TEKO Schweizerische Fachschule

Diplomarbeit

Bodengesundheit in der Landwirtschaft

Einfluss auf Humusaufbau und CO^2-Speicherung



Verfasserin:

Name:	Soraya Lochstampfer
Adresse:	Mattstrasse 6
	6103 Schwarzenberg
Ausbildung:	Dipl. Energie- und Umwelttechniker HF
Klasse:	L-TEU-23-Mi-a
Telefon:	+41 79 383 55 29
E-Mail:	lochstampfersoraya@gmail.com
Betreuung:	Giovanni Danielli

Datum der Abgabe: Montag, 09. November 2026, 16.00 Uhr

Inhaltsverzeichnis

Management Summary 1
1 Ausgangslage 3
1.1 Problemstellung 3
1.2 Fragestellung 4
1.3 Zielsetzung 4
1.4 Vorgehensmethodik 5
1.5 Abgrenzung der Arbeit 6
2 Theoretische Grundlagen 7
2.1 Der Boden als Lebensraum 7
2.2 Humus und Humusaufbau 8
2.3 Bodengesundheit 9
2.4 Kohlenstoffkreislauf und CO2-Speicherung im Boden 10
2.5 Nachhaltige Bewirtschaftung und Humusaufbau 11
2.6 Bewirtschaftungsmethoden für den Humusaufbau 12
2.6.1 Kompostierung 12
2.6.2 Mistwirtschaft 13
2.6.3 Organische Düngung, Nährstoffkreislauf und Ammoniakverluste 13
2.6.4 Weitere relevante Methoden 14
3 Praxisbetrieb Bauernhof Langerlen 15
3.1 Vorstellung des Betriebs 15
3.2 Flächen und Nutzungszonen 16
3.2.1 Parzelle Langerlen 17
3.2.2 Parzelle Oberärtig 25
3.3 Boden und Standortbedingungen 32
3.4 Bewirtschaftung und Nährstoffkreislauf 32
3.5 Hofeigene Kompostierung 33
3.6 Ausgangslage der Bodenproben 34
4 Untersuchungsmethodik 37
4.1 Übersicht der Untersuchung 37
4.2 T-Shirt-Methode zur Beurteilung der biologischen Aktivität 37
4.3 Bodenuntersuchung nach Kalkbehandlung 38
4.4 Untersuchung der beiden Kompostvarianten 38

4.5 Spatenprobe zur Beurteilung der Biologischen Aktivität 38
5 Durchführung und Dokumentation 39
5.1 Umsetzung der T-Shirt-Methode 39
5.2 Entnahme und Analyse der Bodenprobe 39
5.3 Aufbau und Entwicklung der beiden Kompostvarianten 40
5.4 Durchführung und Beobachtung der Spatenprobe 45
6 Ergebnisse 46
6.1 Ergebnisse der T-Shirt-Methode 46
6.2 Ergebnisse der Bodenanalyse 48
6.3 Ergebnisse der beiden Kompostvarianten 50
6.4 Ergebnisse der Spatenprobe 51
7 Diskussion 54
7.1 Einordung der Bodenanalysen und mögliche Ursachen des anhaltenden sauren Bodens 54
7.1.1 Trockenheit im Jahr 2026 als möglicher Einschlussfaktor 54
7.1.2 Atmosphärischer Eintrag und saurer Regen 54
7.1.3 Zeitpunkt und Vergleichbarkeit der Bodenproben 55
7.1.4 Gesamteinordnung 55
7.2 Beurteilung der Boden Gesundheit 56
7.3 Zusammenhang mit dem Humusaufbau 57
7.4 Zusammenhang mit der CO2-Speicherung 58
7.5 Stickstoffverluste und Ammoniak 59
7.6 Aussagekraft und Grenzen der Untersuchung 60
7.7 Bedeutung für den Bauernhof Langerlen 61
8 Fazit 62
8.1 Beantwortung der Fragestellung 62
8.2 Wichtigste Erkenntnisse 62
8.3 Empfehlungen für den Betrieb 63
8.4 Ausblick 64
9 Reflexion und Lessons Learned 65
9.1 Reflexion des Arbeitsprozesses 65
9.2 Fachliche Erkenntnisse 65
9.3 Persönliche Erkenntnisse 66
9.4 Anpassungen während des Projektes 67

10 Persönliches Schlusswort 68
11 Verdankungen 69
12 Eigenständigkeitserklärung 70
13 Literaturverzeichnis 72
14 Abbildungsverzeichnis 74
15 Anhang 76

Management Summary

Humus ist weit mehr als normale Erde. Er steht in engem Zusammenhang mit dem Bodenleben, der Bodenfruchtbarkeit, dem Wasserhaushalt und dem Kohlenstoffkreislauf. Doch wie lässt sich erkennen, ob ein Boden gesund ist, und welchen Beitrag kann eine organische Bewirtschaftung zum Humusaufbau und zur langfristigen CO^2-Speicherung leisten? Mit diesen Fragen beschäftigt sich die vorliegende Diplomarbeit am Beispiel des Bauernhofs Langerlen in Schwarzenberg LU.

Ziel der Arbeit war es, die Bodengesundheit und die organische Bewirtschaftung auf dem Betrieb näher zu untersuchen und daraus Erkenntnisse für den Humusaufbau, die Kohlenstoffspeicherung und einen möglichst verlustarmen Umgang mit Stickstoff abzuleiten. Dabei standen nicht nur theoretische Grundlagen im Mittelpunkt. Verschiedene praktische Untersuchungen sollten zeigen, was sich direkt auf dem Betrieb beobachten und messen lässt.

Dazu wurden mehrere Methoden eingesetzt. Mit der T-Shirt-Methode wurde untersucht, wie stark sich vergrabenes Baumwollmaterial im Boden zersetzt. Ergänzend dazu erfolgte eine Spatenprobe, bei der die Durchwurzelung und die Bodenstruktur beurteilt wurden. Drei Flächen, Matte, Dreiangel und Hinterlangerlen, wurden zudem anhand von zwei Bodenanalysen zu unterschiedlichen Zeitpunkten verglichen. Ein weiterer Schwerpunkt war die hofeigene Kompostierung. Dafür wurden zwei Kompostmieten mit Mist und Gras angesetzt. Eine davon erhielt zusätzlich rund 75 kg TMS LIS Granulat auf etwa 6 Tonnen Mist. Beide Mieten wurden während des Rotteverlaufs sechsmal vermischt und miteinander verglichen.

Die praktischen Untersuchungen lieferten unterschiedliche, teilweise überraschende Einblicke. Der vergrabene Baumwollstoff war bei der Ausgrabung deutlich zersetzt, an einigen Stellen sogar sehr dünn und nahezu durchsichtig. Dies deutet auf einen aktiven Abbau des organischen Materials hin. Auch die Spatenprobe zeigte im oberen Bodenbereich eine gute Durchwurzelung. Der Boden liess sich überwiegend krümelig lösen, wobei vereinzelt festere Stellen vorhanden waren.

Ein differenzierteres Bild ergaben die Laboranalysen. Obwohl die Calcium- und Magnesiumwerte auf mehreren Flächen zunahmen, sanken die gemessenen pH-Werte an allen drei wiederholt untersuchten Standorten. Die Böden weisen somit weiterhin saure Bedingungen auf. Eine Verbesserung der chemischen Bodenverhältnisse konnte durch die bisherigen Analysen nicht nachgewiesen werden. Auch eine Zunahme des Humusgehalts lässt sich aus den vorhandenen Werten nicht sicher ableiten, da teilweise unterschiedliche Analysemethoden verwendet wurden.

Beim Kompostversuch zeigte sich zu Beginn ein Unterschied zwischen den beiden Varianten: Bei der mit Granulat versetzten Miete war der Ammoniakgeruch rasch nicht mehr wahrnehmbar, und das Material schien zunächst schneller zu verrotten. Im späteren Verlauf sahen sich die beiden Kompostmieten jedoch weitgehend ähnlich. Die Miete mit Granulat wirkte allenfalls etwas weiter verrottet. Da weder Ammoniakverluste noch Rottegrad oder Nährstoffgehalte systematisch gemessen wurden, lässt sich daraus keine eindeutige Wirkung des Granulats ableiten.

Insgesamt zeigt die Arbeit, dass die Beurteilung der Bodengesundheit mehrere Blickwinkel benötigt. Eine gute Durchwurzelung und sichtbare biologische Aktivität sind wertvolle Hinweise, sagen aber allein noch nichts über sämtliche chemischen und langfristigen Eigenschaften eines Bodens aus. Ebenso ist eine organische Bewirtschaftung eine wichtige Grundlage für den Humusaufbau, garantiert aber nicht automatisch eine messbare Zunahme der Kohlenstoffvorräte.

Für den Bauernhof Langerlen ergibt sich daraus vor allem die Möglichkeit, die Entwicklung der Böden und der hofeigenen Kompostierung weiter zu beobachten. Regelmässige Bodenanalysen an vergleichbaren Standorten, eine genauere Dokumentation der organischen Einträge und ergänzende Untersuchungen des fertigen Komposts könnten künftig aussagekräftigere Ergebnisse liefern. Auch die Frage, wie sich Stickstoffverluste während der Kompostierung vermeiden lassen, verdient weitere Aufmerksamkeit.

Die Diplomarbeit zeigt erste praktische Erkenntnisse und macht gleichzeitig deutlich, wie viel Zeit die Prozesse im Boden benötigen. Humusaufbau und langfristige CO^2-Speicherung lassen sich nicht innerhalb weniger Wochen nachweisen. Sie erfordern eine kontinuierliche Betrachtung und eine Bewirtschaftung, die den Boden langfristig erhält und fördert.

1 Ausgangslage

1.1 Problemstellung

Ein gesunder Boden ist viel mehr als die Grundlage für das Wachstum von Gras und anderen Pflanzen. Er ist der Lebensraum für zahlreiche Organismen, speichert Wasser Nährstoffe und übernimmt wichtige Funktionen im natürlichen Stoffkreislauf. Wie gut ein Boden diese Aufgaben erfüllen kann, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Dazu gehören seine Struktur, die Nähstoffverhältnisse, der Gehalt von organischer Substanz und die Aktivität der Bodenlebewesen.

Besonders im Zusammenhang mit dem Klimawandel gewinnt der Boden an zusätzlicher Bedeutung. Er kann Kohlenstoff aufnehmen und speichern, unter bestimmten Bedingungen aber auch als Quelle für CO^2 wirken. Die Kohlenstoffvorräte werden unter anderem durch die Bewirtschaftung, die Zufuhr von organischen Materialien und deren Abbau beeinflusst. Deshalb lässt sich nicht jede Massnahme, die dem Boden organisches Material zuführt, automatisch mit einer langfristig höheren Kohlestoffspeicherung gleichsetzten.

Entscheidend ist, wie sich die organische Substanz im Boden entwickelt und welcher Anteil des enthaltenen Kohlenstoffs langfristig erhalten bleibt.

Neben dem Kohlenstoff spielt auch der Umgang mit Stickstoff eine wichtige Rolle in der Landwirtschaft. Bei der Lagerung und Ausbringung von Hofdünger kann Ammoniak entweichen. Dadurch gehen dem Betrieb Pflanzennährstoffe verloren. Gleichzeitig kann der Stickstoff in die Atmosphäre entweichen, empfindliche Ökosysteme belasten und zur Überdüngung und zur Versauerung beitragen.

Die Aufbereitung und Anwendung organischer Dünger ist deshalb nicht nur für die Bodenfruchtbarkeit, sondern auch für einen möglichst verlustarmen Nährstoffkreislauf relevant.

Der Bauernhof Langerlen in Schwarzenberg LU bietet mir einen geeigneten Praxisbezug, um diese Zusammenhänge näher zu betrachten. Der Betrieb bewirtschaftet Flächen in unterschiedlichen Höhenlagen und führt eine hofeigene Kompostierung. Zum Betrieb gehören ausserdem Moorflächen und Hecken, die bei der Betrachtung des Kohlestoff-Speicherpotential eine wichtige Rolle spielen.

Besonders Moorböden sind für den Kohlestoffkreislauf von Bedeutung. Unter feuchten, sauerstoffarmen Bedingungen lagert sich organisches Pflanzenmaterial im Boden ab und speichert Kohlenstoff. Sobald der Boden jedoch entwässert und belüftet wird, beschleunigt sich der Abbau, was zu erheblichen Kohlenstoffverlusten führt.

Bereits vorhandene Bodenanalysen und praktische Untersuchungen auf dem Betrieb ermöglichen es mir, dass ich ausgewählte Bodeneigenschaften nicht nur theoretisch betrachten, sondern auch mit konkreten Beobachtungen zu verbinden kann.

Die Herausforderung besteht darin, diese Ergebnisse richtig einzuordnen. Sichtbare biologische Aktivität, chemische Bodenwerte und die langfristige Speicherung von Kohlestoff beschreiben unterschiedliche Aspekte und müssen deshalb gemeinsam oder unterschiedlich beurteilt werden.

1.2 Fragestellung

Welche Erkenntnisse liefern die praktischen Untersuchungen auf dem Bauernhof Langerlen über das Bodenleben, die Bodengesundheit und die organische Bewirtschaftung, und welche Schlussfolgerungen lassen sich daraus für den Humusaufbau, die langfristige Kohlenstoffspeicherung und einen möglichst verlustarmen Umgang mit Stickstoff ableiten?

1.3 Zielsetzung

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, die praktischen Untersuchungen auf dem Bauernhof systematisch auszuwerten und daraus Erkenntnisse über den Zustand des Bodens, sowie die Wirkung ausgewählter Bewirtschaftungsansätze abzuleiten.

Die biologische Bodenaktivität wird anhand der T-Shirt-Methode betrachtet. Dazu ergänzend wird mit einer Spatenprobe die sichtbare Bodenstruktur beurteilt. Die bestehende Bodenanalyse wird mit den späteren Untersuchungsergebnissen verglichen, um die Veränderungen ausgewählter Bodenkennwerte auf den untersuchten Flächen nachvollziehen zu können.

Ein weiterer Bestandteil ist der Vergleich der beiden hofeigenen Kompostvarianten. Dabei wird untersucht, welche Unterschiede sich in Bezug auf die Herstellung, Entwicklung und betrachtbaren Eigenschaften feststellen lassen. Diese Ergebnisse werden mit den theoretischen Grundlagen verknüpft, um ihre Bedeutung für die Bodengesundheit und den Humusaufbau zu beurteilen.

Ausserdem wird die Bedeutung der organischen Bewirtschaftung für den Klimaschutz und den Nährstoffkreislauf aufgezeigt. Dabei werden die langfristige Kohlenstoffspeicherung, sowie die Vermeidung von Stickstoffverlusten berücksichtigt. Auch die Moorflächen und Hecken des Betriebes werden in diesem Zusammenhang betrachtet.

Aus der Gesamtwertung soll eine konkrete und fachlich begründete Empfehlung für den Bauernhof Langerlen entstehen. Diese soll aufzeigen, welche Erkenntnisse sich aus der Untersuchung für die künftige Bodenpflege, die Kompostierung und den Umgang mit organischem Material ableiten lassen.

1.4 Vorgehensmethodik

Die Arbeit verbindet die Auswertung wissenschaftlicher Fachliteratur mit praktischen Untersuchungen auf dem Bauernhof Langerlen. Die theoretischen Grundlagen werden anhand von Fachquellen, vor allem von Agroscope, dem BAFU (Bundesamt für Umwelt) und weiteren Dokumenten, erarbeitet. So können die praktischen Beobachtungen fachlich eigeordnet und ihre Aussagekraft kann beurteilt werden.

Als Grundlage für die Untersuchung des Bodens werden zwei Laborberichte verwendet. Die erste Bodenprobe fand am 22. Dezember 2025 statt, der dazugehörige Bericht wurde am 01. Januar 2026 erstellt. Der zweite Laborbericht wurde am 15. Oktober 2026 ausgestellt und die Bodenproben am 28. September 2026 genommen. Verglichen werden die Ergebnisse der in beiden Laborberichten aufgeführten Flächen Matte, Dreiangel und Hinterlangerlen.

Ergänzend dazu werden zwei praktische Untersuchungen ausgewertet. Bei der T-Shit-Methode wird der Zustand des vergrabenen Baumwollstoffes nach dem Ausgraben beurteilt. Die Spatenprobe ermöglicht eine direkte Betrachtung des Bodenaufbaus, der Durchwurzelung und möglicher Verdichtungen. Beide Untersuchungen werden durch Beobachtungen und Fotografien dokumentiert.

Bei der Kompostuntersuchung werden zwei auf dem Betrieb hergestellte Komposthaufen betrachtet. Beide bestehen aus Mist und Gras, bei dem einem davon wird zusätzlich ein Granulat eingesetzt. Die Herstellung und Entwicklung beider Varianten werden dokumentiert und ihre beobachteten Eigenschaften miteinander verglichen.

Anschliessend werden die Ergebnisse in einer Tabelle dargestellt und im Diskussionsteil mit den fachlichen Grundlagen verknüpft. Dabei wird zwischen eigenen Beobachtungen, gemessenen Laborwerten und Schlussfolgerungen aus der Fachliteratur unterschieden. Die Bedeutung der Kohlenstoffspeicherung, der Moorflächen und Hecken, sowie des Stickstoffmanagements wird auf dieser Grundlage eingeordnet. Aus der Gesamtauswertung werden abschliessend Empfehlungen für den Betrieb abgeleitet.

1.5 Abgrenzung der Arbeit

Die Diplomarbeit konzentriert sich auf die praktischen Untersuchungen und die betrieblichen Bedingungen des Bauernhofs Langerlen. Sie ist als Untersuchung eines einzelnen Landwirtschaftsbetriebs angelegt. Die Ergebnisse lassen sich deshalb nicht ohne Weiteres auf andere Betriebe oder Standorte übertragen.

Die T-Shirt-Methode und die Spatenprobe liefern qualitative Hinweise auf biologische Abbauprozesse und die sichtbare Bodenstruktur. Sie ermöglichen jedoch weder eine genaue Bestimmung der Bodenorganismen noch eine quantitative Messung des Humusgehalts oder der gespeicherten Kohlenstoffmenge. Aussagen werden also nur getroffen, zu Dingen die wirklich erkennbar sind.

Auch die Bodenanalysen bilden nur einen Teil des Bodenzustands ab. Sie erfassen bestimmte chemische Kennwerte der untersuchten Flächen, aber nicht sämtliche biologischen und physikalischen Eigenschaften. Beim Vergleich der Humuswerte ist zusätzlich zu berücksichtigen, dass die Untersuchungsmethoden nicht bei allen Flächen die gleichen sind. Der Humusgehalt wurde bei der Hinterlangerlen im ersten Bericht geschätzt. Im neuen Bericht ist jedoch ein analytischer Wert nach der TOC-Methode gemacht worden. Dieser Wert wurde ausschliesslich auf dieser Fläche angewandt, da sie uns besonders interessierte. Daraus kann also keine gesicherte Veränderung des Humusgehalts abgeleitet werden.

Die beiden Kompostvarianten werden anhand ihrer Herstellung, Entwicklung und beobachtbaren Eigenschaften verglichen. Da wir die genauen Angaben des Granulats kennen, wissen wir über die Bestandteile bescheid und welche Auswirkungen es auf den Kompost haben sollte. Jedoch können wir nicht automatisch erkennen, wie es auf den Boden wirken wird. Da wir keine Messungen durchführen, werden solche Wirkungen nicht als nachgewiesene Ergebnisse dargestellt.

Die langfristige Kohlenstoffspeicherung wird auf Grundlage der Fachliteratur und der betrieblichen Ausgangslage beurteilt. Eine direkte Messung der CO^2-Flüsse oder eine Berechnung der tatsächlichen Kohlenstoffvorräte auf dem Bauernhof ist nicht Bestandteil dieser Arbeit. Ebenso werden die Ammoniakemissionen des Betriebs nicht direkt gemessen. Aussagen dazu beziehen sich auf die wissenschaftlichen Grundlagen und die Einordnung der Bewirtschaftung, nicht auf eine eigene Emissionsmessung.

Die Moorflächen und Hecken werden als zusätzliche Bestandteile der betrieblichen Ausgangslage berücksichtigt. Ihr konkreter Beitrag zur Kohlenstoffspeicherung wird jedoch nicht mengenmässig bestimmt. Im Mittelpunkt steht somit die fachlich begründete Beurteilung der praktischen Ergebnisse und ihrer Bedeutung für den Betrieb, nicht der vollständige Nachweis einer Klimawirkung.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Der Boden als Lebensraum

Boden wird häufig mit Ackerflächen, Wiesen oder Gartenbeeten verbunden. Tatsächlich ist er aber ein komplexes System, dass aus mineralischen Bestandteilen, organischer Substanz, Wasser, Luft und einer grossen Anzahl von Lebewesen besteht. Diese Bestandteile sind ständiger miteinander verbunden und bestimmen, welche Funktionen ein Boden erfüllen kann. Der Boden ist damit nicht einfach eine Unterlage für Pflanzen, sondern ein eigenständiger Lebensraum und eine wichtige Grundlage für zahlreiche natürliche Prozesse. (BAFU 2021)

Die mineralische Grundlage des Bodens entsteht durch die Verwitterung von Gestein. Je nach Ausgangsgestein und Entstehung unterscheiden sich die Böden in ihrer Zusammensetzung. Besonders wichtig ist die Körnung mit den Anteilen von Sand, Schluff und Ton. Sie beeinflusst unter anderem, wie viel Wasser ein Boden aufnehmen und speichern kann. Ein sandiger Boden besitzt beispielsweise viele grössere Poren und lässt Wasser vergleichsweise schnell durch. Feinere Böden mit höherem Tonanteil können Wasser und Nährstoffe stärker zurückhalten.

Zwischen den festen Bodenteilchen befindet sich ein Porenraum, der mit Wasser oder Luft gefüllt sein kann. In einem gut strukturierten Boden können die Poren einen erheblichen Teil des gesamten Bodenvolumens ausmachen. Dadurch entsteht ein Austausch zwischen Wasserspeicherung, Versickerung und Luftversorgung. Die Bodenstruktur unterscheidet sich dabei von der reinen Bodenart. Während die Anteile von Sand, Schluff und Ton relativ stabil sind, kann sich die Struktur durch Wurzeln, Bodenorganismen, Witterung und landwirtschaftliche Bearbeitung verändern.

Eine besondere Bedeutung haben die Lebewesen im Boden. Bakterien, Pilze, Würmer und zahlreiche weitere Organismen, zersetzen organisches Material und machen darin enthaltene Nährstoffe wieder verfügbar. Sie beeinflussen ausserdem die Bildung und Stabilisierung von Bodenaggregaten. Ein bekanntes Beispiel ist der Regenwurm. Durch seine Aktivität entstehen Gänge und Hohlräume, wodurch Wasser und Luft besser in den Boden gelangen können. Bodenorganismen wirken somit direkt auf die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens ein. (Agroscope, o. J.)

Böden erfüllen verschiedene Funktionen. Sie dienen als Lebensraum, speichern und filtern Wasser, regulieren Stoffkreisläufe und ermöglichen die Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln. Gleichzeitig können sie Kohlenstoff speichern und damit eine wichtige Rolle im Klimasystem übernehmen. Diese Funktionen liegen eng zusammen. Eine gute Bodenstruktur verbessert zum Beispiel den Wasserhaushalt, während ein aktives Bodenleben den Umsatz organischer Stoffe unterstützt.

Für die Landwirtschaft bedeutet das, dass die Qualität eines Bodens nicht anhand seiner Nährstoffwerte allein beurteilt werden kann. Ebenso wichtig ist seine Struktur, der Wasser- und Lufthaushalt und die biologische Aktivität. Erst das Zusammenspiel dieser Eigenschaften ermöglicht es einem Boden, seine verschiedenen Funktionen dauerhaft zu erfüllen.

2.2 Humus und Humusaufbau

Humus bezeichnet die organische Substanz des Bodens, die nach der Zersetzung und Umwandlung abgestorbener organischer Materialien zurückbleibt. Zu diesen Ausgangsstoffen gehören beispielsweise Pflanzenreste, Wurzeln, Ernterückstände und organischer Dünger. Ein Teil dieser Materialien wird relativ schnell abgebaut, während andere Bestandteile wesentlich stabiler sind und über längere Zeit im Boden verbleiben können.

Bei der Bildung von Humus sind Bodenorganismen von zentraler Bedeutung. Sie zersetzen organisches Material und verändern dessen Zusammensetzung laufend. Dabei entstehen sowohl leicht verfügbare Stoffe als auch stabilere organische Verbindungen. Der Humus eines Bodens ist deshalb kein einheitlicher Stoff, sondern besteht aus unterschiedlich stabilen Bestandteilen mit unterschiedlichen Verweilzeiten. Teile der organischen Bodensubstanz können innerhalb von Wochen oder Monaten umgesetzt werden, während andere Bestandteile über Jahrzehnte oder noch länger erhalten bleiben.

Humus erfüllt mehrere wichtige Aufgaben im Boden. Er kann Nährstoffe binden und wieder abgeben, trägt zur Bildung stabiler Bodenaggregate bei und beeinflusst dadurch die Bodenstruktur. Zudem besitzt organische Substanz eine hohe Fähigkeit, Wasser zurückzuhalten. Zusammen mit den mineralischen Bodenbestandteilen entstehen dadurch Bedingungen, die sowohl für Pflanzenwurzeln als auch für das Bodenleben günstig sein können. Eine zentrale Eigenschaft von Humus ist seine Verbindung mit der Kationenaustauschkapazität eines Bodens.

Humus trägt durch seine grosse spezifische Oberfläche dazu bei, positiv geladene Nährstoffe wie Calcium, Magnesium und Kalium zu binden. Diese können bei Bedarf wieder an die Bodenlösung abgegeben werden. Dadurch beeinflusst Humus die Nährstoffspeicherung und damit die Fruchtbarkeit des Bodens.

Der Humusgehalt eines Bodens entsteht nicht zufällig, sondern ist das Ergebnis eines ständigen Kreislaufs. Organisches Material gelangt in den Boden, wird von Bodenorganismen umgesetzt und teilweise in stabilere Formen überführt. Gleichzeitig wird er laufend wieder abgebaut. Die Entwicklung des Humusvorrats hängt deshalb vom Verhältnis zwischen Zufuhr und Abbau organischer Substanz ab. Ist der Abbau über längere Zeit grösser als die Zufuhr, nimmt der Humusvorrat ab. Überwiegt die Zufuhr und verbleibt genügend organische Substanz im Boden, kann der Vorrat zunehmen.

Die Geschwindigkeit dieser Prozesse wird unter anderem durch Bodenart, Temperatur, Feuchtigkeit, Sauerstoffversorgung und Bewirtschaftung beeinflusst. Auch die Art des eingetragenen Materials spielt eine Rolle. Wurzeln, Pflanzenreste, Mist und Kompost unterscheiden sich beispielsweise in ihrer Zusammensetzung und darin, wie schnell ihre organische Substanz umgesetzt wird.

Humusaufbau ist deshalb kein kurzfristiger Vorgang. Veränderungen des Humusgehalts können sich über Jahre entwickeln und sind nicht mit wenigen Einzelmessungen zuverlässig zu beurteilen. Genau deshalb sind regelmässige Bodenanalysen wichtig, wenn die langfristige Entwicklung eines Standorts untersucht werden soll.

2.3 Bodengesundheit

Der Begriff Bodengesundheit beschreibt die Fähigkeit eines Bodens, seine natürlichen Funktionen dauerhaft zu erfüllen. Dabei geht es nicht um einen einzelnen idealen Messwert, sondern um das Zusammenspiel verschiedener physikalischer, chemischer und biologischer Eigenschaften. Ein Boden kann beispielsweise genügend Nährstoffe enthalten und trotzdem Probleme bei der Wasseraufnahme oder der Bodenstruktur aufweisen.

Eine wichtige Eigenschaft ist die Bodenstruktur. Sie bestimmt unter anderem, wie Wasser und Luft durch den Boden bewegt werden und wie gut Pflanzenwurzeln wachsen können. Verdichtungen können den Porenraum verändern und dadurch Wasserabfluss, Versickerung und Luftversorgung beeinträchtigen. Landwirtschaftliche Maschinen können die Bodenstruktur insbesondere dann belasten, wenn der Boden bei ungünstiger Feuchte befahren wird. Auch das Bodenleben ist ein wichtiger Bestandteil der Bodengesundheit. (Agroscope, o. J.)

Zudem spielen die chemischen Eigenschaften eine Rolle. Der pH-Wert beeinflusst die Verfügbarkeit verschiedener Nährstoffe und damit die Bedingungen für Pflanzen und Bodenorganismen. Auch die Kationenaustauschkapazität und die Basensättigung geben an, wie ein Boden Nährstoffe speichern und in welcher Form diese vorliegen können. Diese Grössen werden in der landwirtschaftlichen Bodenanalyse deshalb regelmässig berücksichtigt.

Ein zu tiefer pH-Wert kann das Pflanzenwachstum beeinträchtigen, die Nährstoffverfügbarkeit verändern und dadurch zu geringeren Erträgen führen. Zudem können sich andere, säuretolerantere Grasarten durchsetzen und die Zusammensetzung des Pflanzenbestandes verändern. Auf dem Bauernhof Langerlen ist ein tiefer pH-Wert in den höher gelegenen Hanglagen jedoch teilweise standortbedingt und nicht ungewöhnlich, da dort der Boden näher am Ausgangsgestein liegt und auch Moorgebiete vorkommen. Zudem kann Kalk aus dem Gestein langfristig zur natürlichen Regulierung des pH-Wertes beitragen.

Der Wasserhaushalt ist eine weitere wichtige Bodenfunktion. Ein leistungsfähiger Boden kann Niederschlagswasser aufnehmen, zwischenspeichern und den Pflanzen später wieder zur Verfügung stellen. Gleichzeitig muss überschüssiges Wasser ausreichend abgeleitet werden können. Bei Trockenheit wird besonders deutlich, welche Bedeutung ein funktionierender Wasserhaushalt für das Pflanzenwachstum hat.

Bodengesundheit lässt sich deshalb am sinnvollsten über mehrere Merkmale beurteilen. Chemische Bodenanalysen können beispielsweise pH-Wert, Nährstoffversorgung und organische Substanz erfassen. Physikalische Untersuchungen geben Hinweise auf Struktur und Wasserhaushalt, während biologische Beobachtungen die Aktivität des Bodenlebens sichtbar machen können. Eine Kombination verschiedener Methoden liefert dadurch ein umfassenderes Bild als ein einzelner Messwert.

2.4 Kohlenstoffkreislauf und CO2-Speicherung im Boden

Kohlenstoff kommt in verschiedenen Bereichen des Ökosystems vor und wird ständig zwischen diesen ausgetauscht. Für die Landwirtschaft sind vor allem die Zusammenhänge zwischen Atmosphäre, Pflanzen und Boden relevant. Pflanzen nehmen Kohlendioxid aus der Atmosphäre auf und bauen den darin enthaltenen Kohlenstoff in organische Substanz ein. Ein Teil dieser Substanz gelangt über Wurzeln, abgestorbene Pflanzenteile und Ernterückstände in den Boden. Auch Hofdünger und Kompost stellen mögliche Kohlenstoffeinträge dar. Der im Boden vorhandene Kohlenstoff bleibt jedoch nicht vollständig gespeichert. Bodenorganismen bauen organische Materialien ab und nutzen sie unter anderem als Energiequelle. Dabei wird ein Teil des Kohlenstoffs wieder als CO^2 freigesetzt. Im Boden stehen sich deshalb ständig Eintrag und Verlust gegenüber. Ob ein Boden langfristig Kohlenstoff aufbaut oder verliert, hängt von diesem Verhältnis ab.

Die landwirtschaftliche Bewirtschaftung beeinflusst beide Seiten dieses Kreislaufs. Auf Grasland spielt unter anderem die Nutzungsintensität eine Rolle, während bei Ackerkulturen Fruchtfolge und der Verbleib von Pflanzenmaterial entscheidend sind. Auch die Ausbringung von Hofdüngern erhöht den Kohlenstoffeintrag. Auf der anderen Seite können Bodenbearbeitung, Klima, Drainage und andere Faktoren die Geschwindigkeit des Kohlenstoffabbaus beeinflussen.

Damit wird verständlich, weshalb der Bodenkohlenstoff eng mit dem Humushaushalt verbunden ist. Ein Teil des Kohlenstoffs befindet sich in organischer Bodensubstanz und kann dort unterschiedlich lange verbleiben. Stabilere Formen können über lange Zeiträume gespeichert werden, während andere Bestandteile wesentlich schneller umgesetzt werden. Ein Anstieg der organischen Substanz bedeutet deshalb grundsätzlich eine zusätzliche Bindung von Kohlenstoff, garantiert aber keine dauerhafte Speicherung.

Die Bedeutung landwirtschaftlicher Böden für das Klima zeigt sich auch in den Schweizer Untersuchungen. Landwirtschaftliche Böden können je nach Bewirtschaftung sowohl als CO^2-Quelle, aber auch als CO^2-Senke wirken. Für die Schweiz werden deshalb jährlich Veränderungen der Kohlenstoffvorräte landwirtschaftlicher Böden im Rahmen des Treibhausgasinventars berechnet. Dafür werden Angaben zu Nutzung, Klima, Bodeneigenschaften, Pflanzenproduktion und Hofdüngereinträgen berücksichtigt.

2.5 Nachhaltige Bewirtschaftung und Humusaufbau

Die Landwirtschaft ist darauf angewiesen, dass Boden, Wasser, Luft und weitere natürliche Ressourcen langfristig verfügbar bleiben. Nachhaltige Landwirtschaft verfolgt deshalb das Ziel, landwirtschaftliche Produktion und den Erhalt dieser natürlichen Grundlagen miteinander zu verbinden. Dabei geht es nicht nur um die aktuelle Ertragsleistung einer Fläche, sondern auch darum, ihre Produktivität für zukünftige Generationen zu erhalten.

Der Boden nimmt dabei eine besondere Stellung ein. Seine Eigenschaften entwickeln sich langsam, während Veränderungen durch Bewirtschaftung teilweise innerhalb weniger Jahre oder sogar kürzer sichtbar werden können. Verdichtung, Erosion oder der Verlust organischer Substanz können die natürlichen Bodenfunktionen beeinträchtigen. Gleichzeitig ist die Entstehung neuer Böden ein sehr langsamer Prozess. Ein nachhaltiger Umgang mit dem Boden setzt deshalb voraus, dass Belastungen möglichst vermieden und seine Funktionen erhalten werden. Der Begriff regenerative Landwirtschaft wird für Ansätze verwendet, die nicht nur den Erhalt bestehender Bodenfunktionen anstreben, sondern die Verbesserung, beziehungsweise Regeneration, in den Mittelpunkt stellen. Im Fokus stehen häufig ein aktives Bodenleben, der Aufbau organischer Substanz, eine möglichst lange Bodenbedeckung und der Aufbau stabiler Bodenstrukturen. Dabei werden verschiedene Massnahmen miteinander kombiniert und an die jeweiligen Standortbedingungen angepasst.

Nachhaltigkeit bedeutet dabei nicht, dass auf jedem Betrieb dieselben Methoden eingesetzt werden müssen. Bodenart, Klima, Topografie, Nutzung und betriebliche Voraussetzungen unterscheiden sich teilweise erheblich. Eine Massnahme, die auf einem bestimmten Standort gut funktioniert, kann unter anderen Bedingungen weniger geeignet sein. Die Bedeutung einer standortangepassten Bewirtschaftung und die Kenntnis der Wechselwirkungen zwischen Boden, Pflanzen, Wasser und Bodenorganismen spielen also eine grosse Rolle.

Auch für die Landwirtschaft wird die Anpassung an veränderte klimatische Bedingungen wichtiger. Ein gut funktionierender Boden kann Wasser speichern, Pflanzen mit Nährstoffen versorgen und Extreme besser abpuffern. Gleichzeitig kann ein höherer Kohlenstoffvorrat einen Beitrag zur Klimawirkung der Landwirtschaft leisten. Die Optimierung von Bodenfunktionen ist damit sowohl für die Produktion als auch für den Umgang mit Umwelt- und Klimaveränderungen relevant. Nachhaltige und regenerative Landwirtschaft bildet somit den übergeordneten Rahmen für verschiedene Bewirtschaftungsansätze.

2.6 Bewirtschaftungsmethoden für den Humusaufbau

Der Humushaushalt wird durch die Menge und Zusammensetzung der organischen Einträge sowie durch deren Abbau beeinflusst. Landwirtschaftliche Bewirtschaftung kann deshalb an verschiedenen Stellen ansetzen: organische Stoffe können gezielt in den Boden zurückgeführt oder die Bedingungen für das Bodenleben und die Bodenstruktur verbessert werden. Welche Massnahmen sinnvoll sind, hängt vom Standort und vom Betrieb ab.

2.6.1 Kompostierung

Kompostierung ist ein biologischer Prozess, bei dem organische Materialien unter kontrollierten Bedingungen abgebaut und umgewandelt werden. Mikroorganismen übernehmen dabei einen wesentlichen Teil der Arbeit. Je nach Zusammensetzung des Ausgangsmaterials und den vorherrschenden Bedingungen verändern sich Temperatur, Feuchtigkeit, Sauerstoffversorgung und mikrobielle Aktivität während des Prozesses.

Bei einer klassischen Kompostierung steht die aerobe Rotte im Vordergrund. Dabei steht ausreichend Sauerstoff zur Verfügung und leicht abbaubare organische Stoffe werden durch Mikroorganismen umgesetzt. Die dabei freiwerdende Energie führt zu einer Erwärmung des Materials. Die Temperaturentwicklung ist ein wichtiger Hinweis auf den Verlauf der Rotte und kann bei ausreichender Höhe auch zur Hygienisierung beitragen. Das ist ein Prozess, bei dem Krankheitserreger und Unkrautsamen durch die Hitze oder biologische Aktivitäten im Kompost abgetötet werden.

Davon zu unterscheiden ist die Fermentation, bei der die Umwandlung organischer Stoffe unter Sauerstoffabschluss stattfindet. Dabei entstehen unter anderem organische Säuren und weitere Stoffwechselprodukte. Fermentative Verfahren verfolgen deshalb einen anderen Prozess als die klassische aerobe Kompostierung und müssen hinsichtlich ihrer Wirkung getrennt betrachtet werden.

Auch Fäulnis findet unter Sauerstoffmangel statt. Die dabei ablaufenden Abbauprozesse unterscheiden sich jedoch von einer kontrollierten Fermentation. Je nach Ausgangsmaterial können unerwünschte Stoffe und intensive Gerüche entstehen. Für die Herstellung eines qualitativ guten Komposts ist deshalb entscheidend, die Bedingungen so zu steuern, dass der gewünschte Abbauprozess gefördert und Fäulnis vermieden wird.

Feuchtigkeit, Sauerstoff und Temperatur stehen dabei im Zusammenhang. Ein zu trockener Kompost kann seine biologische Aktivität verlieren, während zu viel Wasser den Luftaustausch einschränkt. Durch das Umsetzen kann das Material neu durchmischt und mit Sauerstoff versorgt werden.

Die Zusammensetzung des Ausgangsmaterials beeinflusst zusätzlich, wie schnell und in welcher Form die organische Substanz abgebaut wird. Mit zunehmender Reife verändert sich der Kompost. Leicht abbaubare Bestandteile werden zunehmend umgesetzt, die Temperatur sinkt und die Struktur wird gleichmässiger. Der fertige Kompost enthält einen höheren Anteil stabilerer organischer Substanz als das ursprüngliche Material. Bei einer späteren Ausbringung in den Boden endet der biologische Prozess jedoch nicht vollständig: Auch dort wird ein Teil der organischen Substanz weiter umgesetzt.

Während der Heissrotte liegt die optimale Temperatur bei etwa 60–65 °C. In diesem Temperaturbereich arbeiten wärmeliebende Mikroorganismen besonders aktiv und bauen das organische Material ab. Steigt die Temperatur jedoch deutlich über 70 °C, werden auch nützliche Mikroorganismen geschädigt oder sterben ab. Dadurch wird der gewünschte Rotteprozess beeinträchtigt. Deshalb ist es wichtig, die Temperatur während der Kompostierung regelmässig zu kontrollieren (Logo & Weibel, 2018).

Für die Landwirtschaft ist Kompost deshalb auf zwei Ebenen interessant. Einerseits können darin enthaltene Nährstoffe zur Pflanzenversorgung beitragen. Andererseits wird organische Substanz in den Boden zurückgeführt, die Bestandteil des Humushaushalts werden kann. Wie gross dieser Beitrag ausfällt, hängt unter anderem von Reifegrad, Ausgangsmaterial und Bodenbedingungen ab.

2.6.2 Mistwirtschaft

Mist entsteht als Teil der Tierhaltung und enthält sowohl Nährstoffe als auch organische Substanz. Dadurch kann er nach entsprechender Behandlung wieder in den betrieblichen Nährstoffkreislauf zurückgeführt werden. Seine Wirkung auf den Boden hängt dabei nicht nur von der Menge, sondern auch von Zusammensetzung und Reifegrad ab.

Frischer Mist durchläuft nach seiner Entstehung weitere biologische Prozesse. Während der Lagerung wird ein Teil der organischen Substanz abgebaut und das Material verändert seine Struktur. Wird der Prozess gezielt gesteuert und weitergeführt, kann daraus Rottemist, beziehungsweise Mistkompost entstehen. Mit zunehmendem Reifegrad verändert sich damit auch die Wirkung des Materials nach der Ausbringung. Für den Humushaushalt ist besonders interessant, dass Mist sowohl schnell umsetzbare als auch stabilere organische Bestandteile enthält. Ein Teil wird relativ rasch mineralisiert und stellt Nährstoffe zur Verfügung, während andere Bestandteile länger im Boden verbleiben können. Die Behandlung des Mistes entscheidet darüber, welcher Anteil seiner organischen Substanz im Boden weiter umgesetzt wird.

2.6.3 Organische Düngung, Nährstoffkreislauf und Ammoniakverluste

Organische Dünger bringen Nährstoffe zurück in den landwirtschaftlichen Betriebskreislauf. Die Wirkung hängt davon ab, in welcher Form die Nährstoffe vorliegen und wie schnell sie während des Abbaus freigesetzt werden. Anders als bei leicht löslichen Düngern wird ein Teil der Nährstoffe aus organischem Material erst nach und nach für Pflanzen verfügbar. Dadurch ist die Wirkung weniger schnell, dafür kann sie sich über einen langen Zeitraum erstrecken.

Eine wichtige Rolle dabei spielt der Stickstoff. Während der Lagerung und Ausbringung von Hofdünger kann ein Teil davon als Ammoniak (NH^3) in die Atmosphäre entweichen. Für den Betrieb bedeutet das einen Verlust an düngewirksamen Stickstoff. Ausserdem kann das über die Luft verbreitete Ammoniak in empfindliche Ökosysteme zur Überdüngung und Übersäuerung beitragen.

In der Praxis geht es aber nicht darum, Ammoniak im Boden zu speichern, sondern Stickstoffverluste möglichst gering zu halten und den vorhandenen Stickstoff effizient für den Pflanzenwachstum zu nutzen. Dafür sind unteranderem die Lagerung, der Zeitpunkt der Ausbringung, die Witterung und die Ausbringungstechnik. Die Nährstoffe sollen möglichst dann ausgebracht werden, wenn die Pflanzen sie aufnehmen können. Auch durch eine schnelle Lagerung an der Miete und/oder Einarbeitung können Verluste reduziert werden.

2.6.4 Weitere relevante Methoden

Neben der Kompostierung und der angepassten Hofdüngerwirtschaft gibt es weitere Massnahmen, die den Erhalt und Aufbau organischer Bodensubstanz unterstützen können. Dazu gehören eine möglichst durchgehende Bodenbedeckung, die Rückführung geeigneter Pflanzenreste, eine angepasste Bodenbearbeitung, sowie die Vermeidung von Erosion und Bodenverdichtung. Solche Massnahmen beeinflussen, wie viel organisches Material im System verbleibt und wie günstig die Bedingungen für dessen Umsetzung sind.

Welche Massnahmen sinnvoll sind, hängt von den Standortbedingungen und der Bewirtschaftung des jeweiligen Betriebs ab. Für den Betrieb Langerlen sind deshalb nicht nur die beiden Komposthaufen und die untersuchten Flächen von Bedeutung. Auch die bestehende Wiesennutzung sowie die Moorflächen und Hecken gehören zur betrieblichen Ausgangslage.

Die verschiedenen Bewirtschaftungsmethoden zeigen, dass organische Düngung nicht auf die blosse Zufuhr von Nährstoffen reduziert werden kann. Ihre Wirkung hängt davon ab, wie Materialien aufbereitet und eingesetzt werden, welche Nährstoffe sie enthalten und welche langfristigen Veränderungen sie im Boden unterstützen können. Die praktischen Untersuchungen auf dem Bauernhof Langerlen liefern dazu konkrete Beobachtungen, die anschliessend mit wissenschaftlichen Erkenntnissen verglichen werden.

3 Praxisbetrieb Bauernhof Langerlen

3.1 Vorstellung des Betriebs

Der Bauernhof Langerlen wird von der Familie Bühler in Schwarzenberg geführt und besteht aus den beiden Parzellen Langerlen und Oberärtig.

Der Hauptbetrieb Langerlen liegt auf 810-920 m ü. M. und gehört zur Bergzone 2. Die Fläche umfasst 20 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche und 11 ha Wald. Die zweite Parzelle Oberärtig liegt am Fuss der Pilatuskette auf 1300-1370 m ü. M. und gehört zur Bergzone 3. Dort stehen weitere 7 ha landwirtschaftliche Nutzfläche und 1,6 ha Wald zur Verfügung. Die durchschnittliche Niederschlagsmenge des gesamten Betriebs beträgt rund 2000 mm pro Jahr.

Bewirtschaftet wir der Hof nach den Richtlinien des Ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN). Dabei werden auch Elemente aus der biologischen und regenerativen Landwirtschaft, sowie Permakultur einbezogen. Die Familie Bühler legt dabei Wert auf sorgfältigen Umgang mit natürlichen Ressourcen und verbindet moderne Ansätze mit traditionellem landwirtschaftlichem Handwerk.

Zum Hof gehören verschiedene Betriebszweige. Sie halten unter anderem eine Mutterkuhherde, Forellen und Bienen. Auch Obstbäume gehören zum Hof und ergänzen die Landwirtschaftliche Vielfalt. Auch eine Wasserquelle stellt einen natürlichen Bestandteil dar. Die verschiedenen Nutzungen zeigen, dass der Hof nicht aus einzelnen Landwirtschaftsflächen besteht, sondern aus einem vielseitigen System, in dem Tiere, Pflanzen, Wasser und Boden miteinander verbunden sind.

Ein wichtiger Bestandteil des Betriebs ist der Umgang mit den hofeigenen Stoffkreisläufen. Der anfallende Mist wird auf dem Hof zu Kompost verarbeitet. Zusätzlich werden effektive Mikroorganismen (EM) gezüchtet. Dadurch werden organische Materialien wieder in den betrieblichen Kreislauf zurückgeführt und für die weitere Bewirtschaftung nutzbar gemacht.



Abbildung 1 - Bauernhof Langerlen (eigene Aufnahme)

3.2 Flächen und Nutzungszonen

Der Bauernhof Langerlen umfasst zwei räumlich voneinander getrennte Gebiete: den Talbetrieb Langerlen und die höher gelegene Parzelle Oberärtig. Wie in Abbildung 2 ersichtlich ist, liegen die beiden Flächen ungefähr 2,8 km Luftlinie auseinander. Trotz der vergleichsweisen geringen Distanz unterscheiden sie sich deutlich hinsichtlich Höhenlage, landwirtschaftlicher Nutzung und natürlicher Gegebenheiten.

Der Bereich Langerlen liegt auf einer Höhe von etwa 810 bis 920 m ü. M. und wird der Bergzone II zugeordnet. Oberärtig befindet sich dagegen auf rund 1300 bis 1370 m ü. M. in der Bergzone III. Die landwirtschaftliche Nutzfläche beträgt laut Betriebsangaben rund 20 ha für die Parzelle Langerlen und 7 ha für die Parzelle in Oberärtig. Zusätzlich sind auf den beiden Gebieten Waldflächen vorhanden. Oberärtig wird vom Betrieb als Flachmoorgebiet am Fuss der Pilatuskette beschrieben (Bauernhof Langerlen, o. J.).



Abbildung 2 - Parzelle Langerle und Oberärtig (Geo Map LU)

3.2.1 Parzelle Langerlen

Die Abgrenzung der Parzelle Langerlen ist in Abbildung 3 dargestellt. Das Gebiet umfasst grössere zusammenhängende Grünlandflächen, den Hofbereich, sowie angrenzende Waldpartien. Die verschiedenen Kartenebenen zeigen, dass sich innerhalb und im Umfeld der Parzelle neben den landwirtschaftlich genutzten Flächen auch kleinere ökologisch wertvolle Bereiche befinden. (Geoportal LU)



Abbildung 3 - Parzelle Langerle (Geo Map LU)

NHG-Vertragsflächen und naturschutzrelevante Bereiche

In Abbildung 4 sind die NHG-Vertragsflächen ersichtlich. Im südöstlichen Bereich der dargestellten Fläche ist eine entsprechende Vertragsfläche eingetragen. Solche Vertragsflächen betreffen geschützte oder schutzwürdige Lebensräume, deren Erhaltung durch besondere Bewirtschaftungs- und Pflegevorgaben sichergestellt werden soll.

Im Kanton Luzern werden dafür zwischen der Dienststelle Landwirtschaft und Wald und den bewirtschaftenden Naturschutzverträge abgeschlossen. Darin werden die Anforderungen an die jeweilige Fläche festgelegt. Je nach Schutzziel können beispielsweise besondere Schnittzeitpunkte, eine gestaffelte Mahd, zusätzliche Pflegearbeiten oder Erschwernisstufen vorgeschrieben sein. Die entsprechenden Naturschutzbeiträge werden zusätzlich zu den regulären Direktzahlungen ausbezahlt. Die Vertragsbedingungen haben dabei Vorrang gegenüber den allgemeinen Anforderungen der Qualitätsstufe II und der Vernetzung (lawa, o. J.-b).

Ein separater Bodenbedeckungsauszug weist für die Parzelle Längerlen/Musegg zudem rund 8635 m² als Kategorie «Hoch-, Flachmoor» aus. Diese kartografische Klassierung weist auf einen entsprechenden Landschafts- beziehungsweise Lebensraumtyp hin. Sie ist jedoch nicht gleichzusetzen mit einem rechtskräftigen Schutzstatus der gesamten ausgewiesenen Fläche. Dafür sind die entsprechenden Inventare, Schutzverordnungen oder Naturschutzverträge massgebend.

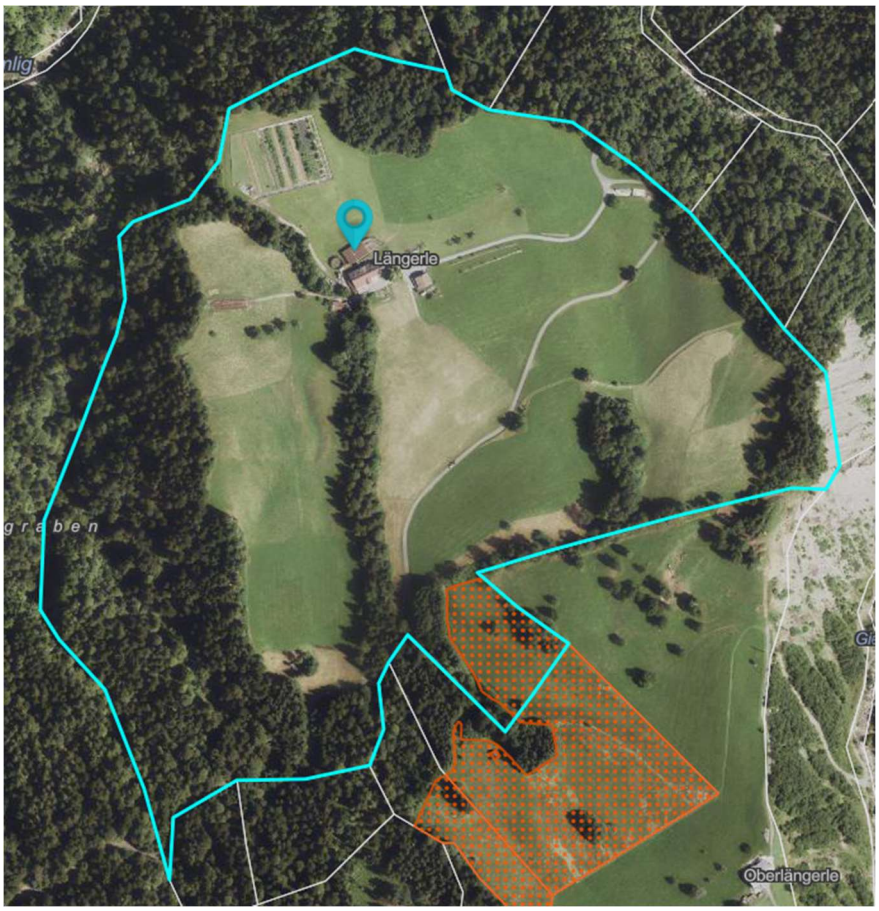


Abbildung 4 - NHG-Vertragsflächen (Geo Map LU)

Biodiversitätsförderflächen Qualität I und II

Die Abbildung 5 zeigt die Biodiversitätsförderflächen der Qualitätsstufe I (BFF QI). Diese liegen auf der Langerlen nicht gleichmässig verteilt, sondern befinden sich vor allem in einzelnen Teilbereichen der Fläche. In Abbildung 6 sind zusätzlich die Flächen der Qualitätsstufe II (BFF QII) dargestellt. Diese konzentrieren sich vorwiegend im südlichen bis südöstlichen Bereich.

Die beiden Qualitätsstufen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Anforderungen an die biologische Qualität. Während die Qualitätsstufe I grundlegende Anforderungen an eine biodiversitätsfördernde Bewirtschaftung stellt, müssen für die Qualitätsstufe II zusätzliche botanische oder strukturelle Qualitätskriterien erfüllt sein. Im Kanton Luzern wird die Qualitätsstufe II durch Fachpersonen im Feld beurteilt.

Bei extensiv genutzten Wiesen und Streueflächen spielen dabei regelmässig vorkommende Zeigerpflanzen eine wichtige Rolle. Bei extensiven Weiden können zusätzlich wertvolle Lebensraumstrukturen berücksichtigt werden (Dienststelle Landwirtschaft und Wald [lawa], o. J.-a).

Für diese Flächen können Biodiversitätsbeiträge ausgerichtet werden. Die Höhe hängt von der Nutzungsart und der landwirtschaftlichen Zone ab. Die ausgewiesenen Flächen sind somit nicht einfach ungenutzte Bereiche, sondern können durch ihre ökologische Qualität einen zusätzlichen Wert für den Betrieb darstellen.

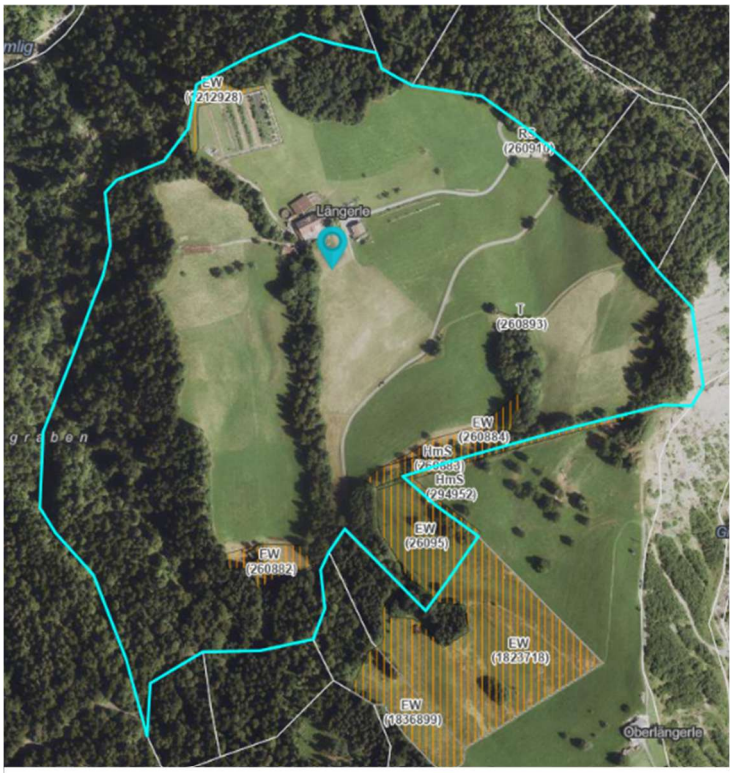


Abbildung 5 - Biodiversitätsförderflächen Qualität I (Geo Map LU)

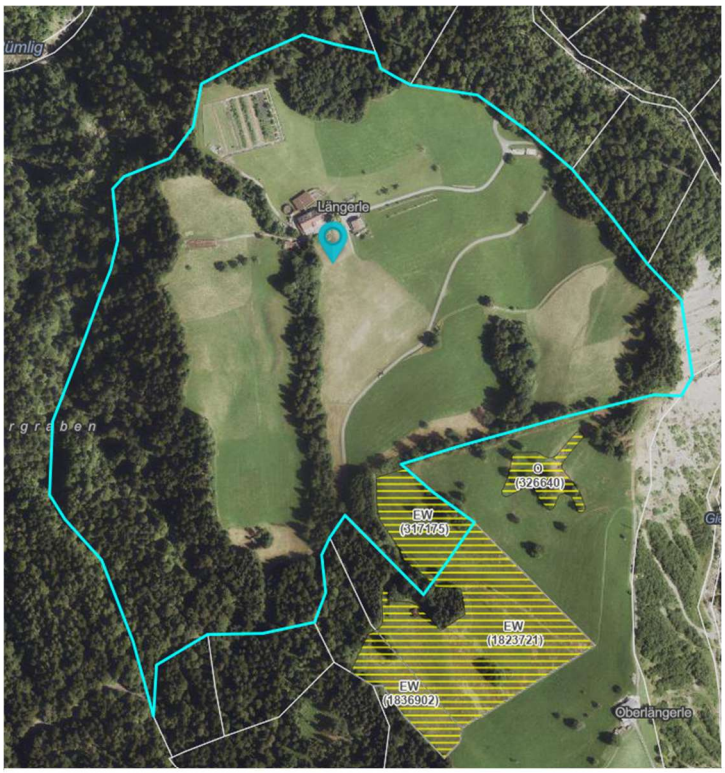


Abbildung 6 - Biodiversitätsförderflächen Qualität II (Geo Map LU)

Landwirtschaftliche Nutzflächen und Nutzungsarten

Abbildung 7 zeigt die landwirtschaftlichen Nutzflächen und ihre unterschiedlichen Nutzungsarten. Den grössten Anteil bilden Dauerwiesen. Daneben sind kleinere Bereiche mit anderen Nutzungsarten wie Dauerweiden, Streueflächen und Gehölzstrukturen erkennbar. Die Karte verdeutlicht damit, dass die Fläche nicht ausschliesslich aus einheitlich genutztem Grünland besteht, sondern verschiedene Landschaftselemente aufweist.

Die kleineren und teilweise weniger intensiv nutzbaren Teilflächen können aus ökologischer Sicht eine wichtige Funktion erfüllen. Insbesondere Gehölze, Waldränder und kleinere Rückzugsbereiche können Lebensräume und Verbindungen für verschiedene Tier- und Pflanzenarten darstellen. Werden solche Bereiche als anerkannte Biodiversitätsförderflächen geführt und erfüllen sie die entsprechenden Anforderungen, können sie ebenfalls beitragsberechtigt sein.

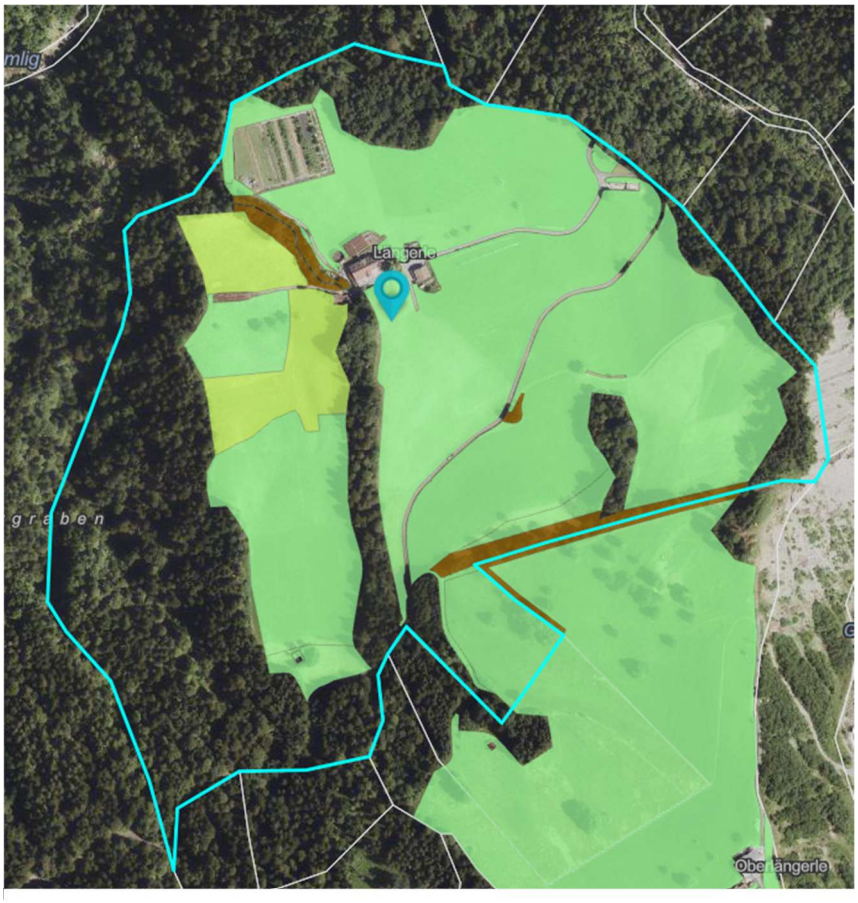


Abbildung 7 - Landwirtschaftliche Nutzflächen (Geo Map LU)



Abbildung 8 - Legende Nutzungsart (Geo Map LU)

Bewirtschaftung und Betriebliche Infrastruktur

Die Abbildung 9 zeigt zusätzliche Informationen zur Bewirtschaftung. Die Legende umfasst unter anderem den Landwirtschaftsbetrieb, Produktionsstätten, Bewirtschaftungseinheiten, Flächenüberträge, sowie eingetragene Bienenstandorte. Ein Bienenstandort ist im Kartenausschnitt als aktiv gekennzeichnet.

Diese Informationen ergänzen die reine Darstellung der Flächennutzung um betriebliche und räumliche Angaben. Sie zeigen, dass die Fläche nicht nur aus einzelnen Wiesen- und Waldstücken besteht, sondern auch verschiedene betriebliche Einheiten und weitere Nutzungen umfasst. Es handelt sich dabei allerdings nicht um eine Karte der Direktzahlungsbeiträge. Die Einträge zu den Bienenstandorten oder Bewirtschaftungseinheiten bedeuten deshalb nicht automatisch, dass dafür separate Beiträge ausbezahlt werden.

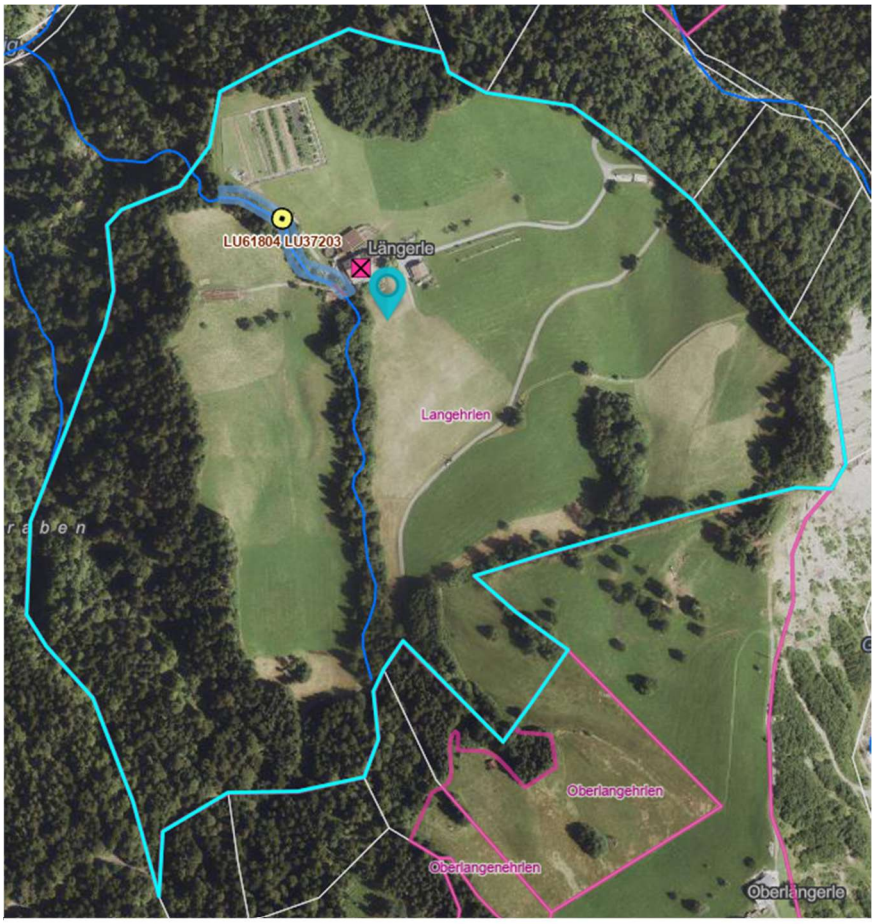


Abbildung 9 - Bewirtschaftung (Geo Map LU)

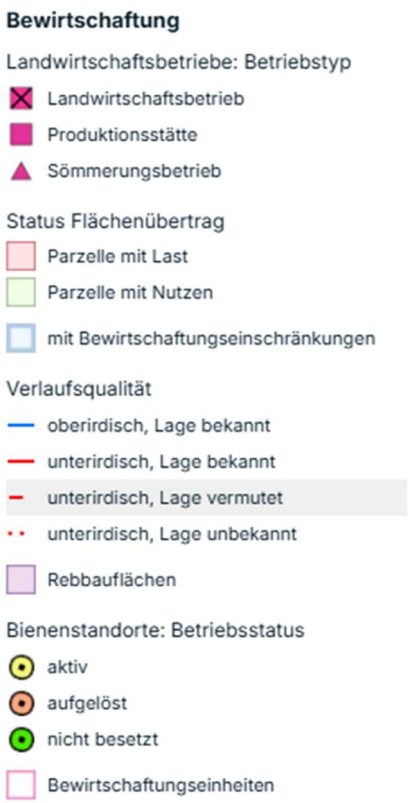


Abbildung 10 - Legende Bewirtschaftung (Geo Map LU)

Hanglagen und landwirtschaftliche Zonen

Die Hanglagenkarte in Abbildung 11 zeigt, dass die Flächen unterschiedliche Neigungen aufweisen. Die Legende unterscheidet zwischen Hangneigungen unter 18 %, zwischen 18 und 35 %, zwischen 35 und 50 %, sowie über 50 %. Im zentralen Bereich sind grössere, weniger stark geneigte Flächen zu erkennen. An den Rändern und in einzelnen Übergangsbereichen treten deutlich steilere Bereiche auf.

Diese Unterschiede sind auch aus finanzieller Sicht relevant. Die Direktzahlungsverordnung sieht für die Mähnutzung von Hangflächen abgestufte Beiträge vor. Im Beitragsjahr 2026 beträgt der Hangbeitrag für Flächen mit einer Neigung zwischen 18 und 35 % 410 Franken pro Hektare und Jahr. Bei einer Neigung von über 35 bis 50 % sind es 700 Franken pro Hektare und Jahr. Zusätzlich gibt es einen betriebsbezogenen Steillagenbeitrag, sofern ein genügend grosser Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche als Mähfläche mit mehr als 35 % Hangneigung bewirtschaftet wird (Schweizerischer Bundesrat, 2026).



Abbildung 11 - Hanglagen (Geo Map LU)

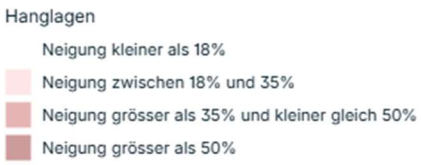


Abbildung 12 - Legende Hanglagen (Geo Map LU)

Die landwirtschaftliche Zoneneinteilung ist in Abbildung 13 dargestellt. Langerlen wird vom Betrieb hauptsächlich der Bergzone II zugeordnet. Die Zoneneinteilung beeinflusst neben den Produktionsbedingungen auch verschiedene Direktzahlungen. Beispielsweise beträgt der Produktionserschwernisbeitrag im Jahr 2026 in der Bergzone II 550 Franken pro Hektare und Jahr. Diese Beiträge sollen die zusätzlichen Herausforderungen der landwirtschaftlichen Produktion in höher gelegenen Gebieten berücksichtigen.



Abbildung 13 - Grundlagen (Geo Map LU)



Abbildung 14 - Legende Landwirtschaftliche Zonen (Geo Map LU)

3.2.2 Parzelle Oberärtig

Die Parzelle Oberärtig unterscheidet sich bereits durch ihre Lage deutlich vom Gebiet Langerlen. Wie Abbildung 15 zeigt, handelt es sich um eine längliche, vergleichsweise schmale Fläche, die von Wald- und weiteren Grünlandbereichen umgeben ist. Mit einer Höhe von rund 1300 bis 1370 m ü. M. liegt sie ungefähr 400 bis 500 Höhenmeter über dem Betriebsbereich Langerlen. Die Fläche wird der Bergzone III zugeordnet und weist eine nordwestliche Ausrichtung auf (Bauernhof Langerlen, o. J.).

Der Betrieb beschreibt Oberärtig als Flachmoorgebiet am Fuss der Pilatuskette. Auch die GIS-Auszüge zeigen die besondere Bedeutung dieses Gebietes für den Natur- und Landschaftsschutz.

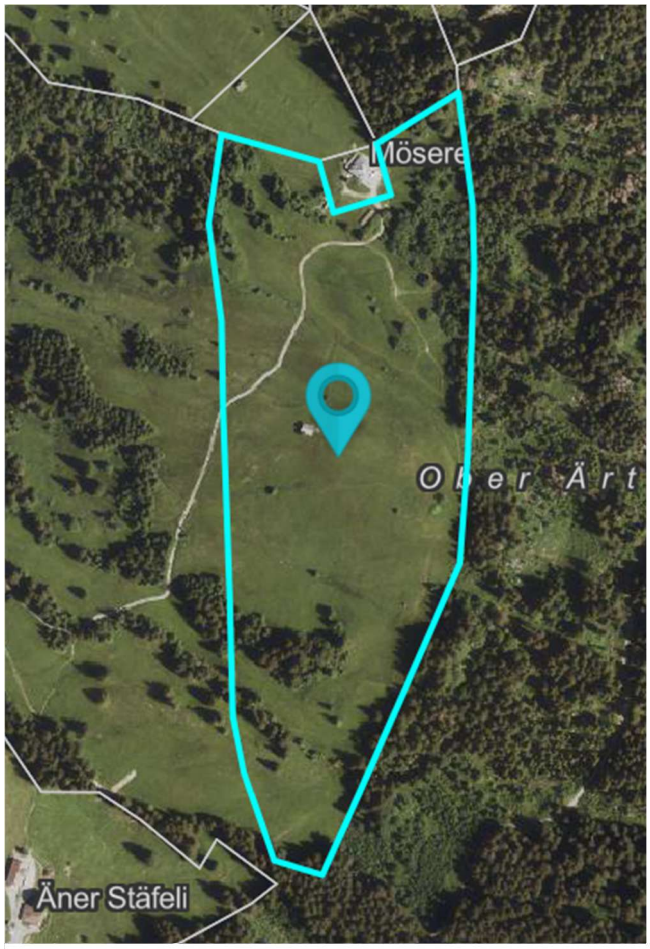


Abbildung 15 - Parzelle Oberärtig (Geo Map LU)

NHG-Vertragsflächen und Moorgebiete

In Abbildung 16 ist die Verteilung der NHG-Vertragsflächen dargestellt. Ein grosser Teil der Parzelle ist mit der entsprechenden Flächensignatur gekennzeichnet. Dies verdeutlicht die Bedeutung der Fläche für den Naturschutz und zeigt, dass die Nutzung nicht ausschliesslich unter landwirtschaftlichen Gesichtspunkten betrachtet werden kann.

Auch der separate Bodenbedeckungsauszug weist für Oberärtig eine grosse Fläche von rund 76 119 m² beziehungsweise 7,61 ha in der Kategorie «Hoch-, Flachmoor» aus. Diese Angabe unterstreicht den moorgeprägten Charakter des Gebietes. Wie bereits bei Langerlen gilt jedoch, dass die Bodenbedeckungskategorie allein keinen vollständigen Nachweis über den rechtlichen Schutzstatus liefert. Die NHG-Vertragsflächen und die dazugehörigen Vereinbarungen sind hierfür separat zu betrachten.

Die Pflege von Moorflächen ist mit besonderen Anforderungen verbunden. Je nach Lebensraum und Schutzziel können beispielsweise späte Schnittzeitpunkte, eine angepasste Mahd oder zusätzliche Pflegearbeiten vorgeschrieben sein. Im Kanton Luzern bestehen dafür neben den regulären Biodiversitätsbeiträgen zusätzliche Naturschutzbeiträge. Diese können unter anderem besondere Erschwernisse bei der Bewirtschaftung, gestaffelte Mahd oder Pflegekonzepte für extensive Moorweiden abgelten (lawa, o. J.-b).

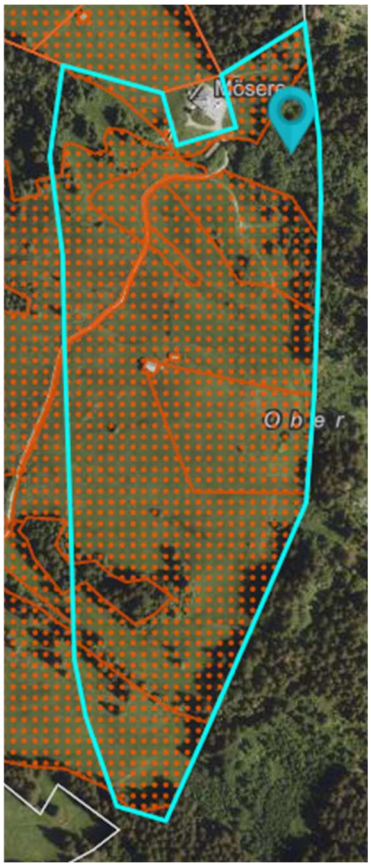


Abbildung 16 - NHG-Vertragsflächen

Biodiversitätsförderflächen Qualität I und II

Die Abbildung 17 und Abbildung 18 zeigen die Biodiversitätsförderflächen der Qualitätsstufen I und II. Im Vergleich zu Langerlen sind auf Oberärtig grossflächigere und über einen grösseren Teil der Parzelle verteilte Förderflächen zu erkennen. Die Eintragungen weisen darauf hin, dass die Biodiversitätsförderung auf diesem Gebiet einen wichtigen Stellenwert einnimmt.

Gerade bei Streueflächen und extensiv genutzten Wiesen ist die botanische Qualität entscheidend. Eine ausreichende Anzahl an regelmässig vorkommenden Zeigerpflanzen kann die Einstufung in die Qualitätsstufe II ermöglichen. Damit wird nicht nur die Fläche als solche berücksichtigt, sondern auch ihre tatsächliche ökologische Qualität. Die Anforderungen werden durch Fachpersonen kontrolliert und dokumentiert (lawa, o. J.-a).



Abbildung 17 - Biodiversitätsförderflächen Qualität II (Geo Map LU)



Abbildung 18 - Biodiversitätsförderflächen Qualität I (Geo Map LU)

Landwirtschaftliche Nutzflächen und Nutzungsarten

Die Abbildung 19 zeigt die landwirtschaftlichen Nutzungsarten auf Oberärtig. Ein grosser Teil der Fläche ist als Streufläche ausgewiesen. Daneben sind kleinere Teilbereiche mit Dauerwiesen und Dauerweiden erkennbar. Diese Aufteilung passt zum moorgeprägten Charakter des Gebietes und unterscheidet sich deutlich von den überwiegend als Dauerwiesen ausgewiesenen Flächen in Langerlen.

Streuflächen besitzen insbesondere für Pflanzen- und Tierarten feuchter Lebensräume eine Bedeutung. Ihre Bewirtschaftung ist deshalb an besondere Vorgaben gebunden. Gemäss Direktzahlungsverordnung dürfen Streuflächen grundsätzlich nicht vor dem 1. September geschnitten werden. Bei bestehenden NHG-Verträgen können zusätzliche oder abweichende Pflegevorgaben festgelegt sein (Schweizerischer Bundesrat, 2026).

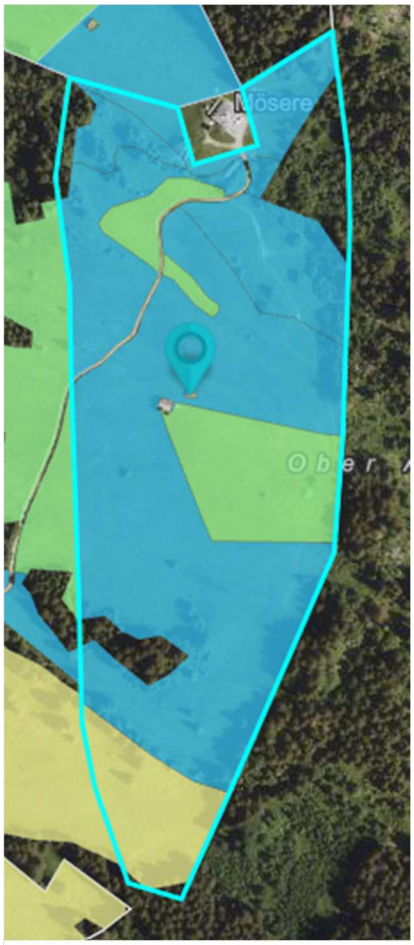


Abbildung 19 - Landwirtschaftliche Nutzflächen (Geo Map LU)



Abbildung 20 - Legende Nutzungsart (Geo Map LU)

Hanglagen und landwirtschaftliche Zonen

Die Hanglagenkarte in Abbildung 21 zeigt, dass Oberärtig deutlich stärker von geneigtem Gelände geprägt ist. Innerhalb der Parzelle sind verschiedene Neigungsklassen zu erkennen, darunter grössere Bereiche mit Hangneigungen zwischen 18 und 35 % sowie Teilbereiche mit über 35 %. Vereinzelt sind auch besonders steile Abschnitte mit mehr als 50 % Hangneigung ausgewiesen.

Solche Hanglagen können die Bewirtschaftung erschweren und den Arbeitsaufwand erhöhen. Gleichzeitig können sie, sofern es sich um beitragsberechtigte Mähflächen handelt und die weiteren Voraussetzungen erfüllt sind, Grundlage für Hang- und Steillagenbeiträge bilden. Die Karte zeigt dabei die topografische Ausgangslage, aber nicht automatisch die effektiv beitragsberechtigte Fläche.



Abbildung 21 - Hanglagen (Geo Map LU)

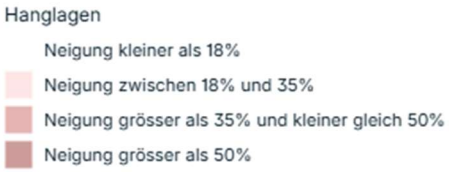


Abbildung 22 - Legende Hanglagen (Geo Map LU)

Die landwirtschaftliche Zoneneinteilung ist in Abbildung 23 dargestellt. Oberärtig befindet sich in der Bergzone III. Im Vergleich zur Bergzone II von Langerlen ist diese Zone mit noch grösseren Produktionserschwernissen verbunden. Der Produktionserschwernisbeitrag beträgt im Jahr 2026 in der Bergzone III 570 Franken pro Hektare und Jahr. Auch der Offenhaltungsbeitrag ist mit 380 Franken pro Hektare höher als in der Bergzone II. Damit werden die erschwerten Produktionsbedingungen und die Bedeutung der Offenhaltung höher gelegener Landwirtschaftsflächen berücksichtigt (Schweizerischer Bundesrat, 2026).



Abbildung 23 - Grundlagen (Geo Map LU)



Abbildung 24 - Legende Landwirtschaftliche Zonen (Geo Map LU)

Förderbeiträge für besondere Landschaftselemente

Neben den flächenbezogenen Beiträgen für Wiesen, Weiden und Streuflächen bestehen weitere Fördermöglichkeiten für einzelne Landschaftselemente. Dazu gehören beispielsweise Hochstamm-Obstbäume, standortgerechte Einzelbäume, Alleen und Kleinstrukturen. Solche Elemente können einen wichtigen Beitrag zur ökologischen Vernetzung und zur Strukturvielfalt der Landschaft leisten.

Für Hochstamm-Feldobstbäume sieht die Direktzahlungsverordnung Beiträge der Qualitätsstufen I und II vor. Im Jahr 2026 beträgt der Beitrag für die meisten Hochstamm-Feldobstbäume 13.50 Franken pro Baum und Jahr mit Qualitätsstufe I. Wird zusätzlich die Qualitätsstufe II erfüllt, kommen 31.50 Franken pro Baum und Jahr hinzu. (Schweizerischer Bundesrat, 2026).

Auch einzelne standortgerechte Bäume können im Kanton Luzern über Landschaftsqualitätsbeiträge unterstützt werden. Für den Erhalt angemeldeter Einzelbäume sieht das kantonale Programm beispielsweise jährliche Beiträge von 30 Franken bei einem Stammumfang von 10 bis 120 cm und 50 Franken bei einem grösseren Stammumfang vor. Für die Neupflanzung geeigneter Einzelbäume besteht zudem ein einmaliger Pflanzbeitrag. Dabei gelten unter anderem Mindestabstände zu Wald und Hecken. Wichtig ist, dass ein angemeldeter Baum, der während der Verpflichtungsdauer abstirbt oder entfernt werden muss, im folgenden Herbst oder Winter ersetzt werden muss. Ein verdorrter Baum ist somit nicht automatisch selbst beitragsberechtigt (lawa, 2023b).

Auch kleinere, schwer zu bewirtschaftende Teilflächen können für die Biodiversität wertvoll sein. Voraussetzung für entsprechende Beiträge ist jedoch, dass sie einer anerkannten Förderkategorie zugeordnet, korrekt angemeldet werden, sowie deren Bewirtschaftungs- und Qualitätsanforderungen erfüllen. Bei Flächen mit Naturschutzvertrag können zusätzlich besondere Pflegeleistungen und Bewirtschaftungserschwernisse entschädigt werden.

Die beiden Gebiete zeigen somit unterschiedliche Schwerpunkte: Während Langerlen stärker durch zusammenhängende Grünlandflächen mit einzelnen Biodiversitäts- und Naturschutzbereichen geprägt ist, weist Oberärtig eine deutlich stärkere Konzentration von Streue- und NHG-Vertragsflächen auf. Die verschiedenen Förderinstrumente tragen dazu bei, sowohl die landwirtschaftliche Nutzung als auch die Erhaltung ökologisch wertvoller Landschaftselemente zu unterstützen.

3.3 Boden und Standortbedingungen

Die Bodenverhältnisse auf dem Bauernhof Langerlen sind von Fläche zu Fläche unterschiedlich. Die Hanglagen und die unterschiedliche Nutzung der Flächen ergeben verschiedene Standortbestimmungen, die sich auf die Bodenentwicklung, Vegetation und Bewirtschaftbarkeit auswirken. Die grundlegenden Höhen- und Klimaverhältnisse habe ich bereits beschrieben. Für diese Arbeit ist entscheidend, wie sich diese Unterschiede auf die untersuchten Flächen und ihre Böden auswirken können.

Die Auszüge aus dem Geoportal des Kantons Luzern zeigen die Vielfältigkeit der Nutzung. Auf dem Grundstück Langerlen/Musegg sind landwirtschaftlich genutzte Flächen, Wald, Gewässer sowie Hoch- und Flachmoorflächen ausgewiesen.

Das Grundstück Oberärtig ist im Geoportal grossflächig der Kategorie Hoch- und Flachmoor zugeordnet, daneben sind Wald und dichte Waldweiden verzeichnet.

Auf landwirtschaftlichen Weiden bestimmen unter anderem Durchwurzelung, Wasserhaushalt und Bewirtschaftung, die Bedingungen für das Pflanzenwachstum. In steileren Bereichen können Wasserabfluss und Erosion eine grössere Rolle spielen. An feuchten Standorten muss ausserdem berücksichtigt werden, dass das Befahren die Bodenstruktur empfindlich machen kann, in Bezug auf die mechanische Belastung.

3.4 Bewirtschaftung und Nährstoffkreislauf

Die Flächen auf dem Bauernhof Langerlen erfüllen unterschiedliche Aufgaben. Neben der Futterproduktion auf Wiesen und Weiden gibt es Hanglagen, Streuflächen und Biodiversitätsförderflächen (BFF) der Qualitätsstufen I und II. Diese Flächen werden nicht alle nach denselben Grundsätzen bewirtschaftet. Die Nutzung richtet sich sowohl nach ihrer landwirtschaftlichen Funktion als auch nach den Anforderungen an Bodenschutz und Biodiversität.

Besonders bei Hanglagen ist die Bewirtschaftung anspruchsvoll. Mit zunehmender Neigung sind Maschinen weniger flexibel einsetzbar und Arbeiten können aufwendiger werden. Ein lückenlos bedeckter Boden und eine gute Durchwurzelung sind dabei wichtige Voraussetzungen, um den Boden zu stabilisieren und das Risiko von Erosion zu vermindern. Hier gibt es unterschiedliche Hangflächen und Neigungsklassen.

Auch die Streuflächen und Biodiversitätsförderflächen benötigen eine angepasste Nutzung. Bei BFF der Qualitätsstufe I gelten je nach Flächentyp bestimmte Mindestanforderungen an die Bewirtschaftung. Dazu gehören zum Beispiel die Vorgaben von Schnittzeitpunkten oder Düngung. Für Streuflächen der Qualitätsstufe I gibt die Direktzahlungsverordnung vor, dass sie nicht vor dem 1. September geschnitten werden dürfen.

Bei Qualitätsstufe II kommen zusätzliche Anforderungen an die biologische Qualität hinzu. Bei Wiesen und Streuflächen wird diese unter anderem anhand von Pflanzen beurteilt, die zu einem artenreichen und nährstoffarmen Bestand gehören.

Diese Anforderungen sind für einen betrieblichen Nährstoffkreislauf wichtig. Eine Düngung, die auf einer produktiven Wiese sinnvoll sein kann, ist nicht automatisch für eine extensiv genutzte oder besonders artenreiche Fläche geeignet. Während extensiv genutzte Wiesen grundsätzlich ohne Düngung bewirtschaftet werden, ist bei wenig intensiv genutzten Wiesen, unter bestimmten Voraussetzungen, eine begrenzte Düngung mit Mist oder Kompost zulässig. Entscheidend ist deshalb, die Nutzung und die Nährstoffzufuhr auf den jeweiligen Flächentyp abzustimmen. (BLW, 2025b)

Im Kreislauf für den Betrieb spielt der Hofdünger eine wichtige Rolle. Nährstoffe, die über das Futter aufgenommen werden, gelangen über die Ausscheidungen der Tiere als Mist und Gülle zurück in den Betrieb. Wenn diese Materialien sachgerecht gelagert, aufbereitet und eingesetzt werden, können sie zur Nährstoffversorgung der Pflanzen beitragen. Gleichzeitig enthalten sie organische Substanz, die für die Bodenpflege von Bedeutung ist. Wie schnell die Nährstoffe verfügbar sind, hängt unter anderem von der Zusammensetzung des Materials und seiner Behandlung ab.

Dabei müssen aber auch mögliche Verluste berücksichtigt werden. Bei der Lagerung und Ausbringung von Hofdünger kann Stickstoff in Form von Ammoniak entweichen. Dadurch gehen dem Betrieb Nährstoffe verloren und die Umwelt kann durch diese Stickstoffeinträge belastet werden.

Die entstehenden Emissionen hängen unter anderem von der Hofdüngerart, den Lagerbedingungen, der Ausbringtechnik und der Witterung ab.

3.5 Hofeigene Kompostierung

Vor rund vier Jahren begann die Familie Bühler den Kompost auf dem eigenen Betrieb selbst herzustellen. Damit entstand eine weitere Möglichkeit, organische Materialien im Betriebskreislauf zu nutzen und für die Bodenpflege aufzubereiten. Die eigene Kompostierung bietet grundsätzlich die Chance, vorhandene Ressourcen sinnvoll einzusetzen, ist jedoch auch mit einem nicht zu unterschätzenden Aufwand verbunden.

Die Kompostmiete benötigt nicht nur Platz für das Material selbst. Auch die Zufahrt für Maschinen, das Umsetzen und das spätere Abräumen müssen möglich sein. Bei der Feldrandkompostierung gibt es klare Anforderungen an den Standort. Das gemeinsame Merkblatt der Umweltämter mehrerer Kantone, darunter Luzern, beschreibt, dass an einem Standort höchstens ein Jahr kompostiert werden darf. Nach dem Abräumen muss der Boden umgehend gelockert und angesät werden. Dieselbe Fläche darf anschliessend während mindestens zwei Jahren nicht erneut für die Kompostierung genutzt werden. Diese Rotation soll verhindern, dass sich Nähr- und Schadstoffe im Boden anreichern. (Umweltämter der beteiligten Kantone, 2022)

Für den Betrieb bedeutet diese Vorgabe, dass genügend geeignete Standorte zur Verfügung stehen müssen. Nicht jede Wiese oder jeder Feldrand kommt infrage. Die Fläche muss unter anderem eben liegen, mit geeigneten Maschinen erreichbar sein und ausreichenden Abstand zu Gewässern, Hecken und Waldrändern aufweisen. Zudem dürfen bestimmte Schutz- und Ausgleichsflächen nicht für solche Mieten verwendet werden. Die Kompostierung beansprucht also nicht nur während der Rotte Platz, sondern beeinflusst auch die Planung der anschliessenden Flächennutzung.

Ausserdem kommen die Arbeitsschritte und die Maschinenkosten dazu. Das Wenden, Abdecken, Laden und Ausbringen benötigen Zeit, Energie und geeignete Geräte.

Organische Materialien werden also aufbereitet und dem Boden wieder zugeführt. Der Kompost kann Nährstoffe liefern und zum Aufbau organischer Bodensubstanz beitragen. Wie gross dieser Nutzen aber tatsächlich ist, hängt jedoch von der Qualität des fertigen Komposts, seiner Anwendung und den jeweiligen Standortbedingungen ab.

Die hofeigene Kompostierung lohnt sich deshalb nicht zwingend aus finanzieller Sicht, sondern vor allem mit Blick auf die Zukunft der Böden. Der Aufwand für Maschinen, Arbeitszeit und benötigter Fläche steht einem Nutzen gegenüber, der sich kurzfristig kaum in Zahlen ausdrücken lässt. Langfristig kann eine verbesserte Bodenstruktur dazu beitragen, Wasser besser zu speichern und Trockenperioden abzufedern. Gerade bei schweren Böden kann dies für die Bodenentwicklung von Bedeutung sein. Ein weiterer Vorteil der Eigenkompostierung liegt darin, dass die Familie Bühler die Herkunft und Zusammensetzung der eingesetzten Materialien kennt und nicht auf zugekauften Kompost angewiesen ist, bei dem mögliche Verunreinigungen wie Mikroplastik, unerwünschte Wurzelunkräuter und invasive Pflanzen nicht immer ausgeschlossen werden können. Der eigentliche Ertrag zeigt sich somit nicht unbedingt auf der kurzfristigen Kostenrechnung, sondern in der langfristigen Entwicklung, Fruchtbarkeit und Widerstandsfähigkeit der Böden.

3.6 Ausgangslage der Bodenproben

Die Bodenproben vom Bauernhof Langerlen wurden durch das Labor INS AG durchgeführt. Dabei wurden verschiedene chemische und bodenkundliche Eigenschaften erfasst. Dazu gehören unter anderem der pH-Wert, Humusgehalt, Bodenart, Phosphor, Kalium, Magnesium, Calcium, Salzgehalt, mineralische Stickstoff, sowie Schwefel.

Zusätzlich wurden die Kationenaustauschkapazität (KAK), die Basensättigung, verschiedene verfügbare Nährstoffformen und weitere Parameter untersucht.

pH-Wert

der pH-Wert beschreibt, wie sauer oder basisch ein Boden ist. Er beeinflusst unter anderem die Verfügbarkeit verschiedener Nährstoffe und die Aktivität von Bodenorganismen. Für Wiesen wurde im Laborbericht ein optimaler Bereich von pH 5.5 bis 7.0 angegeben.

Kationenaustauschkapazität und Basensättigung

Die Kationenaustauschkapazität (KAK) beschreibt, wie viele positiv geladene Nährstoff Ionen ein Boden speichern und wieder an die Bodenlösung abgeben kann. Dazu gehören unter anderem Calcium, Magnesium und Kalium. Sowohl Tonminerale als auch Humus können solche Kationen binden. Die KAK ist in engem Zusammenhang mit der Nährstoffspeicherung und Bodenfruchtbarkeit.

Die Basensättigung gibt an, welcher Teil der Austauschplätze mit basischen Kationen wie Calcium, Magnesium oder Kalium besetzt ist. Im Laborbericht werden bei mineralischen Böden Werte von über 75% als optimal bezeichnet. Ein tiefer Wert weist also entsprechend auf einen höheren Anteil von säurebildenden Kationen hin.

Kationenbelegung für eine gute Bodenfruchtbarkeit

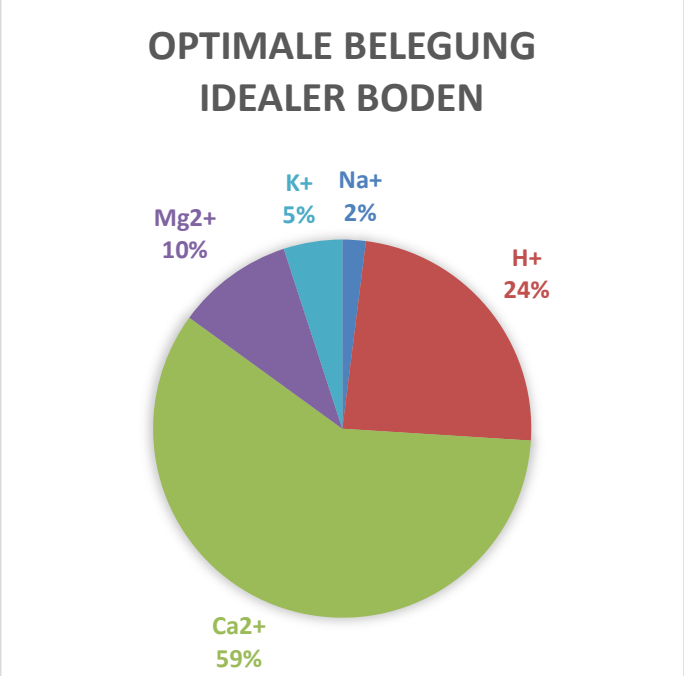


Abbildung 25 - Kreisdiagramm optimaler Boden (eigene Darstellung)

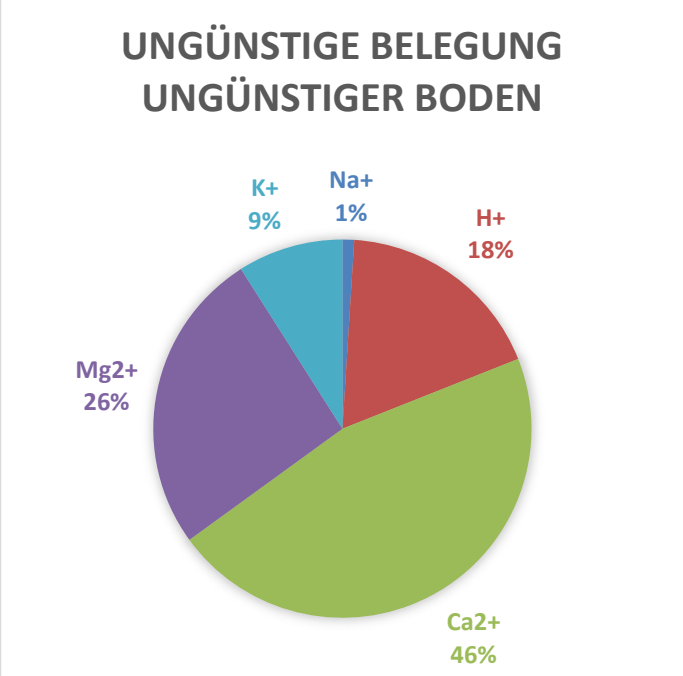


Abbildung 26 - Kreisdiagramm ungünstiger Boden (eigene Darstellung)

Wichtigste dargestellte Kationen:

- Ca^{2+} Calcium: Ein wichtiger Pflanzennährstoff. Calcium spielt zudem eine wichtige Rolle für die Bodenstruktur und die Stabilität von Bodenteilchen.
- Mg^{2+} Magnesium: Ebenfalls ein wichtiger Pflanzennährstoff. Magnesium ist unter anderem Bestandteil des Chlorophylls und damit für die Photosynthese von Bedeutung.
- $K+$ Kalium: Ein wichtiger Nährstoff für Pflanzen und unter anderem an der Regulation des Wasserhaushalts beteiligt.
- $Na+$ Natrium: Gehört ebenfalls zu den austauschbaren Kationen, ist für den Pflanzenbau jedoch deutlich weniger wichtig als Calcium, Magnesium und Kalium.
- $H+$ Wasserstoffionen: Sie stehen im Zusammenhang mit der Bodenversauerung. Ein hoher Anteil an H^+ an den Austauschplätzen geht mit einer niedrigeren Basensättigung einher.

Bodenproben vom 15.01.2026:

	Parzelle	Fläche (Aren)	Bodenart	pH-Wert	Phosphor (mg/kg)	Kalium (mg/kg)	Magnesium (mg/kg)	Basensättigung
1	Matte	20	Lehm	5.7	43.5	242.5	155.5	39%
2	Aufschütte	9	Lehm	6.5	74.6	278.5	169.7	
3	Dreiangel	34	Lehm	5.7	42.7	201.6	118.9	
4	Birkli	9	Sandiger Lehm	5.6	34.8	152.4	94.6	
5	Museggmatte	16	Sandiger Lehm	5.4	31.8	125.0	100.5	
6	Hinterlanger-len	11	Sandiger Lehm	5.5	23.7	108.8	110.8	28%

Abbildung 27 - erste Bodenproben (eigene Darstellung)

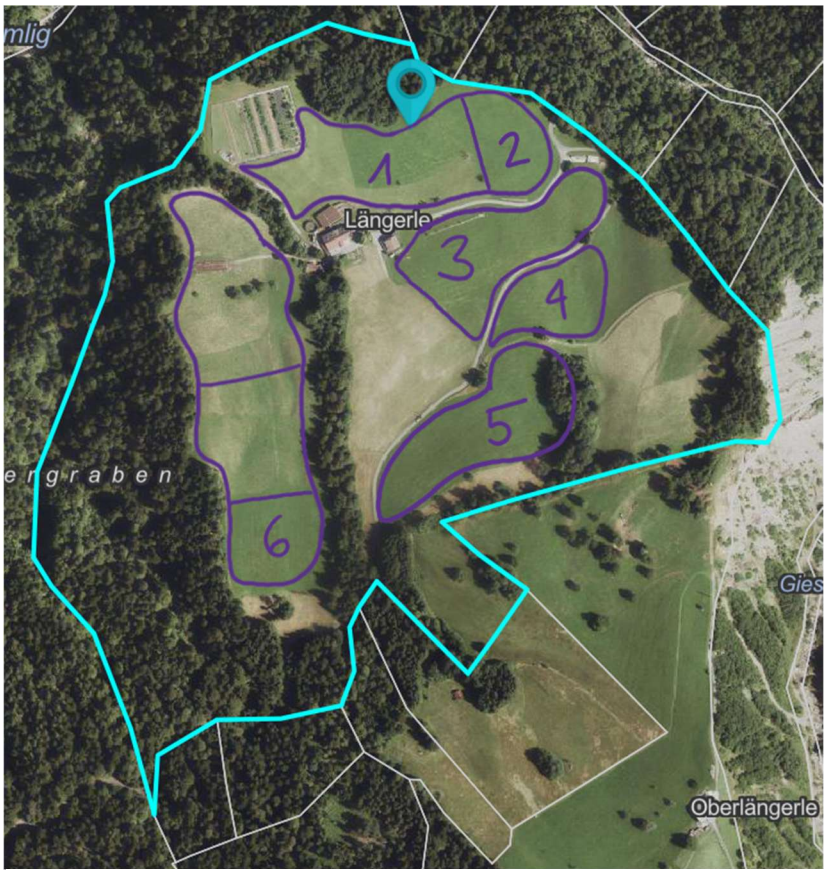


Abbildung 28 - Einzelne Flächen (Geo Maps LU)

4 Untersuchungsmethodik

4.1 Übersicht der Untersuchung

Um die Fragestellung zu beantworten, werden auf dem Bauernhof Langerlen verschiedene praktische Untersuchungen durchgeführt und mit den vorhandenen Bodenanalysen sowie wissenschaftlicher Fachliteratur ergänzt. Die einzelnen Untersuchungen betrachten unterschiedliche Eigenschaften des Bodens und der organischen Bewirtschaftung. Dadurch entsteht ein Gesamtbild, das biologische Beobachtungen, chemische Bodenwerte und die Eigenschaften der hofeigenen Kompostierung miteinander verbindet.

Die praktischen Untersuchungen umfassen: die T-Shirt-Methode, den Vergleich der Bodenanalysen vor und nach der Aufkalkung, die Untersuchung der beiden Kompostvarianten und eine Spatenprobe zur Beurteilung der Bodenstruktur. Jede Methode liefert eigene Erkenntnisse und hat zugleich Grenzen in ihrer Aussagekraft.

Die Untersuchungen werden zunächst einzeln ausgewertet. Anschliessend werden die Ergebnisse im Zusammenhang betrachtet, um Gemeinsamkeiten, Unterschiede und mögliche Zusammenhänge zu erkennen. Dabei wird zwischen direkt beobachteten oder gemessenen Ergebnissen und Schlussfolgerungen aus der Fachliteratur unterschieden.

Eine direkte Messung der CO^2-Speicherung oder der Ammoniakemissionen ist nicht Bestandteil der praktischen Untersuchungen. Diese Themen werden deshalb anhand der wissenschaftlichen Grundlagen und der betrieblichen Ausgangslage beurteilt.

4.2 T-Shirt-Methode zur Beurteilung der biologischen Aktivität

Um die biologische Aktivität im Boden und der Abbau von organischer Substanz zu analysieren, kann diese Methode verwendet werden. Dazu nimmt man ein Kleidungsstück, was zwingend aus Baumwolle besteht. Vorzugsweise aus Bio-Baumwolle, damit weniger Chemikalien im Stoff enthalten sind.

Baumwolle besteht aus natürlichen Pflanzenfasern und dienen den Mikroorganismen, Pilzen und Bakterien als Nahrung. Synthetische Materialien wie Polyester bestehen hingegen aus künstlich hergestellten Kunststoffen. Die meisten Bodenlebewesen können diese Stoffe nicht oder nur sehr langsam zersetzen.

Das Kleidungsstück wird dann zwei bis drei Monate lang im vertikal im Boden vergraben. Danach wird das Kleidungsstück wieder aus dem Boden geholt. Um verschiedene Ergebnisse zu erhalten, können mehrere Stücke auf verschiedenen Parzellen verteilt werden.

Mit dieser Methode findet man heraus, ob ein Mangel an chemischen Elementen, ein Stickstoffmangel oder Schäden auf das biologische Bodenleben wirken.

4.3 Bodenuntersuchung nach Kalkbehandlung

Die ersten Bodenproben der untersuchten Flächen würden im Dezember 2025 durchgeführt. Bei fast allen Flächen war das Ergebnis, dass der Boden sehr sauer war und das Labor empfahl eine Aufkalkung. Das wurde dann auch vom Bauernhof umgesetzt. Auf den Flächen Matte und Dreiangel wurden je 2,5 dt pro ha ausgebracht und auf der Hinterlangerle 5 dt pro ha. Verwendet wurde dabei Dolomitkalk.

Mit einer erneuten Untersuchung soll aufgezeichnet werden, ob sich die Bodenwerte nach der Aufkalkung verändert haben. Dabei wird insbesondere geprüft, ob sich der pH-Wert, sowie weitere Bodenkennwerte gegenüber der ursprünglichen Analyse verändert haben.

4.4 Untersuchung der beiden Kompostvarianten

Es werden zwei Mieten untersucht: ein natürlich hergestellter Kompost und ein Kompost, dem Granulat zugesetzt wurde. Der Granulat Zusatz soll zusätzliche Nährstoffe einbringen. Die genaueren Angaben zum Granulat werden im Kapitel 5.3 behandelt. Durch den Vergleich soll aufgezeichnet werden, welche Unterschiede sich zwischen den beiden Varianten während der Herstellung und der Entwicklung beobachten lassen.

Dazu werden die Entwicklung und die erkennbaren Eigenschaften der beiden Komposthaufen miteinander verglichen. Berücksichtigt werden: die sichtbare Zersetzung des Materials, Unterschiede in Farbe, Struktur, Geruch und Feuchtigkeit, soweit diese beobachtet und dokumentiert werden können.

4.5 Spatenprobe zur Beurteilung der Biologischen Aktivität

Mit der Spatenprobe wird der Boden vor Ort untersucht, um Einblick in den Aufbau und seinen Zustand zu erhalten. Im Unterschied zu einer Laboranalyse, bei der bestimmte chemische Bodenwerte gemessen werden, ermöglicht die Spatenprobe einen direkten Einblick in den Boden und seine sichtbaren Eigenschaften.

Bei der Untersuchung wird ein Bodenblock mit dem Spaten entnommen, wobei man ein „U“ in den Boden sticht und auf der offenen Seite herausbricht. So bleiben die einzelnen Bodenschichten gut erkennbar und werden nicht verstrichen durch den Spaten. Insbesondere wird die Bodenstruktur, die Durchwurzelung und mögliche Verdichtungen beurteilt. Zusätzlich können sichtbare Bodenlebewesen, Poren und der Feuchtigkeitszustand Hinweise auf die Bedingungen im Boden liefern, sofern diese Merkmale erkennbar sind.

Die Spatenprobe ergänzt damit die übrigen Untersuchungen dieser Arbeit. Während die T-Shirt-Methode Hinweise auf die Zersetzung organischen Materials liefert, und die Laboranalysen ausgewählte chemische Eigenschaften erfassen, richtet sich die Spatenprobe auf die sichtbare Bodenstruktur und den durchwurzelten Bodenbereich. Zusammen ermöglichen diese Untersuchungen eine breitere Beurteilung der Bodengesundheit.

5 Durchführung und Dokumentation

5.1 Umsetzung der T-Shirt-Methode

Es wurden zwei Baumwoll-T-Shirts besorgt, die etwa 20 cm unter der Bodenoberfläche vergraben wurden. Diese wurden Mitte September eingegraben und Ende Oktober wieder herausgenommen. Da für die Untersuchung nur eine begrenzte Zeit zur Verfügung stand, blieben sie somit etwa 1,5 Monate im Boden. Die Beurteilung erfolgte anhand des sichtbaren Zersetzungsgrades des Gewebes. Dabei wurde auf Veränderungen der Stoffstruktur, Löcher und den allgemeinen Erhaltungszustand geachtet.

Ein T-Shirt wurde bereits eine Woche früher herausgenommen als das andere. Dadurch konnte bei einem der beiden T-Shirts die Zeitspanne im Boden etwas verlängert und die maximale Versuchsdauer im Rahmen der Diplomarbeit genutzt werden.

5.2 Entnahme und Analyse der Bodenprobe

Damit die Bodenproben mit den bisherigen Analysen verglichen werden können, ist es sinnvoll, diese unter möglichst vergleichbaren Bedingungen zu entnehmen. Bei einer Bodenprobe wird nicht nur an einer einzigen Stelle Erde genommen. Stattdessen werden über die ganze untersuchte Fläche verteilt mehrere Einstiche gemacht. Aus diesen Einzelproben wird dann eine Mischprobe hergestellt, welche die ganze Fläche repräsentiert. Für Wiesen und Weiden wird eine Entnahmetiefe von 0-10 cm und eine Verteilung von mindestens 20 Stichen empfohlen.

Die Entnahmestellen werden gleichmässig über die jeweilige Fläche verteilt. Dabei muss man beachten, dass man nicht direkt in Stellen sticht mit besonderen Bodenverhältnissen, wie beispielweise stark beanspruchte Bereiche, Fahrspuren oder Mist. Die entnommenen Bodenproben werden miteinander vermischt und die benötigte Menge wird abgepackt ins Labor geschickt.

In unserem Fall interessieren uns besonders die Flächen Matte und Hinterlangerlen, die wir ja etwas ausführlicher anschauen werden. Innerhalb von zwei Wochen werden die Ergebnisse zurückgesendet und können ausgewertet werden.

5.3 Aufbau und Entwicklung der beiden Kompostvarianten

Für die Untersuchung wurde am 18. September 2026 auf dem Bauernhof Langerlen eine Kompostmiete angelegt und in der Mitte unterteilt. Als Ausgangsmaterialien dienten Mist und Gras, das auf der benachbarten Fläche geschnitten wurde. Das geschnittene Gras diente sowohl als Bereinigung der Fläche, als auch Aufwertung des Komposts. Das haben wir jetzt zum Versuch getestet und wird nicht immer so gemacht.

Die Materialien wurden mit dem Mistzetter auf den Kompostmieten verteilt. Durch die Messer an der Maschine wurde das Material zerkleinert und gleichmässig verteilt, sodass eine möglichst homogene Fläche entstand.



Abbildung 29 - Ausbringung von Material durch Mistzetter (eigene Aufnahme)

So liessen sich die Ausgangsmaterialien effizienter miteinander vermischen und der Arbeitsprozess beim Aufsetzten der Kompostmiete beschleunigen.

Beide Mieten wurden also aus dem gleichen Grundmaterial erstellt. Der wesentliche Unterschied bestand darin, dass der hintere Teil des Komposthaufens zusätzlich mit dem Granulat TMS LIS versetzt wurde, während der vordere Teil ohne Zusatz blieb. Dabei wurden etwa 75kg Granulat auf rund 6 Tonnen Mist eingesetzt.

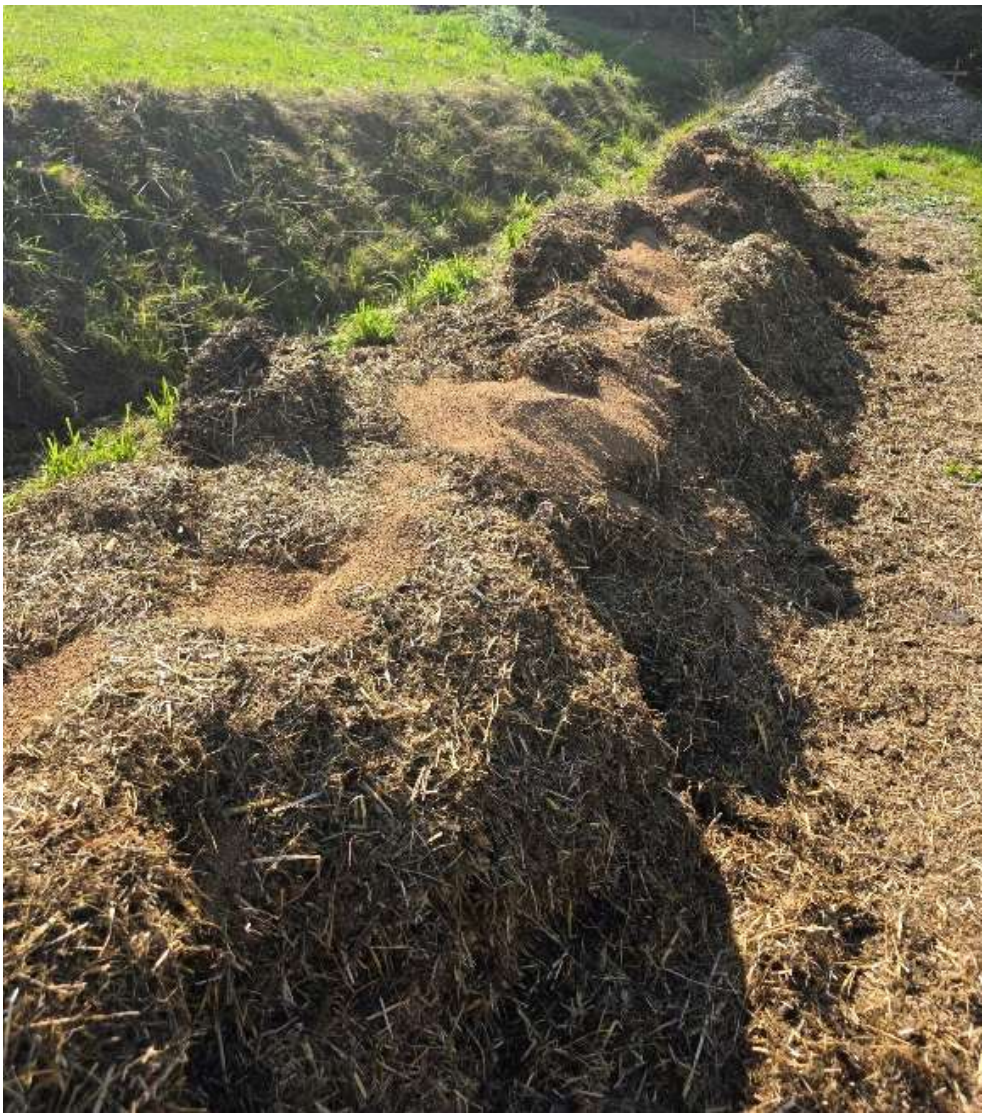


Abbildung 30 - Granulat verteilt auf der Miete (eigene Aufnahme)

Nach dem Aufsetzen wurde die Kompostmiete mit einem Kompostwender untereinander gemischt. Dadurch wurden die verschiedenen Materialien miteinander vermischt und die Masse aufgelockert, sodass Luft in den Kompost gelangen konnte. Eine ausreichende Sauerstoffversorgung ist für die aerobe Rotte wichtig, da Mikroorganismen unter diesen Bedingungen das organische Material abbauen und umwandeln können. Wenn keine Luft darunter kommen würde, würde die Miete anfangen zu schimmeln.



Abbildung 31 – Kompostwender (eigene Aufnahme)



Abbildung 32 - Selber Kompost wenden (eigene Aufnahme)



Abbildung 33 - Kompost wird gewendet (eigene Aufnahme)

Das eingesetzte Granulat trägt die Produktbezeichnung TMS LIS Granulat/Semoulette. Laut Produktetikett handelt es sich um einen NK-Dünger, der mit magnesiumhaltigem Kalkstein gemischt ist. NK-Dünger bedeutet, dass es ein Mehrnährstoffdünger ist, der die Hauptnährelemente Stickstoff (N) und Kalium (K) enthält. Die Deklaration nennt folgende Bestandteile: 1,7 % Stickstoff (N), 4 % Kaliumoxid (K_2O), 50 % Calciumcarbonat ($CaCO_3$), entsprechend 20 % Calcium (Ca), 6 % Magnesium (Mg) und 4,5 % Schwefel (S). Zusätzlich ist ein Neutralisationswert von 42 angegeben. Das Produkt enthält ausserdem 5 % organisches Bindemittel pflanzlicher Herkunft (TMCE, o. J.).

Der Hersteller von TMS LIS Granulat verspricht eine Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit durch die Zufuhr von Calcium und Magnesium. Das Granulat soll den pH-Wert des Bodens regulieren, die Nährstoffverfügbarkeit für die Pflanzen erhöhen und Magnesiummängel ausgleichen. Ausserdem sollen die Ammoniakverluste reduziert werden, sodass mehr Stickstoff im System verbleibt und die Nährstoffeffizienz verbessert wird.

Das Granulat dient somit nicht nur als zusätzliche Nährstoffquelle. Durch den hohen Calciumcarbonat Anteil und das enthaltene Magnesium, bringt es auch mineralische Bestandteile in die Kompostmiete ein. Welche Wirkung diese Zugabe auf die Entwicklung und die Eigenschaften des fertigen Komposts hat, ist Gegenstand des Vergleichs.



Abbildung 34 - Verwendetes Granulat (eigene Aufnahme)

5.4 Durchführung und Beobachtung der Spatenprobe

Bei der Spatenprobe wurde ein „U“ eingestochen und ein Bodenstück entnommen, um den Bodenaufbau direkt zu betrachten. Die Entnahme und die anschliessende Betrachtung des Bodenstücks wurden fotografisch dokumentiert.



Abbildung 35 - Spatenprobe Oktober (eigene Aufnahme)

Bei der Untersuchung wurden die verschiedenen Bodenschichten und die Durchwurzelung betrachtet. Zusätzlich wurde die Bodenstruktur beurteilt, indem ein Teil des entnommenen Bodenstücks abgebrochen und dessen Inneres untersucht wurde. Dabei wurde auf die Festigkeit, die Krümelstruktur und mögliche verhärtete Stellen geachtet. Auch sichtbare Bodenlebewesen, Hinweise auf organisches Material und mögliche Verdichtungen waren Teil der Betrachtung.

Während der Untersuchung fiel die gute Durchwurzelung im oberen Bodenbereich auf. Der darunterliegende Boden war fest, zeigte jedoch im Inneren beim Anbrechen eine krümelige Struktur. Nur wenige verhärtete Stellen waren erkennbar. Zusätzlich kamen einzelne kleine Kohlestücke zum Vorschein, die bei der Betrachtung ebenfalls festgehalten wurden.

6 Ergebnisse

6.1 Ergebnisse der T-Shirt-Methode

Die ausgegrabenen T-Shirts zeigen einen ausgeprägten Zerfall des Baumwollstoffes. Teilweise waren grosse Löcher vorhanden und das Gewebe stellenweise so stark zersetzt, dass es sehr dünn und beinahe durchsichtig schien. Der Stoff hatte seine ursprüngliche Beschaffenheit auf jeden Fall verloren.



Abbildung 36 - Zerfall T-Shirt 1 (eigene Aufnahme)

Das Ergebnis deutet darauf hin, dass während der Versuchsdauer eine deutliche Zersetzung des Baumwollmaterials im Boden stattgefunden hat. Die sichtbaren Veränderungen zeigen den biologischen Abbauprozess unter den untersuchten Bedingungen.



Abbildung 38 - Zerfall T-Shirt 1(eigene Aufnahme)



Abbildung 37 - T-Shirt 2 (eigene Aufnahme)

6.2 Ergebnisse der Bodenanalyse

Die beiden Bodenanalysen ermöglichen einen Vergleich der Bodenverhältnisse auf den Flächen Matte, Dreiangel und Hinterlangerlen. Die erste Probeentnahme erfolgte im Dezember 2025, die zweite Probeentnahme am 28. September 2026.

Fläche	Messwert	AAE10 Jan 2026	AAE10 Okt 2026	CO2/22 Jan 2026	CO2/CC Okt 2026
Matte	pH-Wert	5.7	5.5		
	Phosphor (P)	43.5	29.5	6.8	7.9
	Kalium (K)	242.5	227.7	4.2	4.2
	Magnesium (Mg)	155.5	167.2	12.4	13.9
	Calcium	1981	2020		
Dreiangel	pH-Wert	5.7	5.4		
	Phosphor (P)	42.7	35.7	6.3	8.3
	Kalium (K)	201.6	247.5	4.0	4.7
	Magnesium (Mg)	118.9	171.4	9.4	13.5
	Calcium	1702	1795		
Hinter-langerlen	pH-Wert	5.5	5.2		
	Phosphor (P)	23.7	23.1	2.5	5.2
	Kalium (K)	108.8	158.2	1.1	1.6
	Magnesium (Mg)	110.8	167.2	9.8	14.9
	Calcium	1424	2019		

Tabelle 1 - Bodenproben (eigene Darstellung)

Deutliche Unterschiede zeigen sich an den pH-Werten. Auf allen drei Flächen wurde bei der zweiten Untersuchung ein tieferer Wert gemessen, als bei der ersten Analyse. Auf der Matte sank der pH-Wert von 5,7 auf 5,5, beim Dreiangel von 5,7 auf 5,4 und bei Hinterlangerlen von 5,5 auf 5,2. Der zweite Laborbericht stuft die Werte als sauer, bei Hinterlangerlen sogar als stark sauer, ein. Für Wiesen nennt das Labor einen optimalen Bereich von pH 5,5 bis 7. Die Matte liegt somit an der unteren Grenze dieses Bereichs, während die beiden anderen Flächen ganz darunterliegen.

Bei den anderen Werten sind die Ergebnisse weniger eindeutig. Die Phosphorwerte nahmen bei allen drei Flächen ab. Bei Kalium sank der Messwert bei der Matte leicht, während er bei Dreiangel und bei Hinterlangerlen anstieg. Die Magnesiumwerte lagen bei der zweiten Untersuchung auf allen drei Flächen höher als zuvor. Auch bei Calcium zeigt sich eine Zunahme: besonders deutlich auf Hinterlangerlen, wo der Wert von 1424 auf 2019 mg/kg stieg.

Die Messwerte zeigen also, dass sich die untersuchten Bodenwerte unterschiedlich entwickelt haben. Die Nährstoffreserven sind nicht auf allen Flächen gleich zusammengesetzt, und ihre Veränderungen verlaufen nicht parallel zum pH-Wert. Die gemessenen Calciumwerte sind also auch als Reservewerte zu sehen und nicht als direkte Messung der neutralisierenden Wirkung einer Kalkabgabe.

Basensättigung und Kationenaustauschkapazität

Auf der Matte sank die Basensättigung von 39 auf 36 Prozent. Gleichzeitig verringerte sich die potenzielle Kationenaustauschkapazität von 24,3 auf 22,4 cmol/kg Boden. Bei der Hinterlangerlen stieg die Basensättigung dafür von 28 auf 31 Prozent, während sich die KAKpot von 26,1 auf 25,7 cmol/kg Boden leicht verringerte.

Die beiden Flächen zeigen also unterschiedliche Entwicklungen. Auf der Matte nahm die Basensättigung ab, bei Hinterlangerlen stieg sie leicht an. Trotzdem blieb der pH-Wert auf beiden Flächen tiefer als bei der ersten Untersuchung. Im neuen Laborbericht wird weiterhin eine Aufkalkung empfohlen.

Aussagekraft der Humus-Werte

Auch die Humuswerte müssen unterschiedlich betrachtet werden. Auf der Matte und beim Dreiangel wird der Humusgehalt in beiden Berichten auf 2 bis 5 Prozent geschätzt. Daraus lässt sich weder eine Zunahme noch eine Abnahme des Humusgehalts sicher ableiten.

Bei Hinterlangerlen weist die zweite Analyse einen Humusgehalt von 7,66 Prozent aus, der analytisch nach der TOC-Methode gemessen wurde. In der ersten Analyse war der Humusgehalt lediglich auf 2 bis 5 Prozent geschätzt worden. Da hier unterschiedliche Bestimmungsmethoden vorliegen, ist ein direkter Vergleich nicht machbar. Der höhere Wert kann deshalb nicht als Nachweis eines Humusaufbaus gewertet werden.

Zusammenfassend zeigen die beiden Laborberichte, dass die pH-Werte auf allen drei Flächen gesunken sind, während sich die Nährstoffreserven unterschiedlich entwickelt haben. Die Basensättigung nahm auf der Matte ab und bei Hinterlangerlen zu. Eine eindeutige Verbesserung der Bodenreaktion ist anhand der zweiten Untersuchung nicht erkennbar. Welche Prozesse hinter diesen Veränderungen stehen könnten und weshalb sich der pH-Wert trotz der vorgenommenen Aufkalkung nicht erhöht hat, wird im Kapitel 7.1 diskutiert.

6.3 Ergebnisse der beiden Kompostvarianten

Die beiden Kompostmieten wurden am 18. September 2026 angesetzt. Sie bestanden aus Mist und Gras von einer benachbarten Fläche.

Frisches Gras enthält mehr Wasser und Nährstoffe und kann die Rotte in der Kompostmiete stärker fördern. Da für diesen Versuch Gras vom Ausmähen der Weide verwendet wurde, war es bereits älter und dadurch trockener sowie nährstoffärmer als frisch geschnittenes Gras. Trotzdem liefert es weiterhin organische Substanz für die Kompostierung.

Der Unterschied zwischen den Varianten bestand darin, dass einer Miete zusätzlich TMS LIS Granulat beigegeben wurde. Die eingesetzte Menge betrug rund 75 kg Granulat auf etwa 6 t Mist. Während des bisherigen Rotteverlaufs wurden beide Mieten insgesamt sechsmal gewendet und gemischt.

Beobachtungen während des Rotteverlaufs

Zu Beginn des Versuchs fiel auf, dass der Ammoniakgeruch, bei der mit Granulat versetzten Kompostmiete, rasch nicht mehr wahrnehmbar war. Zudem schien das Material dieser Miete zunächst schneller in der Rotte fortzuschreiten. Dies liess anfänglich einen Unterschied zwischen den beiden Varianten erkennen.

Bei einer späteren Betrachtung zeigten sich die beiden Kompostmieten im äusseren Erscheinungsbild jedoch weitgehend ähnlich. Die mit Granulat versetzte Miete wirkte allenfalls etwas weiter fortgeschnittener im Zersetzungsprozess. Ein deutlicher und eindeutiger Unterschied zwischen den beiden Varianten war zu diesem Zeitpunkt nicht mehr festzustellen.

Einordnung der Ergebnisse

Die Beobachtungen deuten darauf hin, dass sich die beiden Kompostmieten zu Beginn unterschiedlich entwickelten. Im weiteren Verlauf wurden die sichtbaren Unterschiede jedoch gering. Die mit Granulat versetzte Miete zeigte möglicherweise eine etwas weiter fortgeschrittene Rotte, wobei sich dieser Eindruck nicht durch Messungen bestätigen lässt.

Die Ergebnisse erlauben deshalb keine abschliessende Aussage darüber, ob das TMS LIS Granulat den Rotteprozess tatsächlich beschleunigt hat. Der Geruch und das äussere Erscheinungsbild wurden qualitativ beurteilt. Messungen des Ammoniakgehalts, der Temperatur oder des Rottegrades sowie Laboranalysen des fertigen Komposts wurden nicht durchgeführt. Insbesondere lässt sich aus dem Verschwinden des Ammoniakgeruchs nicht ableiten, wie hoch die tatsächlichen Ammoniakverluste waren. Ebenso kann anhand der bisherigen Beobachtungen nicht beurteilt werden, ob sich die Kompostqualität oder der Gehalt an stabilem Humus durch den Granulatzusatz verändert hat.

Für einen aussagekräftigeren Vergleich wären standardisierte Beobachtungen über einen längeren Zeitraum und ergänzende Messungen erforderlich. Die beiden Kompostmieten liefern damit erste praktische Eindrücke, deren Aussagekraft aufgrund der fehlenden Messdaten und der Untersuchung von lediglich zwei Varianten begrenzt ist.

6.4 Ergebnisse der Spatenprobe

Die Spatenprobe ergab ein insgesamt gutes Bild der sichtbaren Bodenstruktur am untersuchten Standort. Besonders die ausgeprägte Durchwurzelung und die krümelige Beschaffenheit des Bodens sprechen dafür, dass die untersuchte Bodenschicht gut aufgebaut ist und eine strukturierte Anordnung der Bodenteilchen aufweist. Die wenigen verhärteten Stellen weisen darauf hin, dass mögliche Verdichtungen vorhanden sind.



Abbildung 39 - Bodenschichten (eigene Aufnahme)



Abbildung 40 – Bodenhorizonte (eigene Aufnahme)

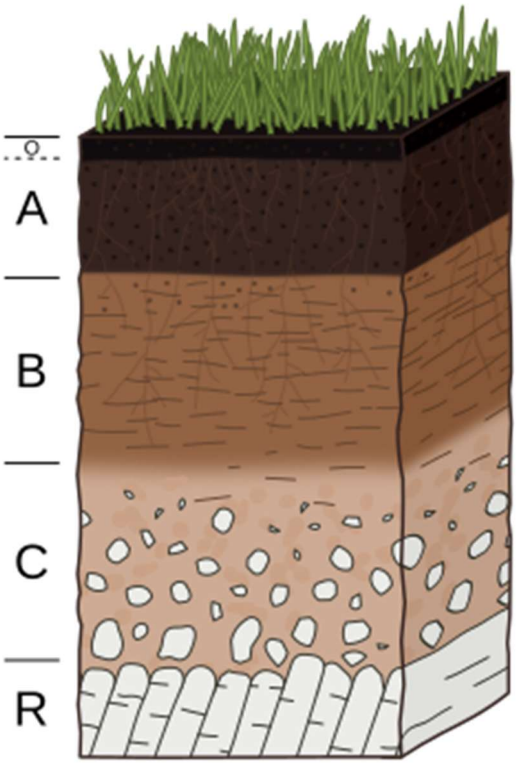


Abbildung 41 - optimale Bodenschichten (Wikipedia)

Die krümelige Bodenstruktur ist ein wichtiges Merkmal, da sie auf eine günstige Anordnung der Bodenteilchen hinweist. Eine solche Struktur kann dazu beitragen, dass Wurzeln im Boden eindringen und Wasser, sowie Luft durch den Boden transportiert werden können. Auch Bodenorganismen wirken am Aufbau und Erhalt dieser Struktur mit. Aus der Spatenprobe allein lässt sich allerdings nicht bestimmen, wie viele Bodenlebewesen vorhanden oder aktiv sind. Dafür wären weitere Beobachtungen erforderlich.



Abbildung 42 - Krümelige Bodenstruktur (eigene Aufnahme)

Beim Betrachten des Bodens haben wir ausserdem auf die humose Unterschicht geachtet. Humus trägt zur Stabilität der Bodenstruktur bei und beeinflusst unter anderem die Wasser- und Nährstoffspeicherung. Auch hier liefert die Spatenprobe keine genaue Bestimmung des Humusgehaltes, dafür wären ebenfalls geeignete Laboranalysen notwendig.

Eine weitere Auffälligkeit waren einige kleine Kohlestückchen, die beim Öffnen des Bodenstückes zum Vorschein kamen. Diese können aus einer früheren Verkohlung organischen Material stammen und wurden im Zusammenhang mit Pyrolyse gebracht. Bei der Pyrolyse wird organisches Material unter Sauerstoffmangel thermisch umgewandelt. Dabei kann Pflanzenkohle entstehen, die je nach Ausgangsmaterial und Herstellungsverfahren einen hohen Anteil an vergleichsweise stabilem Kohlenstoff enthalten kann. Ob die gefundenen Kohlestücke tatsächlich aus einer gezielten modernen Pyrolyse stammen, lässt sich anhand ihres Aussehens allein jedoch nicht sicher feststellen. Ihr Ursprung konnte im Rahmen der Spatenprobe nicht abschliessend geklärt werden.

7 Diskussion

7.1 Einordung der Bodenanalysen und mögliche Ursachen des anhaltenden sauren Bodens

Die zweite Bodenprobe wirft eine zentrale Frage auf: Wieso sind die Böden weiterhin sauer, obwohl eine Aufkalkung durchgeführt wurde, und die gemessenen Calciumwerte gestiegen sind? Gerade dieser Widerspruch macht die Bodenanalysen für meine Arbeit interessant. Sie zeigen auf, dass die Wirkung einer Aufkalkung nicht allein anhand eines einzelnen Nährstoffwertes beurteilt werden kann.

Die Laborberichte zeigen den Zustand des Bodens zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten, das erklärt jedoch nicht, wieso die Messwerte sich verändert haben. Die folgenden Überlegungen sind deshalb mögliche Erklärungen, die anhand der der vorliegenden Angaben und der Fachliteratur beurteilt werden müssen. Keine davon lässt sich mit den zwei Bodenproben allein als Ursache nachweisen.

7.1.1 Trockenheit im Jahr 2026 als möglicher Einschlussfaktor

Ein weiterer möglicher Einfluss ist die ausgeprägte Trockenheit des Sommers 2026. Das Bundesamt für Landwirtschaft beschrieb die Periode als aussergewöhnlich trocken und heiss. Wassermangel kann dazu führen, dass Nährstoffe schlechter transportiert werden und die Aktivität von Mikroorganismen eingeschränkt wird. (Bundesamt für Landwirtschaft [BLW], 2026)

Auch für die Reaktion von Kalk spielt Feuchtigkeit eine Rolle. Damit Calciumcarbonat im Boden reagieren kann, muss es zunächst umgewandelt werden, und mit den sauren Bestandteilen des Bodens in Kontakt kommen. Bei geringer Feuchtigkeit können sich diese Vorgänge verlangsamen. Das könnte dazu beitragen, dass die erwartete pH-Anhebung zum Zeitpunkt der zweiten Analyse noch nicht sichtbar war.

Dazu muss aber erwähnt werden, dass Trockenheit nicht automatisch bedeutet, dass weniger Kalk im Boden vorhanden ist. Bei wenig Niederschlag werden auch weniger gelöste Stoffe mit dem Sickerwasser verlagert. Eine Trockenperiode kann die Auflösung und Reaktion von Kalk verlangsamen, erklärt aber für sich allein nicht, wieso die pH-Werte tiefer liegen als vorher. (BLW, 2026)

7.1.2 Atmosphärischer Eintrag und saurer Regen

Neben der Bewirtschaftung können auch Einträge aus der Atmosphäre zur Bodenversauerung beitragen. Dabei sind insbesondere Stickstoff- und Schwefelverbindungen relevant. In der Schweiz sind die Emissionen vieler Luftschadstoffe seit Mitte der 1980er-Jahre zurückgegangen. Die Stickstoffemissionen aus der Landwirtschaft nahmen jedoch weniger deutlich ab und verharren seit 2000 auf einem vergleichsweise hohen Niveau (BAFU, 2024).

Atmosphärische Einträge können deshalb als Teil der längerfristigen Entwicklung eines Bodens berücksichtigt werden. Aus den vorliegenden Daten lässt sich jedoch nicht ableiten, ob saurer Regen oder andere Einträge aus der Luft die pH-Veränderungen auf der Matte, beim Dreiangel oder bei Hinterlangerlen verursacht haben. Dafür wären standortbezogene Angaben zu den Einträgen und zur längerfristigen Entwicklung erforderlich. (BAFU, 2024)

7.1.3 Zeitpunkt und Vergleichbarkeit der Bodenproben

Bei der Interpretation muss berücksichtigt werden, dass die beiden Untersuchungen zu unterschiedlichen Jahreszeiten erfolgten. Die erste Probenahme fand im Dezember 2025 statt, die zweite Untersuchung Ende September 2026. Die Laboranalysen verwenden bei beiden Berichten den pH-Wert in Wasser (pH-H_2O), was die methodische Vergleichbarkeit unterstützt.

Trotzdem muss eine wiederholte Bodenuntersuchung möglichst unter vergleichbaren Bedingungen stattfinden. Falls bei den beiden Probenahmen nicht exakt dieselben Stellen und Tiefen erfasst wurden, könnten Unterschiede in der Bodenbeschaffenheit einen Teil der Messwertveränderungen erklären. Das wäre besonders bei Flächen relevant, auf denen sich die Bodenverhältnisse kleinräumig unterscheiden. Die unterschiedlichen Jahreszeiten allein beweisen jedoch nicht, dass der pH-Wert deshalb tiefer gemessen wurde.

Für eine spätere Wiederholungsanalyse wäre es deshalb sinnvoll, die Entnahmestellen und die Probenahmetiefe möglichst genau festzulegen und bei den nächsten Untersuchungen beizubehalten.

7.1.4 Gesamteinordnung

Die Bodenanalysen zeigen, dass die gewünschte Erhöhung des pH-Wertes nach der Aufkalkung zum Zeitpunkt der zweiten Untersuchung nicht erkennbar war. Gleichzeitig stiegen die Calciumwerte auf allen drei Flächen. Die Basensättigung entwickelte sich jedoch unterschiedlich: Auf der Matte nahm sie ab, während sie bei Hinterlangerlen leicht zunahm.

Diese Ergebnisse lassen sich nicht auf eine einzige Ursache zurückführen. Als mögliche Einflussfaktoren kommen die Art und Menge des Kalks, die Reaktionszeit, die trockenen Bedingungen im Jahr 2026, die Bewirtschaftung und Stickstoffumsätze, sowie Unterschiede zwischen den Probenahmen infrage. Die Bedeutung von sauren Einträgen aus der Atmosphäre oder des Grundwassers kann mit den vorhandenen Daten nicht zuverlässig beurteilt werden.

So kann man nicht sagen, dass die Aufkalkung wirkungslos war. Ebenso wenig kann nachgewiesen werden, dass sie den pH-Wert bereits verbessert hat. Die derzeitigen Messwerte zeigen lediglich, dass der pH-Wert bei der zweiten Untersuchung tiefer lag als bei der ersten. Um die Entwicklung zuverlässiger beurteilen zu können, braucht es eine weitere Untersuchung unter möglichst vergleichbaren Probeentnahme-Bedingungen und eine genaue Dokumentation der ausgeführten Kalkung.

Für die Diplomarbeit ist dies ein wichtiger Befund: Die Bodenentwicklung lässt sich nicht an einem einzigen Messwert festmachen. Erst die gemeinsame Betrachtung von pH-Wert, Nährstoffreserven, Basensättigung, Kationenaustauschkapazität und Bewirtschaftung liefert eine fundiertere Grundlage für die Beurteilung der Bodenbedingungen auf Langerlen.

7.2 Beurteilung der Boden Gesundheit

Ein Boden lässt sich nicht allein anhand eines einzelnen Messwertes als gesund oder weniger gesund beurteilen. Erst das Zusammenspiel von biologischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften ergibt ein aussagekräftigeres Bild. Die praktischen Untersuchungen auf dem Bauernhof Langerlen betrachten diese unterschiedlichen Ebenen. Die T-Shirt-Methode gibt einen Hinweis auf die biologische Aktivität, die Spatenprobe ermöglicht eine direkte Beurteilung der Bodenstruktur und die Laboranalysen ergänzen diese Beobachtungen durch chemische Kennwerte.

Die T-Shirt-Methode liefert einen interessanten Hinweis auf die biologische Aktivität des Bodens. Der starke Abbau des Baumwollstoffes deutet darauf hin, dass während der Versuchsdauer organisches Material durch biologische Prozesse zersetzt wurde. Zu diesen Prozessen tragen unter anderem Bakterien, Pilze und weitere Bodenorganismen bei. Diese Beobachtung ist ein aussagekräftiger Hinweis darauf, dass im untersuchten Boden biologische Abbauprozesse stattfinden. Sie gibt jedoch keine genaue Aussage über die Anzahl und Vielfalt der vorhandenen Organismen.

Die Spatenprobe ergänzt dieses Bild um die physikalischen Eigenschaften des Bodens. Die gute Durchwurzelung und die krümelige Struktur sind günstige Merkmale, da eine geeignete Bodenstruktur das Wurzelwachstum sowie den Luft- und Wassertransport unterstützt. Die wenigen sichtbaren Verhärtungen deuten auf mögliche lokale Verdichtungen hin, ohne dass aus der visuellen Untersuchung auf eine flächendeckende Verdichtung geschlossen werden kann. Die Bodenstruktur ist zudem nicht unveränderlich: Sie wird durch Wurzelwachstum, Bodenorganismen, Wasserbewegungen, Witterung und landwirtschaftliche Tätigkeiten fortlaufend beeinflusst. Die Beobachtungen sprechen somit für eine insgesamt günstige Struktur am untersuchten Ort, lassen aber keine abschliessende Beurteilung sämtlicher Betriebsflächen zu.

Interessant ist, dass sich die positiven Beobachtungen zur biologischen Aktivität und Bodenstruktur nicht automatisch mit allen Ergebnissen der Laboranalysen decken müssen. Die chemischen Untersuchungen weisen weiterhin auf saure Bodenverhältnisse hin. Das bedeutet nicht, dass im Boden keine biologischen Prozesse stattfinden. Es zeigt vielmehr, dass sich die verschiedenen Dimensionen der Bodengesundheit unabhängig voneinander entwickeln können und jeweils unterschiedlich beurteilt werden müssen. Eine sichtbare biologische Aktivität allein reicht deshalb nicht aus, um den gesamten Bodenzustand als optimal einzustufen.

Auch die beim Spatenstich gefundenen Kohlenstücke sind im Zusammenhang mit der Bodengesundheit wichtig. Ob es sich um Pflanzenkohle aus einer gezielten Pyrolyse handelt und in welchem Umfang dieses Material zur langfristigen Kohlenstoffspeicherung beitragen könnte, lässt sich anhand der visuellen Beobachtung nicht abschliessend bestimmen.

Insgesamt liefern die praktischen Untersuchungen mehrere Hinweise auf die Bodenqualität. Die starke Zersetzung des Baumwollstoffes deutet auf biologische Aktivität hin, während die Spatenprobe eine gut durchwurzelte und überwiegend krümelige Bodenstruktur erkennen liess. Gleichzeitig zeigen die Laboranalysen, dass weiterhin chemische Herausforderungen bestehen. Die Ergebnisse machen deutlich, weshalb Bodengesundheit nicht auf einen einzigen Kennwert reduziert werden darf. Für eine umfassendere Beurteilung müssen biologische Aktivität, physikalische Eigenschaften und chemische Bodenverhältnisse gemeinsam betrachtet werden.

7.3 Zusammenhang mit dem Humusaufbau

Humusaufbau ist ein langfristiger Prozess, bei dem nicht allein die Menge des zugeführten organischen Materials entscheidend ist. Massgebend ist das Verhältnis zwischen dem Eintrag organischer Substanz und deren Abbau im Boden. Pflanzenwurzeln, abgestorbene Pflanzenteile, Mist und Kompost können zur Humusbildung beitragen. Ein Teil der organischen Substanz wird jedoch durch Bodenorganismen wieder abgebaut. Damit sich der Humusgehalt langfristig erhöht, muss die Zufuhr humusbildender Substanz die Verluste durch Abbau ausgleichen oder übertreffen (Agroscope, 2025).

Auf dem Bauernhof Langerlen bietet die hofeigene Kompostierung eine Möglichkeit, organisches Material aus dem Betrieb wieder in einen nutzbaren Kreislauf zurückzuführen. Die Verwendung von Mist und Gras schafft eine Grundlage für die weitere Umsetzung durch Bodenorganismen. Die Zugabe des auf der benachbarten Fläche geschnittenen Grases wurde bei diesem Versuch allerdings nur versuchsweise vorgenommen. Da sein Einfluss nicht separat untersucht wurde, lässt sich nicht beurteilen, welchen zusätzlichen Nutzen es für die Kompostierung hatte.

Die beiden Kompostmieten liefern erste Hinweise darauf, wie sich der zusätzliche Einsatz von TMS LIS Granulat im Vergleich zu einer Miete ohne Granulat auswirken könnte. Die anfänglichen Unterschiede im Geruch und im wahrgenommenen Rotteverlauf waren im späteren Erscheinungsbild jedoch kaum noch erkennbar. Daraus lässt sich kein eindeutiger Vorteil des Granulats für den Humusaufbau ableiten. Gemäss der Produktetikette besteht das Granulat überwiegend aus mineralischen Bestandteilen; der pflanzliche Binder macht einen vergleichsweisen kleinen Anteil aus. Die Zugabe von Granulat ist deshalb nicht mit einer zusätzlichen Zufuhr organischen Materials wie Mist oder Gras gleichzusetzen. Ob das Granulat die Qualität des fertigen Komposts beeinflusst, müsste durch weiterführende Untersuchungen geprüft werden.

Auch die bisherigen Bodenanalysen belegen keine gesicherte Zunahme des Humusgehalts. Die vorhandenen Humusangaben sind teilweise unterschiedlich ermittelt worden und können deshalb nicht ohne Weiteres miteinander verglichen werden. Die T-Shirt-Methode und die Spatenprobe liefern ergänzende Hinweise auf biologische Aktivität beziehungsweise die physikalische Beschaffenheit des Bodens. Sie messen jedoch weder die Humusmenge noch deren Veränderung direkt.

Für eine langfristige Beurteilung wäre es deshalb notwendig, die Bodenentwicklung regelmässig an vergleichbaren Stellen und mit derselben Analysemethode zu untersuchen. Ergänzend sollten die Mengen und die Zusammensetzung der ausgebrachten organischen Materialien dokumentiert werden. Auch eine Analyse des fertigen Komposts könnte helfen, dessen Qualität besser einzuschätzen. Damit liesse sich über mehrere Jahre prüfen, ob die Bewirtschaftung tatsächlich zu einer positiven Humusbilanz beiträgt.

Insgesamt zeigt sich, dass die hofeigene Kompostierung eine sinnvolle Möglichkeit zur Rückführung organischer Stoffe darstellt. Ob daraus auf den Flächen von Langerlen tatsächlich ein messbarer Humusaufbau entsteht, kann mit den bisherigen Untersuchungen noch nicht nachgewiesen werden. Entscheidend sind die langfristige Entwicklung des Bodens sowie das Zusammenspiel von organischen Einträgen und deren Abbau (Agroscope, 2025; FiBL, 2025).

7.4 Zusammenhang mit der CO2-Speicherung

Der Zusammenhang zwischen Humusaufbau und CO^2-Speicherung liegt im Kohlenstoffkreislauf des Bodens. Pflanzen nehmen während ihres Wachstums CO^2 aus der Atmosphäre auf. Über Wurzeln, abgestorbene Pflanzenteile und organische Dünger gelangt ein Teil des darin enthaltenen Kohlenstoffs in den Boden. Dort wird die organische Substanz durch Bodenorganismen umgewandelt. Ein Teil des Kohlenstoffs wird dabei wieder als CO^2 freigesetzt, während ein anderer Teil längerfristig im Boden gespeichert bleiben kann. Ob ein Boden insgesamt Kohlenstoff aufnimmt oder abgibt, hängt unter anderem von der Bewirtschaftung, den Bodeneigenschaften und dem Standortklima ab (Agroscope, 2025).

Für den Bauernhof Langerlen bedeutet dies, dass die Rückführung organischer Materialien wie Mist und hofeigener Kompost einen möglichen Beitrag zum Erhalt oder zur Erhöhung des Bodenkohlenstoffs leisten kann. Auch eine möglichst dauerhafte Pflanzendecke und das Belassen von Wurzeln und Pflanzenresten können den Kohlenstoffeintrag unterstützen. Entscheidend ist jedoch, ob langfristig mehr Kohlenstoff im Boden verbleibt, als durch Abbau und andere Prozesse verloren geht. Eine organische Bewirtschaftung allein garantiert deshalb noch keine zusätzliche CO^2-Speicherung (Agroscope, 2025).

Die praktischen Untersuchungen liefern erste Hinweise auf einzelne Prozesse, die mit dem Kohlenstoffkreislauf zusammenhängen. Der Abbau des vergrabenen Baumwollstoffs zeigt, dass das organische Material während der Versuchsdauer deutlich zersetzt wurde. Daraus lässt sich jedoch nicht ableiten, welcher Anteil des Kohlenstoffs als CO^2 freigesetzt wurde und welcher Anteil in anderer Form im Boden verblieb. Auch der Versuch mit den beiden Kompostmieten kann die tatsächliche CO^2-Speicherung nicht beurteilen. Beobachtet wurden Unterschiede im Geruch und im äusseren Erscheinungsbild, nicht aber die Kohlenstoffgehalte oder die Zusammensetzung der fertigen Komposte.

Die bisherigen Bodenanalysen erlauben ebenfalls keinen sicheren Nachweis einer erhöhten Kohlenstoffspeicherung. Dafür müssten die organischen Kohlenstoffvorräte über längere Zeit an vergleichbaren Standorten und mit derselben Methode untersucht werden. Zusätzlich wären Angaben zur Bodentiefe und Lagerungsdichte notwendig, um den Kohlenstoffvorrat pro Fläche zuverlässig zu bestimmen. Erst durch solche wiederholten Messungen liesse sich beurteilen, ob die Bewirtschaftung auf den untersuchten Flächen tatsächlich zu einer zusätzlichen Speicherung von Kohlenstoff führt (Bundesamt für Umwelt [BAFU], 2025).

Die Untersuchungen auf dem Bauernhof Langerlen zeigen somit mögliche Ansatzpunkte für eine Bewirtschaftung, die den Erhalt des Bodenkohlenstoffs unterstützt. Ein messbarer Beitrag zur zusätzlichen CO^2-Speicherung konnte im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht nachgewiesen werden. Der Klimanutzen humusfördernder Massnahmen liegt deshalb zunächst im Potenzial, organische Substanz im Boden zu erhalten und die Voraussetzungen für eine langfristige Kohlenstoffspeicherung zu verbessern. (Agroscope o. J.)

7.5 Stickstoffverluste und Ammoniak

Stickstoff ist für das Pflanzenwachstum unverzichtbar. Damit er den Pflanzen möglichst gut zur Verfügung steht, sollte er im landwirtschaftlichen Nährstoffkreislauf gehalten und möglichst effizient genutzt werden. Während der Lagerung, Verarbeitung und Ausbringung organischer Dünger kann jedoch Stickstoff verloren gehen. Eine wichtige Form ist Ammoniak (NH_3), das als gasförmige Stickstoffverbindung in die Atmosphäre entweicht. Weitere Verluste können beispielsweise durch Nitratauswaschung oder die Bildung von Lachgas entstehen (Agroscope, 2025; Bundesamt für Landwirtschaft [BLW], 2024).

Die beiden untersuchten Kompostmieten aus Mist und Gras bieten eine Möglichkeit, den Umgang mit Stickstoff im Rahmen der hofeigenen Verwertung organischer Materialien näher zu betrachten. Zu Beginn des Versuchs verschwand der Ammoniakgeruch bei der mit TMS LIS Granulat versetzten Miete rasch. Diese Beobachtung ist interessant, lässt aber keine sichere Aussage über die tatsächlichen Stickstoffverluste zu. Ein fehlender Geruch bedeutet nicht zwingend, dass weniger Ammoniak in die Atmosphäre gelangt ist. Dafür wären Messungen der Ammoniakemissionen oder eine Untersuchung der Stickstoffgehalte vor und nach der Rotte erforderlich.

Auch aus dem späteren Erscheinungsbild der beiden Mieten lässt sich nicht ableiten, welche Variante den Stickstoff besser erhalten hat. Da weder der Stickstoffgehalt des Ausgangsmaterials noch jener des fertigen Komposts bestimmt wurde, ist ein direkter Vergleich der Stickstoffverluste nicht möglich. Die Beobachtungen erlauben deshalb keine abschliessende Beurteilung, ob das TMS LIS Granulat zur Verringerung von Stickstoffverlusten beigetragen hat.

Für die landwirtschaftliche Praxis bleibt entscheidend, dass organische Dünger nicht nur als Nährstoffquelle betrachtet werden, sondern auch hinsichtlich möglicher Verluste. Eine möglichst bedarfsgerechte Verwendung und emissionsarme Handhabung können dazu beitragen, den vorhandenen Stickstoff effizienter zu nutzen. Die vorliegenden Untersuchungen zeigen jedoch nicht, in welchem Umfang sich solche Verluste auf dem Bauernhof Langerlen durch die untersuchten Massnahmen beeinflussen lassen. (Agroscope o. J.)

7.6 Aussagekraft und Grenzen der Untersuchung

Die praktischen Untersuchungen auf dem Bauernhof Langerlen ermöglichen einen Einblick in unterschiedliche Aspekte der Bodengesundheit. Gleichzeitig unterscheiden sich die eingesetzten Methoden hinsichtlich ihrer Aussagekraft. Die T-Shirt-Methode liefert einen qualitativen Hinweis auf den Abbau organischen Materials. Die Spatenprobe ermöglicht eine visuelle Beurteilung der Bodenstruktur und Durchwurzelung. Die Laboranalysen liefern dagegen messbare Werte zu ausgewählten chemischen Bodeneigenschaften. Keine dieser Methoden kann für sich allein sämtliche Aspekte der Bodengesundheit erfassen.

Eine wesentliche Einschränkung besteht darin, dass die Untersuchungen nur einen begrenzten Zeitraum abdecken. Veränderungen des Bodens und insbesondere des Humus- und Kohlenstoffvorrats entwickeln sich häufig über mehrere Jahre. Die bisherigen Beobachtungen erlauben daher keine abschliessende Beurteilung der langfristigen Bodenentwicklung.

Auch die beiden Kompostmieten sind hinsichtlich ihrer Aussagekraft begrenzt. Es wurde jeweils nur eine Miete pro Variante untersucht. Wiederholungen unter vergleichbaren Bedingungen fehlten. Zudem wurden keine systematischen Messungen von Temperatur, Feuchtigkeit, Ammoniakemissionen oder Rottegrad durchgeführt. Der Einfluss des Granulats kann deshalb nicht eindeutig von anderen möglichen Einflussfaktoren getrennt werden.

Bei den Bodenanalysen ist ebenfalls Vorsicht bei der Interpretation erforderlich. Die Ergebnisse zeigen den Zustand der untersuchten Flächen zu den jeweiligen Probenahmezeitpunkten. Sie belegen jedoch nicht, dass eine einzelne Bewirtschaftungsmassnahme für eine festgestellte Veränderung verantwortlich ist. Unterschiedliche Analysemethoden und nicht vollständig vergleichbare Ausgangsbedingungen erschweren zudem die Beurteilung langfristiger Entwicklungen, insbesondere beim Humusgehalt.

Die Untersuchungen sind deshalb vor allem als praktische Bestandsaufnahme zu verstehen. Sie zeigen Auffälligkeiten auf, ermöglichen erste Vergleiche und machen deutlich, wo weitere Messungen sinnvoll wären. Für gesicherte Aussagen zum Humusaufbau, zur CO^2-Speicherung und zur Verminderung von Stickstoffverlusten reichen die vorhandenen Daten jedoch noch nicht aus.

7.7 Bedeutung für den Bauernhof Langerlen

Aus den Untersuchungen lassen sich mehrere Ansatzpunkte für die weitere Bewirtschaftung auf dem Bauernhof Langerlen ableiten. Die hofeigene Kompostierung ermöglicht es, organische Materialien innerhalb des Betriebs weiterzuverwenden. Ihr langfristiger Nutzen sollte jedoch nicht allein anhand des äusseren Erscheinungsbilds oder des Rotteverlaufs beurteilt werden. Entscheidend ist auch, welche Qualität der fertige Kompost aufweist und wie er sich auf die Böden auswirkt.

Bei zukünftigen Kompostversuchen wäre es sinnvoll, die eingesetzten Mengen und Materialien genau zu dokumentieren und die Mieten unter möglichst vergleichbaren Bedingungen anzulegen. Dabei ist es jedoch nicht immer einfach, gleiche Bedingungen zu schaffen, da Feldrandkompostmieten regelmässig an einen anderen Standort verlegt werden müssen. Auch Temperatur, Niederschlag, Feuchtigkeit, Luftzufuhr und Bodenverhältnisse beeinflussen den Rotteprozess. Eine Kompostmiete dauert etwa so 5 bis 8 Wochen, bis der Kompost bereit ist.

Ergänzende Temperatur- und Feuchtigkeitsmessungen könnten helfen, den Rotteverlauf systematischer zu verfolgen. Eine Analyse des fertigen Komposts, insbesondere des organischen Kohlenstoff- und Stickstoffgehalts, würde eine bessere Beurteilung seiner Zusammensetzung ermöglichen. Wenn die Wirkung des Granulats genauer untersucht werden soll, wären wiederholte Versuche sowie gezielte Messungen der Stickstoffverluste notwendig.

Auch die weitere Beobachtung der Bodenentwicklung ist wichtig. Wiederholte Bodenproben an denselben Standorten, in vergleichbaren Bodentiefen und mit derselben Analysemethode würden ermöglichen, Veränderungen zuverlässiger zu beurteilen. Für eine Aussage zur langfristigen Kohlenstoffspeicherung müssten zusätzlich die organischen Kohlenstoffvorräte pro Fläche bestimmt werden. Die chemischen Bodenwerte, insbesondere der weiterhin tiefe pH-Wert der untersuchten Flächen, sollten unabhängig davon im Rahmen der weiteren Bodenbewirtschaftung berücksichtigt werden.

Beim Stickstoffmanagement besteht die Herausforderung darin, die Nährstoffe möglichst effizient zu nutzen und vermeidbare Verluste zu reduzieren. Dazu gehören eine am Pflanzenbedarf orientierte Düngung und eine sorgfältige Handhabung organischer Dünger. Die konkreten Massnahmen müssen an die jeweiligen Betriebsbedingungen, die Flächen und die eingesetzten Dünger angepasst werden (BLW, 2024).

Insgesamt zeigen die Untersuchungen, dass auf dem Bauernhof Langerlen verschiedene Ansatzpunkte vorhanden sind, um die Bodengesundheit zu beobachten und die Bewirtschaftung gezielt weiterzuentwickeln. Der nächste Schritt besteht darin, die bisherigen praktischen Beobachtungen durch längerfristige und besser vergleichbare Messungen zu ergänzen. Dadurch kann künftig zuverlässiger beurteilt werden, welche Massnahmen den Humusaufbau unterstützen, den Bodenkohlenstoff langfristig erhalten und zu einem möglichst verlustarmen Umgang mit Stickstoff beitragen.

8 Fazit

8.1 Beantwortung der Fragestellung

Die Fragestellung dieser Diplomarbeit lautete: Welche Erkenntnisse liefern die praktischen Untersuchungen auf dem Bauernhof Langerlen über das Bodenleben, die Bodengesundheit und die organische Bewirtschaftung, und welche Schlussfolgerungen lassen sich daraus für den Humusaufbau, die langfristige Kohlenstoffspeicherung und einen möglichst verlustarmen Umgang mit Stickstoff ableiten?

Die Untersuchungen zeigen, dass sich die Bodengesundheit nur durch die gemeinsame Betrachtung biologischer, physikalischer und chemischer Eigenschaften beurteilen lässt. Die T-Shirt-Methode lieferte einen sichtbaren Hinweis auf den Abbau organischen Materials. Die Spatenprobe zeigte eine gute Durchwurzelung im oberen Bodenbereich und überwiegend krümelige Bodenbereiche, wobei vereinzelt festere Stellen vorhanden waren. Gleichzeitig wiesen die Laboranalysen auf weiterhin saure Bodenbedingungen hin. Die Ergebnisse zeichnen somit ein differenziertes Bild: Positive Beobachtungen zur biologischen Aktivität und Bodenstruktur schliessen chemische Herausforderungen nicht aus.

Auch die Untersuchung der beiden Kompostmieten lieferte praktische Erkenntnisse. Die mit TMS LIS Granulat versetzte Miete zeigte zu Beginn Unterschiede beim wahrgenommenen Ammoniakgeruch und beim Rotteverlauf. Später waren die beiden Mieten äusserlich weitgehend ähnlich. Da keine Messungen des Rottegrades oder der Stickstoffverluste durchgeführt wurden, lässt sich weder eine eindeutig beschleunigte Rotte noch eine bessere Stickstofferhaltung durch das Granulat nachweisen.

Für den Humusaufbau und die langfristige Kohlenstoffspeicherung lässt sich daraus ableiten, dass die Rückführung organischer Materialien eine mögliche Grundlage für die Erhaltung und Entwicklung der Bodenfruchtbarkeit bildet. Ob der Humusgehalt auf den untersuchten Flächen tatsächlich zunimmt und dadurch zusätzlich Kohlenstoff gespeichert wird, konnte mit den vorliegenden Untersuchungen jedoch nicht belegt werden. Auch die Wirkung der untersuchten Kompostvariante auf Stickstoffverluste bleibt offen.

Die Fragestellung lässt sich somit insofern beantworten, als die praktischen Untersuchungen wichtige Einblicke in den Zustand der Böden und in die hofeigene Verwertung organischer Materialien ermöglichen. Für Aussagen über langfristige Veränderungen und die Wirksamkeit einzelner Massnahmen sind jedoch weiterführende Untersuchungen notwendig.

8.2 Wichtigste Erkenntnisse

Eine zentrale Erkenntnis dieser Arbeit ist, dass einzelne Beobachtungen nicht ausreichen, um die Bodengesundheit umfassend zu beurteilen. Erst das Zusammenspiel verschiedener Untersuchungsmethoden macht sichtbar, wo günstige Eigenschaften vorhanden sind und wo weiterer Handlungsbedarf besteht. Die Spatenprobe, die T-Shirt-Methode und die Laboranalysen erfüllten dabei unterschiedliche Aufgaben und ergänzten sich gegenseitig.

Zudem wurde deutlich, dass Humusaufbau und CO^2-Speicherung langfristig betrachtet werden müssen. Ein sichtbarer Abbau organischen Materials ist nicht gleichbedeutend mit einer Zunahme des Humusgehalts. Ebenso lässt sich aus einer verbesserten oder weiter fortgeschrittenen Kompostrotte nicht unmittelbar auf eine höhere langfristige Kohlenstoffspeicherung schliessen. Dafür sind vergleichbare Messungen über längere Zeiträume erforderlich.

Die Kompostuntersuchung zeigt ausserdem, wie wichtig eine sorgfältige Trennung zwischen Beobachtung und Schlussfolgerung ist. Der anfängliche Unterschied zwischen den beiden Mieten war für den praktischen Versuch interessant. Da die Unterschiede später gering waren und keine Messdaten vorliegen, bleibt die tatsächliche Wirkung des Granulats unklar. Für einen belastbaren Vergleich braucht es deshalb eine systematischere Versuchsanordnung.

Schliesslich zeigt die Arbeit, dass organische Bewirtschaftung mehrere Ziele gleichzeitig verfolgen kann: organische Materialien im Betrieb nutzen, die Bodenstruktur erhalten, die Bodenfruchtbarkeit unterstützen und den vorhandenen Stickstoff möglichst effizient einsetzen. Ob diese Ziele tatsächlich erreicht werden, muss anhand geeigneter Kriterien beurteilt werden. Gute Voraussetzungen und erste positive Beobachtungen sind wertvoll, ersetzen aber keinen langfristigen Nachweis.

8.3 Empfehlungen für den Betrieb

Für die weitere Bewirtschaftung empfiehlt es sich, die hofeigene Kompostierung fortzuführen und ihre Entwicklung gezielter zu dokumentieren. Die verwendeten Ausgangsmaterialien und Mengen sowie die Bearbeitungsschritte sollten bei jedem Ansatz festgehalten werden. So können spätere Kompostmieten besser miteinander verglichen werden. Eine Analyse des fertigen Komposts könnte zusätzliche Informationen über den Gehalt an organischem Kohlenstoff und Stickstoff liefern.

Bei weiteren Versuchen mit TMS LIS Granulat sollten die beiden Varianten unter möglichst vergleichbaren Bedingungen geführt und wiederholt untersucht werden. Ergänzende Messungen, beispielsweise der Temperatur und des Rottegrades, würden eine objektivere Beurteilung ermöglichen. Um die Wirkung auf Stickstoffverluste zu untersuchen, wären darüber hinaus geeignete Messungen oder Analysen erforderlich. Der Geruch allein ist dafür kein verlässlicher Massstab.

Für die Böden empfiehlt es sich, die Entwicklung der Laborwerte regelmässig zu verfolgen. Die weiterhin tiefen pH-Werte verdienen besondere Aufmerksamkeit und sollten bei der weiteren Planung der Kalkversorgung unter Berücksichtigung der Bodenanalysen und der betrieblichen Bedingungen beurteilt werden. Wiederholte Proben sollten möglichst an denselben Stellen, in vergleichbaren Bodentiefen und mit derselben Methode genommen werden. Dadurch lassen sich Veränderungen zuverlässiger erkennen.

Die bisherigen Untersuchungen bieten eine Ausgangsbasis für diese weitere Beobachtung. Sie ermöglichen es, offene Fragen gezielt anzugehen, ohne bereits von einer nachgewiesenen Verbesserung des Humusgehalts, der CO^2-Speicherung oder der Stickstoffeffizienz auszugehen.

8.4 Ausblick

Die Arbeit bildet eine erste Bestandsaufnahme der untersuchten Böden und der hofeigenen Kompostierung auf dem Bauernhof Langerlen. Ihr Wert liegt nicht allein in den bisher gewonnenen Ergebnissen, sondern auch darin, dass sie konkrete Fragen für die weitere Entwicklung des Betriebs aufzeigt.

Besonders aufschlussreich wäre es, die Bodenanalysen über mehrere Jahre fortzuführen und mit den dokumentierten Bewirtschaftungsmassnahmen zu vergleichen. Dadurch könnte sichtbar werden, wie sich die chemischen Bodeneigenschaften und der Humusgehalt langfristig entwickeln. Eine ergänzende Untersuchung des fertigen Komposts und der beiden Kompostvarianten könnte zudem zeigen, ob sich die Unterschiede in der Zusammensetzung oder Qualität messen lassen.

Für die Beurteilung der CO^2-Speicherung wäre eine längere Messreihe erforderlich, bei der die Kohlenstoffvorräte im Boden unter vergleichbaren Bedingungen erfasst werden. Auch die Stickstoffverluste könnten durch gezielte Untersuchungen genauer beurteilt werden. Damit liessen sich die praktischen Beobachtungen zunehmend durch belastbare Daten ergänzen.

Humusaufbau ist kein kurzfristiges Ergebnis, sondern eine langfristige Aufgabe. Die untersuchten Massnahmen bieten Ansatzpunkte für eine bodenschonende und ressourcenbewusste Bewirtschaftung. Entscheidend wird sein, ihre Wirkung über längere Zeit zu beobachten und die Bewirtschaftung anhand der gewonnenen Erkenntnisse weiterzuentwickeln. Die vorliegende Arbeit schafft dafür eine Grundlage, ohne Ergebnisse vorwegzunehmen, die erst zukünftige Untersuchungen zeigen können.

9 Reflexion und Lessons Learned

9.1 Reflexion des Arbeitsprozesses

Die Wahl eines passenden Themas für meine Diplomarbeit ist mir eigentlich leichtgefallen. Der Humusaufbau in der Landwirtschaft hat mich interessiert, weil er einen direkten Bezug zur Praxis hat und gleichzeitig wichtige Fragen zur Bodengesundheit, zur nachhaltigen Bewirtschaftung und zum Klimaschutz aufwirft. Besonders spannend fand ich die Möglichkeit, nicht nur theoretisch über diese Zusammenhänge zu schreiben, sondern auf dem Bauernhof Langerlen eigene Untersuchungen durchzuführen.

Im Verlauf der Arbeit wurde mir jedoch bewusst, dass sich praktische Untersuchungen nicht immer so umsetzen lassen, wie man sie ursprünglich geplant hat. Durch die Trockenheit im Sommer waren die Bedingungen für einige geplante Versuche nicht geeignet. Besonders das vorgesehene Holistic Weidemanagement konnte deshalb nicht wie geplant untersucht werden. Das war eine Einschränkung, weil dadurch ein interessanter Aspekt der Bewirtschaftung nicht in die praktische Untersuchung einbezogen werden konnte.

Auch die verfügbare Zeit war eine Herausforderung. Die Arbeit wurde in einem begrenzten Zeitraum durchgeführt, während Prozesse wie die Kompostierung, die Zersetzung organischen Materials und die Entwicklung des Bodens Zeit benötigen. Eine Kompostmiete muss zunächst richtig angesetzt werden und anschliessend ausreichend Zeit für die Rotte haben. Auch Veränderungen der Bodeneigenschaften lassen sich nicht innerhalb weniger Wochen abschliessend beurteilen.

Trotz dieser Einschränkungen empfinde ich den Arbeitsprozess als wertvoll. Ich musste mich mit den tatsächlichen Bedingungen auf dem Betrieb auseinandersetzen und mein Vorgehen an das anpassen, was praktisch möglich war. Dadurch habe ich gelernt, dass eine Untersuchung nicht immer vollständig nach Plan verlaufen kann und dass es wichtig ist, die Grenzen der eigenen Arbeit offen zu erkennen.

9.2 Fachliche Erkenntnisse

Die eingesetzten Methoden ermöglichten es, unterschiedliche Eigenschaften des Bodens und der organischen Bewirtschaftung zu betrachten. Die Baumwollprobe, die Spatenprobe, die Laboranalysen und der Vergleich der beiden Kompostmieten lieferten jeweils unterschiedliche Informationen. Rückblickend war diese Kombination sinnvoll, weil dadurch nicht nur ein einzelner Aspekt der Bodengesundheit betrachtet wurde.

Gleichzeitig unterscheiden sich die Methoden in ihrer Aussagekraft. Die T-Shirt-Methode zeigte sichtbar, wie stark sich das Material während der Versuchsdauer zersetzt hatte. Sie erlaubt jedoch keine direkte Aussage darüber, wie viele Bodenorganismen vorhanden waren oder wie viel Humus beziehungsweise Kohlenstoff im Boden aufgebaut wurde. Die Spatenprobe vermittelte einen praktischen Eindruck der Durchwurzelung und Bodenstruktur, blieb aber eine visuelle Beurteilung. Die Laboranalysen lieferten konkretere Messwerte zu den untersuchten Bodeneigenschaften, müssen jedoch ebenfalls im Zusammenhang mit den jeweiligen Probenahmebedingungen betrachtet werden.

Auch beim Kompostversuch wurde deutlich, wie wichtig es ist, Beobachtungen von nachgewiesenen Wirkungen zu unterscheiden. Obwohl sich die beiden Kompostmieten zu Beginn

teilweise unterschiedlich entwickelten, waren sie später im äusseren Erscheinungsbild weitgehend ähnlich. Ohne Temperaturmessungen, Analysen des fertigen Komposts oder Messungen der Stickstoffverluste lassen sich aus diesen Beobachtungen keine eindeutigen Aussagen über die Wirkung des Granulats ableiten.

Rückblickend hätte ich einzelne Untersuchungen noch genauer dokumentieren und stärker standardisieren können. Gerade bei der Kompostierung wären systematische Messungen hilfreich gewesen, um Veränderungen objektiver zu erfassen. Auch für die Beurteilung des Bodens wären langfristige Wiederholungsmessungen aussagekräftiger als einzelne Momentaufnahmen gewesen. Die Ergebnisse sind deshalb als praktische Bestandsaufnahme zu verstehen und nicht als abschliessender Nachweis langfristiger Veränderungen.

9.3 Persönliche Erkenntnisse

Die Untersuchungen haben mir gezeigt, dass sich die Bodengesundheit nicht anhand eines einzelnen Messwerts beurteilen lässt. Biologische Aktivität, Bodenstruktur und chemische Bodeneigenschaften müssen gemeinsam betrachtet werden. Eine gute Durchwurzelung oder ein sichtbarer Abbau organischen Materials bedeutet nicht automatisch, dass sämtliche Bodeneigenschaften optimal sind. Ebenso können Laboranalysen wichtige Herausforderungen aufzeigen, die bei einer rein visuellen Beurteilung nicht erkennbar wären.

Für den Bauernhof Langerlen liefern die Ergebnisse eine Grundlage, um die weitere Entwicklung der Böden und der hofeigenen Kompostierung gezielter zu beobachten. Besonders die Bodenanalysen können bei späteren Wiederholungen helfen, Veränderungen an den untersuchten Standorten besser einzuordnen. Die Kompostversuche zeigen zudem, welche Fragen bei zukünftigen Ansätzen genauer untersucht werden könnten.

Eine direkte Übertragung der Ergebnisse auf andere Landwirtschaftsbetriebe ist jedoch nur eingeschränkt möglich. Bodenart, Standort, Witterung, Bewirtschaftungsweise und Ausgangsmaterialien können sich deutlich unterscheiden. Was auf Langerlen beobachtet wurde, muss deshalb nicht unter anderen Bedingungen gleich ausfallen. Die Untersuchungen liefern vor allem Erkenntnisse über den untersuchten Betrieb und erste Hinweise darauf, welche Fragen auch für andere Betriebe relevant sein könnten.

Besonders wichtig ist für mich die Erkenntnis, dass praktische Beobachtungen durchaus wertvoll sind, auch wenn sie nicht alle wissenschaftlichen Fragen abschliessend beantworten. Sie können Zusammenhänge sichtbar machen, neue Fragen aufwerfen und zeigen, wo weitere Untersuchungen sinnvoll wären. Entscheidend ist, die Ergebnisse realistisch einzuordnen und keine Wirkungen zu behaupten, die durch die vorhandenen Daten nicht belegt werden können.

9.4 Anpassungen während des Projektes

Am meisten überrascht hat mich, wie viel sich trotz der kurzen Untersuchungszeit bereits beobachten liess. Obwohl sich langfristige Veränderungen des Humusgehalts oder der Kohlenstoffspeicherung nicht nachweisen liessen, konnten mit einfachen praktischen Methoden Unterschiede und interessante Eigenschaften sichtbar gemacht werden. Das hat mir gezeigt, dass auch eine zeitlich begrenzte Untersuchung wertvolle Erkenntnisse liefern kann, wenn die Beobachtungen sorgfältig durchgeführt und kritisch eingeordnet werden.

Gleichzeitig ist mir bewusst geworden, wie viel Geduld die Beschäftigung mit dem Boden erfordert. Viele Prozesse lassen sich nicht beschleunigen, nur weil ein Projekt einen festen Abgabetermin hat. Der Kompost muss sich entwickeln können, organisches Material wird über einen längeren Zeitraum umgesetzt und Veränderungen im Boden zeigen sich häufig erst nach Jahren. Für eine fundierte Beurteilung braucht es deshalb nicht nur gute Methoden, sondern auch genügend Zeit.

Bei einer Weiterführung der Arbeit würde ich vor allem die Kompostversuche über einen längeren Zeitraum beobachten und durch zusätzliche Messungen ergänzen. Ebenso wäre es sinnvoll, die Bodenanalysen an denselben Standorten regelmässig mit vergleichbaren Methoden zu wiederholen. Dadurch könnten Veränderungen zuverlässiger beurteilt werden. Auch das ursprünglich geplante Holistic Weidemanagement könnte bei geeigneten Witterungsbedingungen erneut aufgegriffen werden.

Aus der Diplomarbeit nehme ich mit, dass wissenschaftliches Arbeiten nicht nur bedeutet, Ergebnisse zu sammeln. Ebenso wichtig sind eine realistische Planung, die Anpassung an unerwartete Bedingungen und der sorgfältige Umgang mit Unsicherheiten. Ich habe gelernt, dass ein Versuch auch dann wertvoll sein kann, wenn er nicht alle erwarteten Antworten liefert. Manchmal besteht eine wichtige Erkenntnis gerade darin, zu erkennen, was sich mit den vorhandenen Methoden und innerhalb der verfügbaren Zeit sagen lässt – und was noch offenbleibt.

Insgesamt hat mich die Arbeit darin bestärkt, den Boden als lebendigen und komplexen Bestandteil der Landwirtschaft zu betrachten. Die Untersuchungen haben erste Einblicke ermöglicht und gleichzeitig gezeigt, dass Humusaufbau, Kohlenstoffspeicherung und Bodengesundheit langfristige Themen sind. Die gewonnenen Erkenntnisse bilden für mich deshalb keinen endgültigen Abschluss, sondern eine Grundlage für weitere Beobachtungen und eine bewusste Auseinandersetzung mit der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung.

10 Persönliches Schlusswort

Die Arbeit an dieser Diplomarbeit war für mich eine spannende Erfahrung. Ich habe mich bewusst für ein Thema entschieden, das mich interessiert und einen direkten Bezug zur Landwirtschaft hat. Besonders geschätzt habe ich, dass ich mich nicht nur mit theoretischen Grundlagen beschäftigen, sondern auf dem Bauernhof Langerlen eigene Untersuchungen durchführen und verschiedene Dinge selbst beobachten konnte.

Während der Arbeit habe ich gemerkt, wie umfangreich das Thema Humusaufbau eigentlich ist. Es hätte noch viele Bereiche gegeben, in die ich gerne etwas tiefer eingestiegen wäre. Besonders die Zusammenhänge zwischen Bodenleben, Humusaufbau und langfristiger CO^2-Speicherung hätten noch weitere interessante Untersuchungsmöglichkeiten geboten. Auch den Kompostversuch hätte ich gerne länger begleitet und mit zusätzlichen Messungen ergänzt. Dafür hat die verfügbare Zeit jedoch nicht ausgereicht. Zudem konnten wir wegen der Trockenheit im Sommer das geplante Holistic Weidemanagement nicht wie vorgesehen durchführen.

Trotzdem bin ich erstaunt, wie viel sich bereits in dieser relativ kurzen Zeit beobachten liess. Besonders die T-Shirt-Methode und die Spatenprobe haben mir gezeigt, wie viel direkt im Boden geschieht und mit einfachen Methoden sichtbar gemacht werden kann. Auch die Bodenanalysen und der Kompostversuch haben mir interessante Einblicke ermöglicht. Gleichzeitig ist mir bewusst geworden, dass viele Prozesse im Boden Zeit brauchen und sich Veränderungen wie der Humusaufbau nicht kurzfristig beurteilen lassen.

Ich nehme aus dieser Arbeit vor allem mit, dass ein gesunder Boden nicht selbstverständlich ist und dass es sich lohnt, sich bewusst mit ihm auseinanderzusetzen. Die Diplomarbeit hat mein Interesse an der Bodengesundheit und an einer nachhaltigen Landwirtschaft weiter vertieft. Auch wenn ich nicht alle Themen so ausführlich behandeln konnte, wie ich es gerne getan hätte, bin ich zufrieden mit den Erkenntnissen, die ich gewinnen konnte, und mit den praktischen Erfahrungen, die ich während dieser Arbeit sammeln durfte.

11 Verdankungen

Ein grosser Dank geht an den Bauernhof Langerlen und die Familie Bühler, die mir die Möglichkeit gegeben haben, meine Diplomarbeit auf ihrem Betrieb durchzuführen. Die Offenheit und Unterstützung haben mir ermöglicht, theoretische Inhalte mit praktischen Untersuchungen zu verbinden und wertvolle Einblicke in den landwirtschaftlichen Alltag zu erhalten.

Besonders bedanken möchte ich mich bei Sven Bühler. Als Bauer hat er mich mit seinem Wissen, seiner Zeit und seiner tatkräftigen Unterstützung begleitet. Er hat mir Einblicke in die Bewirtschaftung des Betriebs ermöglicht, meine praktischen Untersuchungen unterstützt und stand mir bei Fragen immer zur Seite. Gerade die Möglichkeit, verschiedene Versuche direkt auf dem Hof durchzuführen und dabei von seinen Erfahrungen zu profitieren, war für meine Arbeit sehr wertvoll.

Ohne die Unterstützung von Sven und dem ganzen Bauernhof Langerlen wäre der praktische Teil dieser Diplomarbeit in dieser Form nicht möglich gewesen. Ich habe die Zusammenarbeit, die unkomplizierte Art und die Bereitschaft, mich bei meinem Vorhaben zu unterstützen, sehr geschätzt.

Dafür möchte ich mich herzlich bedanken.

Ein weiterer besonderer Dank geht an Livia Bühler. Sie hat meine gesamte Diplomarbeit sorgfältig durchgelesen und korrigiert. Ausserdem hat sie mir viele wertvolle Inputs und Anregungen zum Thema Bodengesundheit, Humusaufbau und Landwirtschaft gegeben. Ihre Rückmeldungen haben mir geholfen, verschiedene Inhalte nochmals zu überdenken und die Arbeit weiter zu verbessern. Ihre Zeit, Unterstützung und hilfreichen Gedanken waren sehr wertvoll für meine Arbeit.

12 Eigenständigkeitserklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Diplomarbeit mit dem Titel **Humusaufbau in der Landwirtschaft – Einfluss auf Bodengesundheit und CO^2-Speicherung** selbstständig und eigenhändig erstellt habe.

Die im Literaturverzeichnis angegebenen Hilfsmittel, Datenquellen und Dokumente wurden aufgeführt.

Die Verwendung von KI-gestützten Werkzeugen wird in einer separaten Erklärung offengelegt.

Ort, Datum: 6103 Schwarzenberg, 09.11.2026

Unterschrift: _____

Erklärung zur Verwendung von künstlicher Intelligenz

Bei der Erstellung dieser Arbeit wurden KI-gestützte Werkzeuge als Hilfsmittel eingesetzt. Gemäss der Richtlinie zur Nutzung von KI an der TEKO Luzern wird die Verwendung nachfolgend offengelegt.

Verwendete Werkzeuge

Für die inhaltliche Erarbeitung, die Rechercheunterstützung und die Textredaktion wurde ChatGPT von OpenAI verwendet.

Art und Umfang der Nutzung

ChatGPT wurde insbesondere für folgende Arbeitsschritte eingesetzt:

- **Fachliche Unterstützung:** Hilfe beim Verständnis und bei der verständlichen Darstellung von fachlichen Zusammenhängen zu Bodengesundheit, Humusaufbau, Bodenleben, Kompostierung, Kohlenstoffspeicherung und Stickstoff.
- **Rechercheunterstützung:** Unterstützung bei der Suche nach geeigneten Fachquellen und weiterführenden Informationen zur fachlichen Vertiefung einzelner Themen.

Eigenleistung und Verantwortung

Sämtliche inhaltlichen Entscheidungen dieser Arbeit stammen von mir. Dazu gehört die Festlegung der Untersuchungsschwerpunkte, die Auswahl der praktischen Untersuchungen, die Durchführung der Versuche, die Erfassung der Beobachtungen sowie die Beurteilung der Ergebnisse und die daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen und Empfehlungen.

Die eingesetzten KI-Werkzeuge dienten der Unterstützung bei der Strukturierung, Formulierung und Aufbereitung der Inhalte, nicht der eigenständigen Festlegung der Untersuchungsergebnisse oder meiner fachlichen Beurteilung.

Alle mit KI-Unterstützung erarbeiteten Inhalte wurden von mir geprüft, mit den zugrunde liegenden Quellen abgeglichen und inhaltlich verantwortet. Fehlerhafte oder nicht belegbare Angaben wurden korrigiert oder entfernt.

Die praktischen Beobachtungen, Bodenproben und Versuchsergebnisse vom Bauernhof Langerlen beruhen auf den selbst durchgeführten Untersuchungen und den zur Verfügung gestellten betrieblichen Unterlagen. Es wurden keine Messwerte oder Versuchsergebnisse durch künstliche Intelligenz erzeugt.

Kennzeichnung

Die in dieser Diplomarbeit verwendeten GIS-Auszüge und fotografischen Dokumentationen stammen aus den jeweiligen Originalquellen beziehungsweise aus den eigenen praktischen Untersuchungen. Es wurden keine KI-generierten Abbildungen verwendet.

Ort, Datum: 6103 Schwarzenberg, 09.11.2026

Unterschrift: _____

13 Literaturverzeichnis

Agrocope. (23. Oktober 2025). *Mikro- und molekularbiologische Erhebungen*. Von https://www.agroscope.admin.ch/de/biologische-untersuchungen abgerufen

Agroscope. (7. August 2025). *Ammoniakemissionen*. Von https://www.agroscope.admin.ch/de/ammoniakemissionen abgerufen

Agroscope. (6. November 2025). *CO2 Senken und Quellen in landwirtschaftlichen Böden*. Von https://www.agroscope.admin.ch/de/co2-senken-und-quellen-in-landwirtschaftlichen-boeden abgerufen

Agroscope. (21. Oktober 2025). *Humusbilanz*. Abgerufen am 20. September 2026 von https://www.agroscope.admin.ch/de/humusbilanz

Agroscope. (21. Oktober 2025). *Humusbilanz*. Von https://www.agroscope.admin.ch/de/humusbilanz abgerufen

Agroscope. (23. Oktober 2025). *Physikalische Untersuchungen*. Von https://www.agroscope.admin.ch/de/physikalische-untersuchungen abgerufen

Agroscope. (7. August 2025). *Potenzielle Stickstoffverluste*. Von https://www.agroscope.admin.ch/de/potenzielle-stickstoffverluste abgerufen

Agroscope. (23. Oktober 2025). *Stoffliche Untersuchungen*. Abgerufen am 21. September 2026 von https://www.agroscope.admin.ch/de/stoffliche-untersuchungen

Agroscope. (20. Januar 2026). *Einfluss von landwirtschaftlicher Bewirtschaftung auf die Bodenstruktur und Bodenfunktionen*. Abgerufen am 20. September 2026 von https://www.agroscope.admin.ch/de/einfluss-von-landwirtschaftlicher-bewirtschaftung-auf-die-bodenstruktur-und-bodenfunktionen

BAFU. (24. August 2021). *Boden und seine Funktionen*. Abgerufen am 20. September 2026 von https://www.bafu.admin.ch/de/boden-und-seine-funktionen

BAFU. (3. Mai 2024). *Stickstoffeinträge*. Von https://www.bafu.admin.ch/de/stickstoffeintraege abgerufen

BAFU, B. f. (3. Mai 2024). *Stickstoffeinträge*. Von https://www.bafu.admin.ch/de/stickstoffeintraege abgerufen

BAFU, B. f. (kein Datum). *Immernoch zu viel Torf in schweizer Gärten.* Von https://www.bafu.admin.ch/de/immer-noch-zu-viel-torf-in-schweizer-gaerten abgerufen

BLW. (2023). *Verordnung über Direktzahlungen in der Landwirtschaft.* Von https://www.blw.admin.ch/dam/de/sd-web/jgMQ64V3BzPZ/DZV%20de%20mit%20Weisungen%202026.pdf abgerufen

BLW. (24. August 2026). *Trockenheit 2026: Häufige Fragen und Antworten*. Von https://www.blw.admin.ch/de/newnsb/CTIPoahA7zY3qOIUUZZZq?.com abgerufen

BLW, B. f. (4. Dezember 2024). *Hanglagen*. Von https://www.blw.admin.ch/de/hanglagen abgerufen

BLW, B. f. (November 2025). *Verordnung über Direktzahlungen an die Landwirtschaft.* Von https://www.blw.admin.ch/dam/de/sd-web/jgMQ64V3BzPZ/DZV%20de%20mit%20Weisungen%202026.pdf abgerufen

BLW, B. f. (24. August 2026). *Trockenheit 2026: Häufige Fragen und Antworten*. Von https://www.blw.admin.ch/de/newnsb/CTIPoahA7zY3qOIUUZZZq abgerufen

BLW, B. f. (kein Datum). *Zonenabhängige Massnahmen 2026.* Von https://www.blw.admin.ch/dam/de/sd-web/HD9736PVaV8p/Zonenabh%C3%A4ngige%20Massnahmen%202026.pdf abgerufen

Dunst, G. (2015). *Kompostierung und Erdenherstellung.*

Dunst, G. (2019). *Humusaufbau.*

Dunst, G. (kein Datum). *Gerald Dunst.* Sonnenerde.

Dunst, G. (kein Datum). *Kompostierung und Erdenherstellung.* Sonnenerde.

Fam. Bühler. (2026). *Bauernhof Langerle*. Abgerufen am 10. September 2026 von https://langerlen.ch/bauernhof

FIBL. (2026). *https://www.bioaktuell.ch/.* Von https://www.bioaktuell.ch/fileadmin/documents/ba/Bioregelwerk-2026/deutsch/4_Merkblaetter/1032-hilfsstoffliste.pdf?utm_source=chatgpt.com. abgerufen

Kanton Luzern. (2026). *Geoportal Luzern*.

(2018). *Kompostierung am Feldrand.* Von https://bl-api.webcloud7.ch/politik-und-behorden/direktionen/volkswirtschafts-und-gesundheitsdirektion/ebenrain/landwirtschaft/klima-und-ressourcen/humus/kurzanleitung_feldrandkompostierung_ebenrain.pdf abgerufen

Luzern, K. (kein Datum). *Geodaten.* Von https://geoportal.lu.ch/Karten abgerufen

Luzern, K. (kein Datum). *Naturschutz.* Von https://lawa.lu.ch/Landwirtschaft/Direktzahlungen_und_Beitraege/Biodiversitaetsbeitraege/Naturschutz abgerufen

Schweizer Agrarmedien AG. (2026). *Bauernzeitung*. Abgerufen am 15. September 2026 von https://www.bauernzeitung.ch/artikel/pflanzen/fuenf-methoden-um-den-boden-zu-testen-364430

Seipel, H. (kein Datum). *Fachkunde für Gärtner.* Dr. Felix Büchner.

Umweltämter der Kantone AG, A. B. (2022). *Biogene Abfälle - Mekrblatt für Feldrandkompostierung.* Von https://uwe.lu.ch/-/media/UWE/Dokumente/publikationen/Publikationen_02_G_bis_L/Interkantonales_Merkblatt_Feldrandkompostierung.pdf?hash=57B34D0BFC4E2C35BEFF7F4ED247895A&rev=0ee11b83c3514265a8c57764a3c0687a& abgerufen

14 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Bauernhof Langerlen (eigene Aufnahme) 15
Abbildung 2 - Parzelle Langerle und Oberärtig (Geo Map LU) 16
Abbildung 3 - Parzelle Langerle (Geo Map LU) 17
Abbildung 4 - NHG-Vertragsflächen (Geo Map LU) 18
Abbildung 5 - Biodiversitätsförderflächen Qualität I (Geo Map LU) 20
Abbildung 6 - Biodiversitätsförderflächen Qualität II (Geo Map LU) 20
Abbildung 7 - Landwirtschaftliche Nutzflächen (Geo Map LU) 21
Abbildung 8 - Legende Nutzungsart (Geo Map LU) 21
Abbildung 9 - Bewirtschaftung (Geo Map LU) 22
Abbildung 10 - Legende Bewirtschaftung (Geo Map LU) 22
Abbildung 11 - Hanglagen (Geo Map LU) 23
Abbildung 12 - Legende Hanglagen (Geo Map LU) 23
Abbildung 13 - Grundlagen (Geo Map LU) 24
Abbildung 14 - Legende Landwirtschaftliche Zonen (Geo Map LU) 24
Abbildung 15 - Parzelle Oberärtig (Geo Map LU) 25
Abbildung 16 - NHG-Vertragsflächen 26
Abbildung 17 - Biodiversitätsförderflächen Qualität II (Geo Map LU) 27
Abbildung 18 - Biodiversitätsförderflächen Qualität I (Geo Map LU) 27
Abbildung 19 - Landwirtschaftliche Nutzflächen (Geo Map LU) 28
Abbildung 20 - Legende Nutzungsart (Geo Map LU) 28
Abbildung 21 - Hanglagen (Geo Map LU) 29
Abbildung 22 - Legende Hanglagen (Geo Map LU) 29
Abbildung 23 - Grundlagen (Geo Map LU) 30
Abbildung 24 - Legende Landwirtschaftliche Zonen (Geo Map LU) 30
Abbildung 25 - Kreisdiagramm optimaler Boden (eigene Darstellung) 35
Abbildung 26 - Kreisdiagramm ungünstiger Boden (eigene Darstellung) 35
Abbildung 27 - erste Bodenproben (eigene Darstellung) 36
Abbildung 28 - Einzelne Flächen (Geo Maps LU) 36
Abbildung 29 - Ausbringung von Material durch Mistzetter (eigene Aufnahme) 40
Abbildung 30 - Granulat verteilt auf der Miete (eigene Aufnahme) 41
Abbildung 31 – Kompostwender (eigene Aufnahme) 42
Abbildung 32 - Selber Kompost wenden (eigene Aufnahme) 43
Abbildung 33 - Kompost wird gewendet (eigene Aufnahme) 43

Abbildung 34 - Verwendetes Granulat (eigene Aufnahme) 44
Abbildung 35 - Spatenprobe Oktober (eigene Aufnahme) 45
Abbildung 36 - Zerfall T-Shirt 1 (eigene Aufnahme) 46
Abbildung 37 - T-Shirt 2 (eigene Aufnahme) 47
Abbildung 38 - Zerfall T-Shirt 1(eigene Aufnahme) 47
Abbildung 39 - Bodenschichten (eigene Aufnahme) 51
Abbildung 40 – Bodenhorizonte (eigene Aufnahme) 52
Abbildung 41 - optimale Bodenschichten (Wikipedia) 52
Abbildung 42 - Krümelige Bodenstruktur (eigene Aufnahme) 53

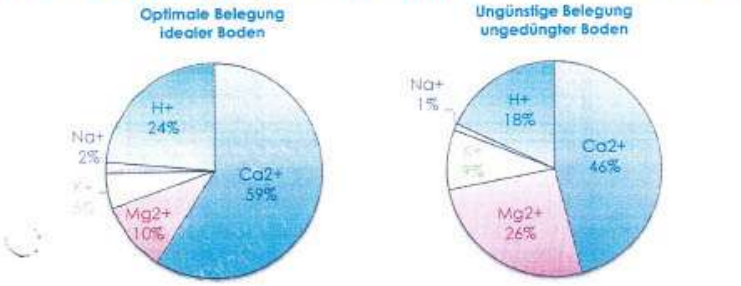
15 Anhang

Bodenproben Januar 2026

Die Basensättigung

Die Basensättigung gibt den Prozentanteil der Austauschplätze an, die mit den basischen Kationen belegt sind. Calcium, Magnesium, Kalium, Natrium sind wichtige Bodennährstoffe, daher lässt eine Angabe über die Basensättigung einen Rückschluss auf die Bodenfruchtbarkeit zu. In Mineralböden sind Basensättigungen von über 75% optimal. Eine Basensättigung von 95% bedeutet, dass 95% des Kationenbeloges des Bodens aus Ca, Mg, K besteht, während 5% der Kapazität mit H -Ionen belegt sind.

Kationenbelegung für eine gute Bodenfruchtbarkeit



Die Wahrheit liegt im Boden

Austauschbare Kationen können innerhalb des Bodens verschoben, in benachbarte Ökosysteme (z. B. Gewässer) verlagert oder von Pflanzenwurzeln aufgenommen werden. Sie betreffen damit unmittelbar die Nährstoffversorgung der Pflanzen und den Stoffhaushalt von Landschaften. Darüber hinaus beeinflussen die austauschbaren Kationen wichtige Bodeneigenschaften wie das Gefüge, den Wasser- und Lufthaushalt, die Bodenreaktion, die Bodenentwicklung, die Bodenfruchtbarkeit, die Pflanzenernährung und nicht zuletzt die biologische Aktivität. Die Kationenaustauschkapazität eines Bodens kann daher als ein Bodenbewertungsmaß angesehen werden.

Empfohlene Analysen für anspruchsvolle Kulturen

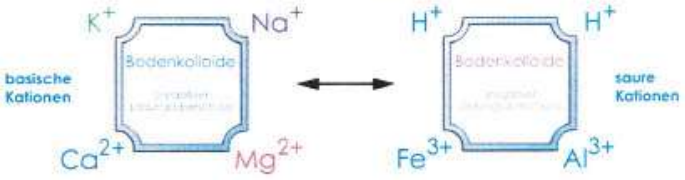
- Premium KAK (Bewertung der Bodenfruchtbarkeit)
- Premium KAK Plus (Bewertung der Bodenfruchtbarkeit)
- Humus (analytisch)
- Körnungfeinerde
- Spurenelemente im Boden



Angela Lübke

Die Kationenaustauschkapazität

Nicht alle Böden sind gleich. Als Profi ist Ihnen schon aufgefallen, dass es karge, vegetationsarme Böden gibt und solche, auf denen die Vegetation wunderbar gedeiht. Eine entscheidende Rolle spielt dabei die Bodenfruchtbarkeit. Zwei wichtige Indikatoren, die diese ausdrücken können, ist die Kationenaustauschkapazität und die Basensättigung.
Unter der Kationenaustauschkapazität (KAK) versteht man die Fähigkeit des Bodens, Nährstoffe zu speichern und wieder abzugeben. Genauer gesagt ist die KAK die Summe der austauschbaren Kationen der organischen und anorganischen Bodenkolloide mit der Bodenlösung. Man unterscheidet dabei die austauschbaren basenbildenden Kationen (K+, Ca2+, Mg2+,Na+), sowie die säurebildenden



tionen (H+ und Al3+, Fe3+) Die Bindung der Kationen beruht auf dem negativen Ladungsüberschuss der Bodenkolloide. Man nennt die austauschbaren Kationen auch den Kationenbelag des Bodens. Der Austausch ist reversibel und bildet die Grundlage für eine gute Nährstoffverfügbarkeit im Boden. Bodenkolloide sind die grob verteilten Bodenteilchen, welche die Kationen an sich binden können. Dabei kann es sich um Tonminerale handeln, die negativ geladen sind und eine Bindung der Kationen begünstigen, aber auch um Ton-Humus-Komplexe. Kalium, Calcium, Magnesium etc. sind für Pflanzen wichtige Nährstoffe. Je mehr von diesen Kationen im Boden enthalten, also an den Bodenkolloiden gebunden sind, desto höher ist die Bodenfruchtbarkeit. Daher hängt die Kationenaustauschkapazität auch sehr stark vom Bodentyp ab. Sand besteht überwiegend aus Quarz, hat eine geringe spezifische Oberfläche und daher kein gutes Speichervermögen, weshalb man auf sandigen Böden auch eher Pflanzen findet, die mit dieser Nährstoffarmut und Trockenheit umgehen können. Tone haben hingegen eine hohe spezifische Oberfläche und können aufgrund ihrer Struktur viele Kationen binden. Bei der KAK nicht zu vernachlässigen ist die organische Substanz, also der Humus: Humus hat ebenfalls eine hohe spezifische Oberfläche und ist ebenfalls in der Lage, Kationen reversibel anzulagern.

Einfluss des pH-Wertes auf die Kationenaustauschkapazität

Als weiterer wichtiger Einflussfaktor gilt der pH-Wert. Je höher der pH-Wert ist, desto höher ist auch die Kationenaustauschkapazität. Die Wasserstoffionen gehen im Gegensatz zu den basischen Kationen eine viel festere Bindung ein. Lagern sie sich einmal an, blockieren sie die Plätze für die Nährstoff-Kationen K, Mg und Ca. Dies gilt auch für die sauren Kationen Aluminium und Eisen. Da durch Niederschläge, biologische Aktivität und Pflanzenwuchs beständig H-Ionen zugeführt werden, sinkt der pH-Wert in Böden langsam, aber unaufhaltsam, sofern man nichts dagegen unternimmt. Die Kationen-Austausch-Kapazität hängt also auch vom pH ab.

LABORINS
Analytik & Beratung für den Pflanzenbau



Bühler Walter
Langerlen 1
6103 Schwarzenberg LU

für öLN Analysen vom BLW zugelassen
für die Düngeberatung von den
Forschungsanstalten Agroscope empfohlen

8.3.41

Bericht Bodenproben

Auftragsdatum	22.12.2025	Kundennummer	39742
Berichtsdatum	15.01.2026	Auftragsnummer	69673

Sehr geehrter Herr Bühler

Sie erhalten die Analyseergebnisse Ihrer Bodenproben und dazu gratis eine Düngeempfehlung, sofern Sie eine Kultur angegeben haben.

Anhand der gemessenen Nährstoffkonzentrationen und des daraus entstandenen Korrekturfaktors, haben wir die Düngungsempfehlung angepasst und folgende Faktoren mitberücksichtigt:

- Tongehalt und Humusgehalt Ihrer Böden (Bodenart)
- Ernterückstände anhand der Vorkultur

So erhalten Sie eine wichtige Orientierungshilfe für Ihre Düngungsplanung!

Brauchen Sie ergänzende Auskünfte zu den Bodenprobenergebnissen?
Einfach fragen!

Freundliche Grüsse
Labor Ins AG Kerzers



Bericht freigegeben:
Pascal Hübscher
Qualitätsverantwortlicher

LABOR INS AG • Industriestrasse 13 • 3210 Kerzers • T 031 311 99 44 • info@laborins.ch • laborins.ch

LABORINS
Analytik & Beratung für den Pflanzenbau

Produkt	Messprinzip	Interpretation
AAE10-P	ART / Fotometrie	GRUD17
AAE10-K	ART / AAS / ICP	GRUD17
AAE10-Mg	ART / AAS / ICP	GRUD17
AAE10-Ca	ART / AAS / ICP	Düngungsrichtlinien für den Gemüsebau März 2011
H2O10-P	ART / Fotometrie	GRUD17
H2O10-K	ART / AAS	GRUD17
H2O10-Mg	ART / AAS	GRUD17
H2O10-Ca	ART / AAS	GrudO 2003
CO2-P	ART / Fotometrie	GRUD17
CO2-K	ART / AAS	GRUD17
CC-Mg	ART / AAS	GRUD17
KAK	ART / AAS / Titration	GRUD17 / verschiedene Quellen
Mn aktiv	ART / AAS	GRUD17
Bor (HW-B)	ART / ICP	GRUD17
Salz	ART / LF	Handbuch Gemüse 2006
N-NO3 / N-NH4	ART / ISE / IC	Düngungsrichtlinien für den Gemüsebau März 2011
S-SO4	ART / ISE / IC	Düngungsrichtlinien für den Gemüsebau März 2011
Humus	ART / TOC / Fotometrie	GRUD17
Gesamtkalk	ART / Volumetrie	GRUD17
KOF	ART / Gravimetrie	Agroscope
Spurenelemente	ART / ICP	GRUD17 / Flugschrift FAW Nr. 112 / ÖNORM L1089 EDTA

AAE10-P/Mg/Ca
für kalkhaltige Böden pH ≥ 6.8 oder AAE10-Ca ≥4000mgCa/kg sind die Korrekturfaktoren nicht gültig--> Korrekturfaktoren CO2-P/H2O10-P oder CC-Mg/H2O10-Mg verwenden.
AAE10-Ca>45'000 mg Ca/kg ohne Gewähr

Berechnung des Korrekturfaktors

Gemüse/ einjährige Beeren	AAE10:H2O10 -->1:2 (≥pH6.8 nur H2O10-Faktoren verwenden)
Obst/Wein/mehrjährige Beeren/Kräuter/Stauden	AAE10:H2O10 -->2:1 (≥pH6.8 nur H2O10-Faktoren verwenden)

Humus
Bodenkundliche Klassifizierung des Humusgehaltes GRUD17
Die Grafik im Bericht stellt nur den Humusgehalt des Bodens dar und nicht die Versorgungsstufe.
Messmethode TOC: TOC400 x 1.725 = Humusgehalt %

Die Bodenuntersuchungen in allen Kulturen werden nach DZV 2.2 Bodenuntersuchungen, durchgeführt. Vorliegender Analysenbericht entspricht den ÖLN-Normen, sofern die Kulturen (DZV; SR 910.13 Ziff. 2.2.5) angegeben sind. Er darf vom Auftraggeber nur als Ganzes an Dritte abgegeben werden. Es ist ihm nicht erlaubt Auszüge daraus zu kopieren. Es gelten unsere allgemeinen Geschäftsbedingungen unter www.laborins.ch

Kerzers, den 07.05.2020
Labor Ins AG Kerzers

LABORINS
Analytik & Beratung für den Pflanzenbau

Betrieb	Bühler Walter, Langerlen 1, 6103 Schwarzenberg LU		
Parzelle	Matte	Probenummer	388514
Kulturgruppe	Futterbau	Auftragsnummer	69673
Fläche in a	20	Auftragsdatum	22.12.2025
öLN mit Düngeberatung		Berichtsdatum	15.01.2026

Bodenkenngrössen	Methode	Dimension	Resultat	Interpretation
pH-Wert	pH-H2O	pH	5.7	sauer
Kalkbedarf			-	Aufkalkung
CaCO3	nicht analysiert			
Humus	FP geschätzt	%	2 bis 5	schwach humos
Ton	FP geschätzt	%	20 bis 30	Lehm
Schluff	FP geschätzt	%	<50	

E angereichert
D Vorrat
C genügend = Düngungsnorm
B mässig
A arm



Parameter	P	K	Mg	Ca	Salz	Humus
Methode (Reserven)	AAE10-P	AAE10-K	AAE10-Mg	AAE10-Ca	H2O5-Salz	geschätzt
Dimension	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	cg KCl/kg Boden	
Messwert	43.5	242.5	155.5	1981		
Methode (sofort verfügbar)	CO2-P	CO2-K	CC-Mg			Potenzielle N-Nachlieferung
Dimension	Testzahl	Testzahl	Testzahl			
Messwert	6.6	4.2	12.4			
(Testzahl in mg/kg Boden)	(1.05)	(34.86)	(124)			
Korrekturfaktor Boden	**1.00**	**0.60**	**1.00**			

Korrekturfaktoren: Seite 2 und Seite "Bericht Bodenproben Zusammenfassung" beachten.

Beurteilung des Nährstoffzustandes des Bodens AAE10-Methode (Reserven) "unabhängig von der Kultur"

pH, Ca	pH-Wert tief, Ca-Gehalt mässig. Erhaltungskalkung / regelmässige Anwendung von Kalkdüngern sehr empfohlen.
P, Mg	Genügende Reserven. Düngungsnorm für optimale Versorgung der Kulturen ausreichend.
K	Erhöhte Reserven. Düngungsnorm bis zur nächsten Analyse leicht reduzieren.

Beurteilung der gegenseitigen Beeinflussung der Hauptnährstoffe "Antagonismus"

pH tief	Tiefer pH-Wert verschlechtert Verfügbarkeit von P, K und Mg.
K hoch	Verschlechtert Verfügbarkeit von Mg, Ca, und Mn.

Beurteilung Verhältnis AAE10-Methode (Reserve) und CO2/CC-Methode (sofort verfügbare) Nährstoffe

P	Reserven und Verfügbarkeit normal.
K	Reserven hoch, Verfügbarkeit normal. Düngungsnorm reduzieren.
Mg	Reserven und Verfügbarkeit normal.

Kulturspezifische Empfehlung Wiese mittel intensiv 79

pH-Wert	Optimaler pH-Bereich in Wiesen 5.5 bis 7
P, K, Mg	Ausgewogene Nährstoffversorgung begünstigt Zusammensetzung des Bestandes und verbessert Mineralstoffversorgung der Tiere (weniger Stoffwechselstörungen).
Mg	Mg-Mangel erhöht im Frühjahr und Herbst das Risiko von Weidetetanie bei Rindvieh.

3/13

LABORINS
Analytik & Beratung für den Pflanzenbau

Betrieb	Bühler Walter, Langerlen 1, 6103 Schwarzenberg LU		
Parzelle	Matte	Probenummer	388514
Kulturgruppe	Futterbau	Auftragsnummer	69673
Fläche in a	20	Auftragsdatum	22.12.2025
öLN mit Düngeberatung		Berichtsdatum	15.01.2026

E	angereichert
D	Vorrat
C	genügend
B	mässig
A	arm

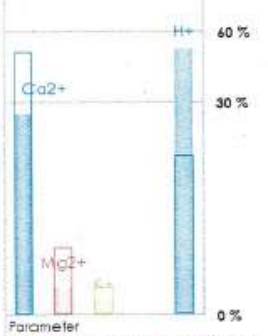
Parameter	KAK	Mn	Bor	Nmin (0-30cm)	Smin
Methode (sofort verfügbar)	KAK	austauschbar	HW-B	NM-NO3	Smin
Dimension	% Basens.	mg/kg	mg/kg	kg N-NO3/ha	kg S-SO4/ha
Messwert	39.0				
Methode	KAKpot	leicht reduzierbar		NM-NH4	
Dimension	cmol/kg Boden	mg/kg		kg N-NH4/ha	
Messwert	24.3				

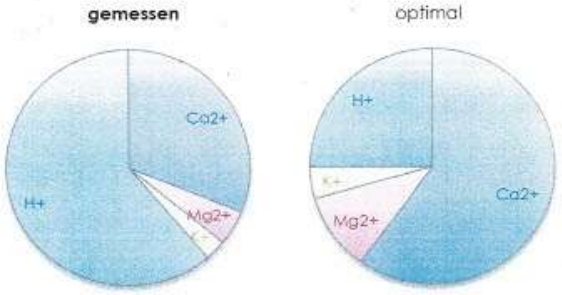
Empfehlung nach GRUD17:

KAK — Empfohlene Ausbringmenge von 28 dt CaO/ha auf Grund der Basensättigung und der Kationenaustauschkapazität.

Einzelergebnisse Kationenaustauschkapazität Wiese mittel intensiv 79

Balkendiagramm





Parameter	Ca2+	Mg2+	K+	Na+	H+
Messwert - cmol/kg Boden (KAKpot)	7.6	1.2	0.7		14.9
%-Anteil Soll	59 (+/- 4%)	10.5 (+/- 2%)	4.3		24.5
%-Anteil gemessen	**31.2**	**4.8**	**2.9**		**61.1**

Beurteilung Einzelergebnisse Kationenaustauschkapazität (ohne Berücksichtigung "Empfehlung nach GRUD17")

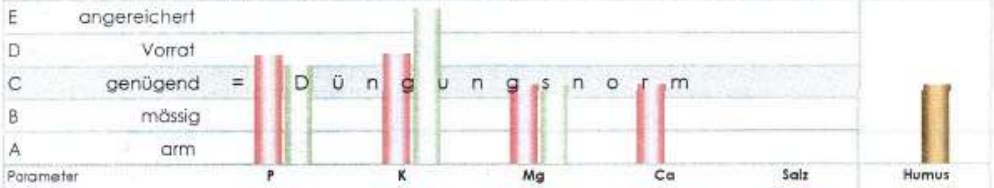
Ca2+	Gehalt im Boden durch Gabe von Calcium leicht erhöhen.
Mg2+	Gehalt im Boden durch Gabe von Magnesium leicht erhöhen.
K+	Gehalt im Boden durch Gabe von Kalium erhöhen.

4/13

LABORINS
Analytik & Beratung für den Pflanzenbau

Betrieb	Bühler Walter, Langerlen 1, 6103 Schwarzenberg LU		
Parzelle	Aufschütte	Probenummer	388515
Kulturgruppe	Futterbau	Auftragsnummer	69673
Fläche in a	9	Auftragsdatum	22.12.2025
ölLN mit Düngeberatung		Berichtsdatum	15.01.2026

Bodenkenngrössen	Methode	Dimension	Resultat	Interpretation
pH-Wert	pH-H2O	pH	6.5	schwach sauer
Kalkbedarf		CaO/ha	-	Erhaltungskalkung
CaCO3	nicht analysiert			
Humus	FP geschätzt	%	2 bis 5	schwach humos
Ton	FP geschätzt	%	20 bis 30	Lehm
Schluff	FP geschätzt	%	<50	



Parameter	P	K	Mg	Ca	Salz	Humus
Methode (Reserven)	AAE10-P	AAE10-K	AAE10-Mg	AAE10-Ca	H2O5-Salz	geschätzt
Dimension	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	cg KCl/kg Boden	
Messwert	74.6	278.5	169.7	5049		
Methode (sofort verfügbar)	CO2-P	CO2-K	CC-Mg			Potenzielle N-Nachlieferung
Dimension	Testzahl	Testzahl	Testzahl			
Messwert	10.3	7.4	11.2			
(Testzahl in mg/kg Boden)	(1.60)	(61.42)	(112)			
Korrekturfaktor Boden	**0.80**	**0.60**	**1.00**			

Korrekturfaktoren: Seite 2 und Seite "Bericht Bodenproben Zusammenfassung" beachten.

Beurteilung des Nährstoffzustandes des Bodens AAE10-Methode (Reserven) "unabhängig von der Kultur"

pH, Ca	pH-Wert trotz normalem Ca-Gehalt tief. Erhaltungskalkung / regelmässige Anwendung von Kalkdüngern empfohlen.
P, K	Erhöhte Reserven. Düngungsnorm bis zur nächsten Analyse leicht reduzieren.
Mg	Genügende Reserven. Düngungsnorm für optimale Versorgung der Kulturen ausreichend.

Beurteilung der gegenseitigen Beeinflussung der Hauptnährstoffe "Antagonismus"

P hoch	Hohe P-Reserven verschlechtern Verfügbarkeit von Mn.
K hoch	Verschlechtert Verfügbarkeit von Mg, Ca, und Mn.

Beurteilung Verhältnis AAE10-Methode (Reserve) und CO2/CC-Methode (sofort verfügbare) Nährstoffe

P	Reserven hoch, Verfügbarkeit normal. Düngungsnorm reduzieren.
K	Reserven hoch, Verfügbarkeit gut. Düngungsnorm reduzieren.
Mg	Reserven und Verfügbarkeit normal.

Kulturspezifische Empfehlung Wiese mittel intensiv 79

pH-Wert	Optimaler pH-Bereich in Wiesen 5.5 bis 7
P, K, Mg	Ausgewogene Nährstoffversorgung begünstigt Zusammensetzung des Bestandes und verbessert Mineralstoffversorgung der Tiere (weniger Stoffwechselstörungen).
Mg	Mg-Mangel erhöht im Frühjahr und Herbst das Risiko von Weidetetanie bei Rindvieh.

5/13

LABORINS
Analytik & Beratung für den Pflanzenbau

Betrieb	Bühler Walter, Langerlen 1, 6103 Schwarzenberg LU		
Parzelle	Dreiangel	Probenummer	388516
Kulturgruppe	Futterbau	Auftragsnummer	69673
Fläche in a	34	Auftragsdatum	22.12.2025
ÖLN mit Düngeberatung		Berichtsdatum	15.01.2026

Bodenkenngrössen	Methode	Dimension	Resultat	Interpretation
pH-Wert	pH-H2O	pH	5.7	sauer
Kalkbedarf		CaO/ha	-	Aufkalkung (15 dt)
CaCO3	nicht analysiert			
Humus	FP geschätzt	%	2 bis 5	schwach humos
Ton	FP geschätzt	%	20 bis 30	Lehm
Schluff	FP geschätzt	%	<50	

E angereichert
D Vorrat
C genügend = Düngungsnorm
B mässig
A arm



Parameter	P	K	Mg	Ca	Salz	Humus
Methode (Reserven)	AAE10-P	AAE10-K	AAE10-Mg	AAE10-Ca	H2O5-Salz	geschätzt
Dimension	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	cg KCl/kg Boden	
Messwert	42.7	201.6	118.9	1702		
Methode (sofort verfügbar)	CO2-P	CO2-K	CC-Mg			Potenzielle N-Nachlieferung
Dimension	Testzahl	Testzahl	Testzahl			
Messwert	6.3	4.0	9.4			
(Testzahl in mg/kg Boden)	(.98)	(33.2)	(94)			
Korrekturfaktor Boden	**1.00**	**0.80**	**1.20**			

Korrekturfaktoren: Seite 2 und Seite 'Bericht Bodenproben Zusammenfassung' beachten.

Beurteilung des Nährstoffzustandes des Bodens AAE10-Methode (Reserven) "unabhängig von der Kultur"

pH, Ca	pH-Wert tief, Ca-Gehalt mässig. Erhaltungskalkung / regelmässige Anwendung von Kalkdüngern sehr empfohlen.
P	Genügende Reserven. Düngungsnorm für optimale Versorgung der Kulturen ausreichend.
K	Erhöhte Reserven. Düngungsnorm bis zur nächsten Analyse leicht reduzieren.
Mg	Mässige Reserven. Düngungsnorm bis zur nächsten Analyse leicht erhöhen.

Beurteilung der gegenseitigen Beeinflussung der Hauptnährstoffe "Antagonismus"

pH tief	Tiefer pH-Wert verschlechtert Verfügbarkeit von P, K und Mg.
K hoch	Verschlechtert Verfügbarkeit von Mg, Ca, und Mn.

Beurteilung Verhältnis AAE10-Methode (Reserve) und CO2/CC-Methode (sofort verfügbare) Nährstoffe

P	Reserven und Verfügbarkeit normal.
K	Reserven hoch, Verfügbarkeit normal. Düngungsnorm reduzieren.
Mg	Reserven gering , Verfügbarkeit normal. Düngungsnorm leicht erhöhen.

Kulturspezifische Empfehlung Wiese mittel intensiv 79

pH-Wert	Optimaler pH-Bereich in Wiesen 5.5 bis 7
P, K, Mg	Ausgewogene Nährstoffversorgung begünstigt Zusammensetzung des Bestandes und verbessert Mineralstoffversorgung der Tiere (weniger Stoffwechselstörungen).
Mg	Mg-Mangel erhöht im Frühjahr und Herbst das Risiko von Weidetetanie bei Rindvieh.

6/13

LABORINS
Analytik & Beratung für den Pflanzenbau

Betrieb	Bühler Walter, Langerlen 1, 6103 Schwarzenberg LU		
Parzelle	Birkli	Probenummer	388517
Kulturgruppe	Futterbau	Auftragsnummer	69673
Fläche in a	9	Auftragsdatum	22.12.2025
ÖLN mit Düngeberatung		Berichtsdatum	15.01.2026

Bodenkenngrössen	Methode	Dimension	Resultat	Interpretation
pH-Wert	pH-H2O	pH	5.6	sauer
Kalkbedarf		CaO/ha	-	Aufkalkung (12.5 dt)
CaCO3	nicht analysiert			
Humus	FP geschätzt	%	2 bis 5	schwach humos
Ton	FP geschätzt	%	15 bis 20	sandiger Lehm
Schluff	FP geschätzt	%	<50	

E angereichert
D Vorrat
C genügend = Düngungsnorm
B mässig
A arm



Parameter	P	K	Mg	Ca	Salz	Humus
Methode (Reserven)	AAE10-P	AAE10-K	AAE10-Mg	AAE10-Ca	H2O5-Salz	geschätzt
Dimension	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	cg KCl/kg Boden	
Messwert	34.8	152.4	94.6	1231		
Methode (sofort verfügbar)	CO2-P	CO2-K	CC-Mg			Potenzielle N-Nachlieferung
Dimension	Testzahl	Testzahl	Testzahl			
Messwert	4.4	3.3	8.8			
(Testzahl in mg/kg Boden)	(68)	(27.39)	(88)			
Korrekturfaktor Boden	**1.20**	**1.00**	**1.20**			

Korrekturfaktoren: Seite 2 und Seite "Bericht Bodenproben Zusammenfassung" beachten.

Beurteilung des Nährstoffzustandes des Bodens AAE10-Methode (Reserven) "unabhängig von der Kultur"

pH, Ca	pH-Wert tief, Ca-Gehalt mässig. Erhaltungskalkung / regelmässige Anwendung von Kalkdüngern sehr empfohlen.
P, Mg	Mässige Reserven. Düngungsnorm bis zur nächsten Analyse leicht erhöhen.
K	Genügende Reserven. Düngungsnorm für optimale Versorgung der Kulturen ausreichend.
Bodenart	Sandiger Lehm: Auf offenen Ackerflächen in Hanglagen erhöhtes Risiko für Erosion!

Beurteilung der gegenseitigen Beeinflussung der Hauptnährstoffe "Antagonismus"

pH tief	Tiefer pH-Wert verschlechtert Verfügbarkeit von P, K und Mg.

Beurteilung Verhältnis AAE10-Methode (Reserve) und CO2/CC-Methode (sofort verfügbare) Nährstoffe

P	Reserven gering, Verfügbarkeit gering. Düngungsnorm erhöhen, ev. auf zwei Gaben aufteilen.
K	Reserven und Verfügbarkeit normal.
Mg	Reserven gering , Verfügbarkeit normal. Düngungsnorm leicht erhöhen.

Kulturspezifische Empfehlung Wiese mittel intensiv 79

pH-Wert	Optimaler pH-Bereich in Wiesen 5.5 bis 7
P, K, Mg	Ausgewogene Nährstoffversorgung begünstigt Zusammensetzung des Bestandes und verbessert Mineralstoffversorgung der Tiere (weniger Stoffwechselstörungen).
Mg	Mg-Mangel erhöht im Frühjahr und Herbst das Risiko von Weidetetanie bei Rindvieh.

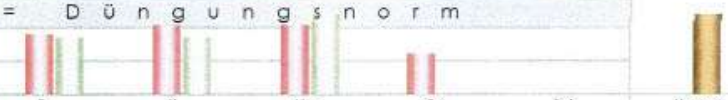
7/13

LABORINS
Analytik & Beratung für den Pflanzenbau

Betrieb	Bühler Walter, Langerlen 1, 6103 Schwarzenberg LU		
Parzelle	Museggmatte	Probenummer	388518
Kulturgruppe	Futterbau	Auftragsnummer	69673
Fläche in a	16	Auftragsdatum	22.12.2025
öLN mit Düngeberatung		Berichtsdatum	15.01.2026

Bodenkenngrössen	Methode	Dimension	Resultat	Interpretation
pH-Wert	pH-H2O	pH	5.4	sauer
Kalkbedarf		CaO/ha	-	Aufkalkung (12.5 dt)
CaCO3	nicht analysiert			
Humus	FP geschätzt	%	2 bis 5	schwach humos
Ton	FP geschätzt	%	15 bis 20	sandiger Lehm
Schluff	FP geschätzt	%	<50	

E angereichert
D Vorrat
C genügend = Düngungsnorm
B mässig
A arm



Parameter	P	K	Mg	Ca	Salz	Humus
Methode (Reserven)	AAE10-P	AAE10-K	AAE10-Mg	AAE10-Ca	H2O5-Salz	geschätzt
Dimension	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	cg KCl/kg Boden	
Messwert	31.8	125.0	100.5	1318		
Methode (sofort verfügbar)	CO2-P	CO2-K	CC-Mg			Potenzielle N-Nachlieferung
Dimension	Testzahl	Testzahl	Testzahl			
Messwert	4.1	2.0	8.8			ausreichend
(Testzahl in mg/kg Boden)	(.64)	(16.6)	(88)			
Korrekturfaktor Boden	**1.20**	**1.00**	**1.00**			

Korrekturfaktoren: Seite 2 und Seite "Bericht Bodenproben Zusammenfassung" beachten.

Beurteilung des Nährstoffzustandes des Bodens AAE10-Methode (Reserven) "unabhängig von der Kultur"

pH, Ca	pH-Wert tief, Ca-Gehalt mässig. Erhaltungskalkung / regelmässige Anwendung von Kalkdüngern sehr empfohlen.
P	Mässige Reserven. Düngungsnorm bis zur nächsten Analyse leicht erhöhen.
K, Mg	Genügende Reserven. Düngungsnorm für optimale Versorgung der Kulturen ausreichend.
Bodenart	Sandiger Lehm: Auf offenen Ackerflächen in Hanglagen erhöhtes Risiko für Erosion!

Beurteilung der gegenseitigen Beeinflussung der Hauptnährstoffe "Antagonismus"

pH tief	Tiefer pH-Wert verschlechtert Verfügbarkeit von P, K und Mg.

Beurteilung Verhältnis AAE10-Methode (Reserve) und CO2/CC-Methode (sofort verfügbare) Nährstoffe

P	Reserven gering, Verfügbarkeit gering. Düngungsnorm erhöhen, ev. auf zwei Gaben aufteilen.
K	Reserven normal, Verfügbarkeit gering. Bodenaktivität fördern, leicht lösliche Dünger vor Kultur.
Mg	Reserven und Verfügbarkeit normal.

Kulturspezifische Empfehlung Wiese mittel intensiv 79

pH-Wert	Optimaler pH-Bereich in Wiesen 5.5 bis 7. Verwenden Sie kalkhaltige Dünger.
P, K, Mg	Ausgewogene Nährstoffversorgung begünstigt Zusammensetzung des Bestandes und verbessert Mineralstoffversorgung der Tiere (weniger Stoffwechselstörungen).
Mg	Mg-Mangel erhöht im Frühjahr und Herbst das Risiko von Weidetetanie bei Rindvieh.

8/13

LABORINS
Analytik & Beratung für den Pflanzenbau

Betrieb	Bühler Walter, Langerlen 1, 6103 Schwarzenberg LU		
Parzelle	Hinterlangerlen	Probenummer	388519
Kulturgruppe	Futterbau	Auftragsnummer	69673
Fläche in a	11	Auftragsdatum	22.12.2025
öLN mit Düngeberatung		Berichtsdatum	15.01.2026

Bodenkenngrössen	Methode	Dimension	Resultat	Interpretation
pH-Wert	pH-H2O	pH	5.5	sauer
Kalkbedarf			-	Aufkalkung
CaCO3	nicht analysiert			
Humus	FP geschätzt	%	2 bis 5	schwach humos
Ton	FP geschätzt	%	15 bis 20	sandiger Lehm
Schluff	FP geschätzt	%	<50	



Parameter	P	K	Mg	Ca	Salz	Humus
Methode (Reserven)	AAE10-P	AAE10-K	AAE10-Mg	AAE10-Ca	H2O5-Salz	geschätzt
Dimension	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	cg KCl/kg Boden	
Messwert	23.7	108.8	110.8	1424		
Methode (sofort verfügbar)	CO2-P	CO2-K	CC-Mg			Potenzielle N-Nachlieferung
Dimension	Testzahl	Testzahl	Testzahl			
Messwert	2.5	1.1	9.8			ausreichend
(Testzahl in mg/kg Boden)	(39)	(9.13)	(98)			
Korrekturfaktor Boden	**1.20**	**1.20**	**1.00**			

Korrekturfaktoren: Seite 2 und Seite "Bericht Bodenproben Zusammenfassung" beachten.

Beurteilung des Nährstoffzustandes des Bodens AAE10-Methode (Reserven) "unabhängig von der Kultur"

pH, Ca	pH-Wert tief, Ca-Gehalt mässig. Erhaltungskalkung / regelmässige Anwendung von Kalkdüngern sehr empfohlen.
P, K	Mässige Reserven. Düngungsnorm bis zur nächsten Analyse leicht erhöhen.
Mg	Genügende Reserven. Düngungsnorm für optimale Versorgung der Kulturen ausreichend.
Bodenart	Sandiger Lehm: Auf offenen Ackerflächen in Hanglagen erhöhtes Risiko für Erosion!

Beurteilung der gegenseitigen Beeinflussung der Hauptnährstoffe "Antagonismus"

pH tief	Tiefer pH-Wert verschlechtert Verfügbarkeit von P, K und Mg.

Beurteilung Verhältnis AAE10-Methode (Reserve) und CO2/CC-Methode (sofort verfügbare) Nährstoffe

P	Reserven gering, Verfügbarkeit gering. Düngungsnorm erhöhen, ev. auf zwei Gaben aufteilen.
K	Reserven gering, Verfügbarkeit gering. Düngungsnorm erhöhen, ev. auf zwei Gaben aufteilen.
Mg	Reserven und Verfügbarkeit normal.

Kulturspezifische Empfehlung Wiese mittel intensiv 79

pH-Wert	Optimaler pH-Bereich in Wiesen 5.5 bis 7
P, K, Mg	Ausgewogene Nährstoffversorgung begünstigt Zusammensetzung des Bestandes und verbessert Mineralstoffversorgung der Tiere (weniger Stoffwechselstörungen).
Mg	Mg-Mangel erhöht im Frühjahr und Herbst das Risiko von Weidetetanie bei Rindvieh.

9/13

LABORINS

Analytik & Beratung für den Pflanzenbau

Betrieb	**Bühler Walter, Langerlen 1, 6103 Schwarzenberg LU**		
Parzelle	**Hinterlangerlen**	**Probenummer**	**388519**
Kulturgruppe	Futterbau	Auftragsnummer	69673
Fläche in a	11	Auftragsdatum	22.12.2025
öLN mit Düngeberatung		Berichtsdatum	15.01.2026

E	angereichert
D	Vorrat
C	genügend
B	mässig
A	arm

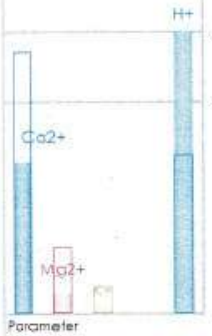
Parameter	KAK	Mn	Bor	Nmin (0-30cm)	Smin
Methode (sofort verfügbar)	KAK	austauschbar	HW-B	NM-NO3	Smin
Dimension	% Basens.	mg/kg	mg/kg	kg N-NO3/ha	kg S-SO4/ha
Messwert	28.0				
Methode	KAKpot	leicht reduzierbar		NM-NH4	
Dimension	cmol/kg Boden	mg/kg		kg N-NH4/ha	
Messwert	26.1				

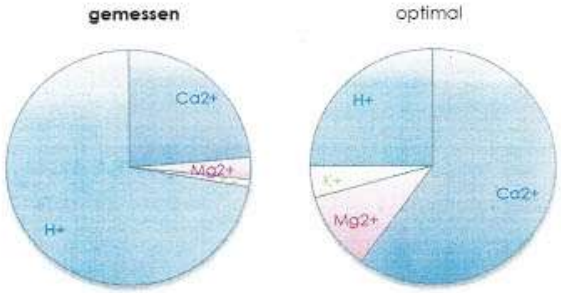
Empfehlung nach GRUD17:

KAK — Empfohlene Ausbringmenge von 36 dt CaO/ha auf Grund der Basensättigung und der Kationenaustauschkapazität.

Einzelergebnisse Kationenaustauschkapazität Wiese mittel intensiv 79

Balkendiagramm





Parameter	Ca2+	Mg2+	K+	Na+	H+
Messwert - cmol/kg Boden (KAKpot)	6.2	0.8	0.3		18.9
%-Anteil Soll	59 (+/- 4%)	10.5 (+/- 2%)	4.3		24.5
%-Anteil gemessen	**23.7**	**3.0**	**1.0**		**72.2**

Beurteilung Einzelergebnisse Kationenaustauschkapazität (ohne Berücksichtigung "Empfehlung nach GRUD17")

Ca2+	Gehalt im Boden durch Gabe von Calcium leicht erhöhen.
Mg2+	Gehalt im Boden durch Gabe von Magnesium leicht erhöhen.
K+	Gehalt im Boden durch Gabe von Kalium erhöhen.

10/13

LABORINS
Analytik & Beratung für den Pflanzenbau

Bericht Bodenproben Zusammenfassung
Betrieb: Bühler Walter, Langerlen 1, 6103 Schwarzenberg LU

Auftragsdatum	22.12.2025	Kundennummer	39742
Berichtsdatum	15.01.2026	Auftragsnummer	69673

Probe-nummer	Parzelle	Fläche Aren	Bodenart	pH	P					K					Mg				
					A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
388514	Matte	20	sh L	5.7															
388515	Aufschötte	9	sh L	6.5															
388516	Dreiangel	34	sh L	5.7															
388517	Birkli	9	sh sL	5.6															
388518	Museggmatte	16	sh sL	5.4															
388519	Hinterlangerlen	11	sh sL	5.5															

11/13

LABORINS Bodenproben auf OneNote

Analytik & Beratung für den Pflanzenbau

Bericht Bodenprobe Zusammenfassung
Betrieb: Bühler Walter, Langerlen 1, 6103 Schwarzenberg LU

Auftragsdatum	22.12.2025	Kundennummer	39742
Berichtsdatum	15.01.2026	Auftragsnummer	69673

	Probe-nummer	Parzelle		Fläche Aren	Bodenart	pH	Messwerte		Korrekturfaktoren (Seite 2 beachten)										berechneter Faktor		
									AAE10-Methode				H2O10-Methode				CO2-/CC-Methode				Kulturgruppe		
							Salz	Nmin	P	K	Mg	Ca	P	K	Mg	Ca	P	K	Mg		P	K	Mg
*	388514	Matte	1	20	sh L	5.7			1.0	0.6	1.0	B					1.0	0.8	1.0		1.00	0.60	1.00
	388515	Aufschütte	2	9	sh L	6.5			0.8	0.6	1.0	C					0.8	0.0	1.0		0.80	0.60	1.00
	388516	Dreiangel	3	34	sh L	5.7			1.0	0.8	1.2	B					1.0	0.8	1.0		1.00	0.80	1.20
	388517	Birkli	4	9	sh sL	5.6			1.2	1.0	1.2	B					1.2	1.0	1.0		1.20	1.00	1.20
	388518	Museggmatte	5	16	sh sL	5.4			1.2	1.0	1.0	B					1.2	1.2	1.0		1.20	1.00	1.00
*	388519	Hinterlangerlen	6	11	sh sL	5.5			1.2	1.2	1.0	B					1.4	1.4	1.0		1.20	1.20	1.00

* grosse Analysen

LABORINS

Analytik & Beratung für den Pflanzenbau

Bericht Düngeempfehlung für die aktuellen Kulturen mit dem kulturspezifischen Korrekturfaktor
Betrieb: Bühler Walter, Langerlen 1, 6103 Schwarzenberg LU

Auftragsdatum	22.12.2025	Kundennummer	39742
Berichtsdatum	15.01.2026	Auftragsnummer	69673

Probe-nummer	Parzelle	Fläche Aren	Kultur	Düngungsnorm (kg/ha)				Korrekturfaktor			Abzug für Ernterückstände Vorkultur (kg/ha)				Düngungsempfehlung (kg/ha)			
				N	P2O5	K2O	Mg	P	K	Mg	P2O5	K2O	Mg	Ernterückstände	N	P2O5	K2O	Mg
388514	Matte	20	Wiese mittel intensiv 79	63-87	56	181	16	1.00	0.60	1.00					63-87	56	109	16
388515	Aufschütte	9	Wiese mittel intensiv 79	63-87	56	181	16	0.80	0.60	1.00					63-87	45	109	16
388516	Dreiangel	34	Wiese mittel intensiv 79	63-87	56	181	16	1.00	0.80	1.20					63-87	56	145	19
388517	Birkli	9	Wiese mittel intensiv 79	63-87	56	181	16	1.20	1.00	1.20					63-87	67	181	19
388518	Museggmatte	16	Wiese mittel intensiv 79	63-87	56	181	16	1.20	1.00	1.00					63-87	67	181	16
388519	Hinterlangerlen	11	Wiese mittel intensiv 79	63-87	56	181	16	1.20	1.20	1.00					63-87	67	217	16

Bodenproben Oktober 2026

LABORINS
Analytik & Beratung für den Pflanzenbau



Bühler Walter
Langerlen 1
6103 Schwarzenberg LU

für öLN Analysen vom BLW zugelassen
für die Düngeberatung von den
Forschungsanstalten Agroscope empfohlen

8.3.41

Bericht Bodenproben

Auftragsdatum	28.09.2026	Kundennummer	39742
Berichtsdatum	15.10.2026	Auftragsnummer	72361

Sehr geehrter Herr Bühler

Sie erhalten die Analyseergebnisse Ihrer Bodenproben und dazu gratis eine Düngeempfehlung, sofern Sie eine Kultur angegeben haben.

Anhand der gemessenen Nährstoffkonzentrationen und des daraus entstandenen Korrekturfaktors, haben wir die Düngungsempfehlung angepasst und folgende Faktoren mitberücksichtigt:

- Tongehalt und Humusgehalt Ihrer Böden (Bodenart)
- Ernterückstände anhand der Vorkultur

So erhalten Sie eine wichtige Orientierungshilfe für Ihre Düngungsplanung!

Brauchen Sie ergänzende Auskünfte zu den Bodenprobenergebnissen?
Einfach fragen!

Freundliche Grüsse
Labor Ins AG Kerzers



Bericht freigegeben:
Noemi Hübscher
Qualitätsverantwortliche

Hinweis:
Wenn nicht anders vermerkt, wurde der Humusgehalt nach der „TOC-Methode" bestimmt und nicht mehr nach „Corg".

LABOR INS AG • Industriestrasse 13 • 3210 Kerzers • T 031 311 99 44 • info@laborins.ch • laborins.ch

1/10

LABORINS
Analytik & Beratung für den Pflanzenbau

Produkt	Messprinzip	Interpretation
AAE10-P	ART / Fotometrie	GRUD17
AAE10-K	ART / AAS / ICP	GRUD17
AAE10-Mg	ART / AAS / ICP	GRUD17
AAE10-Ca	ART / AAS / ICP	Düngungsrichtlinien für den Gemüsebau März 2011
H2O10-P	ART / Fotometrie	GRUD17
H2O10-K	ART / AAS	GRUD17
H2O10-Mg	ART / AAS	GRUD17
H2O10-Ca	ART / AAS	GrudO 2003
H2O10-Ca	ART / AAS	GrudO 2003
CO2-P	ART / Fotometrie	GRUD17
CO2-K	ART / AAS	GRUD17
CC-Mg	ART / AAS	GRUD17
KAK	ART / AAS / Titration	GRUD17 / verschiedene Quellen
Mn aktiv	ART / AAS	GRUD17
Bor (HW-B)	ART / ICP	GRUD17
Salz	ART / LF	Handbuch Gemüse 2006
N-NO3 / N-NH4	ART / ISE / IC	Düngungsrichtlinien für den Gemüsebau März 2011
S-SO4	ART / ISE / IC	Düngungsrichtlinien für den Gemüsebau März 2011
Humus	ART / TOC / Fotometrie	GRUD17 / FIBL
Gesamtkalk	ART / Volumetrie	GRUD17 / FIBL
KOF	ART / Gravimetrie	Agroscope
Spurenelemente	ART / ICP	GRUD17 / Flugschrift FAW Nr. 112 / ÖNORM L1089 EDTA
C:N	ART / TOC /Skalar	Scheffer/Schachtschabel – Lehrbuch der Bodenkunde
TN	ART / Skalar	

AAE10-P/Mg/Ca
für kalkhaltige Böden pH ≥ 6.8 oder AAE10-Ca ≥4000mgCa/kg sind die Korrekturfaktoren nicht gültig--> Korrekturfaktoren CO2-P/H2O10-P oder CC-Mg/H2O10-Mg verwenden.
AAE10-Ca>45'000 mg Ca/kg ohne Gewähr

Berechnung des Korrekturfaktors

Gemüse/ einjährige Beeren	AAE10:H2O10 -->1:2 (≥pH6.8 nur H2O10-Faktoren verwenden)
Obst/Wein/mehrjährige Beeren/Kräuter/Stauden	AAE10:H2O10 -->2:1 (≥pH6.8 nur H2O10-Faktoren verwenden)

Humus
Bodenkundliche Klassifizierung des Humusgehaltes GRUD17
Messmethode TOC: TOC400 x 1.725 = Humusgehalt %

Ton-Humus
Die Grafik im Bericht stellt die Bewertung de Anteils des Humus im Vergleich zum Tongehalt (Humus/Ton in %).

Die Bodenuntersuchungen in allen Kulturen werden nach DZV 2.2 Bodenuntersuchungen, durchgeführt. Vorliegender Analysenbericht entspricht den öLN-Normen, sofern die Kulturen (DZV; SR 910.13 Ziff. 2.2.5) angegeben sind. Er darf vom Auftraggeber nur als Ganzes an Dritte abgegeben werden. Es ist ihm nicht erlaubt Auszüge daraus zu kopieren. Es gelten unsere allgemeinen Geschäftsbedingungen unter www.laborins.ch

Kerzers, den 24.03.2026
Labor Ins AG Kerzers

LABORINS
Analytik & Beratung für den Pflanzenbau

Betrieb	**Bühler Walter, Langerlen 1, 6103 Schwarzenberg LU**		
Parzelle	**Matte**	**Probenummer**	**401653**
Kulturgruppe	Futterbau	Auftragsnummer	72361
Fläche in a	20	Auftragsdatum	28.09.2026
öLN mit Düngeberatung		Berichtsdatum	15.10.2026

Bodenkenngrössen	Methode	Dimension	Resultat	Interpretation
pH-Wert	pH-H2O	pH	5.5	sauer
Kalkbedarf			-	Aufkalkung
CaCO3	nicht analysiert			
Humus	FP geschätzt	%	2 bis 5	schwach humos
Ton	FP geschätzt	%	20 bis 30	Lehm
Schluff	FP geschätzt	%	<50	

E	angereichert						
D	Vorrat						>24%
C	genügend	= Düngungsnorm					17-24%
B	mässig						12-17%
A	arm						<12%
Parameter		P	K	Mg	Ca	Salz	Humus-Ton
Methode (Reserven)		AAE10-P	AAE10-K	AAE10-Mg	AAE10-Ca	H2O5-Salz	geschätzt
Dimension		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	cg KCl/kg Boden	~10%
Messwert		29.5	227.7	167.2	2020		schlechte Struktur
							zu wenig Humus
Methode (sofort verfügbar)		CO2-P	CO2-K	CC-Mg			Potenzielle
Dimension		Testzahl	Testzahl	Testzahl			N-Nachlieferung
Messwert		7.9	4.2	13.9			ausreichend
(Testzahl in mg/kg Boden)		(1.22)	(34.86)	(139)			
Korrekturfaktor Boden		**1.20**	**0.80**	**1.00**			

Korrekturfaktoren: Seite 2 und Seite "Bericht Bodenproben Zusammenfassung" beachten.

Beurteilung des Nährstoffzustandes des Bodens AAE10-Methode (Reserven) "unabhängig von der Kultur"

pH, Ca	pH-Wert trotz normalem Ca-Gehalt tief. Erhaltungskalkung / regelmässige Anwendung von Kalkdüngern empfohlen.
P	Mässige Reserven. Düngungsnorm bis zur nächsten Analyse leicht erhöhen.
K	Erhöhte Reserven. Düngungsnorm bis zur nächsten Analyse leicht reduzieren.
Mg	Genügende Reserven. Düngungsnorm für optimale Versorgung der Kulturen ausreichend.

Beurteilung der gegenseitigen Beeinflussung der Hauptnährstoffe "Antagonismus"

pH tief	Tiefer pH-Wert verschlechtert Verfügbarkeit von P, K und Mg.
K hoch	Verschlechtert Verfügbarkeit von Mg, Ca, und Mn.

Beurteilung Verhältnis AAE10-Methode (Reserve) und CO2/CC-Methode (sofort verfügbare) Nährstoffe

P	Reserven gering , Verfügbarkeit normal. Düngungsnorm leicht erhöhen.
K	Reserven hoch, Verfügbarkeit normal. Düngungsnorm reduzieren.
Mg	Reserven und Verfügbarkeit normal.

Kulturspezifische Empfehlung Wiese mittel intensiv 79

pH-Wert	Optimaler pH-Bereich in Wiesen 5.5 bis 7
P, K, Mg	Ausgewogene Nährstoffversorgung begünstigt Zusammensetzung des Bestandes und verbessert Mineralstoffversorgung der Tiere (weniger Stoffwechselstörungen).
Mg	Mg-Mangel erhöht im Frühjahr und Herbst das Risiko von Weidetetanie bei Rindvieh.

3/10

LABORINS
Analytik & Beratung für den Pflanzenbau

Betrieb	**Bühler Walter, Langerlen 1, 6103 Schwarzenberg LU**		
Parzelle	**Matte**	**Probenummer**	**401653**
Kulturgruppe	Futterbau	Auftragsnummer	72361
Fläche in a	20	Auftragsdatum	28.09.2026
öLN mit Düngeberatung		Berichtsdatum	15.10.2026

E	angereichert
D	Vorrat
C	genügend
B	mässig
A	arm

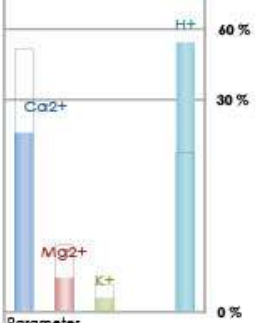
Parameter	KAK	Mn	Bor	Nmin (0-30cm)	Smin	C:N-Verhltnis
Methode (sofort verfügbar)	KAK	austauschbar	HW-B	NM-NO3	Smin	C:N
Dimension	% Basens.	mg/kg	mg/kg	kg N-NO3/ha	kg S-SO4/ha	
Messwert	36.0					
Methode	KAKpot	leicht reduzierbar		NM-NH4		N
Dimension	cmol/kg Boden	mg/kg		kg N-NH4/ha		%
Messwert	22.4					

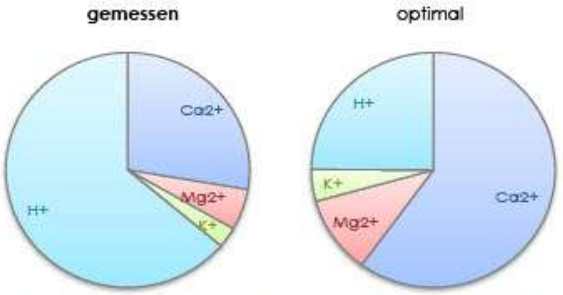
Empfehlung nach GRUD17:

KAK — Empfohlene Ausbringmenge von 28 dt CaO/ha auf Grund der Basensättigung und der Kationenaustauschkapazität.

Einzelergebnisse Kationenaustauschkapazität Wiese mittel intensiv 79

Balkendiagramm





Parameter	Ca2+	Mg2+	K+	Na+	H+
Messwert - cmol/kg Boden (KAKpot)	6.2	1.3	0.6		14.3
%-Anteil Soll	59 (+/- 4%)	10.5 (+/- 2%)	4.3		24.5
%-Anteil gemessen	**27.7**	**5.7**	**2.8**		**63.8**

Beurteilung Einzelergebnisse Kationenaustauschkapazität (ohne Berücksichtigung "Empfehlung nach GRUD17")

Ca2+	Gehalt im Boden durch Gabe von Calcium leicht erhöhen.
Mg2+	Gehalt im Boden durch Gabe von Magnesium leicht erhöhen.
K+	Gehalt im Boden durch Gabe von Kalium erhöhen.

LABORINS
Analytik & Beratung für den Pflanzenbau

Betrieb	Bühler Walter, Langerlen 1, 6103 Schwarzenberg LU		
Parzelle	Dreiangel	Probenummer	401654
Kulturgruppe	Futterbau	Auftragsnummer	72361
Fläche in a	34	Auftragsdatum	28.09.2026
öLN mit Düngeberatung		Berichtsdatum	15.10.2026

Bodenkenngrössen	Methode	Dimension	Resultat	Interpretation
pH-Wert	pH-H2O	pH	5.4	sauer
Kalkbedarf			-	Aufkalkung
CaCO3	nicht analysiert			
Humus	FP geschätzt	%	2 bis 5	schwach humos
Ton	FP geschätzt	%	20 bis 30	Lehm
Schluff	FP geschätzt	%	<50	

E	angereichert						
D	Vorrat						>24%
C	genügend	= Düngungsnorm					17-24%
B	mässig						12-17%
A	arm						<12%
Parameter		P	K	Mg	Ca	Salz	Humus-Ton
Methode (Reserven)		AAE10-P	AAE10-K	AAE10-Mg	AAE10-Ca	H2O5-Salz	geschätzt
Dimension		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	cg KCl/kg Boden	~10%
Messwert		35.7	247.5	171.4	1795		schlechte Struktur
							zu wenig Humus
Methode (sofort verfügbar)		CO2-P	CO2-K	CC-Mg			Potenzielle N-Nachlieferung
Dimension		Testzahl	Testzahl	Testzahl			
Messwert		8.3	4.7	13.5			ausreichend
(Testzahl in mg/kg Boden)		(1.29)	(39.01)	(135)			
Korrekturfaktor Boden		**1.00**	**0.60**	**1.00**			

Korrekturfaktoren: Seite 2 und Seite "Bericht Bodenproben Zusammenfassung" beachten.

Beurteilung des Nährstoffzustandes des Bodens AAE10-Methode (Reserven) "unabhängig von der Kultur"

pH, Ca	pH-Wert tief, Ca-Gehalt mässig. Erhaltungskalkung / regelmässige Anwendung von Kalkdüngern sehr empfohlen.
P, Mg	Genügende Reserven. Düngungsnorm für optimale Versorgung der Kulturen ausreichend.
K	Erhöhte Reserven. Düngungsnorm bis zur nächsten Analyse leicht reduzieren.

Beurteilung der gegenseitigen Beeinflussung der Hauptnährstoffe "Antagonismus"

pH tief	Tiefer pH-Wert verschlechtert Verfügbarkeit von P, K und Mg.
K hoch	Verschlechtert Verfügbarkeit von Mg, Ca, und Mn.

Beurteilung Verhältnis AAE10-Methode (Reserve) und CO2/CC-Methode (sofort verfügbare) Nährstoffe

P	Reserven und Verfügbarkeit normal.
K	Reserven hoch, Verfügbarkeit normal. Düngungsnorm reduzieren.
Mg	Reserven und Verfügbarkeit normal.

Kulturspezifische Empfehlung Wiese mittel intensiv 79

pH-Wert	Optimaler pH-Bereich in Wiesen 5.5 bis 7. Verwenden Sie kalkhaltige Dünger.
P, K, Mg	Ausgewogene Nährstoffversorgung begünstigt Zusammensetzung des Bestandes und verbessert Mineralstoffversorgung der Tiere (weniger Stoffwechselstörungen).
Mg	Mg-Mangel erhöht im Frühjahr und Herbst das Risiko von Weidetetanie bei Rindvieh.

5/10

LABORINS
Analytik & Beratung für den Pflanzenbau

Betrieb	**Bühler Walter, Langerlen 1, 6103 Schwarzenberg LU**		
Parzelle	**Dreiangel**	**Probenummer**	**401654**
Kulturgruppe	Futterbau	Auftragsnummer	72361
Fläche in a	34	Auftragsdatum	28.09.2026
öLN mit Düngeberatung		Berichtsdatum	15.10.2026

E	angereichert
D	Vorrat
C	genügend
B	mässig
A	arm

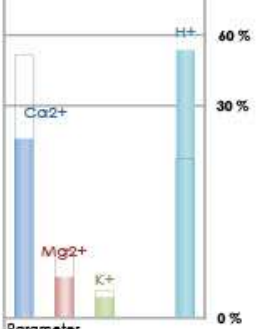
Parameter	KAK	Mn	Bor	Nmin (0-30cm)	Smin	C:N-Verhltnis
Methode (sofort verfügbar)	KAK	austauschbar	HW-B	NM-NO3	Smin	C:N
Dimension	% Basens.	mg/kg	mg/kg	kg N-NO3/ha	kg S-SO4/ha	
Messwert	37.0					
Methode	KAKpot	leicht reduzierbar		NM-NH4		N
Dimension	cmol/kg Boden	mg/kg		kg N-NH4/ha		%
Messwert	19.6					

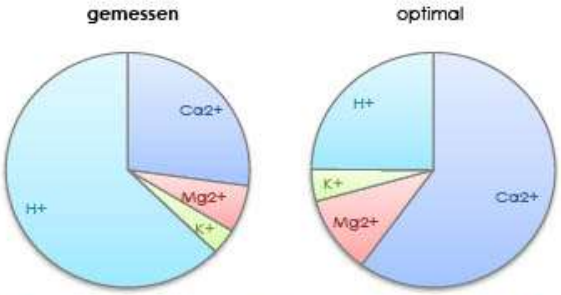
Empfehlung nach GRUD17:

KAK	Empfohlene Ausbringmenge von 21.5 dt CaO/ha auf Grund der Basensättigung und der Kationenaustauschkapazität.

Einzelergebnisse Kationenaustauschkapazität Wiese mittel intensiv 79

Balkendiagramm





Parameter	Ca2+	Mg2+	K+	Na+	H+
Messwert - cmol/kg Boden (KAKpot)	5.3	1.3	0.7		12.3
%-Anteil Soll	59 (+/- 4%)	10.5 (+/- 2%)	4.3		24.5
%-Anteil gemessen	**27.2**	**6.5**	**3.6**		**62.8**

Beurteilung Einzelergebnisse Kationenaustauschkapazität (ohne Berücksichtigung "Empfehlung nach GRUD17")

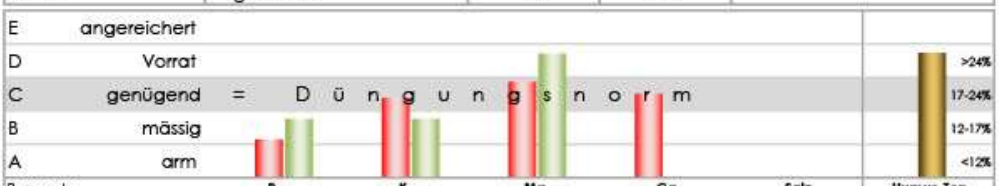
Ca2+	Gehalt im Boden durch Gabe von Calcium leicht erhöhen.
Mg2+	Gehalt im Boden durch Gabe von Magnesium leicht erhöhen.
K+	Gehalt im Boden durch Gabe von Kalium erhöhen.

LABORINS
Analytik & Beratung für den Pflanzenbau

Betrieb	Bühler Walter, Langerlen 1, 6103 Schwarzenberg LU		
Parzelle	Hinterlangerlen	Probenummer	401655

Kulturgruppe	Futterbau	Auftragsnummer	72361
Fläche in a	11	Auftragsdatum	28.09.2026
öLN mit Düngeberatung		Berichtsdatum	15.10.2026

Bodenkenngrössen	Methode	Dimension	Resultat	Interpretation
pH-Wert	pH-H2O	pH	5.2	stark sauer
Kalkbedarf			-	Aufkalkung
CaCO3	nicht analysiert			
Humus (TOC)	Humus analytisch	%	7.66	humos
Ton	FP geschätzt	%	15 bis 20	sandiger Lehm
Schluff	FP geschätzt	%	<50	



Parameter	P	K	Mg	Ca	Salz	Humus-Ton
Methode (Reserven)	AAE10-P	AAE10-K	AAE10-Mg	AAE10-Ca	H2O5-Salz	geschätzt
Dimension	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	cg KCl/kg Boden	~45%
Messwert	23.1	158.2	167.2	2019		sehr gute Struktur Humus erhalten
Methode (sofort verfügbar)	CO2-P	CO2-K	CC-Mg			Potenzielle N-Nachlieferung
Dimension	Testzahl	Testzahl	Testzahl			erhöht
Messwert	5.2	1.6	14.9			
(Testzahl in mg/kg Boden)	(.81)	(13.28)	(149)			
Korrekturfaktor Boden	**1.20**	**1.00**	**1.00**			

Korrekturfaktoren: Seite 2 und Seite "Bericht Bodenproben Zusammenfassung" beachten.

Beurteilung des Nährstoffzustandes des Bodens AAE10-Methode (Reserven) "unabhängig von der Kultur"

pH, Ca	pH-Wert trotz normalem Ca-Gehalt sehr tief. Erhaltungskalkung / regelmässige Anwendung von Kalkdüngern empfohlen.
P	Mässige Reserven. Düngungsnorm bis zur nächsten Analyse leicht erhöhen.
K, Mg	Genügende Reserven. Düngungsnorm für optimale Versorgung der Kulturen ausreichend.
Bodenart	Sandiger Lehm: Auf offenen Ackerflächen in Hanglagen erhöhtes Risiko für Erosion!

Beurteilung der gegenseitigen Beeinflussung der Hauptnährstoffe "Antagonismus"

pH tief	Tiefer pH-Wert verschlechtert Verfügbarkeit von P, K und Mg.

Beurteilung Verhältnis AAE10-Methode (Reserve) und CO2/CC-Methode (sofort verfügbare) Nährstoffe

P	Reserven gering, Verfügbarkeit gering. Düngungsnorm erhöhen, ev. auf zwei Gaben aufteilen.
K	Reserven normal, Verfügbarkeit gering. Bodenaktivität fördern, leicht lösliche Dünger vor Kultur.
Mg	Reserven normal, Verfügbarkeit gut.

Kulturspezifische Empfehlung Wiese mittel intensiv 79

pH-Wert	Optimaler pH-Bereich in Wiesen 5.5 bis 7. Verwenden Sie kalkhaltige Dünger.
P, K, Mg	Ausgewogene Nährstoffversorgung begünstigt Zusammensetzung des Bestandes und verbessert Mineralstoffversorgung der Tiere (weniger Stoffwechselstörungen).
Mg	Mg-Mangel erhöht im Frühjahr und Herbst das Risiko von Weidetetanie bei Rindvieh.

7/10

LABORINS
Analytik & Beratung für den Pflanzenbau

Betrieb	**Bühler Walter, Langerlen 1, 6103 Schwarzenberg LU**		
Parzelle	**Hinterlangerlen**	**Probenummer**	**401655**
Kulturgruppe	Futterbau	Auftragsnummer	72361
Fläche in a	11	Auftragsdatum	28.09.2026
öLN mit Düngeberatung		Berichtsdatum	15.10.2026

E	angereichert
D	Vorrat
C	genügend
B	mässig
A	arm

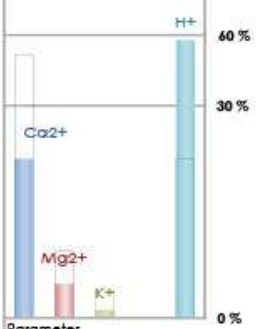
Parameter	KAK	Mn	Bor	Nmin (0-30cm)	Smin	C:N-Verhltnis
Methode (sofort verfügbar)	KAK	austauschbar	HW-B	NM-NO3	Smin	C:N
Dimension	% Basens.	mg/kg	mg/kg	kg N-NO3/ha	kg S-SO4/ha	
Messwert	31.0					
Methode	KAKpot	leicht reduzierbar		NM-NH4		N
Dimension	cmol/kg Boden	mg/kg		kg N-NH4/ha		%
Messwert	25.7					

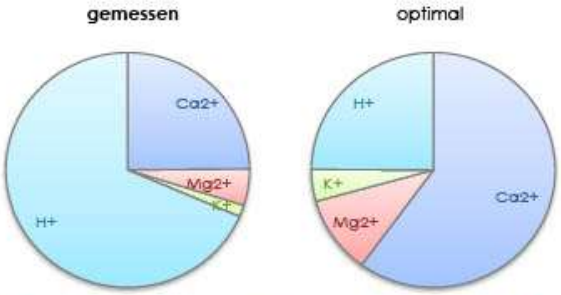
Empfehlung nach GRUD17:

KAK — Empfohlene Ausbringmenge von 28 dt CaO/ha auf Grund der Basensättigung und der Kationenaustauschkapazität.

Einzelergebnisse Kationenaustauschkapazität Wiese mittel intensiv 79

Balkendiagramm





Parameter	Ca2+	Mg2+	K+	Na+	H+
Messwert - cmol/kg Boden (KAKpot)	6.4	1.3	0.4		17.6
%-Anteil Soll	59 (+/- 4%)	10.5 (+/- 2%)	4.3		24.5
%-Anteil gemessen	**24.9**	**5.0**	**1.6**		**68.5**

Beurteilung Einzelergebnisse Kationenaustauschkapazität (ohne Berücksichtigung "Empfehlung nach GRUD17")

Ca2+	Gehalt im Boden durch Gabe von Calcium leicht erhöhen.
Mg2+	Gehalt im Boden durch Gabe von Magnesium leicht erhöhen.
K+	Gehalt im Boden durch Gabe von Kalium erhöhen.

LABORINS
Analytik & Beratung für den Pflanzenbau

Bericht Bodenprobe Zusammenfassung
Betrieb: Bühler Walter, Langerlen 1, 6103 Schwarzenberg LU

Auftragsdatum	28.09.2026	Kundennummer	39742
Berichtsdatum	15.10.2026	Auftragsnummer	72361

Probe-nummer	Parzelle	Fläche Aren	Bodenart	pH	Messwerte		Korrekturfaktoren (Seite 2 beachten)											berechneter Faktor		
							AAE10-Methode				H2O10-Methode				CO2-/CC-Methode			Kulturgruppe		
					Salz	Nmin	P	K	Mg	Ca	P	K	Mg	Ca	P	K	Mg	P	K	Mg
401653	Matte	20	sh L	5.5			1.2	0.8	1.0	C					1.0	0.8	1.0	**1.20**	**0.80**	**1.00**
401654	Dreiangel	34	sh L	5.4			1.0	0.6	1.0	B					1.0	0.6	1.0	**1.00**	**0.60**	**1.00**
401655	Hinterlangerlen	11	h sL	5.2			1.2	1.0	1.0	C					1.2	1.2	0.4	**1.20**	**1.00**	**1.00**

9/10

LABORINS
Analytik & Beratung für den Pflanzenbau

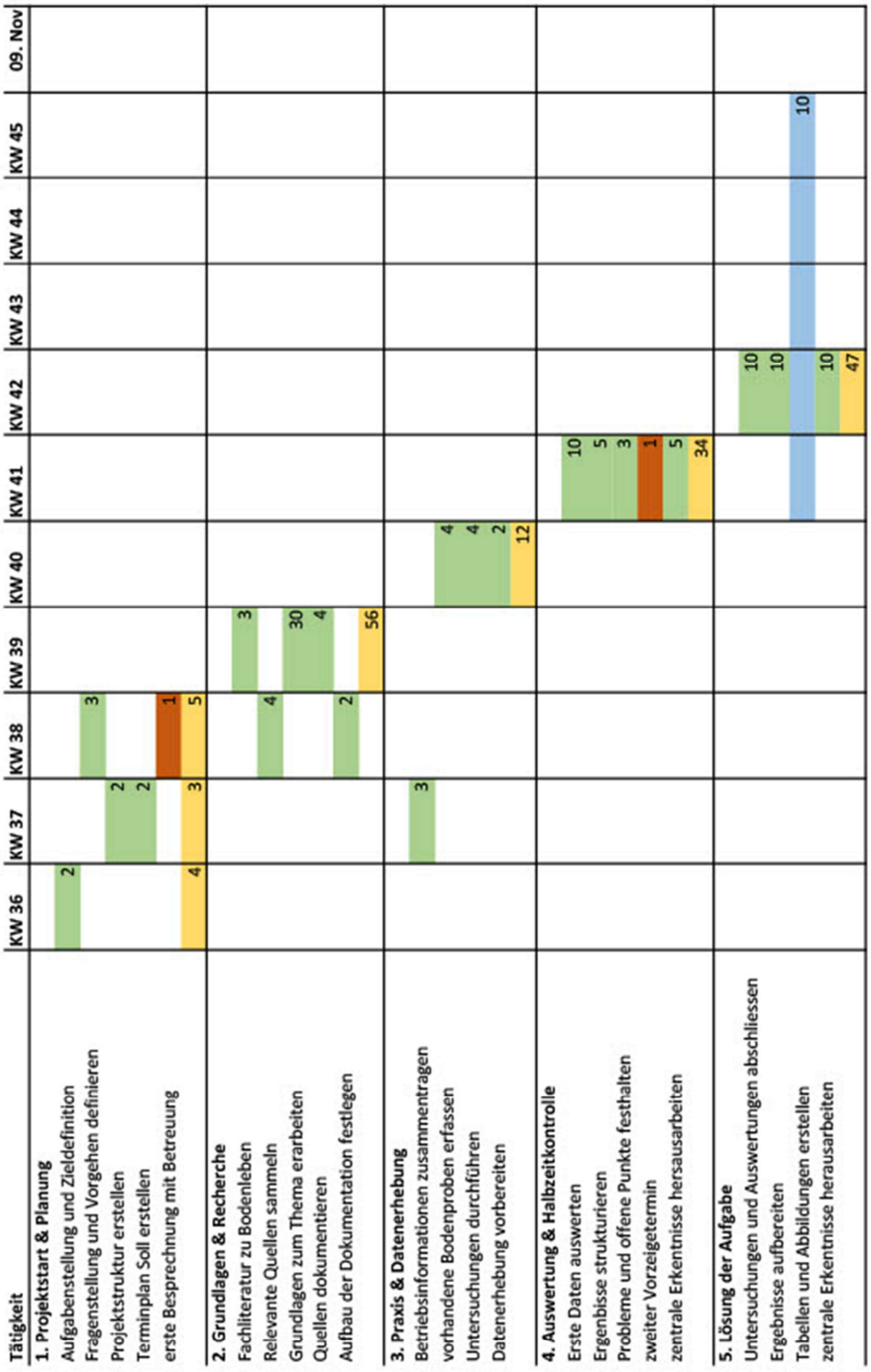
Bericht Düngeempfehlung für die aktuellen Kulturen mit dem kulturspezifischen Korrekturfaktor
Betrieb: Bühler Walter, Langerlen 1, 6103 Schwarzenberg LU

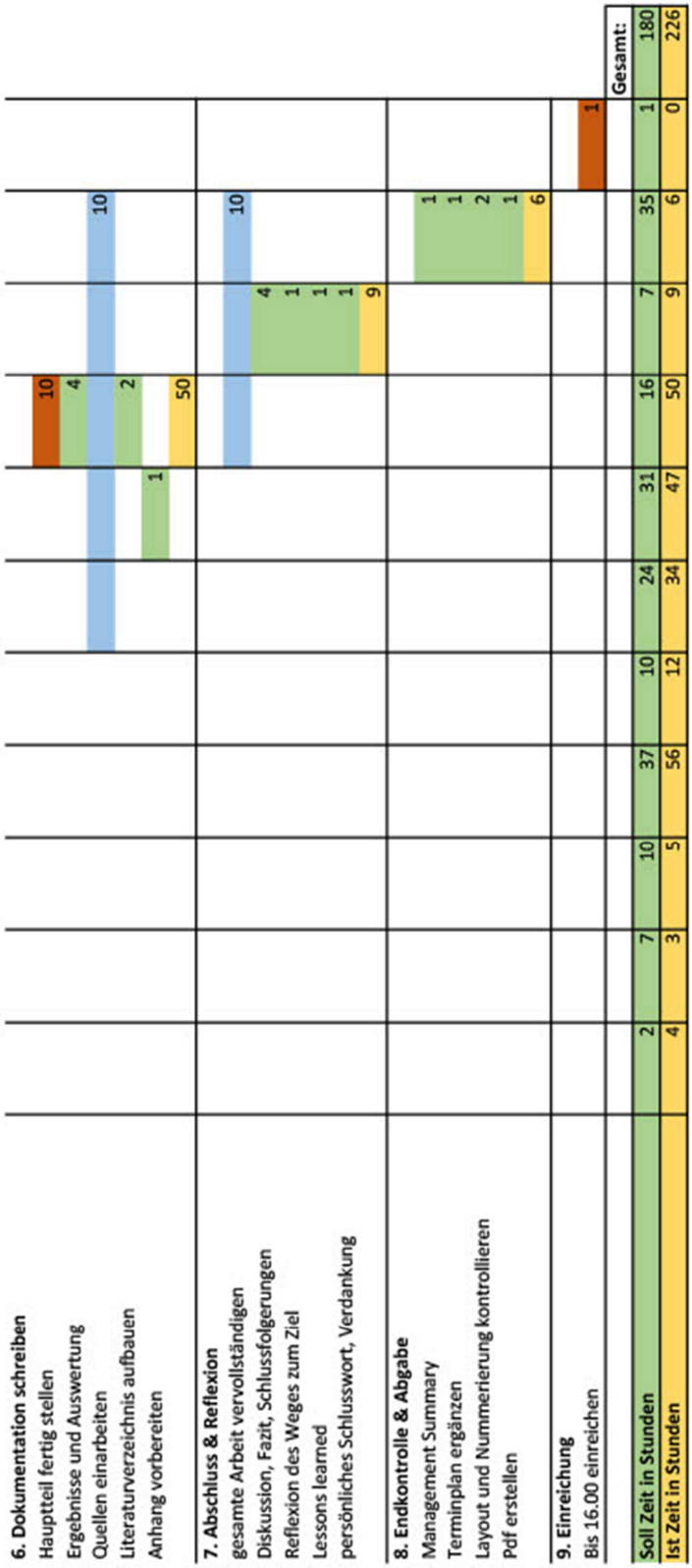
Auftragsdatum	28.09.2026	Kundennummer	39742
Berichtsdatum	15.10.2026	Auftragsnummer	72361

Probe-nummer	Parzelle	Fläche Aren	Kultur	Düngungsnorm (kg/ha)				Korrekturfaktor			Abzug für Ernterückstände Vorkultur (kg/ha)				Düngungsempfehlung (kg/ha)			
				N	P2O5	K2O	Mg	P	K	Mg	P2O5	K2O	Mg	Ernterückstände	N	P2O5	K2O	Mg
401653	Matte	20	Wiese mittel intensiv 79	63-87	56	181	16	**1.20**	**0.80**	**1.00**					63-87	**67**	**145**	**16**
401654	Dreiangel	34	Wiese mittel intensiv 79	63-87	56	181	16	**1.00**	**0.60**	**1.00**					63-87	**56**	**109**	**16**
401655	Hinterlangerlen	11	Wiese mittel intensiv 79	63-87	56	181	16	**1.20**	**1.00**	**1.00**					63-87	**67**	**181**	**16**

10/10

Zeitplan


Tätigkeit
KW 36
KW 37
KW 38
KW 39
KW 40
KW 41
KW 42
KW 43
KW 44
KW 45
09. Nov
1. Projektstart & Planung
Aufgabenstellung und Zieldefinition
Fragenstellung und Vorgehen definieren
Projektstruktur erstellen
Terminplan Soll erstellen
erste Besprechnung mit Betreuung
2. Grundlagen & Recherche
Fachliteratur zu Bodenleben
Relevante Quellen sammeln
Grundlagen zum Thema erarbeiten
Quellen dokumentieren
Aufbau der Dokumentation festlegen
3. Praxis & Datenerhebung
Betriebsinformationen zusammentragen
vorhandene Bodenproben erfassen
Untersuchungen durchführen
Datenerhebung vorbereiten
4. Auswertung & Halbzeitkontrolle
Erste Daten auswerten
Ergenbisse strukturieren
Probleme und offene Punkte festhalten
zweiter Vorzeigetermin
zentrale Erkentnisse hersausarbeiten
5. Lösung der Aufgabe
Untersuchungen und Auswertungen abschliessen
Ergebnisse aufbereiten
Tabellen und Abbildungen erstellen
zentrale Erkentnisse herausarbeiten


6. Dokumentation schreiben
Hauptteil fertig stellen
Ergebnisse und Auswertung
Quellen einarbeiten
Literaturverzeichnis aufbauen
Anhang vorbereiten
7. Abschluss & Reflexion
gesamte Arbeit vervollständigen
Diskussion, Fazit, Schlussfolgerungen
Reflexion des Weges zum Ziel
Lessons learned
persönliches Schlusswort, Verdankung
8. Endkontrolle & Abgabe
Management Summary
Terminplan ergänzen
Layout und Nummerierung kontrollieren
Pdf erstellen
9. Einreichung
Bis 16.00 einreichen
Soll Zeit in Stunden
Ist Zeit in Stunden
Gesamt:
Wichtige Eckpunkte
Laufende Arbeiten