verbesserung ihrer Bodenqualität beobachten können. Ebenso zeigen sie Interesse an neuen Entwicklungen. Durch ihre Teilnahme am Projekt konnten die sie neue Massnahmen auf dem Betrieb etablieren.

Die Teilnehmenden des Arbeitskreises sehen die folgenden Argumente als wesentlich für das Fortführen der Massnahmen nach Projektende an:

- Sicht- und spürbare Veränderung der Bodenstruktur, Verbesserung der Bodenqualität
- Konstantere Erträge über Jahre hinweg

- Weiterbildungsangebote
- Austauschmöglichkeiten unter Berufskolleginnen und -kollegen (z.B. Arbeitskreis)
- Finanzielle Förderung (z.B. durch Bundesprogramm)
- Vereinfachung von administrativen Hürden (z.B. mühsames Ausfüllen der HB oder Baubewilligung bei Feldrandkompostierung)

### Wie sind die Kosten der humusaufbauenden Massnahmen?

vgl. Kap. 11

### Ist eine Entschädigung aufgrund der HB-Ergebnisse praxistauglich und sinnvoll? Welche zusätzliche Unterstützung (in Form von Informationen, Beratung etc.) benötigen die Landwirtinnen und Landwirte bei der ergebnisorientierten Entschädigung?

Das ergebnisorientierte Entschädigungsmodell wurde bei den 14 Teilnehmenden des Arbeitskreises getestet. Im Jahresbericht 2018 (14.05.2020) wurden das Modell und die Abgeltungsansätze beschrieben. In den beiden folgenden Berichten (Jahresbericht 2019 (04.05.2020), Zwischenbericht 2020 (17.12.2020)) wurden bereits erste Ergebnisse und Erfahrungen erläutert.

Die Teilnehmenden des Arbeitskreises wurden nicht nach dem ergebnisorientierten Entschädigungsmodell ausbezahlt. Die Gründe dafür sind vielfältig:

- Die im HBR hinterlegten Werte sind aus wissenschaftlicher Sicht teilweise noch zu verifizieren und gegebenenfalls anzupassen. Eine erste Anpassung wurde dank der Solothurner Daten im Sommer 2021 in enger Zusammenarbeit von Stéphane Burgos (BFH-HAFL) und Peter Weisskopf (ehem. Agroscope) vorgenommen (siehe Jahresbericht 2021 (08.08.2022)).
- Es gibt aber weiterhin fragliche Werte, wie beispielsweise die der organischen Düngung. Sie haben einen sehr starken positiven Einfluss auf die HB, die von der WB und den Teilnehmenden als kritisch angesehen werden.
- Die Eingaben in der HB sind bei den teilnehmenden Landwirtinnen und Landwirten häufig fehlerhaft. Falsche Flächengrössen oder Kulturangaben sowie fehlende Flächen und Kulturen sorgen für fehlerhafte HB. Ein Abgleich mit dem Agrardatenbank GELAN ist nur bei einer Handvoll Teilnehmenden noch möglich. Bei einer grösseren Anzahl an Landwirtinnen und Landwirten übersteigt es den administrativen Aufwand, der innerhalb eines Projektes oder eines Kantons geleistet werden kann.
- Die HB kann weiterhin sehr leicht manipuliert werden; z.B. mit nicht plausibilisierbaren Düngangaben, die weder mit dem GELAN oder der Nährstoffbilanz verifiziert werden können.
- Die HB variiert je nach Fruchtfolge (Anteil Hackfrüchte und Kunstwiese) stark, sodass eine jährliche Abgeltung aufgrund der HB als nicht praxistauglich und fair angesehen wird.
- Die regionalen Gegebenheiten und die Bodenentstehung beeinflussen den maximalen Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff stark. Ein tonreicher Boden weist eine höhere Mineralisierungsrate auf und erfordert daher mehr Massnahmen, um eine ausgewogene oder positive HB zu erreichen.

In Tab. 5 sind die Beiträge des ergebnisorientierten und des massnahmenorientierten Entschädigungsmodells der Teilnehmenden des Arbeitskreises dargestellt. Dabei fallen die sehr unterschiedlichen jährlichen Beiträge sowie die stark variierenden Totalbeiträge auf.

Der HBR in seiner bisherigen Form eignet sich vor allem für die Sensibilisierung von Landwirtinnen und Landwirten für das Thema Humus und Bodenfruchtbarkeit. Eine ergebnisorientierte Abgeltung pro Jahr ist weder praxistauglich noch fair. Es ist vielmehr sinnvoll, die HB über Jahre hinweg zu berechnen und den Trend zu interpretieren. Unterstützende Beratungsangebote wären für die interessierten Landwirtinnen und Landwirte sicherlich von Vorteil. So könnte das Humusmanagement mit einer Beratungsperson diskutiert und mögliche Anpassungen für einen langfristigen Humusaufbau besprochen werden. Ausserdem kann der HBR niemals den direkten Blick auf und in den Boden, z.B. mittels Spatenprobe, ersetzen.

Tabelle 5: Gegenüberstellung der Beträge (Fr.) des ergebnisorientierten (eoE) und des massnahmeorientierten Entschädigungsmodells (moE) bei den Teilnehmenden des AK

	2018		2019		2020		2021		2022		2023		TOTAL	
Betrieb	eoE	moE	eoE	moE	eoE	moE	eoE	moE	eoE	moE	eoE	moE	eoE	moE
a	4'185.00	3'837.00	2'791.20	2'987.64	7'146.00	3'826.80	5'716.80	5'393.60	4'289.40	4'324.40	-	5'310.40	24'128.40	25'679.84
b	5'331.00	510.00	4'228.80	427.18	3'166.20	2'535.20	5'277.00	2'926.89	2'109.60	2'026.60	2'097.60	2'108.60	22'210.20	10'534.47
c	-	765.00	4'824.00	457.60	-	429.20	-	2'610.80	2'898.00	684.40	-	1'202.80	7'722.00	6'149.80
d	2'122.80	1'008.00	3'159.00	1'054.00	1'083.60	838.00	5'421.00	2'209.60	2'160.00	1'073.18	3'241.80	1'380.40	17'188.20	7'563.18
e	2'820.00	357.00	2'760.00	869.20	2'066.40	394.00	1'377.60	656.00	2'755.20	741.20	-	308.00	11'779.20	3'325.40
f	-	510.00	5'211.00	1'583.80	5'214.00	17'860.00	7'809.60	28'449.00	-	27'596.20	849.00	13'890.00	19'083.60	89'889.00
g	-	442.00	6'432.00	1'523.51	-	481.60	7'644.00	504.42	-	432.40	6'511.20	1'303.20	20'587.20	4'687.14
h	2'640.00	918.00	2'655.00	714.40	-	600.30	2'124.00	1'746.41	531.00	1'589.72	2'124.00	561.00	10'074.00	6'129.84
i	5'130.00	3'055.00	1'026.00	5'134.34	5'130.00	3'245.00	5'127.00	1'424.20	2'050.80	1'014.40	2'968.20	2'458.00	21'432.00	16'330.94
j	4'466.40	1'799.00	2'920.80	651.27	6'175.20	439.60	7'785.00	2'142.00	6'228.00	1'520.70	-	3'612.00	27'575.40	10'164.57
k	14'100.00	2'822.00	11'611.20	4'898.00	-	17'986.86	14'478.00	20'110.20	-	23'495.60	14'358.00	27'546.24	54'547.20	96'858.90
l	10'365.00	250.00	10'365.00	250.00	10'755.00	250.00	10'755.00	22'345.00	10'755.00	29'549.40	-	36'100.00	52'995.00	88'744.40
m	4'749.00	991.00	4'752.00	1'530.40	4'752.00	1'314.50	-	2'766.20	-	3'640.52	950.40	3'804.86	15'203.40	14'047.48
n	5'078.40	8'416.00	6'282.00	12'167.80	-	8'865.20	6'309.00	10'958.20	-	11'583.80	-	10'449.07	17'669.40	62'440.07
<b>TOTAL</b>	<b>60'987.60</b>	<b>25'680.00</b>	<b>69'018.00</b>	<b>34'249.14</b>	<b>45'488.40</b>	<b>59'066.26</b>	<b>79'824.00</b>	<b>104'242.52</b>	<b>33'777.00</b>	<b>109'272.52</b>	<b>33'100.20</b>	<b>110'034.58</b>	<b>322'195.20</b>	<b>442'545.02</b>

## Wie sind die Erfahrungen, Vorteile, Herausforderungen und Probleme aus Sicht der Landwirt/innen und der Verwaltung? Hat das Entschädigungsmodell einen Einfluss auf die Wahl der Massnahmen zur Verbesserung des Bilanzergebnisses (Vergleich massnahmenorientierte versus ergebnisorientierte Entschädigung)?

Die Erfahrungen mit dem HBR aus Sicht der Landwirtinnen und Landwirte und der Verwaltung wurden in den vorherigen Fragestellungen bereits eingehend erläutert. Der HBR in der aktuellen Version bringt zu viele Unsicherheiten und Probleme mit sich, als dass er mit einem ergebnisorientierten Entschädigungsmodell gekoppelt werden kann. Trotz der massnahmenorientierten Entschädigung scheinen eher die betrieblichen Voraussetzungen (z.B. Sinn der Massnahme, Fruchtfolge, Zeit, Mechanisierung) die treibende Kraft bei der Umsetzung von Massnahmen zu sein. Das Projektteam geht davon aus, dass dies auch bei der ergebnisorientierten Entschädigung der Fall sein wird, solange der Betrieb eine Entschädigung erhält. Angenommen ein Betrieb setzt verschiedene Massnahmen im Ackerbau um und hat trotz des zusätzlichen Aufwands ein negatives Humusbilanzergebnis (z.B. aufgrund der Fruchtfolge oder eines hohen Tongehalts), kann dies im Extremfall dazu führen, dass Massnahmen im Ackerbau aus Frustration nicht mehr umgesetzt werden, obwohl diese Massnahmen neben dem Aufbau von organischem Kohlenstoff weitere positive Effekte auf die Bodenfruchtbarkeit haben (z.B. Bodenstruktur, Mikroorganismen, Erosionsschutz).

Die Ergebnisse der HB zeigen über die sechs Projektjahre einen positiven Trend: Ein Grossteil der teilnehmenden Landwirtinnen und Landwirte wirtschaftet im humuserhaltenden oder humusaufbauenden Bereich (Abb. 48). Somit ist es auch mit der massnahmenorientierten Entschädigung und dem HBR als Sensibilisierungstool möglich, die Humusbewirtschaftung zu verbessern.

Gruppe	PJ1 17/18	PJ2 18/19	PJ3 19/20	PJ4 20/21	PJ5 21/22	PJ6 22/23	Ziel nach PJ6
	Anteil Teilnehmende mit einem Bilanzergebnis im humuserhaltenden oder humusaufbauenden Bereich						
Total	90.9 %	93.0 %	93.3 %	97.3 %	96.0 %	97.1 %	80 %
Humusbilanz + Massnahmen	87.9 %	90.8 %	91.2 %	96.4 %	95.4 %	96.5 %	100 %
Humusveränderung im humuserhaltenden Bereich: $\geq -200$ kg/ha und $< +200$ kg/ha Humusveränderung im humusaufbauenden Bereich: $\geq +200$ kg/ha							

Abbildung 48: Bilanzergebnis der Teilnehmenden über die 6 Projektjahre mit Humusveränderung im humuserhaltenden oder humusaufbauenden Bereich

## Wie ist der Austausch und Lerneffekt in den geplanten Arbeitskreisen?

Der Arbeitskreis – bestehend aus 14 Teilnehmenden – hat sich während der Projektlaufzeit zwei Mal pro Jahr getroffen und verschiedene Themen rund um Humusaufbau, Boden und Bodenfruchtbarkeit diskutiert. In der zweiten und dritten Online-Umfrage wurden ihnen spezifische Fragen zum Arbeitskreis gestellt. Insgesamt wird der Arbeitskreis von den Teilnehmenden als wertvoll eingestuft.

Der Arbeitskreis stellt als Bindeglied zwischen Theorie und Praxis hohe Anforderungen an die Teilnehmenden und an die Moderation. Die insgesamt positive Bewertung der Teilnehmenden zeigt, dass die Herausforderungen gut gemeistert wurden. Die Motivation der Teilnehmenden und des Moderators ist eine entscheidende Voraussetzung für das Gelingen eines Arbeitskreises.

Arbeitskreis-Moderator Samuel Tschumi (ehem. Berater Pflanzenbau, BZW) zieht eine positive Bilanz: Im Arbeitskreis sind verschiedene Phasen zu unterscheiden. In der Kennenlernphase zu Beginn wurde vorsichtig abgetastet, was gesagt wird. Es war zum Teil etwas schwierig die Teilnehmenden zu animieren. Mit fortlaufender Dauer wurde dies jedoch deutlich besser. Die Teilnehmenden haben sich besser kennen gelernt und Vertrauen aufgebaut. Viele haben die gleichen oder ähnlichen Probleme und Sorgen auf ihrem Betrieb. Mit dieser Erkenntnis wurde auch der Austausch reger und die Lerneffekte grösser. Das Feedback der Teilnehmenden am letzten Arbeitskreis-Treffen im Dezember 2023 war eindeutig: Die Teilnehmenden schätzen den Austausch sehr und würden eigentlich gerne mit dem Arbeitskreis weitermachen. Nach sechs gemeinsamen Jahren hat man viel voneinander lernen und könnte auch weiterhin von einem Austausch profitieren.

## TEIL III: Beurteilungen und Synthese

### 10 Nachhaltigkeitsbeurteilung

In Ergänzung zur Nachhaltigkeitsbeurteilung in Tabelle 9 auf den S. 22-24 im Schlussbericht (Jauch et al., 2024) werden nachfolgend die humusaufbauenden Massnahmen diskutiert. Dabei werden die drei Säulen **ökologische Wirkung**, **Wirtschaftlichkeit** und **sozialer Aspekt, also Akzeptanz** diskutiert. Die Inhalte aus dem Schlussbericht werden paraphrasiert nochmals beschrieben und ergänzt. Gleichzeitig werden die Stärken und Schwächen der umgesetzten Massnahmen und ihr Einfluss auf die Akzeptanz diskutiert.

Die Annahmen in der Spalte **ökologische Wirkung** im Schlussbericht sind zusammengefasst folgende: Zunahme der organischen Substanz im Boden und verschiedene zusätzliche Wirkungen je nach Massnahme, dazu gehören (Flury, 2019; Hedrich et al., 2024; Wendling et al., 2019; Büchi et al., 2018): Verbesserung der Bodenstruktur und der Bodengesundheit, Erhöhung der biologischen Aktivität, höhere Resilienz gegen Krankheitserreger, Verbesserung von Wasserspeichervermögen und Nährstoffverfügbarkeit, Erhöhung des pH-Werts in sauren Böden (nur bei Mistkompost) und Verminderung der Erosion und Reduktion von Nährstoffauswaschung. Die Wirkungen auf den  $C_{org}$ -Gehalt und die Bodenstabilität können durch das Projekt nicht bestätigt werden. Wirkungen wie die Erhöhung der biologischen Aktivität oder die Verfügbarkeit von Nährstoffen und Wasser wurden nicht gemessen und können dementsprechend auch nicht durch Analysen beurteilt werden. All dies bedeutet jedoch nicht, dass die Massnahmen in der Realität keine Wirkung zeigen. Sie sind alle, abgesehen vom Mistkompost, ökologisch ähnlich zu bewerten. Sie erlauben eine höhere Bodenbedeckung und einen kleinen, aber langfristigen Aufbau oder zumindest Erhalt des Humusgehalts. Ohne Input von "externer" organischer Substanz ist der Aufbau in ackerbaulich genutzten Böden jedoch schwieriger, dies zeigen auch die Langzeitstudien in Neyroud et al. (1997).

Die generelle Erhöhung der Bodenbedeckung ist ökologisch aber auf jeden Fall positiv zu beurteilen. Sie soll jedoch nicht mit unnötig vielen zusätzlichen Überfahrten für Bodenbearbeitung und Saat verbunden sein. Aus den Diskussionen mit den Teilnehmenden des AK wurde klar, dass diese sich durchaus Gedanken über die Bearbeitung machen und versuchen, den Boden weniger (intensiv) zu bearbeiten. Bei den Online-Umfragen wurde dieser Aspekt nicht explizit abgefragt.

Ein weiterer Aspekt im Zusammenhang mit der ökologischen Wirkung wurde im Rahmen einer Masterarbeit an der BFH-HAFL untersucht. In der Arbeit wurde die  $C_{org}$ -Menge ( $C_{org}$ -Gehalt x Lagerungsdichte) im Boden der Monitoringparzellen analysiert. Die Autorin (Poggiali, 2025) diskutiert folgende Punkte:

Es gibt in mehreren Studien (Gubler et al., 2019; Luo et al., 2010) Hinweise darauf, dass die positiven Effekte von humusaufbauenden Massnahmen oder konservierender Bodenbearbeitung auf die  $C_{org}$ -Menge im Boden hauptsächlich an der Oberfläche vorhanden sind. In der Tiefe können sie jedoch durch  $C_{org}$ -Abnahme wieder aufgehoben werden. In Luo et al. (2010) zeigt sich, dass, wenn eine Akkumulation von  $+3.15 \text{ t C ha}^{-1}$  in den ersten 10 cm beobachtet wird, ein äquivalenter Verlust von  $-3.30 \text{ t C ha}^{-1}$  zwischen 20 und 40 cm verzeichnet werden kann, wodurch der Nettogewinn wieder aufgehoben wird. Dieser Trend wird durch Dimassi et al. (2014) bestätigt. In ihrer Studie haben sie nach 41 Jahren Versuchsdauer trotz einer Akkumulation an der Oberfläche keinen signifikanten Anstieg des Gesamtkohlenstoffs feststellen können. Solche Ergebnisse mit signifikant positiven Entwicklungen könnten somit auf eine methodische Verzerrung zurückzuführen sein, bei der nur die ersten 30 Zentimeter des Bodens betrachtet werden (Baker et al., 2007; Schreefel et al., 2024). In Schreefel et al. (2024) wird der fehlende wissenschaftliche Konsens betont und auf die Notwendigkeit von Langzeitstudien hingewiesen, um verzerrte Interpretationen durch kurzfristige Messungen zu vermeiden.

Welche der Massnahmen man wählt, bzw. welche eine genügende **Akzeptanz** aufweisen, ist schlussendlich oft abhängig von der Fruchtfolge. Dies zeigen auch die Ergebnisse der Online-Umfragen. Die Fruchtfolge war zwar nicht der meistgenannte Grund, Massnahmen nicht umzusetzen, aber doch der dritthäufigste (dritte und letzte Umfrage). Wichtiger war, dass notwendige Maschinen nicht verfügbar seien und dass der Mehraufwand als zu hoch betrachtet werde.

Die Frage nach den **Kosten** wird in Kap. 11 nochmals aufgegriffen.

Im Folgenden werden spezifische Aspekte der Nachhaltigkeit für einzelne Massnahmen und ähnlich zu bewertende Massnahmengruppen diskutiert. Sie sind in aufsteigender Reihenfolge nach Häufigkeit der Umsetzung gemäss Online-Umfragen aufgelistet (Stand dritte und letzte Umfrage, Abb. 22):



## D1: Kunstwiese mit Luzerne und D2: mehrjährige Kunstwiese

Die mehrjährige Kunstwiese wurde gemäss der dritten Online-Umfrage am häufigsten umgesetzt. Es wird vermutet, dass sie vor allem von Betrieben mit Tieren umgesetzt wurde. Die Kunstwiese mit Luzerne wurde weniger häufig umgesetzt und ein Grund für das nicht Weiterführen der Massnahme war, dass sie nicht mehr ins Betriebskonzept passt.

Ähnlich wie beim Zwischenfutter, muss das Rohfutter durch eigene Tiere verwertet werden oder verkauft werden können. Die mehrjährige Kunstwiese muss zudem in die Fruchtfolge und das Betriebskonzept passen, eine Umstrukturierung der Bestriebsstruktur kann sogar notwendig sein. Ist man für bestimmte Ackerkulturen abhängig von den Flächen, ist die Umsetzung dieser Massnahme erschwert.

### C2.1: Gründüngung früh, C2.2 Gründüngung spät, C.2.3 Gründüngung vor Winterkultur

Wie die Auswertungen der Online-Umfragen ergaben, gab es v.a. bei der frühen Gründüngung generell wenig Hemmungen, diese umzusetzen. Trotzdem gibt es Hindernisse und Beschränkungen durch die Fruchtfolge. Gründüngungen passen einerseits nicht überall in die Fruchtfolge. So wird bspw. nach Kulturen, die später als Getreide oder Raps geerntet werden (Kartoffeln, Mais, ...), der Zeitraum kürzer, um diese zu säen. Bei Spätsaaten ab September/Okttober gibt es nur noch eine beschränkte Anzahl Mischungen ([UFA-Samen, o. J.](#)), die noch keimen. Ein weiterer Faktor, den Betriebe erwähnen, ist die Trockenheit im Sommer nach der Getreideernte. Es ist nicht klar, ob die Mischung keimen kann und im schlimmsten Fall hat man die Kosten für das Saatgut und die Befahrung, doch für den Humusaufbau hat eine nicht wachsende Gründüngung auch keine Wirkung. Auch eine geeignete Pflanzenfamilie zu wählen, kann eine Herausforderung sein (keine Kreuzblütler nach Raps). Die Möglichkeit, eine Gründüngung zu säen, beschränkt sich also grundsätzlich auf die Zeit zwischen zwei Sommerkulturen und zwischen Getreideernte im Sommer und einer Saat im Herbst. Dies ist auch mit ein Grund, warum im Rahmen dieses Projekts keine Effekte auf bestimmte Massnahmen zurückzuführen sind. Es bräuchte mehr als 2 oder 3 Wiederholungen innerhalb der 6 Jahre.

Auch [Poggiali \(2025\)](#) hat bei der Diskussion der  $C_{org}$ -Menge im Boden der Monitoringparzellen die Wirkung von Zwischenfrüchten wie Gründüngungen diskutiert und hält fest, dass eine langfristige Umsetzung der Massnahmen notwendig ist. Es ist bereits positiv zu bewerten, wenn nicht mehr Kohlenstoff verloren geht bzw. die Menge erhalten wird. Im Gegensatz zu Dauergrünland ist die Wirksamkeit von Zwischenfrüchten auf die Kohlenstoffsequestrierung umstrittener. [Chaplot und Smith \(2023\)](#) kommen in einer Analyse von mehreren Studienergebnissen zum Schluss, dass die tatsächliche Wirkung von Begrünungen auf die Kohlenstoffspeicherung weitaus geringer ist als frühere Schätzungen. Während einige Arbeiten von einer Rate von  $0.32 \pm 0.08 \text{ t C ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$  berichteten ([Poeplau & Don, 2015](#)), zeigt ihre Meta-Analyse, dass die tatsächliche Zunahme nur  $0.03 \text{ t C ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$  betragen würde.

## E1: ganzjährige Bodenbedeckung

Aus bodenkundlicher und ökologischer Sicht ist diese Massnahme auf jeden Fall zu begrüßen. Unterdessen wird sie auch durch Direktzahlungen unterstützt (Produktionssystembeiträge). Sie wird gemäss Online-Umfrage häufig umgesetzt und auch nach Projektende weitergeführt. Generell ist ihre Akzeptanz abhängig davon, wie gut die Massnahmen zur Bodenbedeckung (Gründüngung, Zwischenfutter, ...) umgesetzt werden können. Weiter muss sie zu den Betriebszielen und zur Fruchtfolge passen. Für einen Betrieb, der abhängig von Hackfrüchten ist, ist die dauerhafte Bodenbedeckung über die Fruchtfolge nicht möglich. Eine Erhöhung des Anteils der Bodenbedeckung mithilfe von Zwischenkulturen oder Teil-Umstellung des Anbausystems für einzelne Kulturen (Direktsaat, Mulchsaat, Streifenfrässaat) ist dennoch möglich. Diese Systeme jedoch sind wiederum gebunden an spezielle Maschinen und nach wie vor oft verbunden mit (vermehrtem) Einsatz von Herbiziden ([Masson et al., 2024](#)).

## C3: Zwischenfutter

Diese Massnahme wurde von knapp der Hälfte der Betriebe umgesetzt und wird gemäss Umfrageergebnissen auch weitergeführt. Die Hauptfrage ist hier, ob ein Betrieb Tiere und damit Bedarf an Futter hat oder nicht. Kann man das Zwischenfutter nutzen, ist man auch daran interessiert, diese Biomasse zu generieren und die Kosten und den Arbeitsaufwand zusätzlich zur Hauptkultur auf sich zu nehmen.

## C1: Untersaat

Sowohl in der Umfrage über alle Projektbetriebe als auch bei der Analyse der AK-Teilnehmenden wird ersichtlich, dass nur ein kleiner Teil der Betriebe diese Massnahme umsetzt. Eine Erklärung dafür ist, dass der Einsatz einer Untersaat in der Fruchtfolge mit sehr viel technischem Knowhow und auch Risiken verbunden ist. Dies hat sich auch in den Diskussionen im AK gezeigt. In dieser Gruppe kamen sehr viele Fragen auf, wann und wie man eine Untersaat anbaut. Dies zeigt, dass diese Massnahme alleine bereits Fragen für ein ganzes Projekt bietet. Es gab und gibt auch bereits Projekte zu diesem Thema, z.B. von Agroscope (Projekt *ICARO*) oder FiBL (im Rahmen des *OK-Net Arable Projects*).

## B1: Mistkompostierung

Der ökologische Nutzen der Ausbringung von Mistkompost ist durch die Literatur bestätigt ([Fuchs et al., 2004](#)). Er verbessert die Verfügbarkeit der Pflanzennährstoffe und der Rotteprozess führt zudem zur Bildung von Huminstoffen ([Sari et al., 2018](#)). Kompost hat einen positiven Einfluss auf das Bodenleben und dieses wiederum auf die Bodenstabilität ([Edlinger et al., 2025](#)). Der Einsatz soll jedoch nicht als Rechtfertigung für eine Beseitigung von zu viel Mist dienen. Im vorliegenden Projekt konnte jedoch auch bei dieser Massnahme kein direkter ökologischer Effekt im Boden gemessen werden.

Die Mistkompostierung wurde wahrscheinlich vor allem deshalb vergleichsweise selten umgesetzt, weil sie eine genügende Menge Mist auf dem Betrieb voraussetzt. Da nur Betriebe mit wenig oder keinem Vieh für die (abgeholtenen) Massnahmen zugelassen waren, war die Zielgruppe für diese Massnahme klein. Zudem war sie laut Umfragen teilweise zu teuer und zu aufwändig. Bei dieser Massnahme sind es also vor allem wirtschaftliche Faktoren, die ein Hindernis für die Umsetzung sind. Falls jemand mit den Beiträgen während des Ressourcenprojekts in Maschinen und Infrastruktur für die Kompostierung investiert hat, kann davon ausgegangen werden, dass die Massnahme weitergeführt wird. Vor allem aber, wenn die Abgeltungen wegfallen und die strukturellen Voraussetzungen auf einem Betrieb nicht vorhanden sind, wird es allenfalls schwierig, diese wirksame Massnahme (weiter) umzusetzen.

# 11 Kosten-Nutzen-Analyse

Die Forschungsfrage *Wie sind die Kosten der humusaufbauenden Massnahmen?* wird in diesem Kapitel separat behandelt.

Für die Evaluation der Kosten wurden Kostenabschätzungen zu den im Projekt abgeholten Massnahmen gemacht. Dabei muss berücksichtigt werden, dass diese je nach bestehendem Anbausystem, der Anbaumethode (Pflug, Grubber, Direktsaat,...) und den Maschinen für die Vorkultur variieren können. Jede Kostenschätzung basiert also auf mehreren Annahmen, bspw. dem Maschinen- und Traktorentyp. Es konnten jedoch keine Kosten geschätzt werden für Investitionen in neue oder umgebaute Maschinen, Vorbereitungsarbeiten der Infrastruktur, Risiken (Verlust, nicht Auflaufen von Zwischenbegrünungen), Planungsarbeiten zur Umstellung der Fruchtfolge oder für den Zeitaufwand, um Praxistests durchzuführen. Auch der Verzicht auf eine Ackerkultur beim Anlegen einer Kunstwiese wurde nicht mit eingerechnet. Kunstwiesen mit Luzerne bringen zudem Herausforderungen bei der Konservierung und beim Anbau als Futterpflanze mit sich. All diese Faktoren können die Kosten erheblich verändern.

Für die Kostenschätzung der Massnahmen Gründüngungen, Zwischenfutter, Untersaat, mehrjährige Kunstwiese und Kunstwiese mit Luzerne wurden der Kostenkatalog 2024 von Agroscope ([Bütler & Gazzarin, 2025](#)) und der Feldsamenkatalog 2025 ([fenaco, 2025](#)) verwendet. Eine Übersicht der Kostenschätzungen für diese Massnahmen und die finanziellen Abgeltungen, die im Projekt dafür gemacht wurden, sind in Tab. 6, Tab. 7, Tab. 8 und Tab. 9 dargestellt. Die Arbeitskosten sind jeweils in den Maschinenkosten mit eingerechnet. Bei der Gründüngung und dem Zwischenfutter wurde eine vorgängige Stoppelbearbeitung mit eingerechnet (Maschinenkosten).

Tabelle 6: Kostenschätzung für den Anbau einer Gründung mit zwei verschiedenen Saatgutmischungen und die Abgeltungen, die im Projekt für die Gründungs-Massnahmen bezahlt wurden. Die Kosten für das Saatgut stammen vom Feldsamenkatalog 2025 (fenaco, 2025) und die Maschinenkosten, inkl. Arbeitskosten, wurden dem Kostenkatalog 2024 von Agroscope (Bütler & Gazzarin, 2025) entnommen. GD = Gründung, WK = Winterkultur

	Saatmenge kg/ha	Preis/kg CHF/ha	Saatgutpreis CHF/ha	Maschinenkosten CHF/ha	Gesamtkosten CHF/ha
<b>UFA-Lepha</b>					
Biologisch	30	5.4	162	220	<b>382</b>
Konventionell	30	5.1	153	220	<b>373</b>
<b>UFA-Alpha</b>					
Biologisch	20	9.7	194	220	<b>414</b>
Konventionell	20	7.8	156	220	<b>376</b>
<b>Abgeltungen</b> CHF/ha					
GD früh (C 2.1)	<b>240</b>				
GD spät (C 2.2)	<b>110</b>				
GD vor WK (C 2.3)	<b>240</b>				

Tabelle 7: Kostenschätzung für Anbau der Zwischenfuttermischung mit der Mischung UFA 106 und Abgeltung, die im Projekt für die Massnahme bezahlt wurde. Die Kosten für das Saatgut stammen vom Feldsamenkatalog 2025 (fenaco, 2025) und die Maschinenkosten wurden dem Kostenkatalog 2024 von Agroscope (Bütler & Gazzarin, 2025) entnommen.

	Saatmenge kg/ha	Preis/kg CHF/ha	Saatgutpreis CHF/ha	Maschinenkosten CHF/ha	Gesamtkosten CHF/ha
<b>UFA 106</b>					
Biologisch	36	8.8	316.8	220	<b>537</b>
Konventionell	36	6.9	248.4	220	<b>468</b>
<b>Abgeltung</b> CHF/ha					
Zwischenfutter (C3)	<b>120</b>				

Um eine Abschätzung der Kosten über die Fruchtfolge machen zu können, wurde anhand der HBR-Daten für die Massnahmen Gründungen und Zwischenfutter (im HBR zusammenfassend ZF genannt) beispielhaft analysiert, wie oft sie umgesetzt wurde. Generell variiert die Anzahl der angebauten ZF stark zwischen den Betrieben. Auf den Parzellen der Monitoringbetriebe wurden im Schnitt pro Jahr 0.43 ZF angebaut, was etwas mehr als 2.5 ZF für eine Fruchtfolge von 6 Jahren ergibt. Es wurde im Schnitt also in jedem zweiten bis dritten Jahr eine ZF angebaut. Wenn man von rund 400 Fr. pro Massnahme ausgeht (vgl. Tab. 6 und Tab. 7), so ergeben sich jährliche Kosten in der Höhe von gut 160 Fr./ha. Bei den anderen teilnehmenden Projektbetrieben wurden durchschnittlich weniger ZF angebaut. Die Anzahl ist auch abhängig von der Fruchtfolge und somit vom Produktionssystem.



Tabelle 8: Kostenschätzung für die Untersaat mit zwei verschiedenen UFA-Saatgutmischungen und Abgeltung, die im Projekt für die Massnahme bezahlt wurde: Im Getreide (UFA Ceralegu) und im Mais (UFA Maislegu). Die Kosten für das Saatgut stammen vom Feldsamenskatalog 2025 (fenaco, 2025) und die Maschinenkosten wurden dem Kostenkatalog 2024 von Agroscope (Bütler & Gazzarin, 2025) entnommen. Es sind keine Bio-Richtpreise angegeben.

	Saatmenge kg/ha	Preis/kg CHF/ha	Saatgutpreis CHF/ha	Maschinenkosten CHF/ha	Gesamtkosten CHF/ha
<b>UFA Ceralegu</b>					
Konventionell	13	14	182	120	<b>302</b>
<b>UFA Maislegu</b>					
Konventionell	13	11.6	150.8	120	<b>271</b>
<b>Abgeltung</b> CHF/ha					
Untersaat (C1)	<b>250</b>				

Tabelle 9: Kostenschätzung für mehrjährige Kunstwiese und Kunstwiese mit Luzerne und die Abgeltungen, die im Projekt für die Massnahmen bezahlt wurde. Die Kosten für das Saatgut stammen vom Feldsamenskatalog 2025 (fenaco, 2025) und die Maschinenkosten wurden dem Kostenkatalog 2024 von Agroscope (Bütler & Gazzarin, 2025) entnommen. Sie beinhalten die Bodenbearbeitung nach der Vorkultur und die Saat. Die Mischung UFA Regina GOLD enthält Luzerne. KW = Kunstwiese

	Saatmenge kg/ha	Preis/kg CHF/ha	Saatgutpreis CHF/ha	Maschinenkosten CHF/ha	Gesamtkosten CHF/ha
<b>UFA Ensil</b>					
Biologisch	35	11.8	413	217	<b>630</b>
Konventionell	35	8.8	308	217	<b>525</b>
<b>UFA 210</b>					
Biologisch	30	11.2	336	217	<b>553</b>
Konventionell	30	8.5	255	217	<b>472</b>
<b>UFA Regina GOLD</b>					
Biologisch	33	13	429	217	<b>646</b>
Konventionell	33	9.4	310.2	217	<b>527</b>
<b>Abgeltungen</b> CHF/ha					
KW mit Luzerne (D1)	<b>420</b>				
mehrfährige KW (D2)	<b>420</b>				

Die Kostenschätzung für die Mistkompostierung wurde basierend auf den Angaben eines Monitoringbetriebs (Flury (2025), persönliche Mitteilung) gemacht. Es handelt sich um eine Abschätzung der Mehrkosten der Mistkompostierung im Vergleich zur Ausbringung von frischem Mist. Sie basiert auf den Erfahrungen in der Praxis und den Maschinenkosten gemäss Kostenkatalog von Agroscope (Bütler & Gazzarin, 2025) und wurde berechnet für eine Kompostmiete mit einer Grösse von 50 m x 4 m x 2 m oder rund 133 Tonnen Frischmist. Die mit einberechneten Kosten für die Kompostwendemaschine sind höher als die in Bütler und Gazzarin (2025) aufgeführten, weil letztere für kleinere Kompostmieten konzipiert sind. Der Abzug für das Ausbringen des Komposts entspricht der Hälfte der Kosten, die für das Ausbringen von Frischmist anfallen würden, da das Volumen mit der Kompostierung um ca. die Hälfte abnimmt. Laut Flury (2025) (persönliche Mitteilung) unterscheiden sich die hier geschätzten Kosten wesentlich von den Kosten für kleinere Kompostmieten und es müssen weitere Faktoren berücksichtigt werden, die in der Kostenschätzung nicht aufgeführt werden. Dazu gehören Zusatzkosten für Planung und Administration, Ertragsausfälle

oder Verdichtungen auf der für die Mistkompostierung genutzten Fläche, Nährstoffverluste und weitere Risiken, die mit den Investitionen verbunden sind. Auch wird die Kompostmiete in der Praxis meist deutlich öfters gewendet als 3-mal, im beschriebenen Praxisbeispiel bis zu 10-mal pro Jahr. Je nach Betriebsstruktur ist die Ausgangslage bei dieser Massnahme sehr verschieden.

Tabelle 10: Kostenschätzung für die Mistkompostierung und die Abgeltung, die im Projekt für die Massnahme bezahlt wurde. Die Arbeitsschritte enthalten einerseits Maschinenkosten gemäss Kostenkatalog 2024 von Agroscope (Bütler & Gazzarin, 2025), andererseits die Arbeitszeiten nach persönlicher Einschätzung des Betriebsleiters eines Monitoringbetriebs, der die Mistkompostierung umsetzt (Flury (2025), persönliche Mitteilung).

<b>Arbeitsschritt</b>	<b>Kosten</b> CHF/Tonne Frischmist
Misttransport zur Feldrandmiete	8.8
Miete 3x wenden	4.1
Anschaffungskosten Vlies	0.5
3x Vlies ab-/zudecken, Strasse reinigen	0.7
Kompost aufladen	2.4
Kompost ausbringen	-3.1
<b>Gesamtkosten</b>	<b>13.3</b>
<b>Abgeltungen</b> CHF/Tonne Frischmist	
Mistkompostierung (B1)	<b>50</b>

Der Vergleich der jeweiligen Kostenschätzungen mit den Abgeltungen, die im Projekt ausbezahlt wurden, zeigt, dass sich die meisten Massnahmen, zumindest kurzfristig, finanziell kaum gelohnt haben. Die Abgeltungen dienen aber als Motivation, wie es auch in Kap. 8.6 beschrieben ist. Sie konnten zudem einen Teil des Risikos abfedern.

Abgeltungen und Aufwandkosten können jedoch nicht direkt miteinander verglichen werden. Die Abgeltungen basieren auf der geschätzten Humusleistung, die eine Massnahme aufweist und nicht auf dem Kostenaufwand. Diese Humusleistung wiederum leitet sich aus den Annahmen des HBR nach Neyroud et al. (1997) ab. Ob die Annahmen in der Praxis tatsächlich immer zutreffen, müsste weiter untersucht werden (vgl. Kap. 9, Forschungsfragen zum HBR). Bei Massnahmen, die eine Änderung der Fruchtfolge notwendig machen, wurden für die Abgeltung 1.20 Fr. pro Humusäquivalent berechnet. Bei den Massnahmen, die ohne Änderung der Fruchtfolge umgesetzt werden können, wurden 0.60 Fr. pro Humusäquivalent berechnet. Das Modell der Humusäquivalente erklärt auch die hohe Abgeltung für die Mistkompostierung, die als sehr humuswirksam erachtet wird. Obwohl der geschätzte Kostenaufwand bei dieser Massnahme tiefer ist als die Abgeltung, ist doch der Aufwand pro Humusäquivalent bei der Mistkompostierung im Vergleich zur Nutzung von Frischmist hoch.

Der Nutzen der Massnahmen konnte in diesem Projekt nicht systematisch monetarisiert werden, da die Effekte auf den Boden längerfristig sind und, wie beschrieben, auch (noch) nicht gemessen werden konnten. Die Umsetzung der Massnahmen ist eine längerfristige Investition in den Erhalt der Produktionsfunktion des Bodens. Darüber hinaus ist die monetäre Inwertsetzung von Bodenfunktionen generell eine grosse Herausforderung (Stevens, 2018). Diverse Bodeneigenschaften beeinflussen sich gegenseitig und ein gesunder Boden ist nicht nur für den landwirtschaftlichen Betrieb und die längerfristige Betriebsökonomie von Nutzen, sondern auch für die Gesellschaft und die Natur. Die potenziell langfristige C-Sequestrierung im Boden dient bspw. der Gesellschaft und könnte im Prinzip in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten angegeben werden. Eine Monetarisierung des Bodenwerts muss all diese Komponenten berücksichtigen. In der Forschung werden Konzepte zur Monetarisierung diskutiert und könnten in einem weiterführenden Schritt/Projekt allenfalls auch auf Schweizer Betriebe angewendet werden. Kik et al. (2021) stellen bspw. das Konzept des wirtschaftlichen Werts eines nachhaltigen Bodenmanagements (ESVM = Economic Value of Sustainable Soil Management) als Grundlage für eine ökonomisch basierte Entscheidungsfindung vor. Dabei ist das Ziel des Modells/Konzepts die Etablierung einer langfristig nachhaltigen Bodenbewirtschaftung bei mög-

lichst geringen Einkommensverlusten. Es berücksichtigt das Betriebsmanagement als Funktion der betrieblichen Entscheidungen, Arbeitsstunden, Kapital und der physikalischen Inputs wie Dünger und Pflanzenschutzmittel (PSM) (Kik et al., 2021).

Im Zusammenhang mit der Monetarisierung des Nutzens wird hier noch einmal auf die Thematik möglicher Entschädigungssysteme für humusaufbauende Methoden eingegangen. Landwirtinnen und Landwirte können für Bewirtschaftungsmassnahmen entschädigt werden, weil davon ausgegangen wird, dass diese einen positiven Effekt auf den Boden haben. Dieser Ansatz wurde im RP Humus gewählt. Ein anderes Entschädigungssystem, das aktuell stark diskutiert wird, ist die Abgeltung der dauerhaften Sequestrierung von CO<sub>2</sub> im Boden mittels CO<sub>2</sub>-Zertifikaten. Die Entschädigung basiert hierbei auf Messungen des C<sub>org</sub>-Gehalts zu zwei Zeitpunkten: dem Ausgangszeitpunkt t<sub>0</sub> und einem späteren Zeitpunkt t<sub>1</sub>. Das RP Humus zeigt bezüglich der Messbarkeit des Erfolges solcher Massnahmen ein kritisches Bild: Hätte man das Jahr 2020 als t<sub>0</sub> gewählt und das Jahr 2021 als t<sub>1</sub>, hätten die Bewirtschaftenden für die meisten Monitoringparzellen CO<sub>2</sub>-Zertifikate verdient, weil sich der C<sub>org</sub>-Gehalt in dieser Zeitspanne erhöhte. Hätte man jedoch als t<sub>0</sub> das Jahr 2021 genommen und als t<sub>1</sub> 2022, wäre der C<sub>org</sub>-Gehalt bei vielen Parzellen gesunken. Wäre das Jahr 2020 als t<sub>0</sub> und das Jahr 2022 als t<sub>1</sub> gewählt worden, wäre keine Veränderung sichtbar gewesen. Diese Erkenntnisse zeigen, dass eine verlässliche Messung der Sequestrierung von CO<sub>2</sub> im Boden als Basis für ein solches Entschädigungssystem über mindestens 10 Jahre hinweg angesetzt sein muss, um zuverlässig eine dauerhafte C<sub>org</sub>-Zunahme aufzeigen zu können. Die Änderung des C<sub>org</sub>-Gehalts muss weiter über dem Laborfehler liegen (vgl. auch Kap. 5.1), damit man sicher sein kann, dass auch wirklich und dauerhaft CO<sub>2</sub> im Boden gespeichert wurde. Das wiederum wäre aber über die Messperiode hinweg mit einer grossen Unsicherheit für die Landwirtinnen und Landwirte, wie auch für die Zertifikatskäuferinnen und -verkäufer, verknüpft. Zudem würden all diejenigen Bewirtschaftenden aussen vor gelassen, deren Parzellen bereits einen hohen Humusgehalt aufweisen und die kein Aufbaupotential mehr haben.

Auch wenn bei der Messung des C<sub>org</sub>-Gehalts eine genügend lange Zeitspanne analysiert wird, hat man noch keine abschliessende Aussage über die tatsächliche C<sub>org</sub>-Menge im Boden, weil sich die Lagerungsdichte in der beprobten Tiefe ebenfalls ändern kann. Das heisst, eigentlich müsste die C<sub>org</sub>-Menge anstelle des C<sub>org</sub>-Gehalts gemessen werden. Dafür wiederum müsste immer die gleiche Masse an Erde beprobt werden, z.B. analog zu Boivin et al. (2025).

Ebenfalls basierend auf einem Zielwert könnte man die Landwirtinnen und Landwirte auch für ein bestimmtes C<sub>org</sub>-Tonverhältnis, z.B. gemäss den Schwellenwerten in Johannes et al. (2017), abgelden. Grundsätzlich ist die Idee positiv zu bewerten, da der Einbezug des Tongehalts mehr aussagt als der alleinige Fokus auf die organische Substanz. Für Böden mit Körnungen zwischen rund 10% und 30% Ton sind die Schwellenwerte wahrscheinlich anwendbar. Bei Böden mit hohen Tongehalten müssen weitere Untersuchungen vorgenommen werden, bevor der Wert Grundlage einer Abgeltung werden kann. Besonders dann, wenn die Böden auf Ausgangsmaterial entstanden sind, die sich stark von denen unterscheiden, die zur Kalibrierung der Schwellenwerte verwendet wurden. Auch andere Faktoren, die den C<sub>org</sub>-Gehalt stark beeinflussen könnten, wie bspw. klimatische Bedingungen (Trockenheit und Feuchtigkeit) oder der pH-Wert, müssten weiter untersucht werden. Zudem müssten die Abgeltungen auf Ackerflächen beschränkt und die Anreize so geschaffen werden, dass alle Parzellen auf einem Betrieb optimiert werden und nicht nur einzelne Parzellen, die sehr viel organische Substanz erhalten. Falls nicht nur der aktuelle Zustand, sondern allenfalls auch Veränderungen des Verhältnisses abgegolten werden sollten, müssen die gleichen Faktoren berücksichtigt werden wie bei der Veränderung des C<sub>org</sub>-Gehalts. Zusätzlich müsste der Messfehler des Tongehalts mitberücksichtigt werden. Dieser verlängert im Prinzip die Dauer, bis eine Veränderung als signifikant angesehen werden kann.

Unabhängig von möglichen Abgeltungen ist vorstellbar, dass für Landwirtinnen und Landwirte längerfristig innerhalb von 10-20 Jahren der Nutzen besser und direkter monetarisierbar wird, weil sie Dünger, Wasser oder PSM einsparen können und die eingesparten Kosten sichtbar werden.

## 12 Schlussfolgerungen und Ausblick

Das Management der organischen Substanz auf landwirtschaftlichen Flächen ist eine grosse Herausforderung für die Zukunft. Das RP Humus hat ermöglicht, erste notwendige Schritte in der Praxis umzusetzen: die Bewertung des Gehalts an organischer Substanz, die anschliessende Abschätzung der Zeit, bis Effekte sichtbar werden und die Probleme, die beim Monitoring des C<sub>org</sub>-Gehalts im Boden landwirtschaftlicher Flächen auftreten können. Zudem hat es die Gelegenheit geboten, durch Zusammenarbeit mit den Produzierenden und durch die Umfragen wichtige Aspekte der

Akzeptanz von Massnahmen zu untersuchen und Praxiswissen auszutauschen und aufzubauen. Ein erster Schritt bestand darin, den Ausgangszustand der Monitoringparzellen zu bewerten. Da für die meisten Parzellen keine zuverlässigen Daten vorlagen, musste eine vollständige Reihe von Analysen zur Körnung und zum  $C_{org}$ -Gehalt durchgeführt werden. Dies sollte Akteurinnen und Akteure, die die Wirkung von Massnahmen überprüfen wollen, dazu veranlassen, möglichst genaue Analysen auf der Grundlage sorgfältiger Probenahmen durchzuführen.

Der zweite Schritt bestand darin, die Probleme der Probenahme und der Laboranalysen beim Monitoring von Parzellen mit unterschiedlichen Fruchtfolgen und Anbausystemen, die von manchmal unbeständigen Wetterbedingungen abhängig sind, zu bewerten. Dies zeigt die Komplexität bei der Planung und Durchführung von Feldkampagnen in der Realität, d.h. ausserhalb eines festgelegten wissenschaftlichen Rahmens. Diese Problematik wird sich bei jedem gross angelegten Monitoring in der Praxis wiederholen. Die Ergebnisse des Projekts haben trotzdem ermöglicht, die Zeit, die erforderlich ist, um eine signifikante Veränderung des  $C_{org}$ -Gehalts feststellen zu können, realistisch zu quantifizieren. Diese steht im Einklang mit zahlreichen wissenschaftlichen Arbeiten und kann je nach verwendeten Messmethoden und Einsatz von Hofdüngern auf 5 bis 15 Jahre geschätzt werden. Die Wirkung der Massnahmen steht natürlich in Zusammenhang mit den Produktionszielen der Betriebe, und die Anzahl der in einer Fruchtfolge möglichen Massnahmen ist begrenzt, sodass sich nur mittel- bis langfristig ein positiver Effekt auf den  $C_{org}$ -Gehalt feststellen lässt. Da die Fruchtfolgen an die wirtschaftliche Situation angepasst sind, ist es schwierig, für zwei Probenahmezeiträume ähnliche Bedingungen zu finden.

Ein weiterer Schritt im Projekt hat auch gezeigt, wie schwierig es ist, ein Monitoring zu Parametern der Bodenstruktur, Aggregatstabilität und der Lagerungsdichte durchzuführen, da diese stark von den angebauten Kulturen, den Anbaumethoden (Pflügen, Direktsaat) und den Wetterbedingungen abhängen. Die genaue Quantifizierung der Wirkung der Massnahmen bleibt in einem solchen Versuch über einen Zeitraum von sechs Jahren begrenzt.

Ein grosser Gewinn des Projekts war die Gelegenheit, mit motivierten Produzentinnen und Produzenten einen Austausch zur praktischen Umsetzung der vorgeschlagenen Massnahmen führen zu können. Es wurden zudem Überlegungen zu ergänzenden Massnahmen in Gang gesetzt. Die Treffen mit dem AK haben sich als wirksames Mittel erwiesen, um einerseits den Austausch zwischen den Produzierenden, aber auch den Austausch zwischen Produzierenden und der Forschung zu etablieren. So konnten technische Lösungen gefunden und Know-how entwickelt werden.

Schliesslich ist es wichtig, zu betonen, dass die umgesetzten Massnahmen zur Erhöhung des  $C_{org}$ -Gehalts auch weitere positive Wirkungen auf die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Parzellen haben. Sie verbessern schrittweise die Regulierungs- und Lebensraumfunktion des Bodens: Die erhöhte Bodenbedeckung hilft, die Auswaschung von Nährstoffen zu begrenzen, die Erosion zu verringern, Stickstoff zu binden (wenn die Mischungen Leguminosen enthalten), die Biodiversität und die biologische Aktivität zu fördern und Unkräuter zu verdrängen. Dies ist mit einer Voraussetzung, um mittelfristig die Kohlenstoffbindung durch Entwicklung der Wurzeln in die Tiefe zu fördern. All diese schwer monetarisierbaren positiven Effekte müssen bei den potenziellen Vorteilen berücksichtigt werden. Die Massnahmen sind daher eine Investition, deren Auswirkungen mittelfristig spürbar werden.

Die bleibende Herausforderung besteht nun darin, ein langfristiges Agrarsystem und eine Agrarpolitik zu entwickeln, innerhalb derer innovative Verhaltensweisen gefördert und die Produzierenden motiviert werden, ihre Hebel zu nutzen. Dazu müssen die Massnahmen und Möglichkeiten angepasst sein an ihr Betriebssystem. Der im Projekt verwendete HBR dient dabei nicht primär der theoretischen Vorhersage, um Veränderungen im  $C_{org}$ -Gehalt zu quantifizieren. Er ermöglicht jedoch, mögliche Lücken im Betriebssystem aufzuzeigen und Verbesserungen vorzuschlagen. Der HBR bleibt also relevant für die Überlegungen zur Anpassung der Fruchtfolge hinsichtlich der Erhaltung oder Erhöhung des  $C_{org}$ -Gehalts in den Böden. Die vorgeschlagenen Massnahmen zur Optimierung der HB ähneln den oben erwähnten Hebeln zur Maximierung der  $C_{org}$ -Bindung, nämlich die Bodenbearbeitung zu begrenzen, die Bodenbedeckung zu maximieren und organische Dünger einzusetzen. Zusätzlich wird der gezielte Einsatz von Bodenanalysen in regelmässigen Abständen mittelfristig auch ermöglichen, einen Anstieg des  $C_{org}$ -Gehalts in den Böden und die oben genannten positiven Auswirkungen zu messen.

## Literatur

- Abiven, S., Menasseri, S. & Chenu, C. (2009). The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – A literature analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 41 (1), 1–12. Zugriff auf <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071708003234> doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.09.015>
- Agroscope. (o. J.). *Interpretation von Humusbilanz-Ergebnissen*. Zugriff am 2025-09-26 auf <https://www.humusbilanz.ch/about>
- Agroscope. (2020a). *Bestimmung der Lagerungsdichte von Zylinderproben: Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope (PYZYL-D)* (Version 1.1 (2020) Aufl.). Zürich: Autor. Zugriff auf <https://ira.agroscope.ch/fr-CH/Page/Publication?einzelpublikationId=48853&parentUrl=%2Fde-CH%2FPage%2FPublikationsliste%3Fguid%3D85894ecf-e9e1-4c3f-8499-314daea7244c%26page%3D232> (Issue: PYZYL-D)
- Agroscope. (2020b). *Détermination de la granulométrie de la terre fine (KOF): Méthodes de référence des stations de recherche Agroscope* (Version 3.1 (2020) Aufl.). Zurich. Zugriff auf <https://link.ira.agroscope.ch/fr-CH/publication/45990> (Issue: KOF)
- Agroscope. (2020c). *Détermination du carbone organique lié (Corg): Méthodes de référence des stations de recherche Agroscope* (Version 1.2 (2020) Aufl.). Zurich: Autor. Zugriff auf <https://ira.agroscope.ch/fr-CH/publication/46276> (Issue: Corg)
- Agroscope. (2021). *Temperaturgradientenmethode für die Bestimmung von Corg: Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope (TOC)* (Version 1.0 (2021) Aufl.). Zürich: Autor. Zugriff auf <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/46275> (Issue: TOC)
- ALW. (2023, November). *Ressourcenprogramm Humus*. Zugriff auf <https://so.ch/verwaltung/volkswirtschaftsdepartement/amt-fuer-landwirtschaft/boden-und-bodenrecht/ressourcenprogramm-humus/>
- Baker, J. M., Ochsner, T. E., Venterea, R. T. & Griffis, T. J. (2007). Tillage and soil carbon sequestration—What do we really know? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 118 (1), 1–5. Zugriff auf <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880906001617> doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.014>
- Bakr, N. & El-Ashry, S. M. (2018). Organic matter determination in arid region soils: loss-on-ignition versus wet oxidation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49, 2587 – 2601. Zugriff auf <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:104742434>
- Boivin, P., Lemaître, T., Clark, J., Guittonneau, M. & Deluz, C. (2025, April). The single-layer equivalent soil mass method for the evaluation of soil organic carbon stocks: Sources of errors, simplification, and associated detectable change. *Geoderma*, 456, 117279. Zugriff am 2025-09-16 auf <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S001670612500117X> doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2025.117279>
- Brock, C., Oltmanns, M. & Leithold, G. (2015). What do humus balances really tell about soil organic matter? *Acta fytotechnica et zootechnica*, 18 (Special Issue), 50–52. doi: <https://doi.org/10.15414/afz.2015.18.si.50-52>
- Buess, A., Gantner, U., Stöckli, A. & Tschumi, M. (2011). Das landwirtschaftliche Wissenssystem in der Schweiz. *Agrarforschung*, 2 (11-12), 484–489.
- Burgos, S., Häller, B., Pfister, M., Kellermann, L., Prat, L., Tatti & Büeler, F. (2021). *Zwischenbericht Wissenschaftliche Begleitung und Wirkungsmonitoring. Ressourcenprojekt Humus Kanton Solothurn*. (Bericht). Zollikofen: BFH-HAFL.
- Burgos, S., Nussbaum, M. & Tatti, D. (2018). *Analyse Betriebsdaten Kanton Solothurn. Ressourcenprojekt Humus* (Bericht). Zollikofen: BFH-HAFL.
- Büchi, L., Wendling, M., Amossé, C., Nepalova, M. & Charles, R. (2018). Importance of cover crops in alleviating negative effects of reduced soil tillage and promoting soil fertility in a winter wheat cropping system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 256, 92–104. Zugriff auf <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880918300057> doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.01.005>
- Bütler, A. & Gazzarin, C. (2025). *Kostenkatalog 2024. Richtwerte für die Kosten von Maschinen, Arbeit, Gebäude und Hoftechnik. Gültig bis September 2025. Agroscope Transfer*, 548. Zugriff am 2025-06-13 auf <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/themen/wirtschaft-technik/betriebswirtschaft/kostenkatalog.html>
- Castellano, M. J., Mueller, K. E., Olk, D. C., Sawyer, J. E. & Six, J. (2015). Integrating plant litter quality, soil organic matter stabilization, and the carbon saturation concept. *Global Change Biology*, 21 (9), 3200–3209. Zugriff auf <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/>



- 10.1111/gcb.12982 (\_eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/gcb.12982>) doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.12982>
- Chaney, K. & Swift, R. (1984). The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. *Journal of Soil Science*, 35 (2), 223–230. Zugriff auf <https://bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2389.1984.tb00278.x> (\_eprint: <https://bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1365-2389.1984.tb00278.x>) doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1984.tb00278.x>
- Chaplot, V. & Smith, P. (2023). Cover crops do not increase soil organic carbon stocks as much as has been claimed: What is the way forward? *Global Change Biology*, 29 (22), 6163–6169. Zugriff auf <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/gcb.16917> (\_eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/gcb.16917>) doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.16917>
- Dallo, A., Emch, N., Hauert, C., von Rohr, G., Burgos, S., Brügger, P., ... Iseli, M. (2017, Mai). *Ressourcenprogramm Humus. Humusbewirtschaftung in der Landwirtschaft. Projektgesuch nach Art. 77a und 77b Landwirtschaftsgesetz (LwG, SR 910.1)* (Bericht).
- Deci, E. & Ryan, R. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39 (2), 223–238.
- Dimassi, B., Mary, B., Wylleman, R., Labreuche, J., Couture, D., Piraux, F. & Cohan, J.-P. (2014). Long-term effect of contrasted tillage and crop management on soil carbon dynamics during 41 years. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 188, 134–146. Zugriff auf <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880914000942> doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.02.014>
- Eddinger, A., Herzog, C., Garland, G., Walder, F., Banerjee, S., Keel, S. G., ... van der Heijden, M. G. A. (2025). Compost Application Enhances Soil Health and Maintains Crop Yield: Insights From 56 Farmer-Managed Arable Fields. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*, 4 (1), e70041. Zugriff auf <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sae2.70041> (\_eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/sae2.70041>) doi: <https://doi.org/10.1002/sae2.70041>
- fenaco. (2025). *Feldsamenkatalog 2025* (Bericht). Bern: fenaco Genossenschaft. Zugriff am 2025-06-13 auf [https://landwirtschaft.ufasamen.ch/files/catalog/Feldsamenkatalog\\_D.pdf](https://landwirtschaft.ufasamen.ch/files/catalog/Feldsamenkatalog_D.pdf)
- Feng, W., Plante, A. F., Aufdenkampe, A. K. & Six, J. (2014, Februar). Soil organic matter stability in organo-mineral complexes as a function of increasing C loading. *Soil Biology and Biochemistry*, 69, 398–405. Zugriff auf <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071713004318> doi: 10.1016/j.soilbio.2013.11.024
- Flury, D. (2019). *Konservierende Landwirtschaft* (Bericht). SWISS NO-TILL, Schweizerische Gesellschaft für bodenschonende Landwirtschaft, no-till.ch.
- Flury, D. (2025, September). *Mistkompost*. (persönliche Mitteilung)
- Fuchs, J., Bieri, M. & Chardonens, M. (2004). *Auswirkungen von Komposten und von Gärgut auf die Umwelt, die Bodenfruchtbarkeit sowie die Pflanzengesundheit. Zusammenfassende Übersicht der aktuellen Literatur*. (Bericht). Frick, Schweiz: Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL).
- Ghabbour, E. A., Davies, G., Cuzzo, N. P. & Miller, R. O. (2014). Optimized conditions for determination of total soil organic matter in diverse samples by mass loss on ignition. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177 (6), 914–919. Zugriff auf <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jpln.201400326> (\_eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/jpln.201400326>) doi: <https://doi.org/10.1002/jpln.201400326>
- Guay, F., Vallerand, R. J. & Blanchard, C. (2000, September). On the Assessment of Situational Intrinsic and Extrinsic Motivation: The Situational Motivation Scale (SIMS). *Motivation and Emotion*, 24 (3), 175–213. Zugriff auf <https://doi.org/10.1023/A:1005614228250> doi: 10.1023/A:1005614228250
- Gubler, A., Schwab, P., Wächter, D., Meuli, R. G. & Keller, A. (2016). Influence of soil water status on collected soil samples. *Agroscopy Science*, 34, 1–16.
- Gubler, A., Wächter, D., Schwab, P., Müller, M. & Keller, A. (2019, Januar). Twenty-five years of observations of soil organic carbon in Swiss croplands showing stability overall but with some divergent trends. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191 (5), 277. (Num Pages: 17) doi: 10.1007/s10661-019-7435-y
- Hedrich, T., Böhler, D., Charles, R., Grosse, M., Hauenstein, S., Hofer, S., ... Vieweger, A. (2024). *Zwischenfrüchte im biologischen Acker- und Gemüsebau* (Merkblatt Nr. 1168). Frick. Zugriff auf <https://orgprints.org/id/eprint/54142/>

- Hoogsteen, M. J. J., Lantinga, E. A., Bakker, E. J. & and, P. A. T. (2018). An Evaluation of the Loss-on-Ignition Method for Determining the Soil Organic Matter Content of Calcareous Soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49 (13), 1541–1552. Zugriff auf <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1474475> (Publisher: Taylor & Francis \_eprint: <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1474475>) doi: 10.1080/00103624.2018.1474475
- Jauch, J., Winzeler, A. & Emch, N. (2024, Februar). *Ressourcenprogramm Humus. Humusbewirtschaftung in der Landwirtschaft. Schlussbericht* (Bericht Nr. Version 1). Solothurn: Amt für Landwirtschaft (Federführung) Kt. Solothurn, Amt für Umwelt Kt. Solothurn und Solothurner Bauernverband.
- Johannes, A., Matter, A., Schulin, R., Weisskopf, P., Baveye, P. C. & Boivin, P. (2017, Januar). Optimal organic carbon values for soil structure quality of arable soils. Does clay content matter? *Geoderma*, 302, 14–21. (Num Pages: 8) doi: 10.1016/j.geoderma.2017.04.021
- Johannes, A., Sauzet, O., Matter, A. & Boivin, P. (2023). Soil organic carbon content and soil structure quality of clayey cropland soils: A large-scale study in the Swiss Jura region. *Soil Use and Management*, 39 (2), 707–716. Zugriff auf <https://bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/sum.12879> (\_eprint: <https://bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/sum.12879>) doi: <https://doi.org/10.1111/sum.12879>
- Kik, M., Claassen, G., Meuwissen, M., Smit, A. & Saatkamp, H. (2021). The economic value of sustainable soil management in arable farming systems – a conceptual framework. *European Journal of Agronomy*, 129, 126334. Zugriff auf <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030121001052> doi: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126334>
- Kodešová, R., Rohošková, M. & Žigová, A. (2009, Juni). Comparison of aggregate stability within six soil profiles under conventional tillage using various laboratory tests. *Biologia*, 64, 550–554. doi: 10.2478/s11756-009-0095-6
- Le Bissonnais, Y. & Le Souder, C. (1995, Januar). Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion. *Étude et Gestion des Sols*, 2 (1), 43–56.
- Luo, Z., Wang, E. & Sun, O. J. (2010). Soil carbon change and its responses to agricultural practices in Australian agro-ecosystems: A review and synthesis. *Geoderma*, 155 (3), 211–223. Zugriff auf <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706109004170> doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.12.012>
- Lützow, M. v., Kögel-Knabner, I., Ekschmitt, K., Matzner, E., Guggenberger, G., Marschner, B. & Flessa, H. (2006). Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions – a review. *European Journal of Soil Science*, 57 (4), 426–445. Zugriff auf <https://bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2389.2006.00809.x> (\_eprint: <https://bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1365-2389.2006.00809.x>) doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00809.x>
- Masson, S., Rueda-Ayala, V., Bragazza, L., Cordeau, S., Munier-Jolain, N. & Wirth, J. (2024). Reducing tillage and herbicide use intensity while limiting weed-related wheat yield loss. *European Journal of Agronomy*, 160, 127284. Zugriff auf <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030124002053> doi: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127284>
- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Weinheim und Basel: Beltz Juventa.
- Mazzoncini, M., Sapkota, T. B., Bàrberi, P., Antichi, D. & Risaliti, R. (2011). Long-term effect of tillage, nitrogen fertilization and cover crops on soil organic carbon and total nitrogen content. *Soil and Tillage Research*, 114 (2), 165–174. Zugriff auf <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198711001085> doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.05.001>
- MeteoSchweiz. (2025). *Open Data*. Zugriff am 2025-06-29 auf <https://www.meteoschweiz.admin.ch/service-und-publikationen/service/open-data.html>
- Neyroud, J.-A., Supcik, P. & Magnollay, F. (1997). La part du sol dans la production intégrée.
- Nievergelt, J., Petrasek, M. & Weisskopf, P. (2002, Januar). *Bodengefüge Ansprechen und Beurteilen mit visuellen Mitteln* (Bericht). Zürich. (Issue: 41)
- Pfister, M., Häller, B., Fry, P. & Burgos, S. (2025). Betriebsleitende im Kanton Solothurn ergreifen wirksame Massnahmen zum Humusaufbau. *Agrarforschung Schweiz*, 16, 58–65. doi: <https://doi.org/10.34776/afs16-58>
- Pfister, M., Zbinden Gysin, K. & Häller, B. (2019). Wege zur Steigerung der Ressourceneffizienz in der Schweizer Landwirtschaft mittels Peer-to-Peer Beratung. *Austrian Journal of Agriculture*

- ral Economics and Rural Studies*, 28. Zugriff auf <https://oega.boku.ac.at/de/journal/journal-informationen.html>
- Poeplau, C. & Don, A. (2015). Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200, 33–41. Zugriff auf <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880914004873> doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024>
- Poeplau, C. & Don, A. (2023). A simple soil organic carbon level metric beyond the organic carbon-to-clay ratio. *Soil Use and Management*, 39 (3), 1057–1067. Zugriff auf <https://bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/sum.12921> (\_eprint: <https://bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/sum.12921>) doi: <https://doi.org/10.1111/sum.12921>
- Poggiali, L. (2025, April). *Potentiel de séquestration du carbone dans les sols agricoles : suivi sur 6 ans de 75 parcelles du canton de Soleure* (Travail de master réalisé par Léa Poggiali Sous la responsabilité de Stéphane Burgos). Zollikofen: BFH-HAFL.
- Prat, L. (2020, Oktober). *Evaluation of soil fertility through sustainable management of soil organic carbon in permanent grassland systems. Master's Thesis by Laure Marie Prat. Submitted by Prof. Dr. Stéphane Burgos* (Bericht). Zollikofen: BFH-HAFL.
- Rainford, S.-k., Leifeld, J., Siegl, S., Hagenbucher, S., Riedel, J., Gross, T., ... Keel, S. G. (2024, September). No relationship between outputs of simple humus balance calculators (VDLUGA and STAND) and soil organic carbon trends. *European Journal of Soil Science*, 75 (6), e70007. Zugriff am 2025-03-28 auf <https://doi.org/10.1111/ejss.70007> (Publisher: John Wiley & Sons, Ltd) doi: 10.1111/ejss.70007
- Ritzmann, S., Hagemann, V. & Kluge, A. (2014, April). The Training Evaluation Inventory (TEI) - Evaluation of Training Design and Measurement of Training Outcomes for Predicting Training Success. *Vocations and Learning*, 7 (1), 41–73. Zugriff auf <https://doi.org/10.1007/s12186-013-9106-4> doi: 10.1007/s12186-013-9106-4
- Rocha, B. (2015). Frischer Wind in der Landwirtschaft. *B&B Agrar*, 68 (5), 12–14.
- Sari, G. L., Trihadiningrum, Y., Wulandari, D. A., Pandebesie, E. S. & Warmadewanthi, I. D. A. A. (2018). Compost humic acid-like isolates from composting process as bio-based surfactant: Properties and feasibility to solubilize hydrocarbon from crude oil contaminated soil. *Journal of Environmental Management*, 225, 356–363. Zugriff auf <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030147971830879X> doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.010>
- Schreefel, L., Creamer, R. E., Zanten, H. H. E. v., Olde, E. M. d., Koppelmäki, K., Debernardini, M., ... Schulte, R. P. O. (2024). How to monitor the ‘success’ of agricultural sustainability: A perspective. *Global Food Security*, 43, 100810. Zugriff auf <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211912424000725> doi: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2024.100810>
- Schwarzer, R. & Jerusalem, M. (1999). Skalen zur Erfassung von Lehrer- und Schülermerkmalen. In *Dokumentation der psychometrischen Verfahren im Rahmen der Wissenschaftlichen Begleitung des Modellversuchs Selbstwirksame Schulen*. Berlin: Freie Universität Berlin.
- Stevens, A. W. (2018). Review: The economics of soil health. *Food Policy*, 80, 1–9. Zugriff auf <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306919218303397> doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2018.08.005>
- Stoinescu, A., Reissig, L. & Mack, G. (2020). Does e-government contribute to a reduction of farmers’ administrative burdens in Switzerland. In *Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus: Digitalisierung für Mensch, Umwelt und Tier*. Freising-Weihenstephan D..
- UFA-Samen. (o. J.). *Gründungen. Für fruchtbare Böden und mehr Humus*. (Bericht).
- Wendling, M., Charles, R., Herrera, J., Amossé, C., Jeangros, B., Walter, A. & Büchi, L. (2019). Effect of species identity and diversity on biomass production and its stability in cover crop mixtures. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 281, 81–91. Zugriff auf <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880919301197> doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.04.032>
- Würth, E. & Lehmann, R. (2013). Arbeitskreise stärken landwirtschaftliche Unternehmen. *UFA Revue*, 11, 18–19.
- Özdemir, N., Demir, Z. & Bülbül, E. (2022, Dezember). Relationships between some soil properties and bulk density under different land use. *Soil Studies*, 11, 43–50. doi: 10.21657/soilst.1218353



## 13 Anhang 1: Dokumentation AK

Der vorliegende Bericht über die Aktivitäten des Arbeitskreises basiert auf den Berichten des Moderators Samuel Tschumi (Moderator AK, Lehrer und Berater BZW), die leicht geändert und anonymisiert wurden, sowie einigen Ergänzungen von Stéphane Burgos, Dozent an der BFH-HAFL und verantwortlich für das Wirkungsmonitoring im Projekt. Er zeigt den im Projekt verfolgten Ansatz des Wissenstransfers auf. Er enthält auch Schlussfolgerungen, die während des Projekts gemacht wurden.

### Arbeitskreis Humus, Tätigkeiten 2018

#### Gründung des Arbeitskreises

Am 27.06.2018 traf sich der neu zusammengesetzte Arbeitskreis (AK) Humus bestehend aus 14 Landwirten zum Gründungsanlass. Ziel des neuen AK Humus ist es, sich mit den Massnahmen des sechsjährigen Ressourcenprogramms „Humusbewirtschaftung in der Landwirtschaft“ auseinander zu setzen. Gleichzeitig wird auf einigen Flächen der AK-Mitglieder ein Wirkungsmonitoring durchgeführt. Ein Team der BFH-HAFL in Zollikofen untersucht dabei die Böden und deren Humusgehalte.

Das erste Treffen stand im Zeichen der verschiedenen Bodentypen des Kanton Solothurn sowie einer Diskussion über humusaufbauende Massnahmen in verschiedenen Fruchtfolgen.

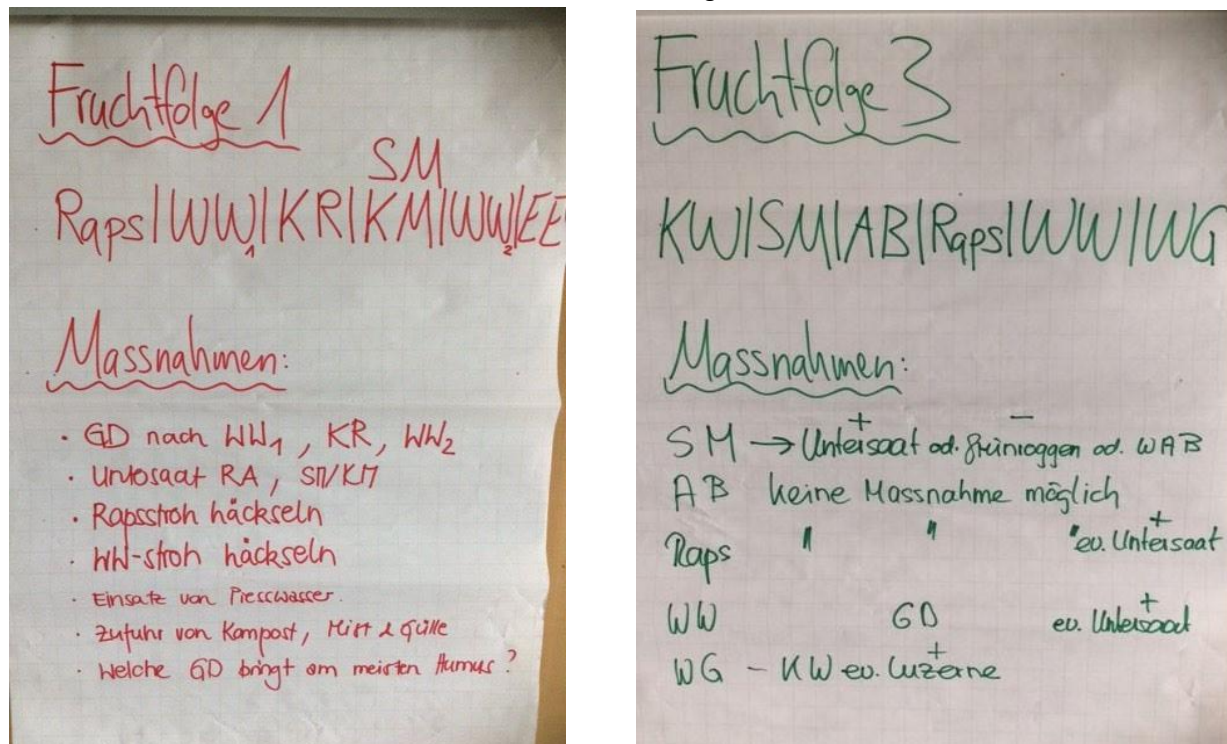


Abbildung 1: Diskussion der Fruchtfolge

#### Besichtigung Gründungen

Ausgehend vom Startanlass rückten die Gründungen in den Fokus. Bereits im Juli konnten am Wallierhof nach Gerste verschiedene Mischungen ausgesät werden. Trotz des heissen und trockenen Sommers 2018 entwickelten sich diese Bestände prächtig. Am 19.09.2018 konnten die Mitglieder die dichten, hüfthohen Bestände besichtigen. Unter diesen Bedingungen konnte eine rasche Entwicklung von Arten wie Oelrettich, Daikonrettich, Guizotia und Buchweizen beobachtet werden. Die grösste Biomasse bildeten Erbsen, Wicken, Oelrettich und Phacelia.



Abbildung 2: Besichtigung der Gründüngungen



Abbildung 3: Bodenprofil bis 1.5m Tiefe

Die Frage nach der Durchwurzelungstiefe der verschiedenen Pflanzen konnte mit der Grabung eines Bodenprofils am 19.11.2018 teilweise beantwortet werden. Bis zu einer Tiefe von 1.5 m wurden feine Wurzeln in Wurmgängen und anderen Hohlräumen gefunden. Der Oberboden war sehr regelmässig mit Pfahl- und Büschelwurzeln durchwachsen. Über einen kurzen Zeitraum (4 Monate) sind unterirdisch sowie oberirdisch sehr hohe Biomasseerträge herangewachsen.

## **Arbeitskreis Humus, Tätigkeiten 2019**

### **Erstes Treffen 2019**

2019 wurden weitere Massnahmen aus dem Humusprojekt praktisch getestet. Beim Treffen vom 19. Juni 2019 standen Untersaaten in Frühjahrskulturen und Einsaaten im Getreide im Fokus.

Im Mais wurde mittels eines Hackstriegels im 8-Blattstadium die Untersaat auf einer Parzelle platziert. Das Saatgut kam dabei gut in den Boden. Der nahende Regen trug zu einem sicheren Auflaufen der Untersaat bei. Wenn alle

Komponenten (Technik, Zeitpunkt, Mischung, Bodenverhältnisse, Feuchtigkeit etc.) stimmen, kann die Untersaat erfolgreich sein und ihren Nutzen bringen. Stimmt ein Puzzleteil nicht, sind die Kosten im Verhältnis zum Nutzen relativ schnell hoch.

Einsaaten von Kleegrasmischungen in Getreide sind altbekannt. Der grosse Vorteil ist der nahtlose Übergang vom Getreide auf Grünfläche. Die Problematik der Sommertrockenheit und dem richtigen Saattermin kann damit umgangen werden, da die Pflanzen der Einsaat bereits gewurzelt haben. Einsaaten von reinen Leguminosen z.B. Rotklee bringen auf Ackerbaubetrieben, die nicht den Futternutzen wollen, viel Stickstoff in den Boden.

### **Zweites Treffen 2019**

Am zweiten AK Anlass am 24. September 2019 wurde die Eichung von verschiedenen Böden besprochen. Selten sind auf einem Betrieb die Böden homogen, im Gegenteil, es gibt in den gleichen Parzellen grosse Unterschiede. In einem Sensoriktest am Wallierhof mussten wir Bodenproben mit verschiedenen Aggregattypen und unterschiedlicher Körnung beurteilen. Mit der Zeit und wachsender Erfahrung wurde die Gruppe immer besser und die Eichung konnte erfolgreich durchgeführt werden.



Abbildung 4: Sensorik Übung am Wallierhof, Durchlauf



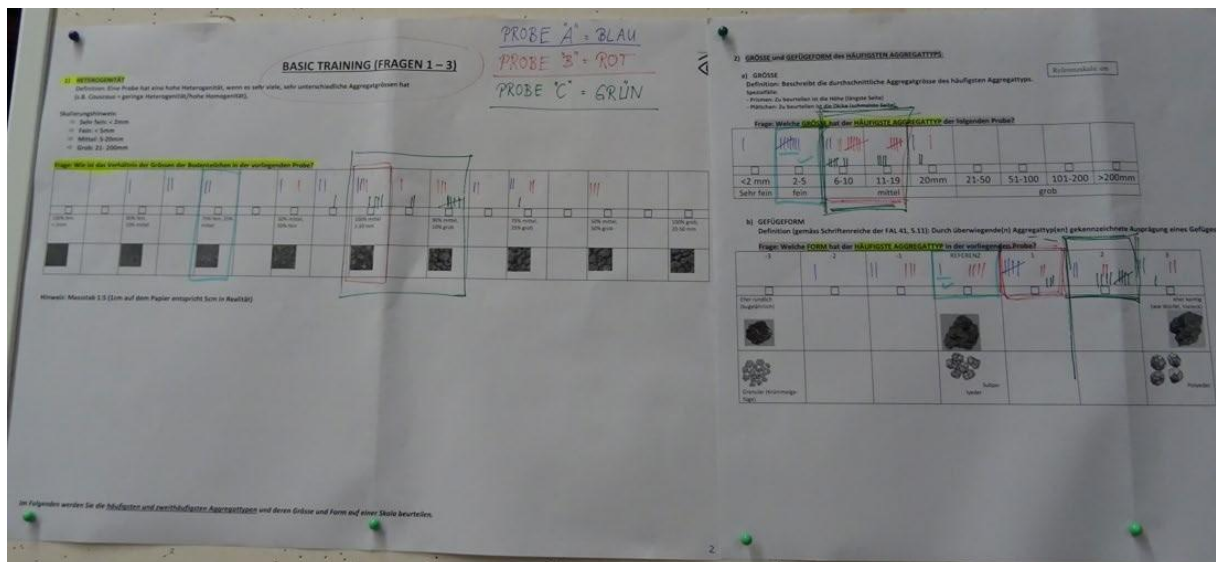


Abbildung 5: Sensorik Übung am Wallierhof, Resultate

Das Ziel, die Produzenten bei der Bewertung des strukturellen Zustands der Parzellen so autonom wie möglich zu machen, wurde erreicht.

Fazit: Dem Boden gehört höchste Aufmerksamkeit. Ein Spaten gehört in jedes Betriebsleiterraute, damit ein Boden jederzeit beurteilt werden kann.



Abbildung 6: Hackstriegel im Einsatz im Mais

## Arbeitskreis Humus, Tätigkeiten 2020

### AK Treffen 2020

Das Tätigkeitsprogramm 2020 war wegen der Corona Pandemie anfangs unsicher. Wie alle haben wir uns angepasst und alternative Wege zur Weiterarbeit gesucht. Um sich trotzdem zu treffen, fand am 2. Juni 2020 ein virtuelles Treffen via Teams statt. Als Vorbereitung für das Treffen mussten die Teilnehmer während der Frühlingsarbeiten ein Video auf ihrem Betrieb aufnehmen. Dabei standen die Umsetzungen der Massnahmen in Frühjahrskulturen im Vordergrund. Viel spannendes Material aus der Praxis ist zusammengekommen. In der Videokonferenz wurde in einem Praxisaustausch über die verschiedenen Themen diskutiert. Es kann auch festgehalten werden, dass ein virtuelles Treffen die Präsenz an einem realen Treffen nicht ersetzen kann.

In der abschliessenden Diskussion in der Videokonferenz wurde das Thema «Hofdünger und ihre Flüsse» als



Abbildung 7: Klee-Untersaat im Raps

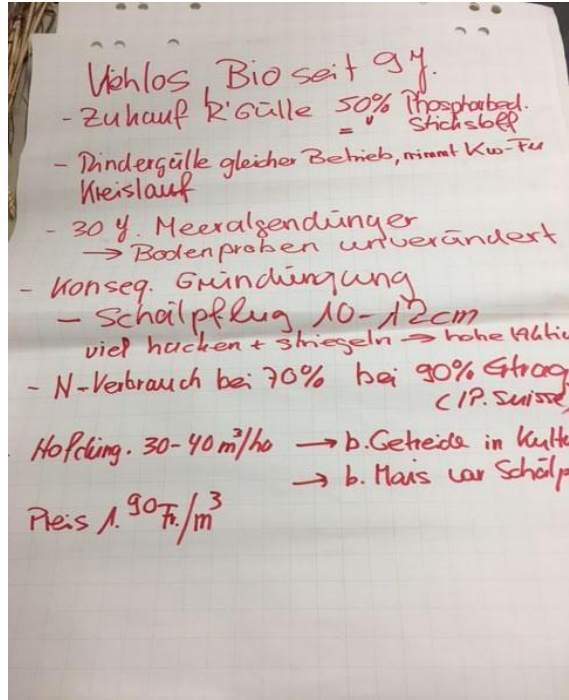


Abbildung 8: Resultat der Gruppenarbeit

Bearbeitungsfeld gewählt. Daraus entstand eine Gruppenarbeit bei der sich die Teilnehmenden in Kleingruppen à 2-3 Personen auf einem Betrieb ihrer Wahl treffen mussten. Dies als Vorbereitung fürs Herbsttreffen vom 15. September 2020. In dieser Gruppenarbeit mussten sie ihre Betriebe in Bezug auf Einsatz und Management von Hofdüngern vergleichen. Die Präsentationen der Arbeiten fanden demnächst statt. Ich konnte feststellen, dass diese Gruppenarbeit überaus positiven Einfluss auf den Arbeitskreis hatte. Die Teilnehmenden haben sich im kleinen Kreis besser kennengelernt und mussten/konnten sich mehr einbringen. Das habe ich bei der Präsentation deutlich gemerkt. Bei der Schlussdiskussion gab es vermehrt Wortmeldungen von verschiedenen Personen.

Unter den Teilnehmenden des AK zeigt sich deutlich, dass die Spezialisierungen auf den Landwirtschaftsbetrieben voranschreiten. Einige bauen die Tierhaltung aus und einige geben die Tierhaltung auf und betreiben Ackerbau. Die sinnvolle Verteilung der Hofdünger bleibt somit ein aktuelles Thema.

## Bewertung der Parzellen im Zusammenhang mit den Massnahmen während der COVID-Pandemie



Abbildung 9: Videos zum Gründungs- und Zwischenfruchtbau

Jeder Produzent hat ein Video oder Bilder präsentiert, um die Informationen an die anderen weiterzugeben. Das Ziel des Erfahrungsaustauschs wurde erreicht.

## Arbeitskreis Humus, Tätigkeiten 2021

### Tätigkeiten des AK 2021

Das Sommertreffen des Arbeitskreises fand am 30. Juni 2021 statt. Bei der Einfahrt ins Limpachtal bot sich ein schreckliches Bild der landwirtschaftlichen Kulturen. Hagel, Sturm und Starkregen haben ein Bild der Verwüstung hinterlassen. Ein weiteres Extremereignis, das im Arbeitskreis zu reden gab.

Der Feldrundgang war sehr interessant und die meisten Getreidekulturen präsentierten sich gut. Des Betriebsleiters Leidenschaft für den Boden kam bei seinen Erfahrungsberichten immer wieder zum Vorschein. Es ist ihm lieber abzuwarten, als etwas in Eile kaputt zu machen. Er beweist Geduld und Nerven wie Drahtseile.

Die Ernte 2021 ist eine grosse Herausforderung. Die Böden sind nass und gesättigt. Verdichtungen und Strukturschäden sind die Folgen. Es stellt sich die Frage, was wir machen können, um dem Boden wieder etwas Gutes zu tun?

Gute Möglichkeiten sind Zwischenkulturen in Form von Gründüngungen oder Kleegrasmischungen. Die Ausgangslage ist diesen Sommer etwas anders als in den letzten trockenen Jahren. Es ist feucht genug und nicht zu heiss, sodass eine Saat unmittelbar nach der Ernte grundsätzlich möglich ist. Natürlich nur dort, wo der Boden befahrbar ist.

Die Vorteile einer frühen Saat sind vielfältig. Zum einen wird der Boden möglichst bald bedeckt und bewurzelt, zum anderen erhält das Unkraut Konkurrenz. Durch den Bewuchs schaffen wir Nahrung für die Bodenlebewesen. Je vielfältiger die Mischungen sind, desto mehr Bakterien, Pilze und Algen finden Nahrung in Form von Wurzelausscheidungen. Regenwürmer weiden Algen ab und leben von Ernteresten. Durch die mikrobielle Aktivität wird der Boden krümelig und die aufgebaute Wurzelmasse stabilisiert das Gefüge. Mischungen mit Leguminosen binden Stickstoff im Boden und lassen die Folgekultur davon profitieren. Mit einer Leguminosen reichen Mischung können gut 40-50kg N/ha für die Folgekultur zur Verfügung gestellt werden.

Überwinternde Mischungen minimieren die Nährstoffauswaschung im Winter und bieten den Mikroorganismen auch im Frühjahr eine Nahrungsgrundlage.

Stehende Gründüngungs- bzw. Zwischenfutterbestände bieten eine gute Gelegenheit Hofdünger einzusetzen. Die Nährstoffe aus Gülle, Mist oder Kompost werden dann zum Teil schnell aufgenommen und andererseits durch die vorherrschende mikrobielle Population verarbeitet und pflanzenverfügbar gemacht. Die Nährstoffverluste können gesenkt werden.





Abbildung 10: Durchwurzelung des Oberbodens mittels Gründüngung zwei Monate nach der Aussaat Ende Juli

### **Mit Humus die Bodenfruchtbarkeit verbessern**

Humusaufbau im Boden ist ein langer Prozess und damit eine Generationenaufgabe. Der sogenannte Nährhumus entsteht aus organischen Substanzen, die im Boden leicht abgebaut und schnell mineralisiert werden. Der Dauerhumus hingegen besteht aus schwer abbaubaren, stabilen organischen Substanzen, die feste Verbindungen zu den Ton-Teilchen des Bodens eingehen. Nährstoffe und Wasser werden so besser gebunden und machen das Bodengefüge stabiler. Es muss also das Ziel sein, den Dauerhumus zu fördern.

Durch intensive Bodenbearbeitung im Ackerbau baut sich der Humus (ca. 60% Kohlenstoff) in Folge der Belüftung schneller ab. Wenn die Ackerböden in Zukunft Kohlenstoffsinken sein sollen, stellen sich Fragen nach Produktionssystemen, in denen wir Ackerbau mit hohem Ertragspotential betreiben und gleichzeitig Humus aufbauen können. Orientierungshilfen bietet das Dauergrünland mit permanenter Bodenbedeckung. Die stabilsten und leistungsfähigsten Bodengefüge finden wir dort. Es wird also die Herausforderung sein, innerhalb einer Fruchtfolge möglichst vielfältig den Boden zu bedecken und die Kulturenwechsel mit möglichst wenig Bodenbearbeitung zu vollziehen.

Die aktuellen Bodenverhältnisse erschweren die Bewirtschaftung im Sinne einer positiven Humusentwicklung zusätzlich. In leichten Böden wird es dieses Jahr einfacher sein, Zwischenkulturen zu säen als in schweren Böden. Es lohnt sich, etwas Geduld zu haben, lieber etwas später «Begrünen» dafür mit ausreichend Qualität.

Jeder AK-Teilnehmer musste einen Spatentest durchführen und seine Ergebnisse anhand eines Videos oder des neu entwickelten Erfassungsdokuments zeigen. Die 2019 begonnene Anwendung der Strukturanalyse war ein Erfolg.

SPATENPROBE-Formular		Flur-Name: <u>Niederfeld ost</u>	letzte Bearbeitung, Datum/Tiefe: <u>25.08.2022</u> <u>3,5m</u> <u>Handarbeit</u> <u>gut</u>
Beurteilung durch: <u>Berni Meier, N. Meier</u>		Datum: <u>26.8.22</u>	Foto: <input type="checkbox"/>
Koordinat: <u>2447494B</u>		Bewirtschaftung: <u>Kornkorn</u>	Kultur, Stadium: <u>Sep. Oliv</u>
Bodenart/Steigigkeit: <u>Lehm</u> <u>PH 7,6</u> <u>2%</u> Humus <u>8%</u> Ton <u>8%</u> Schluff <u>8%</u> Gerölle <u>0%</u> Kies <u>0%</u> Müde <u>0%</u> Kuppe <u>0%</u> Neigung <u>0%</u>			
BODENoberfläche: Beurteilung Beschaffenheit			
Bodenbedeckung		A) RAUIGKEIT	
1. unbedeckt		1. Aggregate inst., gut erkennbar	
2. bedeckt mit Pflanzens zu <u>80%</u>		2. Aggregate z.T. "verschleiert"	
		3. verschlamm	
		4. stark verschlamm	
Bemerkung:		B) REGENWURMKOT	
		1. viel <u>mit</u> <u>beobachtet</u>	
		2. wenig <u>beobachtet</u>	
		3. kein	
OBERBODEN, ÜBERGANGSSCHICHT, UNTERBODEN: Beurteilung Beschaffenheit (jede Schicht separat)			
C) FESTIGKEIT der Bodenstruktur	D) FORM der häufigsten Bodenstellen	E) GRÖSSE der häufigsten Bodenstellen	F) POROSITÄT der häufigsten Bodenstellen
1. ein wenig fest zusammengepresst	1. runde	1. nicht kleiner als 1 cm	1. stark viele Poren und Risse
2. ein wenig fest zusammengepresst	2. runde	2. nicht kleiner als 1 cm	2. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
3. nur mit viel Kraft zerklüftbar	3. runde	3. nicht kleiner als 1 cm	3. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
4. nur mit viel Kraft zerklüftbar	4. runde	4. nicht kleiner als 1 cm	4. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
5. nur mit viel Kraft zerklüftbar	5. runde	5. nicht kleiner als 1 cm	5. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
6. nur mit viel Kraft zerklüftbar	6. runde	6. nicht kleiner als 1 cm	6. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
7. nur mit viel Kraft zerklüftbar	7. runde	7. nicht kleiner als 1 cm	7. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
8. nur mit viel Kraft zerklüftbar	8. runde	8. nicht kleiner als 1 cm	8. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
9. nur mit viel Kraft zerklüftbar	9. runde	9. nicht kleiner als 1 cm	9. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
10. nur mit viel Kraft zerklüftbar	10. runde	10. nicht kleiner als 1 cm	10. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
11. nur mit viel Kraft zerklüftbar	11. runde	11. nicht kleiner als 1 cm	11. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
12. nur mit viel Kraft zerklüftbar	12. runde	12. nicht kleiner als 1 cm	12. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
13. nur mit viel Kraft zerklüftbar	13. runde	13. nicht kleiner als 1 cm	13. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
14. nur mit viel Kraft zerklüftbar	14. runde	14. nicht kleiner als 1 cm	14. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
15. nur mit viel Kraft zerklüftbar	15. runde	15. nicht kleiner als 1 cm	15. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
16. nur mit viel Kraft zerklüftbar	16. runde	16. nicht kleiner als 1 cm	16. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
17. nur mit viel Kraft zerklüftbar	17. runde	17. nicht kleiner als 1 cm	17. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
18. nur mit viel Kraft zerklüftbar	18. runde	18. nicht kleiner als 1 cm	18. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
19. nur mit viel Kraft zerklüftbar	19. runde	19. nicht kleiner als 1 cm	19. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
20. nur mit viel Kraft zerklüftbar	20. runde	20. nicht kleiner als 1 cm	20. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
21. nur mit viel Kraft zerklüftbar	21. runde	21. nicht kleiner als 1 cm	21. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
22. nur mit viel Kraft zerklüftbar	22. runde	22. nicht kleiner als 1 cm	22. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
23. nur mit viel Kraft zerklüftbar	23. runde	23. nicht kleiner als 1 cm	23. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
24. nur mit viel Kraft zerklüftbar	24. runde	24. nicht kleiner als 1 cm	24. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
25. nur mit viel Kraft zerklüftbar	25. runde	25. nicht kleiner als 1 cm	25. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
26. nur mit viel Kraft zerklüftbar	26. runde	26. nicht kleiner als 1 cm	26. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
27. nur mit viel Kraft zerklüftbar	27. runde	27. nicht kleiner als 1 cm	27. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
28. nur mit viel Kraft zerklüftbar	28. runde	28. nicht kleiner als 1 cm	28. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
29. nur mit viel Kraft zerklüftbar	29. runde	29. nicht kleiner als 1 cm	29. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
30. nur mit viel Kraft zerklüftbar	30. runde	30. nicht kleiner als 1 cm	30. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
31. nur mit viel Kraft zerklüftbar	31. runde	31. nicht kleiner als 1 cm	31. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
32. nur mit viel Kraft zerklüftbar	32. runde	32. nicht kleiner als 1 cm	32. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
33. nur mit viel Kraft zerklüftbar	33. runde	33. nicht kleiner als 1 cm	33. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
34. nur mit viel Kraft zerklüftbar	34. runde	34. nicht kleiner als 1 cm	34. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
35. nur mit viel Kraft zerklüftbar	35. runde	35. nicht kleiner als 1 cm	35. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
36. nur mit viel Kraft zerklüftbar	36. runde	36. nicht kleiner als 1 cm	36. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
37. nur mit viel Kraft zerklüftbar	37. runde	37. nicht kleiner als 1 cm	37. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
38. nur mit viel Kraft zerklüftbar	38. runde	38. nicht kleiner als 1 cm	38. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
39. nur mit viel Kraft zerklüftbar	39. runde	39. nicht kleiner als 1 cm	39. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
40. nur mit viel Kraft zerklüftbar	40. runde	40. nicht kleiner als 1 cm	40. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
41. nur mit viel Kraft zerklüftbar	41. runde	41. nicht kleiner als 1 cm	41. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
42. nur mit viel Kraft zerklüftbar	42. runde	42. nicht kleiner als 1 cm	42. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
43. nur mit viel Kraft zerklüftbar	43. runde	43. nicht kleiner als 1 cm	43. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
44. nur mit viel Kraft zerklüftbar	44. runde	44. nicht kleiner als 1 cm	44. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
45. nur mit viel Kraft zerklüftbar	45. runde	45. nicht kleiner als 1 cm	45. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
46. nur mit viel Kraft zerklüftbar	46. runde	46. nicht kleiner als 1 cm	46. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
47. nur mit viel Kraft zerklüftbar	47. runde	47. nicht kleiner als 1 cm	47. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
48. nur mit viel Kraft zerklüftbar	48. runde	48. nicht kleiner als 1 cm	48. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
49. nur mit viel Kraft zerklüftbar	49. runde	49. nicht kleiner als 1 cm	49. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
50. nur mit viel Kraft zerklüftbar	50. runde	50. nicht kleiner als 1 cm	50. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
51. nur mit viel Kraft zerklüftbar	51. runde	51. nicht kleiner als 1 cm	51. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
52. nur mit viel Kraft zerklüftbar	52. runde	52. nicht kleiner als 1 cm	52. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
53. nur mit viel Kraft zerklüftbar	53. runde	53. nicht kleiner als 1 cm	53. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
54. nur mit viel Kraft zerklüftbar	54. runde	54. nicht kleiner als 1 cm	54. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
55. nur mit viel Kraft zerklüftbar	55. runde	55. nicht kleiner als 1 cm	55. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
56. nur mit viel Kraft zerklüftbar	56. runde	56. nicht kleiner als 1 cm	56. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
57. nur mit viel Kraft zerklüftbar	57. runde	57. nicht kleiner als 1 cm	57. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
58. nur mit viel Kraft zerklüftbar	58. runde	58. nicht kleiner als 1 cm	58. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
59. nur mit viel Kraft zerklüftbar	59. runde	59. nicht kleiner als 1 cm	59. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
60. nur mit viel Kraft zerklüftbar	60. runde	60. nicht kleiner als 1 cm	60. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
61. nur mit viel Kraft zerklüftbar	61. runde	61. nicht kleiner als 1 cm	61. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
62. nur mit viel Kraft zerklüftbar	62. runde	62. nicht kleiner als 1 cm	62. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
63. nur mit viel Kraft zerklüftbar	63. runde	63. nicht kleiner als 1 cm	63. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
64. nur mit viel Kraft zerklüftbar	64. runde	64. nicht kleiner als 1 cm	64. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
65. nur mit viel Kraft zerklüftbar	65. runde	65. nicht kleiner als 1 cm	65. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
66. nur mit viel Kraft zerklüftbar	66. runde	66. nicht kleiner als 1 cm	66. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
67. nur mit viel Kraft zerklüftbar	67. runde	67. nicht kleiner als 1 cm	67. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
68. nur mit viel Kraft zerklüftbar	68. runde	68. nicht kleiner als 1 cm	68. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
69. nur mit viel Kraft zerklüftbar	69. runde	69. nicht kleiner als 1 cm	69. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
70. nur mit viel Kraft zerklüftbar	70. runde	70. nicht kleiner als 1 cm	70. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
71. nur mit viel Kraft zerklüftbar	71. runde	71. nicht kleiner als 1 cm	71. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
72. nur mit viel Kraft zerklüftbar	72. runde	72. nicht kleiner als 1 cm	72. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
73. nur mit viel Kraft zerklüftbar	73. runde	73. nicht kleiner als 1 cm	73. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
74. nur mit viel Kraft zerklüftbar	74. runde	74. nicht kleiner als 1 cm	74. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
75. nur mit viel Kraft zerklüftbar	75. runde	75. nicht kleiner als 1 cm	75. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
76. nur mit viel Kraft zerklüftbar	76. runde	76. nicht kleiner als 1 cm	76. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
77. nur mit viel Kraft zerklüftbar	77. runde	77. nicht kleiner als 1 cm	77. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
78. nur mit viel Kraft zerklüftbar	78. runde	78. nicht kleiner als 1 cm	78. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
79. nur mit viel Kraft zerklüftbar	79. runde	79. nicht kleiner als 1 cm	79. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
80. nur mit viel Kraft zerklüftbar	80. runde	80. nicht kleiner als 1 cm	80. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
81. nur mit viel Kraft zerklüftbar	81. runde	81. nicht kleiner als 1 cm	81. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
82. nur mit viel Kraft zerklüftbar	82. runde	82. nicht kleiner als 1 cm	82. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
83. nur mit viel Kraft zerklüftbar	83. runde	83. nicht kleiner als 1 cm	83. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
84. nur mit viel Kraft zerklüftbar	84. runde	84. nicht kleiner als 1 cm	84. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
85. nur mit viel Kraft zerklüftbar	85. runde	85. nicht kleiner als 1 cm	85. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
86. nur mit viel Kraft zerklüftbar	86. runde	86. nicht kleiner als 1 cm	86. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
87. nur mit viel Kraft zerklüftbar	87. runde	87. nicht kleiner als 1 cm	87. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
88. nur mit viel Kraft zerklüftbar	88. runde	88. nicht kleiner als 1 cm	88. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
89. nur mit viel Kraft zerklüftbar	89. runde	89. nicht kleiner als 1 cm	89. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
90. nur mit viel Kraft zerklüftbar	90. runde	90. nicht kleiner als 1 cm	90. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
91. nur mit viel Kraft zerklüftbar	91. runde	91. nicht kleiner als 1 cm	91. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
92. nur mit viel Kraft zerklüftbar	92. runde	92. nicht kleiner als 1 cm	92. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
93. nur mit viel Kraft zerklüftbar	93. runde	93. nicht kleiner als 1 cm	93. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
94. nur mit viel Kraft zerklüftbar	94. runde	94. nicht kleiner als 1 cm	94. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
95. nur mit viel Kraft zerklüftbar	95. runde	95. nicht kleiner als 1 cm	95. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
96. nur mit viel Kraft zerklüftbar	96. runde	96. nicht kleiner als 1 cm	96. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
97. nur mit viel Kraft zerklüftbar	97. runde	97. nicht kleiner als 1 cm	97. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
98. nur mit viel Kraft zerklüftbar	98. runde	98. nicht kleiner als 1 cm	98. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
99. nur mit viel Kraft zerklüftbar	99. runde	99. nicht kleiner als 1 cm	99. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch
100. nur mit viel Kraft zerklüftbar	100. runde	100. nicht kleiner als 1 cm	100. nicht viele Poren, scharf abgegrenzter Bruch



Abbildung 11: Videos, Bild oder Formulare von der Spatenprobeanalyse

## Arbeitskreis Humus, Tätigkeiten 2022

### Tätigkeiten des AK 2022

Das sechsjährige Ressourcenprojekt Humus befindet sich bereits im letzten Projektjahr. Die zu Beginn definierten Massnahmen konnten dabei weiterentwickelt und ergänzt werden. Die bedeutendste Produktionsgrundlage der Landwirtschaft, der Boden, ist ein zentrales Element zur Speicherung von Kohlenstoff. Die Bodenfruchtbarkeit wird unter anderem über den Humusgehalt und den darin gespeicherten Kohlenstoff definiert. Der sogenannte C<sub>org</sub>-Gehalt wurde während der Projektdauer jährlich auf 14 Betrieben in Form eines Monitorings durch Stéphane Burgos (BFH-HAFL Zollikofen) und seinem Team beprobt. Die Resultate werden am Schluss des Projekts im Jahr 2023 in Zusammenhang der Betriebsfruchtfolgen und den umgesetzten Massnahmen ausgewertet.

Die Betriebsleitenden, welche Teil des Monitorings sind, arbeiteten in den letzten Jahren im AK Humus unter der Moderation vom Wallierhof mit. Dabei wurden auf den jeweiligen Praxisbetrieben und an Weiterbildungsanlässen mitgearbeitet. Das Ziel des AK war es, die Massnahmen zu überprüfen und diese praxistauglich weiterzuentwickeln. Die neuen Massnahmen «Gründüngung spät», «Gründüngung vor Winterkultur» und «ganzjährige Bodenbedeckung» sind Ergebnisse aus dieser Zusammenarbeit. In der zukünftigen Agrarpolitik des Bundes gewinnen die permanente Bodenbedeckung sowie die schonende Bodenbearbeitung an Bedeutung. Es ist ein erklärtes Ziel, der Ressource «Boden» Sorge zu tragen und die Fruchtbarkeit zu erhöhen.

Ein wichtiger Bestandteil der Arbeit im AK war die Spatenprobe und damit die Bodenansprache. Bei jeder Gelegenheit, die sich bot, wurde im Feld der jeweilige Boden beurteilt. Die Überprüfung der Struktur, des

Bodenlebens sowie das Bestimmen der Bodenart wurden zum Standard. Diese Methode ist für die Betriebsleitenden ein zuverlässiges Instrument in der Bewirtschaftung und verbindet mit der Scholle.



Die zukünftigen Herausforderungen liegen in der «dauernden Begrünung des Ackers». Die Übergänge der Kulturen praxistauglich zu vollziehen, benötigt eine vorausschauende Planung sowie Flexibilität. Der Wallierhof versteht dabei seine Rolle in der Beratung als Bindeglied zwischen der Forschung und der Praxis.



Abbildung 42: Begrünung zwischen Weizen und Gerste



Abbildung 13: Oelrettichwurzel nach 6 Wochen Wachstum

## **Arbeitskreis Humus, Tätigkeiten 2023**

### **Tätigkeiten des AK Humus 2023**

Der AK Humus traf sich zum letzten Mal am 07.06.2023 auf dem Hof von Moderator Samuel Tschumi in Oensingen. Ziel des Anlasses war es, die praktische Tätigkeit im AK abzuschliessen und natürlich die verschiedenen Böden und Kulturen des Betriebes zu beurteilen. Nach der Betriebsvorstellung gingen die Teilnehmer in Gruppen aufs Feld. Dabei musste eine Spatenprobe entnommen und nach neuem einheitlichem Formular beurteilt werden.

Die zunehmende Routine der Teilnehmenden in der Bodenbeurteilung war deutlich spürbar. In den letzten sechs Jahren wurde die Spatenprobe immer wieder trainiert und vertieft. Der nasse Frühling und die anschliessende Trockenperiode mit Bisenlage hatten deutliche Spuren hinterlassen. Die Wetterextreme waren im Boden sichtbar und spürbar. Rückschlüsse auf die Bewirtschaftung konnten gemacht werden.

In der fachlich sehr interessanten Diskussion wurden die Herausforderungen der Zukunft deutlich: Die «dauernde Begrünung des Ackers» praxistauglich zu vollziehen, benötigt eine vorausschauende Planung sowie Flexibilität. Die Qualität der Produkte soll dabei nicht abnehmen und die Bodenqualität gleichzeitig verbessert werden.

Der gemütliche Ausklang des Abends fand bei Imbiss und Getränken in der Scheune statt. Kurz davor wurde im Plenum beschlossen, dass die sechsjährige Arbeit des Arbeitskreises im nächsten Winter umfassend ausgewertet werden soll. Unterstützt werden wir in diesem Prozess von Patricia Fry (Dozentin für Wissensaustausch) und Stéphane Burgos (Dozent für Bodenkunde) von der BFH-HAFL. Sie haben uns bereits während dem Projekt begleitet und kennen unsere Entwicklung.

Wir freuen uns unsere Erkenntnisse zu einem späteren Zeitpunkt der Solothurner Landwirtschaft zur Verfügung zu stellen.

## 14 Anhang 2: Beispiel Spatenprobe-Aufnahmeblatt 1

[illegible]

20.12.18

In jedem Feld eine Angabe gemacht werden (**Zahlenwert**, „**n**“) ausser gestrichelte Felder;  
 (\*) Die Bio-ID wird von der Datenbank vergeben. Nach Eingabe der Daten die Bio-ID von Bildschirm ablesen und eintragen. Datenblatt nach Bio-ID geordnet ablegen.

# 15 Anhang 3: Beispiel Spatenprobe-Aufnahmeblatt 2

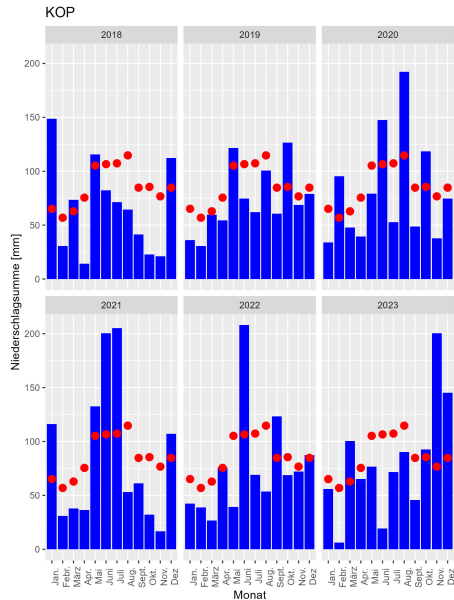
Bodenprofilaufnahme				Profilgrube / Spatenprobe				Beo – ID (*)			
persönliche Punkt ID	X-Koordinaten	Y-Koordinaten	Höhe	Kleinrelief (65)	Landschafts- Element (64)	Neigung %	Geländeform (26)				
SO 400	403.24	AK 403.24									
Projekt (2)	SO 400	AK 403.24									
Profilart (3)	SO 400	AK 403.24									
Kartierer (4)	SO 400	AK 403.24									
Datum (5)	403.24	AK 403.24									
Vegetation (61)											
Flurabstand cm											
Kalkgrenze cm											
Wasserhau- gruppe (23)											
Bodentyp (16)											
Untertyp (18)											
Skelett OB (19)											
Skelett UB (20)											
Körnung OB (21)											
Körnung UB (22)											
PNG (24)											
Bodenpu. (74)											
Notizen											
Gefügestand (x, p...) (30/3)											
O2-Mangel (30/2)											
Zustand org. Substa. (30/1)											
Horizontüberg. unten (aa)											
Horizonte (29)											
Bodenbildung (29.2)											
Litho (29.1)											
Oberboden-Unterboden (ff)											
Zusammenhalt (A 3.1)											
Lagerungsart (A 3.3)											
Ernterückstände (mm)											
Wurmtätigkeit (gg)											
Bewurzelung (bb)											
Porosität (kk)											
Gefügeform / -größe (31,32)											
Feuchtigkeit (dd)											
Technogenes Substrat (hh)											
Gesteinstyp Skelett (ee)											
Steine (42)											
Kies (41)											
Schluff (37/38)											
Ton (35/36)											
Zersetzungsgrad (cc)											
OS-Feld (33)											
pH Hellige (46)											
Kalk CaCO <sub>3</sub> (44)											
Ausgangsmat. Geologie (62)											
Tiefe bis (28)											
Tiefe von (28)											
Horizont Nr. (27)											
	1	2	3	4	5	6					

20.12.18

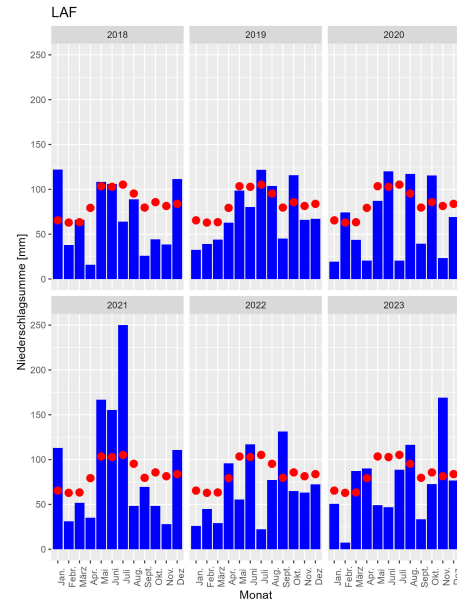
In jedem Feld eine Angabe gemacht werden. (Zahlenwert, Kürzel, „“) außer gestrichelte Felder.  
(\*) Die Beo-ID wird von der Datenbank vergeben. Nach Eingabe der Daten die Beo-ID von Bildschirm ablesen und eintragen. Datenblatt nach Beo-ID geordnet ablegen.

## 16 Anhang 4: Niederschlagsdaten während der Projektlaufzeit und Normwerte 1991-2020 der MeteoSchweiz Wetterstationen Koppigen (KOP), Laufen (LAF) und Riedholz/Wallierhof (WHF)

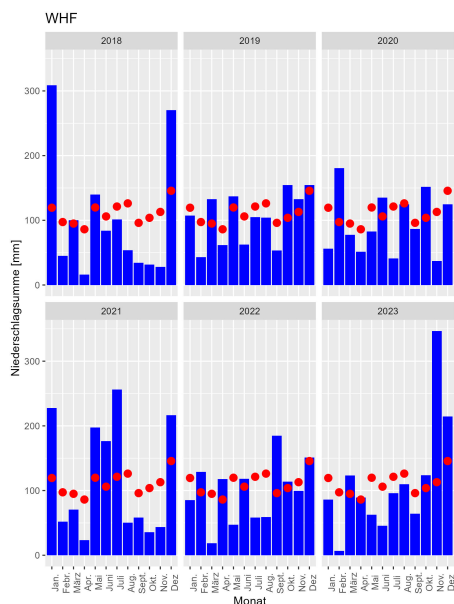
Quelle: [MeteoSchweiz \(2025\)](#)



Monatliche Verteilung der Niederschläge [mm] und Normwerte 1991-2020 als rote Punkte an der Station Koppigen (KOP) in den 6 Projektjahren.



Monatliche Verteilung der Niederschläge [mm] und Normwerte 1991-2020 als rote Punkte an der Station Laufen (LAF) in den 6 Projektjahren.



Monatliche Verteilung der Niederschläge [mm] und Normwerte 1991-2020 als rote Punkte an der Station Riedholz/Wallierhof (WHF) in den 6 Projektjahren.