

# Grünlandböden in Österreich – Einfluss der Bewirtschaftung auf Kohlenstoffvorrat und weitere Bodenparameter

Endbericht des Forschungsprojektes Nr. 101589





Wien, 2023

## Impressum

Projektnehmer/in: Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit  
Department für

Adresse: Spargelfeldstraße 191, 1220 Wien

Projektleiter/in: Georg Dersch

Tel.: 0043 (0)50555 34120

E-Mail: [georg.dersch@ages.at](mailto:georg.dersch@ages.at)

Projektmitarbeiter/in: Hans-Peter Haslmayr, Manuela Bürgler, Bradley Matthews, Bettina Schwarzl, Peter Weiss, Reinhard Resch, Andreas Bohner, Patrick Falkensteiner, Simon Kriegner-Schramml, Elisabeth Neudorfer

Kooperationspartner/in: Umweltbundesamt, Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für  
Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, LK Oberösterreich, LK Salzburg

Finanzierungsstellen:

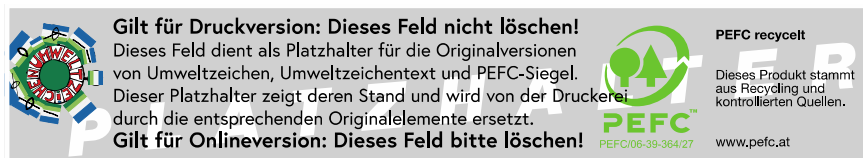
Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BML)

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie  
(BMK)

Projektlaufzeit: 01.07.2021-31.05.2023

1. Auflage

Alle Rechte vorbehalten.



Wien, 2023. Stand: 9. August 2023



## Inhalt

<b>1 Zusammenfassung</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Einleitung</b> .....	<b>10</b>
<b>3 Material und Methoden</b> .....	<b>12</b>
3.1 Beschreibung der verwendeten Bodenparameter (Richtlinien für die sachgerechte Düngung auf Acker und Grünland, 8. Auflage, BMLRT, 2022) .....	13
3.2 Daten der Langzeitversuchsflächen der HBLFA Raumberg-Gumpenstein .....	15
3.2.1 GL-433: Düngungs- und Nutzungsversuch, Gumpenstein.....	15
3.2.2 GL-434.A Schnitthäufigkeitsversuch Gumpenstein .....	15
3.2.3 GL-480 Kombiniertes Grünlandversuch Gumpenstein.....	16
3.2.4 GL-432-A: Nährstoffmangelversuch, Gumpenstein .....	16
3.2.5 GL-484: Ertragsdynamischer Wirtschaftsdüngerversuch, Gumpenstein .....	17
3.2.6 GL-320: Wiesendüngungsversuch Admont .....	17
3.2.7 Untersuchung der C-Vorräte 2021 .....	18
3.3 Daten aus dem Trockenschadenprojekt (DW-NET4) .....	18
3.4 Statistische Analyse der Daten aus Langzeitversuchen.....	20
3.4.1 Datenbearbeitung.....	20
3.4.2 Statistische Testverfahren .....	23
3.5 Daten von ausgewählten Grünlandstandorten in OÖ und Salzburg .....	24
3.5.1 Auswahl der Standorte .....	24
3.5.2 Erhebung der Lagerungsdichte und Ermittlung des Corg-Vorrats des Bodens.....	25
3.6 Daten von Praxisflächen im Rahmen von unterschiedlichen Aktionen und Bildungsinitiativen in OÖ und ÖPUL-Maßnahmen in OÖ und Salzburg .....	26
3.6.1 Beratungsprojekt Landesbodenuntersuchung in Oberösterreich 2009.....	26
3.6.2 ÖPUL-2015 Maßnahme Vorbeugender Grundwasserschutz Grünland .....	26
3.6.3 Bildungsinitiative Grünland (BIGL) 2020 in OÖ .....	27
3.6.4 Zusammenführung der drei unterschiedlichen Datensätze (Kap. 3.6.1-3.6.3) und Verknüpfung mit den betrieblichen INVEKOS-Daten .....	28
3.6.5 Statistische Testverfahren .....	28
<b>4 Ergebnisse</b> .....	<b>30</b>

4.1 Vorräte an Bodenkohlenstoff in den Langzeitversuchsflächen Gumpenstein bis 50 cm Tiefe .....	30
4.2 Statistische Auswertung zu den Kohlenstoffvorräten von Langzeitversuchsflächen ....	34
4.2.1 Gumpenstein und Admont .....	34
4.2.2 Trockenschadenprojekt DW-NET4 .....	39
4.2.3 Zusammenhang Kohlenstoffvorräte mit Wirtschaftsdüngeraufbringung und Schnittfrequenz.....	42
4.2.4 Vergleich Stallmist und Gülle.....	44
4.2.5 Trends über die Zeit.....	46
4.2.6 Tiefenstufen 0-30 cm und 0-50 cm.....	47
4.3 Auswertung der INVEKOS-Daten nach Hauptproduktionsgebiet (HPG) und Kleinproduktionsgebiet (KPG) .....	50
4.4 Statistische Auswertung der Bodendaten von Praxisflächen.....	53
4.4.1 Anzahl der Bodenproben pro Bundesland, HPG und KPG gesamt und bei Vorbeugendem Grundwasserschutz.....	53
4.4.2 Verminderung der einbezogenen Proben um die Standorte mit erhöhten Humusgehalten (größer 15 %) und Statistik der Bodenparameter nach HPG .....	54
4.4.3 Statistik der Bodenparameter nach HPG aller Proben < 15 % Humus und graphische Darstellung nach Perzentilen (5, 10, 25, 50, 75, 90 und 95 %) .....	57
4.4.4 Statistik der Bodenparameter nach KPG aller Proben < 15 % Humus .....	62
4.4.5 ÖPUL-Maßnahme „Vorbeugender Grundwasserschutz“ in OÖ und Salzburg: Statistik der Bodenparameter nach HPG und KPG aller Proben < 15 % Humus.....	67
4.4.6 Einfluss von Schnitthäufigkeit und GVE/ha auf Humusgehalt, Corg-Vorrat und weitere Bodenparameter in den HPG und ausgewählten KPG in OÖ .....	68
4.4.7 Statistik der Bodenparamater von Betrieben mit bzw. ohne Milchlieferung .....	73
4.4.8 Statistik der Bodenparamater von biologisch und konventionell wirtschaftenden Betrieben.....	74
4.4.9 Zeitliche Veränderung der Corg - Parameter in den HPG und KPG in OÖ.....	75
4.5 Beziehung von standörtlichen und regionalen Klimadaten und Kohlenstoffvorräten ..	77
4.5.1 18 Langzeitversuchsflächen aus dem Trockenschadenprojekt .....	77
4.5.2 17 ausgewählte Grünlandstandorte aus OÖ und Salzburg .....	78
4.5.3 Mittel von den 14 Kleinproduktionsgebieten in OÖ und Salzburg.....	80

4.5.4 Resümee zu Humusgehalt und Corg-Vorräten mit standörtlichen Klimadaten.....	82
4.6 Vorräte an Bodenkohlenstoff auf 17 ausgewählten Standorten und den 10 Probestellen der Grünland-Dauerversuche bis 50 cm Tiefe .....	83
4.7 Kationenaustauschkapazität: Bewertung unter Einbeziehung der Standard-Bodenparameter .....	86
4.7.1 Allgemeine Beschreibung der Funktion der Kationen.....	86
4.7.2 Ergebnisse von den Grünlandböden in OÖ .....	87
4.7.3 Multiple Regressionsanalyse .....	89
<b>5 Bedeutung der Ergebnisse für die Umsetzung in der nationalen Treibhausgas-Inventur</b>	<b>95</b>
<b>6 Diskussion: Vorgaben für ein zukünftiges SOC-Vorrats-Monitoring auf Grünland-Flächen .....</b>	<b>98</b>
<b>7 Schlussfolgerungen.....</b>	<b>101</b>
<b>8 Summary.....</b>	<b>106</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>109</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>112</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>114</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>116</b>
<b>Abkürzungen.....</b>	<b>121</b>



# 1 Zusammenfassung

Grünlandböden können große Mengen an organischem Kohlenstoff speichern, denn durch den ganzjährigen Pflanzenbewuchs gibt es kaum Bodenverlust durch Wasser- und Winderosion und daher einen kontinuierlichen Kohlenstoff-Eintrag über die Pflanzen und die Wirtschaftsdünger ohne humusabbauende Mineralisierungsschübe durch Bodenbearbeitungen. Durch die Grünlandnutzung wird die Grundfutter- und Eiweißversorgung von Wiederkäuern, v.a. von Milchkühen in hohem Ausmaß bereit gestellt und zugleich das typische, offene und vielfältige Landschaftsbild gewährleistet, in dem günstige Bedingungen für die Biodiversität gegeben sind.

Mit welchen standortangepaßten Bewirtschaftungsweisen der Vorrat an organischem Kohlenstoff (Corg) in der obersten Bodenschicht stabil gehalten oder gesteigert werden kann, wurde im Rahmen dieses Projektes mittels statistischer Analyse des Corg-Vorrats im Feinboden von langjährigen Grünland-Langzeitversuchsflächen hinsichtlich unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen und durch Auswertung der verfügbaren Daten zu Bodenparametern von bewirtschafteten Grünlandflächen („Praxisflächen“) nach betrieblichen und regionalen Kriterien bearbeitet. Untersucht wurden mineralische (terrestrische, nicht hydromorphe) Dauergrünlandböden (keine Wechselwiesen bzw. Feldfutterbauflächen), Landnutzungsänderungen wurden nicht betrachtet.

Bei den Bodendaten der bewirtschafteten Grünlandflächen wurden zusätzlich auch standörtliche und regionale Klimadaten einbezogen, sowie neben dem Humusgehalt auch der Säuregrad, die Hauptnährstoffe Phosphor und Kalium und die Kationen-Austauschkapazität evaluiert. Dabei wurden Proben von Standorten mit über 15 % Humus (8,7 % Corg), die auf grundwasserbeeinflusste, hydromorphe Böden (Gley, Augley, Anmoor, Niedermoor) hinweisen, von der weiteren Auswertung zur Ableitung von Effekten durch die Bewirtschaftung ausgeschlossen. Dieser Anteil liegt in den Kleinproduktionsgebieten zwischen 0 bis über 5 %. In den KPG Flachgau, Inneres Salzkammergut – Eisenwurzen, Hochlagen des Mühlviertels und Oberes Innviertel liegt ein höherer Anteil hydromorpher Standorte vor, eine Übereinstimmung nach der Bodenkartierung ist gegeben.

Die Ergebnisse der Grünland-Langzeitversuchsflächen der HBLFA Raumberg-Gumpenstein zeigen, dass bei einer Wirtschaftsdüngerausbringung mit Stallmist, die im Rahmen der auf den Ertrag und die Schnittfrequenz bezogenen Düngungsempfehlungen liegt, der Corg-Vorrat im Feinboden ( $SOC_{FB}$ ) im Durchschnitt um 7 % im Vergleich zur Güllebehandlung erhöht wird. Die statistischen Analysen der Daten der Langzeitversuchsflächen zeigen weiters, dass, wenn der N-Eintrag über Wirtschaftsdünger erfolgt, die  $SOC_{FB}$ -Vorräte trotz höherer Schnittfrequenz in der Bodenschicht 0-

10 cm stabil bleiben. Der Wirtschaftsdünger, im besten Fall Stallmist, sollte daher möglichst bedarfsgerecht wieder auf die Grünlandböden ausgebracht werden, um die Kohlenstoffvorräte langfristig zu erhalten. Behandlungen mit ausschließlich Mineraldüngern führen zu niedrigeren  $\text{SOC}_{\text{fb}}$ -Vorräten, auch im Vergleich zu ungedüngten Varianten.

Die Ergebnisse der Datenauswertung von Bodenparametern von bewirtschafteten Grünlandflächen zeigen, dass bei standortangepasster Bewirtschaftungsintensität mit bis zu 6 Schnitten für das Alpenvorland in OÖ keine negativen Effekte hinsichtlich der Corg-Speicherung im Oberboden (0-10 cm) auftreten. Für die tieferen Bodenschichten liegen nur sehr eingeschränkt Daten vor, daher können derzeit für den Gesamt-Kohlenstoffpool des Bodens bei 5- und 6-schnittigen Nutzungen keine Aussagen getroffen werden. Der Anteil der Grünlandflächen mit 5- und 6facher Nutzung liegt im Alpenvorland bei 26 % und 3 %. In den Voralpen und im Mühlviertel sind die Anteile der 5-Schnittwiesen mit 10 % und 3 % niedriger. Die Bewirtschaftungsform und –intensität spiegelt sich dabei nur in geringem Ausmaß in den Bodenparametern wider: Ein höherer Tierbestand geht mit höheren Nährstoffgehalten und pH-Werten einher. Bei höherem Tierbestand werden entsprechend mehr Nährstoffe rückgeführt, Auswirkungen auf den Corg-Pool sind nicht gegeben. Das bodenbildende Ausgangssubstrat in den Regionen beeinflusst den verfügbaren Kaliumgehalt wesentlich stärker, als unterschiedliche Intensitäten und Formen der Bewirtschaftung, mit höheren Gehalten im Kristallin des Mühlviertels als in den Kalkalpen. Auch beim Säuregrad ist dieser Zusammenhang mit dem bodenbildenden Ausgangssubstrat nachweisbar, mit einem höheren Anteil saurer Standorte im Mühlviertel im Gegensatz zu den Voralpen, die überwiegend in den Nördlichen Kalkalpen liegen. Die Humusgehalte können durch unterschiedliche Bewirtschaftung und kulturtechnische Maßnahmen nur langfristig innerhalb verhältnismäßig enger Grenzen verändert werden (BML 2022b).

Die klimatische Situation der Standorte, insbesondere die Höhe des Jahresniederschlags und die klimatische Wasserbilanz wirken auf den Corg-Umsatz und somit auf den standörtlichen Corg-Vorrat in den obersten Bodenschichten: Höhere Niederschläge und eine hohe positive Wasserbilanz stehen mit höheren Humusgehalten und Corg-Vorräten in einem positiven Zusammenhang. Die höheren Humusgehalte in den Voralpen können damit zum Teil erklärt werden.

Mit den unabhängigen Variablen pH-Wert, Ton- und Humusgehalt kann eine Abschätzung der Kationenaustauschkapazität erfolgen. Bei Vorliegen von Nährstoffgehalten und Säuregraden im Boden, die im Bereich der anzustrebenden Gehalte liegen, sind somit im Mittel auch entsprechende ausgeglichene Nährstoffverhältnisse betreffend Calcium, Magnesium und Kalium am Austauschkomplex gegeben, wie sie in den Richtlinien für die sachgerechte Düngung definiert werden.

Die vorliegenden Befunde erlauben insgesamt noch keine österreichweite Abschätzung der Veränderungen der Bodenkohlenstoff-Vorräte im Grünland in der Treibhausgas (THG)-Inventur: Zum einen wurden signifikante Zunahmen der Bodenkohlenstoff-Vorräte in Oberböden (0-10 cm) auf den untersuchten Praxis-Flächen nachgewiesen, demgegenüber stehen Abnahmen von Festmist-Düngungen in Österreich in den letzten Jahren, die für sich betrachtet eigentlich eine Tendenz zur Abnahme der Bodenkohlenstoff-Vorräte im Grünland in den letzten Jahren erwarten ließen. Änderungen des Bodenkohlenstoffs in den mineralischen Grünlandböden ohne Landnutzungswechsel können in der THG-Inventur berichtet werden, wenn:

- Ergebnisse aus Wiederholungsmessungen der Bodenzustandsinventuren repräsentativ für Österreich vorliegen, was nicht der Fall ist, oder
- wenn es etwa aus Langzeitversuchen eindeutige, quantitativ bekannte Mechanismen für die Änderung des Bodenkohlenstoffvorrats gibt (Änderungs- bzw. Managementfaktoren), anhand deren die Änderungen des Bodenkohlenstoffvorrats für Österreich mit entsprechenden Eingangsdaten (z.B. zur Grünlandbewirtschaftung, zu Klimaparametern) und mittels Modellen oder vereinfachten Methoden gemäß 2006 IPCC Richtlinien geschätzt werden können.

Für den zweiten Fall konnte zwar ein solcher Mechanismus bzw. Parameter identifiziert werden (die Art der Grünland-Düngung bzw. der höhere Kohlenstoffvorrat bei Stallmist-Düngung), allerdings widerspricht der daraus abgeleitete Trend einer Abnahme des Grünlandboden-Kohlenstoffvorrats dem Ergebnis, dass die Grünlandboden-Kohlenstoffvorräte im Oberboden der Praxisflächen in OÖ zunahmen. Es gibt also offensichtlich weitere Mechanismen, die für diese Vorratszunahmen verantwortlich sind, und die erwartbare Vorratsabnahme aus der Änderung der Grünland-Düngung in den letzten Jahrzehnten überkompensieren. Diese Mechanismen sind jedoch noch nicht bekannt. Daher wird vorläufig und künftig in der THG-Inventur begründet weder eine Zunahme noch eine Abnahme der Bodenkohlenstoff-Vorräte im Grünland auf mineralischen Böden und ohne Landnutzungswechsel berichtet werden, bis die Ursachen für die Zunahme bekannt sind und entsprechende Befunde bzw. Ergebnisse aus Monitoring und Versuchen eine robuste österreichweite Abschätzung der Veränderungen auf Basis von Eingangsdaten für die verursachenden Parameter erlauben.

## 2 Einleitung

Das bewirtschaftete österreichische Dauergrünland (ohne Almen und Bergmäher) nimmt derzeit (2020) eine Fläche von 678.905 ha ein (BML, 2022). Das Grünland liefert in Österreich den wesentlichsten und wertvollsten Beitrag zur Proteinversorgung von Wiederkäuern. Die Eigenversorgung mit pflanzlichem Eiweiß für die Tierfütterung ist in Österreich sehr hoch und betrug im Wirtschaftsjahr (WJ) 2015/16 rund 82 %; rund 18 % Eiweiß für die Verfütterung mussten im selben Zeitraum jedoch importiert werden. Der Importbedarf bezieht sich in Österreich fast ausschließlich auf den Schweine- und Geflügelsektor, da in der Wiederkäuerfütterung aus dem Grünland und Feldfutter weitgehende Eigenversorgung besteht. Gerade in Verbindung mit Landnutzungsänderungen bzw. Urwaldrodungen in anderen Kontinenten kommt importierten Lebens- und Futtermitteln teilweise eine sehr negative Klima- und Umweltwirkung zu (Eiweißstrategie, BMLRT, 2021). Eine effiziente Nutzung der Ressource Grünland ist auch daher von enormer Relevanz.

Im Grünland gilt es, den Zielkonflikt und das Spannungsfeld zwischen einer extensiven Grünlandbewirtschaftung zur Biodiversitätssteigerung und einer intensiven Grünlandbewirtschaftung zur Gewinnung eines hohen und effizienten Proteinertrags zu überwinden, beide Bewirtschaftungsformen haben ihre Notwendigkeit (Eiweißstrategie, BMLRT, 2021). Im GAP-Strategieplan 2023 – 2027 wird bei der standortangepassten Grünlandbewirtschaftung der Beitrag zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel, auch durch Verringerung der Treibhausgasemissionen, die Verbesserung der Kohlenstoffbindung, die effiziente Bewirtschaftung natürlicher Ressourcen und die Eindämmung und Umkehr des Verlusts an Biodiversität, Verbesserung der Ökosystemleistungen und die Erhaltung von Lebensräumen und Landschaften hervorgehoben. Insbesondere bei der Intervention „Humuserhalt und Bodenschutz auf umbruchsgefährdetem Grünland“ wird auf die natürliche landwirtschaftliche Kohlenstoffsenke verwiesen und deren Beitrag zum Klimaschutz. Weiters sollen Landwirtinnen und Landwirte dazu ermutigt werden, Elemente des „abgestuften Wiesenbaus“ in ihre Bewirtschaftung zu integrieren. Die Idee des abgestuften Wiesenbaus ist es, die zeitgemäße, ertragsbetonte Grünlandnutzung und die naturnahe Bewirtschaftung artenreicher Wiesen am selben Betrieb zu kombinieren. Flächen mit hoher Bonität werden also entsprechend ihres Ertragspotentials genutzt und gedüngt, während im Gegenzug dazu flachgründige, staunasse, entfernter gelegene oder aus verschiedenen Gründen schwer zu bewirtschaftende Flächen extensiv bewirtschaftet werden, womit zur Erhaltung und Verbesserung der biologischen Vielfalt beigetragen wird.

Wenn der Beitrag zum Klimaschutz angeführt wird, ist es in einem weiteren Schritt erforderlich, die mögliche Senkenwirkung für Kohlenstoff in der Treibhausgasbilanz im Sektor LULUCF in der Unterkategorie Grünland zu verbessern. Das Projekt hat primär die Abschätzung von zeitlichen Veränderungen des C-Pools der obersten Bodenschicht (0 – 10 cm) von Grünlandböden in Österreich im Rahmen von unterschiedlichen Bewirtschaftungsintensitäten in unterschiedlichen Regionen im Fokus. Damit soll den, in der LULUCF-Verordnung, die im Mai 2018 vom Europäischen Rat verabschiedet wurde, festgelegten Anrechnungsregeln nun auch für das Grünland mittels einer aktuelleren und umfangreichen Datenbasis nachgekommen werden. Zusätzlich sind detaillierte Erhebungen auf repräsentativen Grünlandstandorten zur Lagerungsdichte und zur Abschätzung des gesamten Corg-Pools bis 50 cm Tiefe integriert. Weiters werden von den Praxisflächen die Basis-Bodenparameter Säuregrad (pH-Wert) und die Nährstoffgehalte von Phosphor und Kalium ausgewertet und im Hinblick auf eine nachhaltige nährstoff- und umweltgerechte Bewirtschaftung interpretiert. Zusätzlich werden die Kationenaustauschkapazität und die Anteile der Kationen am Austauscherkomplex in die Charakterisierung der Grünlandbödenqualität einbezogen und mit den anderen genannten Parametern inkl. Tongehalt verknüpft und bewertet.

Basierend auf Ergebnissen von Praxisflächen unter Einbeziehung regionaler und betrieblicher Kenndatenden wie GVE-Bestand, Milchlieferung oder Angaben zur Schnitthäufigkeit und von Daten aus Grünland-Langzeitversuchen seit dem Jahr 2000 wurde versucht, Einflussfaktoren der Bewirtschaftung und des standortörtlichen bzw. regionalen Klimas auf den Grünlandbodenkohlenstoffvorrat und dessen Entwicklung zu identifizieren und zu quantifizieren.

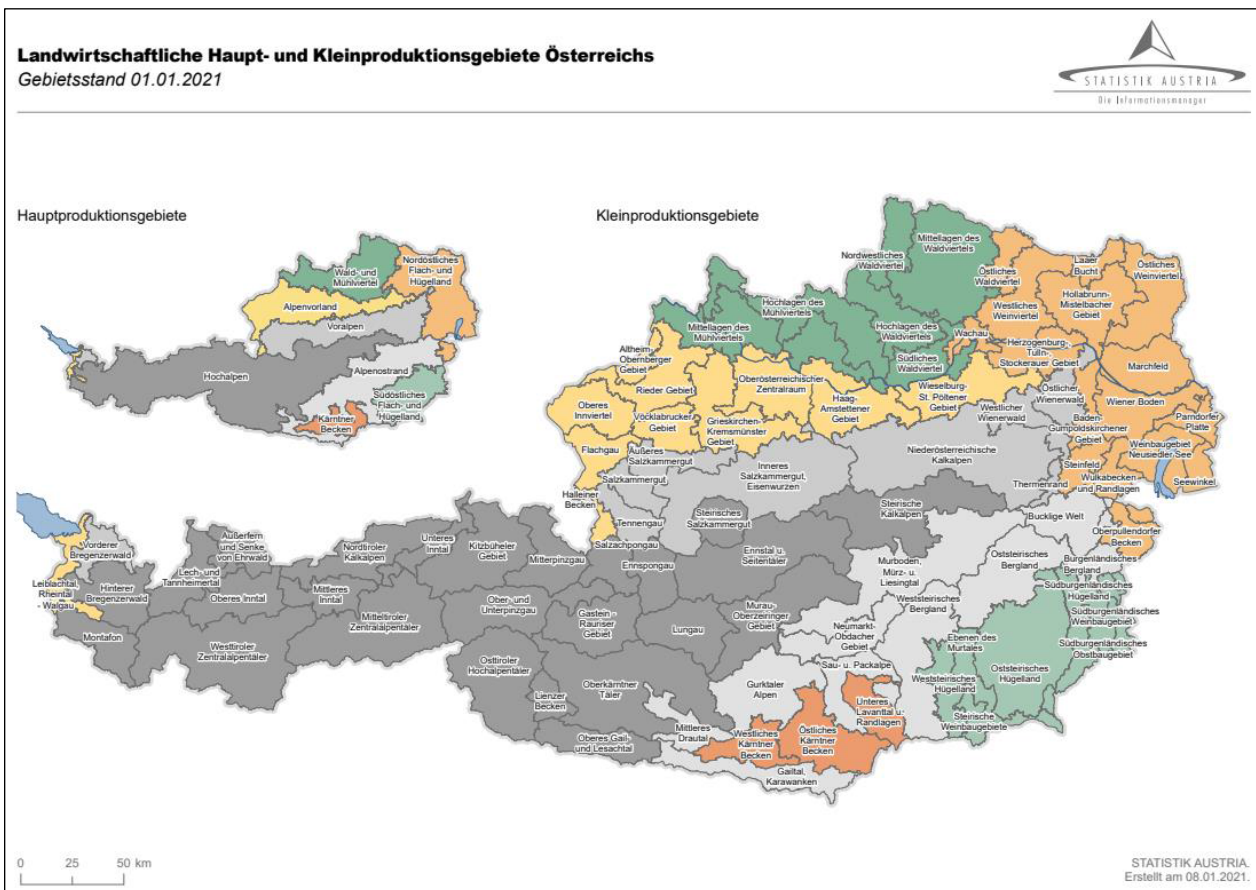
Insgesamt werden in diesem Bericht über 38.000 Bodendaten von Praxisflächen aus dem Alpenvorland und den Voralpen in Oberösterreich und Salzburg sowie aus dem Mühlviertel ausgewertet. Die Grünlandfläche in diesen Regionen beträgt über 252.000 ha, das entspricht etwa 37 % des bewirtschafteten Dauergrünlandes in Österreich. Zusätzlich wurden durch die Auswertung von Grünland-Langzeitversuchsdaten der HBLFA Raumberg-Gumpenstein Grundlagen für ein Verständnis für den Beitrag unterschiedlicher Bewirtschaftungsfaktoren auf die Veränderung der Bodenkohlenstoffgehalte in Grünlandböden erarbeitet.

# 3 Material und Methoden

Die einzelbetrieblichen INVEKOS-Daten von 2020 wurden nach HPG und KPG aufsummiert und mittlere Daten pro Betrieb ermittelt: Grünland- und Ackerfläche, Grünlandanteil an der LN, GVE-Besatz sowie Milchlieferung bezogen auf ha LN und Rinder-GVE.

Die natürlichen und landwirtschaftlichen Produktionsgegebenheiten in Österreich sind in Abhängigkeit von der natürlichen Bodenbildung, dem Klima und weiterer naturräumlicher Gegebenheiten sehr unterschiedlich. Aus diesem Grund wurde von der vormaligen Bundesanstalt für Agrarwirtschaft (nun Bundesanstalt für Agrarwirtschaft und Bergbauernfragen (BAB)) Österreich in acht Hauptproduktionsgebiete (HPG) und diese wiederum in 87 Kleinproduktionsgebiete (KPG) gegliedert.

Abbildung 1: Landwirtschaftliche Haupt- und Kleinproduktionsgebiete



Die in OÖ befindlichen HPG sind das Wald- und Mühlviertel, die Voralpen und das Alpenvorland, in Salzburg sind die HPG ebenfalls das Alpenvorland und die Voralpen sowie die Hochalpen. Neben

Geodaten wurden Betriebstypen, Verwaltungsgrenzen, klimatische Zonen, sowie verschiedene Betriebsformen bei der Typisierung der KPG berücksichtigt. Bei der Betrachtung der Gebiete müssen diese unterschiedlichen Produktionsgrundlagen berücksichtigt werden (Statistik Austria, 2021; Wagner, 1990).

### 3.1 Beschreibung der verwendeten Bodenparameter (Richtlinien für die sachgerechte Düngung auf Acker und Grünland, 8. Auflage, BMLRT, 2022)

Die Analyse des **Humusgehaltes** erfolgt im Labor gemäß ÖNORM L 1080 (Elementaranalyse nach trockener Verbrennung). Bei diesem Verfahren wird zunächst der Gehalt an organischem Kohlenstoff ermittelt. Basierend auf dem durchschnittlichen Kohlenstoffgehalt der organischen Substanz des Bodens von 58 % ergibt sich der Humusgehalt durch eine Multiplikation des analysierten Corg-Gehalts mit dem Faktor 1,72. Die Angabe erfolgt daher in wissenschaftlichen Publikationen in g Corg/kg Feinboden, in diesem Projekt in % Humus (nach Multiplikation mit 1,72). Im C-Pool wird nur mit Corg gerechnet. Der Corg-Wert ist die Basis für die rechnerische Ermittlung des Corg-Vorrats unter Einbeziehung von Lagerungsdichte und Grobanteil je Bodenschicht.

Der **Säuregrad des Bodens (pH-Wert - gemessen in CaCl<sub>2</sub> gemäß ÖNORM EN 15933)** spiegelt dessen Entstehung und die zugrundeliegenden chemischen Eigenschaften wider. Die chemische Bodenreaktion reicht von stark sauer bis stark alkalisch. Die Versauerung unter feuchtem Klima von Braunerden ist ein natürlicher Prozess, weil saure Protonen durch Niederschläge und die Bodenatmung eingetragen und freigesetzt werden, und mit dem Sickerwasser Base-Kationen wie Ca<sup>2+</sup> und Mg<sup>2+</sup> ausgewaschen werden. Bei trockenem Klima auf kalkhaltigen Böden ist der pH durchgehend alkalisch.

Die Bestimmung des Gehaltes an „**pflanzenverfügbarem**“ **Phosphor und Kalium** erfolgt im **Calcium-Acetat-Lactat (CAL)-Extrakt gemäß ÖNORM L 1087**. Bei Böden mit pH-Werten unter 6 werden apatitische Phosphate unzureichend erfasst. Der in sauren Böden „pflanzenverfügbare Phosphor“ wird in der Regel mit dem aus dem CAL-Extrakt erhaltenen Phosphorwert mithilfe eines Korrekturfaktors gemäß ÖNORM L 1087 berechnet.

Böden zeigen aufgrund der elektrischen Ladung von Ton- und Humusteilchen sowie von Oxiden eine negative Überschussladung. Daher können positiv geladene Ionen – die sogenannten Kationen - an den Oberflächen adsorbiert und in pflanzenverfügbarer Form gut gespeichert werden. Dazu zählen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium als „basisch wirkende“ und Aluminium, Eisen, Mangan und Wasserstoffionen als „sauer wirkende“ Kationen. Die Mengen und Anteile der genannten Kationen sowie deren Summe (= **Kationenaustauschkapazität, Abkürzung KAK**) in den Böden wird durch Art und Gehalt an Tonmineralen und Humus sowie durch den pH-

Wert bestimmt und variiert daher in einem weiten Bereich. Ton- und humusreiche Böden haben eine höhere Sorptionskraft und damit auch eine höhere Austauschkapazität als humusarme Sandböden. Die Austauschkapazität wird in centimol Ionenäquivalent pro 1000g Boden (cmol+/1000 g) angegeben und liegt zumeist im Bereich zwischen 10 und 30 cmol+/1000g.

Die Bestimmung der **effektiven KAK (KAKeff)** erfolgt in der Routinebodenanalytik gemäß ÖNORM L 1086-1 nach Extraktion mit einer ungepufferten Bariumchlorid-Lösung beim aktuellen pH-Wert des Bodens (0.1 M BaCl<sub>2</sub>\*2H<sub>2</sub>O im Verhältnis 1:20). Die Bestimmung der **potentiellen KAK (KAKpot)** hingegen erfolgt in einer auf pH > 7 eingestellten gepufferten BaCl<sub>2</sub>-Lösung. Die KAKeff liegt umso mehr unterhalb der KAKpot, je niedriger der pH-Wert und je höher der Anteil an variabler Ladung ist. Der Unterschied ist daher bei sauren, humosen Sandböden besonders groß. Wird der pH-Wert solcher Böden durch Kalkung erhöht, so steigen je nach Anteil variabler Ladung die Menge austauschbarer Kationen, v.a. Ca, und somit die KAKeff an. Die potentielle Kationenaustauschkapazität kann durch Aufsummierung der KAKeff und den aus dem pH-Acetat errechneten, dissoziierbaren H<sup>+</sup>-Ionen nach Schachtschabel (1951) näherungsweise abgeschätzt werden, wobei sich für Ackerböden eine recht gute Übereinstimmung (r=0,90 und hochsignifikant) mit der analytischen Bestimmung gezeigt hat (Oberösterreichische Bodenzustandsinventur 1993), während die Übereinstimmung am Grünland mit r=0,69 nicht befriedigt und zusätzlichen Untersuchungsaufwand erfordert. Dieses Verfahren wurde für die Daten aus OÖ in Analogie zur BZI OÖ trotz der angeführten Einschränkung herangezogen, womit die Vorgehensweise und Interpretation transparent ist.

**pH-Wert im Acetatauszug:** Die Bestimmung der H<sup>+</sup>-Konzentration in einer Boden/Calciumacetat-Suspension zur Abschätzung der dissoziierbaren Protonen nach Schachtschabel, wird auch zur Berechnung des Kalkbedarfes herangezogen.

Die **Bodenart** wird durch das Verhältnis der Korngrößenklassen Sand (S), Schluff (U) und Ton (T) zueinander charakterisiert. Die **Bestimmung der Korngrößen** erfolgt gemäß ÖNORM L 1061-2, die Einstufung der Bodenart gemäß ÖNORM L 1050. Für dieses Projekt erfolgte im Rahmen der Nachuntersuchungen an den BIGL-Proben die Bestimmung des Tongehalts mit der Spindelmethode, die eine ausreichende Übereinstimmung mit ÖNORM-Methode aufweist.

Die **Bodenart** wird durch das Verhältnis der Korngrößenklassen Sand (S), Schluff (U) und Ton (T) zueinander charakterisiert. Die **Bestimmung der Korngrößen** erfolgt gemäß ÖNORM L 1061-2, die Einstufung der Bodenart gemäß ÖNORM L 1050. Für dieses Projekt erfolgte im Rahmen der Nachuntersuchungen an den BIGL-Proben die Bestimmung des Tongehalts mit der **Spindelmethode** als Dichtemessung einer Bodensuspension, die eine ausreichende Übereinstimmung mit ÖNORM-Methode aufweist.



## 3.2 Daten der Langzeitversuchsflächen der HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Die Versuchsanlage in Gumpenstein (siehe Kap. 3.2.1 - 3.2.5) weist den Bodentyp Braunerde auf (Lockersediment-Braunerde) über silikatischem Muttergestein (Phyllit). Der Wasserhaushalt ist frisch (ausgeglichen).

Die Versuchsanlage in Admont (siehe Kap. 3.2.6) weist den Bodentyp stark vergleyter Brauner Auboden auf über dem Ausgangsmaterial Alluvium der Enns. Braunerde auf (Lockersediment-Braunerde) über silikatischem Muttergestein (Phyllit). Der Wasserhaushalt ist frisch – stark unterzünftig.

### 3.2.1 GL-433: Düngungs- und Nutzungsversuch, Gumpenstein

Anlagejahr: 1961, Umstellung: 1993, Nutzung: 1-3 Schnitte.

Acht Versuchsvarianten: 11, 13, 14, 23, 24, 31, 33, 34

Variante	Nutzungsfrequenz	Düngung
11	3	NPK mineralisch; 45 kg N, PK ertragsdynamisch
13	3	Rindergülle verdünnt 1:0,5; Menge von 2,0 GVE/ha
14	3	Rottemist + Jauche von 2,0 GVE/ha
23	2	Rindergülle verdünnt 1:0,5; Menge von 1,5 GVE/ha
24	2	Rottemist + Jauche von 1,5 GVE/ha
33	1	Rindergülle verdünnt 1:0,5; Menge von 0,5 GVE/ha
34	1	Rottemist + Jauche von 0,5 GVE/ha

### 3.2.2 GL-434.A Schnitthäufigkeitsversuch Gumpenstein

Anlagejahr: Frühjahr 1960, Nutzung: 2-5 Schnitte

10 Versuchsvarianten: 10, 11, 20, 21, 30, 31, 40, 41, 50, 51

Variante	Nutzungsfrequenz	Düngung
10	2	N 0 kg, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100 kg, K <sub>2</sub> O 200 kg mineralisch 15 t Stallmist jedes 2. Jahr (im Herbst ungerader Jahre)
11	2	N 120 kg, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100 kg, K <sub>2</sub> O 200 kg mineralisch 15 t Stallmist jedes 2. Jahr (im Herbst ungerader Jahre)
20	3	N 0 kg, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100 kg, K <sub>2</sub> O 200 kg mineralisch 15 t Stallmist jedes 2. Jahr (im Herbst ungerader Jahre)

Variante	Nutzungsfrequenz	Düngung
21	3	N 120 kg, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100 kg, K <sub>2</sub> O 200 kg mineralisch 15 t Stallmist jedes 2. Jahr (im Herbst ungerader Jahre)
30	3	N 0 kg, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100 kg, K <sub>2</sub> O 200 kg mineralisch 15 t Stallmist jedes 2. Jahr (im Herbst ungerader Jahre)
31	3	N 120 kg, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100 kg, K <sub>2</sub> O 200 kg mineralisch 15 t Stallmist jedes 2. Jahr (im Herbst ungerader Jahre)
40	4	N 0 kg, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100 kg, K <sub>2</sub> O 200 kg mineralisch 15 t Stallmist jedes 2. Jahr (im Herbst ungerader Jahre)
41	4	N 120 kg, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100 kg, K <sub>2</sub> O 200 kg mineralisch 15 t Stallmist jedes 2. Jahr (im Herbst ungerader Jahre)
50	6	N 0 kg, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100 kg, K <sub>2</sub> O 200 kg mineralisch 15 t Stallmist jedes 2. Jahr (im Herbst ungerader Jahre)
51	6	N 120 kg, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100 kg, K <sub>2</sub> O 200 kg mineralisch 15 t Stallmist jedes 2. Jahr (im Herbst ungerader Jahre)

### 3.2.3 GL-480 Kombiniertes Grünlandversuch Gumpenstein

Anlagejahr: 1966, Nutzung: 5 Schnitte

2 Versuchsvarianten: D-53, D-54

Variante	Nutzungsfrequenz	Düngung
D-53	5	Rindergülle 1:0,5 verdünnt von 3,0 GVE/ha
D-54	5	Stallmistkompost + Jauche von 3,0 GVE/ha

### 3.2.4 GL-432-A: Nährstoffmangelversuch, Gumpenstein

Anlagejahr: Frühjahr 1960, Nutzung: 3 Schnitte

3 Versuchsvarianten: 1, 5, 15

Variante	Nutzungsfrequenz	Düngung
1	3	Ungedüngt
5	3	60 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 240 kg K <sub>2</sub> O
15	3	120 kg N, 60 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 240 kg K <sub>2</sub> O

### 3.2.5 GL-484: Ertragsdynamischer Wirtschaftsdüngerversuch, Gumpenstein

Anlagejahr: 1966, Nutzung: 3 Schnitte

7 Versuchsvarianten: 1, 2, 4, 6, 11, 20n, 20x

Variante	Nutzungsfrequenz	Düngung
1	3	Ungedüngt
2	3	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> und K <sub>2</sub> O ertragsdynamisch
4	3	120 kg N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> und K <sub>2</sub> O ertragsdynamisch
6	3	Rindergülle 1:1 verdünnt (50 % Frühjahr + 50 % Sommer)
11	3	Rindergülle 1:0,25 verdünnt (50 % Frühjahr + 50 % Sommer)
20n	3	Rottemist im Frühjahr + Jauche nach 1. Schnitt
20x	3	Rottemist im Herbst + Jauche nach 1. Schnitt

#### Erklärung des Prinzips der ertragsdynamischen Düngung:

Mineralische Düngung: 0,9 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> bzw. 2,5 kg K<sub>2</sub>O je dt TM-Bruttoertrag vom Vorjahr

Rindergülle: Anfall hängt davon ab, wie viele GVE/ha ernährt werden können. Bei 11,75 kg TM-Aufnahme/GVE und Tag braucht 1 GVE insgesamt 8,5 Tage um 100 kg TM zu verzehren. Beispiel: Jahresertrag 100 dt TM/ha kann 1 GVE 850 Tage ernähren bzw. 2,33 GVE genau 1 Jahr lang. Folglich wird der Gülleanfall von 2,33 GVE/ha und Jahr gedüngt.

### 3.2.6 GL-320: Wiesendüngungsversuch Admont

Anlagejahr: 1946, Nutzung: 3 Schnitte

9 Versuchsvarianten: 1, 8, 12, 14, 15, 16, 17, 20, 22

Variante	Nutzungsfrequenz	Düngung
1	3	Ungedüngt
8	3	80 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 120 kg K <sub>2</sub> O
12	3	80 kg N, 80 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 120 kg K <sub>2</sub> O
14	3	80 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 120 kg K <sub>2</sub> O; 1300 kg CaO jedes 3. Jahr
15	3	80 kg N, 80 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 120 kg K <sub>2</sub> O; 1300 kg CaO jedes 3. Jahr
16	3	15 t Stallmist
17	3	15 t Stallmist jedes 3. Jahr
20	3	40 t Jauche
22	3	Alternierend 15 t Stallmist / 40 t Jauche

### 3.2.7 Untersuchung der C-Vorräte 2021

Aus den Langzeitversuchsflächen der HBLFA Raumberg-Gumpenstein wurden 10 Flächen mit abgestufter Nutzungsintensität und unterschiedlichem Düngenniveau im November 2021 in den Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm und 30-50 cm beprobt, um aktuelle Daten auch zur Lagerungsdichte und zum Grobbodenanteil zu generieren und den C-Vorrat bis in die Tiefe 50 cm abschätzen zu können.

Der Langzeitversuch GL-433 ist ein Düngungs- und Nutzungsversuch in Gumpenstein, der 1961 angelegt und 1993 umgestellt wurde. Der Versuch 434.A ist ein Schnitthäufigkeitsversuch in Gumpenstein, der ebenfalls 1961 angelegt wurde. Der Langzeitversuch 480 ist ein kombinierter Grünlandversuch, bei dem Dauerwiesen, Wechselwiesen und Feldfuttermischungen verglichen werden. Der Bodentyp in Gumpenstein ist eine Lockersediment-Braunerde (Muttergestein: silikatisch (Phyllit)), der Wasserhaushalt ist frisch (ausgeglichen).

Basisdaten zu diesen Langzeitversuchsflächen sind in Tabelle 1 dargestellt, die Analyseergebnisse in Kap. 4.1.

Tabelle 1: Basisdaten zu den ausgewählten Langzeitversuchsstandorten der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, die im November 2021 beprobt wurden

Versuchsbezeichnung	GL-433	GL-434-A	GL-480
Seehöhe im m	702	713	710
Exposition	N	NO	N
Inklination	2%	2%	2%

### 3.3 Daten aus dem Trockenschadenprojekt (DW-NET4)

Im DaFNE-Forschungsprojekt DW-NET4 (Nr. 101309) "Trockenschadenprojekt" wurden seit 2002 zu drei Zeitpunkten Bodenbeprobungen (Mischprobe aus drei Wiederholungen) von Dauergrünland-Feldversuchen mit einer Beprobungstiefe 0-10 cm durchgeführt (2002, 2011, 2016). Im Herbst 2020 fand wiederum eine Beprobung aus 0-10 cm Bodentiefe statt, zudem wurde die Tiefe 10-30 cm ergänzend beprobt und analysiert, um auch die Humusvorräte in der Bodentiefe 0-30 cm zu ermitteln. Weiters wurde in diesem Trockenschadenprojekt im Jahr 2004

eine Tiefenstufenbeprobung auf jedem Standort von 0-50 cm in 10cm-Stufen durchgeführt. Somit liegen umfangreiche Bodenanalysen inkl. organischem Kohlenstoffgehalt aus diesem Projekt vor.

Die Lage der insgesamt 18 Dauergrünland-Feldversuchsflächen des Trockenschadenprojekts reicht österreichweit von Hohenems (V) bis nach Güssing (B).

Tabelle 2: Beschreibung von Bodentyp und Wasserhaushalt von 18 Standorten aus dem DaFNE-Projekt „Trockenschadenprojekt“ (DW-NET4)

Versuch	Bundesland	Ort	Seehöhe	Bodentyp	Wasserhaushalt
GL-788	Burgenland	Güssing	209	Brauner Gley	mäßig feucht
GL-767	Kärnten	Litzlhof	561	Braunerde	frisch
GL-769	Kärnten	St. Andrä	445	Braunerde	frisch
GL-782	Niederösterreich	Edelhof	571	schwach krumenpseudovergleyte Braunerde	schwach krumenwechselfeucht
GL-783	Niederösterreich	Gießhübl	321	Pseudogley	wechselfeucht
GL-784	Niederösterreich	Hohenlehen	421	Kalklehm-Rendzina	frisch
GL-787	Niederösterreich	Warth	390	Pararendzina	frisch bis mäßig halbtrocken
GL-875	Niederösterreich	Pyhra	296	Hangpseudogley	mäßig wechselfeucht
GL-858	Oberösterreich	Altmünster	441	Komplex aus Kalklehm-Rendzina und Kalklehm-Pseudogley	mäßig halbtrocken bis frisch
GL-770	Salzburg	Tamsweg	1110	Braunerde	frisch
GL-771	Salzburg	Winklhof	450	schwach pseudovergleyte Kalklehm-Rendzina	schwach wechselfeucht
GL-772	Steiermark	Gumpenstein	710	Braunerde	frisch
GL-774	Steiermark	Piber	600	Hangpseudogley	wechselfeucht mit überwiegender Trockenphase
GL-775	Steiermark	Kirchberg / Walde	459	Hangpseudogley	wechselfeucht mit überwiegender Trockenphase
GL-776	Steiermark	Hatzendorf	288	pseudovergleyte Braunerde	mäßig wechselfeucht
GL-764	Tirol	Imst	712	Grauer Auboden	halbtrocken
GL-765	Tirol	St. Johann/Tirol	671	pseudovergleyter Farb-Substratboden	mäßig wechselfeucht
GL-763	Vorarlberg	Hohenems	401	Augley	mäßig feucht

Bei diesem Projekt betrug die Düngungsintensität - ausgedrückt in RGVE (Raufutterverzehende Großvieheinheit mit einem Lebendgewicht von 500 kg) je Hektar:

- für die Zweischnittflächen 0,9 RGVE/ha (13,5 m<sup>3</sup> Gülle/ha und Jahr bzw. 10 t Stallmist + 4 m<sup>3</sup> Jauche),
- für die Dreischnittflächen 1,4 RGVE/ha (21 m<sup>3</sup> Gülle/ha und Jahr bzw. 15,3 t Stallmist + 5,7 m<sup>3</sup> Jauche) und
- für die Vierschnittflächen 2,0 RGVE/ha (30 m<sup>3</sup> Gülle/ha und Jahr + 50 kg min. N bzw. 22 t Stallmist + 8,2 m<sup>3</sup> Jauche + 50 kg min. N). Die mineralische N-Düngung wurde bei der Vierschnittvariante mit Nitramoncal (27 % N) durchgeführt.

Die gewählten Düngungsniveaus entsprechen den Richtlinien für die Sachgerechte Düngung (BMLFUW 2017) für österreichische Dauerwiesenflächen in Abhängigkeit des Ertragspotentials.

## 3.4 Statistische Analyse der Daten aus Langzeitversuchen

Es wurde eine statistische Analyse von Langzeit-Messungen aus den Langzeitversuchen der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (siehe Kap. 3.2) zum Humusgehalt der Böden und daraus errechneten Grünland  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorräten unter den folgenden verschiedenen Managementbehandlungen durchgeführt:

- Düngerart (Mineraldünger, Gülle, Stallmist, Jauche)
- Schnittfrequenz (1-5)
- N-(Stickstoff-)Eintrag mit Düngemitteln (organisch, mineralisch) pro Hektar
- sowie in Bezug zu den erzielten TM-(Trockenmasse-)Erträgen pro Hektar

Das Ziel war die Identifizierung von statistisch signifikanten Einflüssen auf die  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorräte in den Grünlandböden und das Ableiten von Managementfaktoren, die in der nationalen THG Inventur für die LULUCF-Subkategorie „*Grassland remaining Grassland*“-Flächen, also Flächen, die Grünland waren und bleiben, verwendet werden können.

### 3.4.1 Datenbearbeitung

Ausgewertet wurden Daten aus fünf Langzeitversuchen in Gumpenstein sowie eines Langzeitversuches in Admont der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (siehe Kap. 3.2). Für die Auswertung wurden von der HBLFA Raumberg-Gumpenstein jene Versuchsvarianten ausgewählt, welche Praxisrelevanz haben. Ebenfalls analysiert wurden Daten von 18 Versuchsflächen aus dem Trockenschadenprojekt DW-NET4 (DaFNE-Projekt Nr. 101309) (siehe Kap. 3.3).

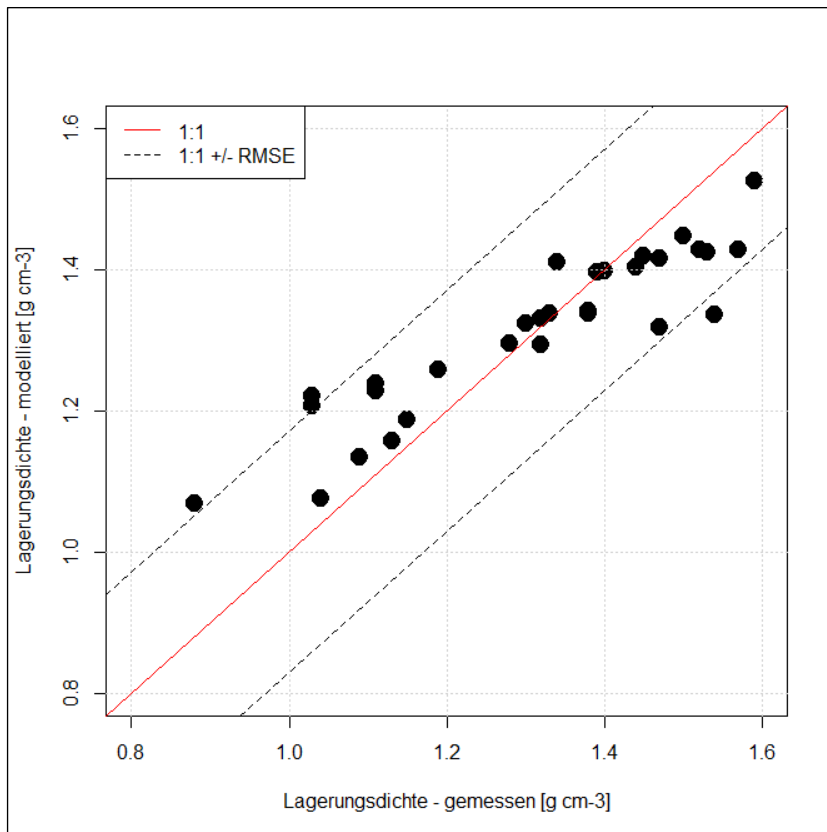
Für die ausgewählten Varianten liegen Proben aus unterschiedlichen Jahren vor, wobei nicht jedes Jahr beprobt wurde, sondern in Abständen von meist 4-5 Jahren. Für alle Proben liegen Humusgehalt,  $C_{\text{org}}$ , N-Input (kg/ha) und TM-Ertrag (dt/ha) vor. Weitere Parameter (pH-Wert,  $N_{\text{ges}}$ ,  $N_{\text{nachlieferbar}}$ , Tongehalt, Schluffgehalt, Sandgehalt,  $C_{\text{ges}}$ , C/N Verhältnis, Phosphor, Kalium) liegen nur für vereinzelte Jahre vor.

### Lagerungsdichte

Statistisch analysiert wurden errechnete  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorräte in der obersten Bodenschicht (0-10 cm). Da nur für einen Teil der Proben Daten zur gemessenen Lagerungsdichte vorlagen, wurde die Lagerungsdichte anhand der Pedotransferfunktion für Grünland aus Foldal et al. 2020 (Tabelle 3, Formel Nummer 7) modelliert. Die Messungen der Lagerungsdichte für einen Teil der Proben validieren das Modell insofern, dass die Residuen generell innerhalb der  $0.171 \text{ g/cm}^3$  des Modellfehlers (RMSE) liegen (Abbildung 2). Es zeigt sich, dass das Modell tendenziell die niedrigeren Lagerungsdichten überschätzt und die hohen Lagerungsdichten unterschätzt. Das

Modell wird dennoch prinzipiell als guter Fit zu den gemessenen Werten betrachtet und aufgrund der nur geringen Anzahl gemessener Werte für die Lagerungsdichte wird generell die modellierte Lagerungsdichte zur Berechnung der  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorräte herangezogen.

Abbildung 2: Grafische Gegenüberstellung der gemessenen und der modellierten Lagerungsdichte mit Modellfehler (RSME)



## Grobboden

Daten zu Grobbodenanteilen standen nur für einen Teil der Parzellen aus den Langzeitversuchen in Gumpenstein und Admont zur Verfügung (siehe Tabelle 3) bzw. waren keine Grobbodenanteile aus dem DW-NET4 Projekt bekannt. Standorte weisen deutliche Unterschiede im Grobbodenanteil auf und auch bei den Langzeitversuchen treten große Bandbreiten des Grobbodenanteiles innerhalb einer Versuchsvariante sogar auf räumlich benachbarten Versuchsparzellen auf. Die Schwankungsbreite der gemessenen Grobbodenanteile der Wiederholungen zeigt die Schwierigkeit auf, einen Standort hinsichtlich des Grobbodenanteils zu bewerten.

Um eine potenzielle Beeinflussung der statistischen Auswertungen durch grob geschätzte bzw. unsichere Grobbodenanteile auszuschließen, wurde für die statistische Auswertung nur der SOC-

Vorrat im Feinboden (<2 mm) berechnet bzw. herangezogen ( $SOC_{FB}$ ). Zusätzlich führte auch die Annahme, dass verschiedene Bewirtschaftungsweisen (Düngung, Schnittfrequenz) sich lediglich auf den Feinboden auswirken, dazu, dass der Faktor Grobboden in den statistischen Auswertungen zu Zusammenhängen mit den SOC-Vorräten nicht berücksichtigt wurde.

### **SOC-Vorrat**

Für eine allgemeine Standortbeschreibung der Langzeitversuchsflächen wurden die SOC-Vorräte nach der Formel der FAO (2017) berechnet (Eq1):

$$SOC = TBh * LD * Corg * KFGb$$

SOC...Soil Organic Carbon Vorrat [ $kg/m^2$ ]

TBh...Horizontmächtigkeit bzw. Mächtigkeit der Tiefenstufe [m]

LD...Lagerungsdichte [ $kg/m^3$ ]

Corg...Gehalt an organischem Kohlenstoff [g/g]

KFGb...Korrekturfaktor für den Grobboden [ $1-(Vol.-\%/100)$ ]

Für die statistische Analyse hingegen wurde der SOC im Feinboden ( $SOC_{FB}$ ) in der Tiefenstufe 0-10 cm wie folgt berechnet (Eq2):

$$SOC_{FB} = LD * Corg$$

Die errechneten  $SOC_{FB}$ -Vorräte (in  $kg\ C/m^3$  Feinboden, entspricht t C/ha für die Tiefenstufe 0-10 cm), die in die statistische Analyse einfließen, wurden also nur durch Multiplikation der gemessenen  $C_{org}$ -Werte (%) mit der Lagerungsdichte ( $g/cm^3$ ) und ohne Einbeziehung der Grobbodenanteile errechnet. Dies war notwendig, da keine gemessenen Grobbodenanteile verfügbar waren und schien unter der Annahme gerechtfertigt, dass nur ein sehr geringer oder gar kein Einfluss der Behandlung (Dünger, Schnittfrequenz) auf den Grobboden besteht. Einflüsse durch Managementfaktoren dürften sich stattdessen potenziell vor allem auf den Feinboden auswirken.

Diese Vorgangsweise erlaubte das statistische Testen von Auswirkungen der Behandlung auf die SOC-Vorräte im Feinboden, ohne den Einfluss flächenbezogener Unterschiede in den SOC-Vorräten durch den Grobbodenanteil.



### 3.4.2 Statistische Testverfahren

Für die statistische Analyse wurden Daten ab dem Jahr 2000 herangezogen. Daten aus dem Zeitraum vor 2000 wurden aufgrund von Änderungen von Analysemethoden nicht in der Auswertung berücksichtigt.

Die  $SOC_{FB}$ -Vorräte der jeweiligen Behandlungen (Düngerart und Schnittfrequenz) wurden pro Versuch gegen die Zeit geplottet. Die erstellten Grafiken beinhalten  $SOC_{FB}$ -Vorräte aus den Jahren vor 2000 (siehe Abbildung 3). In die statistische Analyse gingen hingegen nur Werte von 2000-2021 ein. Parametrische (ANOVA) und nicht-parametrische (Friedman) Tests mit verbundenen Stichproben zeigen, ob signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen bestehen (p-Werte innerhalb der Grafiken). Bei den DW-NET4 Daten gab es Versuche, wo es während der Zeit des Monitorings Änderungen in der Düngerart gegeben hat (GL 764, GL 767, GL 776, und GL 782). Diese Daten wurden nicht in der statistischen Analyse berücksichtigt.

Zusätzlich zu den statistischen Analysen pro Versuch wurden die Daten aller Versuche für weitere statistische Auswertungen zusammengelegt. Es wurden Korrelationen zwischen den Parametern  $SOC_{FB}$ , N-Input und TM-Ertrag pro Managementtyp (Düngerart und -menge, Schnittfrequenz) betrachtet und grafisch dargestellt. Die statistische Analyse über alle Daten zeigt die Auswirkungen von Schnittfrequenz und Düngebehandlung (v.a. Stallmist im Vergleich zu Gülle) auf die  $SOC_{FB}$ -Vorräte. Zur weiteren Untersuchung dieser zwei Managementeinflüsse wurden bestimmte Teilsätze der Daten erstellt.

Um potentielle **Auswirkungen der Schnittfrequenz** auf den  $SOC_{FB}$ -Vorrat in 0-10 cm Tiefe zu ermitteln, wurden Dünger-Versuch-Kombinationen, wo mindestens 3 verschiedene Schnittfrequenzen vorkamen (z.B. GL-433-Gülle mit 1-,2- und 3-Schnittwiesen), aus den Langzeit-Mittelwerten pro Versuch und Behandlung der Gumpenstein- und DW-NET4-Daten ausgewählt und statistisch analysiert. Mit linearer Regression (Versuch und Dünger als Faktor) konnte die Auswirkung der Schnittfrequenz getestet werden. Der Test berücksichtigt die Abhängigkeit innerhalb des Versuchs. Um das Ergebnis besser visualisieren zu können, wurden relative  $SOC_{FB}$ -Vorräte (relativ zu den  $SOC$ -Vorräte der jeweiligen 2-Schnittwiesen) berechnet und geplottet.

Für den **Vergleich von Stallmist- und Güllebehandlungen** wurden Stallmist-Gülle-Paare mit der gleichen Schnittfrequenz aus den Langzeit-Mittelwerten pro Versuch und Behandlung der Gumpenstein- und DW-NET4-Daten ausgewählt und statistisch analysiert. Mit paarweisen parametrischen Tests (t-Tests) wurde auf Differenzen im  $SOC_{FB}$ -Vorrat getestet. Die Differenzen waren normalverteilt (Shapiro-Wilk Tests). Diese Analyse wurde auch für N-Input und TM-Ertrag wiederholt.

Um **Trends über die Zeit** zu ermitteln, wurden aus den Gumpenstein- und DW-NET4-Daten Zeitserien ausgewählt, in denen die Dünger- und Schnittfrequenz-Behandlung über die Zeit konstant bleibt, und wo es mindestens vier SOC-Messungen zwischen 2000 und 2021 gab. Eine Veränderung der SOC-Vorräte über die Zeit wurde mittels Linearer Regression (Versuch-Dünger-Schnittfrequenz Kombination als Faktor) analysiert. Der Test berücksichtigt die Abhängigkeit innerhalb der Versuch-Dünger-Schnittfrequenz Kombination. Die Delta-Werte der SOC-Vorräte wurden pro Versuch-Dünger-Schnittfrequenz Kombination aus der Differenz zwischen der letzten und ersten Messung der Zeitserie, dividiert durch die Jahre ermittelt. Diese Delta-Werte wurden als Histogramme für Stallmist und Gülle geplottet.

Zur Beurteilung des Einflusses von Düngebehandlungen und Schnittfrequenz auf SOC-Vorräte in tieferen Bodenschichten, wurden Proben der **Tiefenstufen 0-30 cm und 0-50 cm** analysiert. Für diese Tiefenstufen waren vergleichsweise deutlich weniger Proben verfügbar. Proben aus den Langzeitversuchen in Gumpenstein wurden im Jahr 2021 in den Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm und 30-50 cm gezogen. Aus dem DW-NET4 Projekt stehen Proben aus dem Jahr 2004 für bis zu 50 cm Tiefe zur Verfügung (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm). Hierbei handelt es sich um Mischproben von 2-4 Schnittwiesen, wodurch die Daten nicht für die Analyse hinsichtlich Schnittfrequenz herangezogen werden konnten. Im Jahr 2020 wurden die Tiefenstufen 0-10 cm und 10-30 cm beprobt. Es wurden die Lagerungsdichten modelliert und gewichtete Mittelwerte der SOC-Vorräte für die Tiefenstufen 0-30 cm und 0-50 cm berechnet. Aufgrund der kleinen Stichprobe wurden keine Auswertungen pro Versuch durchgeführt, sondern die Daten wurden gesammelt über alle Versuche analysiert.

### **3.5 Daten von ausgewählten Grünlandstandorten in OÖ und Salzburg**

Zur Verbesserung der Abschätzung der gesamten C-Vorräte in den Böden wurden von 17 repräsentativen Standorten (12 von Oberösterreich, 5 von Salzburg) die entsprechenden Beprobungen und Untersuchungen bis 50 cm durchgeführt.

#### **3.5.1 Auswahl der Standorte**

Die beprobten Standorte sind hinsichtlich Bodentyp und Bodenart repräsentativ für das Grünland in den Bundesländern Oberösterreich und Salzburg. Zusätzlich wurde die Intensität der Bewirtschaftung erhoben, was sich in den unterschiedlichen Schnitthäufigkeiten von 2-5 widerspiegelt.

### 3.5.2 Erhebung der Lagerungsdichte und Ermittlung des Corg-Vorrats des Bodens

Für die Berechnung der Vorräte von organischem Bodenkohlenstoff wurden die Lagerungsdichten der Böden ausgewählter Standorte in den Bundesländern Oberösterreich (12 Standorte), Salzburg (5 Standorte) und Steiermark erhoben. Dies erfolgte mit Hilfe von Stechzylindern ( $V = 100 \text{ cm}^3$ ) in fünf Tiefenstufen (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm) zu je vier Wiederholungen. Pro Standort wurden somit im Idealfall 20 Stechzylinder geworben. Bei einigen Standorten war der Grobbodenanteil in tieferen Stufen zu groß, um valide Proben für die Ermittlung der Lagerungsdichte werben zu können. Pro Tiefenstufe wurde außerdem der Grobbodenanteil (Vol.-%) am Profil abgeschätzt. Aus den Probemengen, die für die chemische Analyse in drei Tiefenstufen (0-10 cm, 10-30 cm, 30-50 cm) geworben wurden und von denen der Grobbodenanteil gravimetrisch (Masse-%) bestimmt wurde, konnten die volumetrischen Grobbodenschätzungen noch abgesichert werden.

Nach einer Trocknung bei  $105^\circ\text{C}$  wurde die Masse jeder Probe ermittelt und aus dem Masse/Volumen-Verhältnis die Lagerungsdichte errechnet. Für jede der fünf Tiefenstufen konnte dann ein Mittelwert aus den vier Einzelwerten der Lagerungsdichte kalkuliert werden. Die Vorratsberechnung erfolgte schließlich mit folgender Formel (FAO, 2017):

$$\text{SOC} = T_{\text{Bh}} * \text{LD} * C_{\text{org}} * \text{KF}_{\text{Gb}}$$

- SOC...Soil Organic Carbon Vorrat [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ]
- $T_{\text{Bh}}$ ...Horizontmächtigkeit bzw. Mächtigkeit der Tiefenstufe [m]
- LD...Lagerungsdichte [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
- $C_{\text{org}}$ ...Gehalt an organischem Kohlenstoff [g/g]
- $\text{KF}_{\text{Gb}}$ ...Korrekturfaktor für den Grobboden [ $1 - (\text{Vol.-%}/100)$ ]

Von den 38.000 Praxisflächen wurde ausgehend vom Humusgehalt ( $C_{\text{org}} * 1,72$ ) mittels der Formel für die Abschätzung der Lagerungsdichte von Grünland (Foldal et al. 2020, Tab. 3, Equation 7) und der Annahme eines mittleren Grobanteils von 5 Vol.% auf Grünland (BZI OÖ, Gerzabek et al. 2005) der Corg-Vorrat für die oberste Bodenschicht von 0 – 10 cm nach obiger Formel (FAO, 2017) errechnet. Damit erfolgt die bestmögliche faktenbasierte Abschätzung des Corg-Vorrats. Wie aus den Unterschieden der gemessenen und errechneten Lagerungsdichten (Kap. 4.7) sowie der stark schwankenden Grobanteile der Grünlandstandorte geht diese Abschätzung dennoch mit entsprechend großen Unsicherheiten im Vergleich zu einer exakten Erhebung einher.

## **3.6 Daten von Praxisflächen im Rahmen von unterschiedlichen Aktionen und Bildungsinitiativen in OÖ und ÖPUL-Maßnahmen in OÖ und Salzburg**

### **3.6.1 Beratungsprojekt Landesbodenuntersuchung in Oberösterreich 2009**

Ausgelöst durch den Klimawandel und die geforderten Klimaschutzmaßnahmen, der Entwicklung von geeigneten Anpassungsstrategien, strittigen Diskussionen um abnehmende Humusgehalte, zunehmender Konkurrenz von Nahrungsmittel- und Bioenergieproduktion und steigenden Betriebsmittelpreisen, insbesondere bei Phosphordüngern, gewannen konkrete und repräsentative Basisdaten zum Status der Bodenqualität an Bedeutung. Aus diesen Gründen wurde ein Beratungsprojekt im Jahr 2009 („Landesbodenuntersuchung“) mit einem finanziellen Zuschuss für die Betriebe bei der Durchführung von Bodenuntersuchungen angeboten. Es wurden auf Initiative von Agrarlandesrat Dr. Josef Stockinger in Kooperation mit der Abt. Land- und Forstwirtschaft, Amt der Oö. Landesregierung, und der Landwirtschaftskammer Oberösterreich landesweit landwirtschaftlich genutzte Flächen auf pH-Wert, pflanzenverfügbare Phosphor- und Kaliumgehalt sowie Humusgehalt untersucht. Um für die Landwirte einen Anreiz zu schaffen, beteiligte sich das Land OÖ mit € 30,- pro Betrieb, das entsprach in etwa der Übernahme der Kosten für ca. 2 Analysen. Die Untersuchungskosten für weitere im Rahmen des Projektes gewünschte Bodenproben waren von den jeweiligen Landwirten zu tragen. Es waren aber mindestens 4 Bodenproben je Betrieb durchzuführen. Dafür erklärten sich die Nutzungsberechtigten bereit, dass die Ergebnisse betriebsspezifisch mit den INVEKOS-Daten aufbereitet und ausgewertet werden können, in den Erhebungsbögen war daher die Betriebsnummer anzugeben. Zugleich wurde vereinbart, dass nur Auswertungen auf Kleinproduktionsebene bzw. auf Bezirksebene vorgenommen werden, um die Anonymität zu wahren. Mehr als 4.600 Bodenproben von den Grünlandflächen aus OÖ stehen zur Verfügung, im Mittel wurde pro 49 ha Grünland eine Probe gezogen. Diese Daten sind die Bezugsbasis für die Ermittlung von Veränderungen der Bodenparameter, insbesondere Humusgehalt und organischer C-Vorrat. Weitere Details zur Herkunft der Proben sind im Bericht der AGES (2013) enthalten.

### **3.6.2 ÖPUL-2015 Maßnahme Vorbeugender Grundwasserschutz Grünland**

Im Rahmen der ÖPUL-2015-Maßnahme „Vorbeugender Grundwasserschutz“ wurden in Oberösterreich in den Jahren 2017/2018 rund 25.000 Bodenproben auf Grünlandstandorten von Landwirten und Landwirtinnen gezogen und analysiert. An dieser Maßnahme beteiligten sich in Oberösterreich rund 6.300 Betriebe, welche rund 100.000 Hektar Grünland bewirtschaften.

In der ÖPUL Maßnahme „Vorbeugender Grundwasserschutz“ ist eine Voraussetzung für die teilnehmenden Betrieben, Bodenproben (pro angefangene fünf Hektar Grünlandfläche je eine

Probe) zur Feststellung des Phosphor- und Kaliumgehaltes sowie des pH-Wertes und des Humusgehaltes zu ziehen und analysieren zu lassen.

Aus dem Land Salzburg sind 7.200 Bodenproben aus den Jahren 2015-2018 für die Auswertung von pH-Wert und der pflanzenverfügbaren Gehalte von Phosphor und Kalium verfügbar. Die Auswertung des Humusgehaltes wurde miteinbezogen, obwohl zunächst Bedenken wegen Unterschieden bei Vergleichsuntersuchungen des durchführenden, nicht akkreditierten Labors mit ALVA-Ringversuchsproben bestanden: Die mittleren Humuswerte sind mit den benachbarten öö. Regionen vergleichbar und somit plausibel. Damit sind die verpflichtenden Proben von etwa 1.500 teilnehmenden Betrieben mit knapp 26.000 ha innerhalb der Gebietskulisse (Alpenvorland: Flachgau und Halleiner Gebiet) und Voralpen (Salzkammeregut und Tennengau) der ÖPUL 2015-Maßnahme "Vorbeugender Grundwasserschutz" beinahe vollständig erfasst.

### **3.6.3 Bildungsinitiative Grünland (BIGL) 2020 in OÖ**

Die oberösterreichischen Grünlandflächen leiden unter der Klimaveränderung und der damit geänderten Niederschlagssituation und dem Auftreten von Schädlingen. Darauf aufbauend wurde von der Landwirtschaftskammer Oberösterreich in Kooperation mit dem Maschinenring im Jahr 2020 eine Bildungsinitiative geschaffen, woran sich 441 Landwirtinnen und Landwirte aus ganz Oberösterreich beteiligten. Ein Eckpfeiler des vom Ländlichen Fortbildungsinstitutes angebotenen Seminars war die Ziehung und Interpretation von Bodenprobenergebnissen.

Im Rahmen dieser Bildungsinitiative Grünland wurden in Oberösterreich im Jahr 2020 etwa 1.800 Bodenproben am Grünland gezogen und der pH-Wert, Humus-, Phosphor-, Kalium- und Magnesiumgehalt und von fast 800 Proben auch die effektive Kationenaustauschkapazität untersucht. Vor allem die austauschbaren Kationen und deren Anteile am Sorptionskomplex haben bei den Landwirten Beachtung gefunden, weil dieses Verfahren von privaten Anbietern als besonders aussagekräftig bewertet wird. Dazu wurden von archivierten Bodenproben aus dem BIGL-Projekt (Bildungsinitiative Grünland) 250 Bodenproben hinsichtlich Tongehalt und pH-Wert im Azetatauszug nachträglich für dieses Projekt untersucht. Mit den bereits vorhandenen Ergebnissen stehen damit fast 300 Datensätze zur Bewertung der effektiven und potentiellen KAK sowie der weiteren Parameter zur Verfügung und damit mehr, als im Rahmen der OÖ Bodenzustandsinventur erhobene Daten vom Grünland aus der Tiefenstufe 0 – 10 cm. Eine Übersicht der Ergebnisse sowie eine Bewertung werden präsentiert.

### **3.6.4 Zusammenführung der drei unterschiedlichen Datensätze (Kap. 3.6.1-3.6.3) und Verknüpfung mit den betrieblichen INVEKOS-Daten**

Der Datensatz aus dem Jahr 2009 wurde unverändert übernommen, inklusive der Verknüpfung der Bodendaten mit den einzelbetrieblichen INVEKOS-Daten von 2009. Die einzelbetriebliche Milchliefermenge war damals nicht verfügbar. Die Grünlandbodendaten, die im Zuge der ÖPUL 2015-Maßnahme „Vorbeugender Grundwasserschutz“ in OÖ und Salzburg sowie aus der Bildungsinitiative Grünland 2020 in OÖ verfügbar waren, wurden mit den einzelbetrieblichen INVEKOS Daten 2020 verknüpft. Für einige Prozent an Bodenproben konnte keine betriebliche Zuordnung der INVEKOS-Daten vorgenommen werden, weil in der Zwischenzeit die bei den Bodenproben angeführte Betriebsnummer wegen Betriebsaufgabe, Verpachtung oder Schreibfehler nicht in den INVEKOS-Daten 2020 enthalten war.

Hinzuweisen ist auf die unterschiedliche Ausgangslage bei den drei Datensätzen aus OÖ: Bei der Landesbodenuntersuchung 2009 und der Bildungsinitiative Grünland 2020 waren primär Interessierte, jedenfalls eher bildungsaffine Grünland-Bäuerinnen und Bauern dabei, wobei auch das Engagement der jeweiligen Ortsbauerschaften hinsichtlich der Organisation der Aktion eine Rolle spielte. Die Grünland-Bodenproben aus der Periode 2017-2018 aus OÖ stammen von den Betrieben, die bei der ÖPUL-Maßnahme „Vorbeugender Grundwasserschutz“ teilgenommen haben. Dabei galten die folgenden Bedingungen: Grünlandanteil (ausgenommen Almweideflächen) an der landwirtschaftlichen Nutzfläche im ersten Jahr der Verpflichtung zumindest 40 %, umbruchsfähige Grünlandflächen mit einer Hangneigung < 18% und Eigenschaft als Tierhalter (mind. 0,5 raufutterverzehrende GVE pro ha Grünland und Ackerfutterfläche

Zusätzlich war durch eine definierte Gebietskulisse eine weitere Einschränkung gegeben, wobei die Maßnahme nur in Produktionslagen mit überdurchschnittlich hoher Bonität und Umbruchsgefährdung angeboten wurde. Insbesondere bei der Interpretation der zeitlichen Veränderungen der Bodenparameter ist dieser Hinweis von Relevanz. Die Bodenproben aus Salzburg konnten nicht zur Bewertung der zeitlichen Veränderung verwendet werden, weil diese nur von dem engen Zeitraum 2015 – 2018 einmalig verfügbar sind, entsprechend den dort einzuhaltenden Förderungsvoraussetzungen.

### **3.6.5 Statistische Testverfahren**

Zur Anwendung kam das Programm IBM SPSS Statistics Version 26. Für deskriptive Statistiken zur Ermittlung von Perzentilen (z.B. Median, Quartile), Mittelwert und Standardabweichung wurde das Verfahren „Frequencies“ herangezogen.

Für die varianzanalytische Auswertung sowohl der Bodenparameter als auch der betriebsspezifischen Datensätze wurde die Prozedur „General Linear Model“ verwendet. Bei mehr

als 2 „Behandlungen“ (z.B. nach HPG, KPG, ...) erfolgte anschließend der Test auf signifikante Differenzen mittels multipler Mittelwertvergleiche nach Student-Newman-Keuls. Dabei werden homogenen Untergruppen gebildet, die sich mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% nicht signifikant unterscheidenden. In den Tabellen wurden die Mittelwerte, die zur gleichen homogenen Untergruppen (homogenous subsets) gehören, mit denselben Buchstabensymbolen (z.B. a, b, c, ...) bezeichnet. Wenn ein Mittelwert mehreren homogenen Untergruppen zugeordnet wird, stehen entsprechend mehrere Buchstaben dabei (z.B. ab).

Die Konfidenzbereich für Mittelwerte wurden mit der Anweisung „Estimated Marginal Means“.

Mit der Prozedur „Regression“ erfolgte die multiple Regerssionsanalyse für die abhängige Variablen KAKeff und KAKpot und Schätzung der Koeffizienten für Tongehalt, pH-Wert und Humusgehalt mit den folgenden Vorgaben:

```
/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
```

```
/METHOD=ENTER Ton pH_Wert Humus
```

# 4 Ergebnisse

## 4.1 Vorräte an Bodenkohlenstoff in den Langzeitversuchsflächen

### Gumpenstein bis 50 cm Tiefe

Im Herbst 2021 wurde eine erneute Beprobung ausgewählter Langzeitversuchsflächen in Gumpenstein vorgenommen (siehe Kap. 3.2.6). Hierbei wurden Bodenproben bis zu einer Tiefe von 50 cm genommen um das C-Sequestrierungspotential besser zu erfassen. Bestimmt wurden die Parameter Sand-/Schluff-/Ton Gehalt, Lagerungsdichte, Grobbodenanteil und Humusgehalt bzw. C<sub>org</sub>-Gehalt. Aus den erhobenen C<sub>org</sub>-gehalten, Grobbodenanteilen und Lagerungsdichten wurden die SOC-Vorräte für die betroffenen Versuchsflächen berechnet. Die Ergebnisse sind der Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 3: SOC-Vorräte auf Basis gemessener Grobbodenanteile und Lagerungsdichten der 2021 beprobten Standorte in Gumpenstein und des 2019 beprobten Standorts in Admont

Versuch	Feld-name	Tiefen-stufe [cm]	C <sub>org</sub> [%]	Grob-boden [%]	Lagerungs-dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	SOC-Vorrat [t/ha]	Düngung	Schnitt-frequenz	N-Input kg/ha/Jahr
Gumpenstein, GL-433	13-a,b,c	0-10	4.12	24.39	1.13	35.20	Gülle 2 GVE	3	153
Gumpenstein, GL-433	13-a,b,c	10-30	2.02	21.86	1.47	46.41	Gülle 2 GVE	3	153
Gumpenstein, GL-433	13-a,b,c	30-50	1.21	23.52	1.44	26.65	Gülle 2 GVE	3	153
Gumpenstein, GL-433	14-a,b,c	0-10	5.50	14.39	1.04	48.97	Rottemist + Jauche 2 GVE	3	168
Gumpenstein, GL-433	14-a,b,c	10-30	2.30	29.68	1.32	42.70	Rottemist + Jauche 2 GVE	3	168
Gumpenstein, GL-433	14-a,b,c	30-50	1.08	23.22	1.45	24.05	Rottemist + Jauche 2 GVE	3	168



Versuch	Feld-name	Tiefen-stufe [cm]	C <sub>org</sub> [%]	Grob-boden [%]	Lagerungs-dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	SOC-Vorrat [t/ha]	Düngung	Schnitt-frequenz	N-Input kg/ha/Jahr
Gumpenstein, GL-433	23-a,b,c	0-10	3.69	13.33	1.15	36.78	Gülle, 1,5 GVE	2	113
Gumpenstein, GL-433	23-a,b,c	10-30	1.97	20.17	1.3	40.89	Gülle, 1,5 GVE	2	113
Gumpenstein, GL-433	23-a,b,c	30-50	1.01	31.29	1.52	21.10	Gülle, 1,5 GVE	2	113
Gumpenstein, GL-433	24-a,b,c	0-10	3.40	20.86	1.03	27.71	Rottemist + Jauche 1,5 GVE	2	125
Gumpenstein, GL-433	24-a,b,c	10-30	1.82	34.18	1.33	31.86	Rottemist + Jauche 1,5 GVE	2	125
Gumpenstein, GL-433	24-a,b,c	30-50	0.86	38.46	1.5	15.88	Rottemist + Jauche 1,5 GVE	2	125
Gumpenstein, GL-433	31-a,b,c	0-10	2.98	20.84	1.11	26.18	ungedüngt	1	0
Gumpenstein, GL-433	31-a,b,c	10-30	1.14	32.15	1.34	20.73	ungedüngt	1	0
Gumpenstein, GL-433	31-a,b,c	30-50	1.84	27.27	1.54	41.22	ungedüngt	1	0
Gumpenstein, GL-433	33-a,b,c	0-10	3.12	15.07	1.11	29.41	Gülle, 0,5 GVE	1	38
Gumpenstein, GL-433	33-a,b,c	10-30	1.82	26.65	1.38	36.85	Gülle, 0,5 GVE	1	38
Gumpenstein, GL-433	33-a,b,c	30-50	1.01	42.37	1.57	18.28	Gülle, 0,5 GVE	1	38
Gumpenstein, GL-433	34-a,b,c	0-10	4.50	14.42	1.09	41.98	Rottemist + Jauche, 0,5 GVE	1	43

Versuch	Feld-name	Tiefen-stufe [cm]	C <sub>org</sub> [%]	Grob-boden [%]	Lagerungs-dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	SOC-Vorrat [t/ha]	Düngung	Schnitt-frequenz	N-Input kg/ha/Jahr
Gumpenstein, GL-433	34-a,b,c	10-30	1.89	22.76	1.32	38.54	Rottemist + Jauche, 0,5 GVE	1	43
Gumpenstein, GL-433	34-a,b,c	30-50	1.04	16.08	1.53	26.71	Rottemist + Jauche, 0,5 GVE	1	43
Gumpenstein, GL-434.A	41-a,b,c,d	0-10	2.72	9.41	1.19	29.32	Rottemist + 4x30 Nmin	4	178.375
Gumpenstein, GL-434.A	41-a,b,c,d	10-30	1.10	26.9	1.47	23.64	Rottemist + 4x30 Nmin	4	178.375
Gumpenstein, GL-434.A	41-a,b,c,d	30-50	0.40	3.92	1.59	12.22	Rottemist + 4x30 Nmin	4	178.375
Gumpenstein, GL-480	D 53-a,b	0-10	3.21	15.19	1.03	28.04	Gülle, 3,0 GVE	5	227
Gumpenstein, GL-480	D 53-a,b	10-30	1.77	16.32	1.38	40.88	Gülle, 3,0 GVE	5	227
Gumpenstein, GL-480	D 53-a,b	30-50	1.26	18.68	1.39	28.48	Gülle, 3,0 GVE	5	227
Gumpenstein, GL-480	D 54-a,b	0-10	5.62	6.9	0.88	46.04	Stallmistkompost + Jauche, 3,0 GVE	5	233
Gumpenstein, GL-480	D 54-a,b	10-30	2.28	19.45	1.28	47.02	Stallmistkompost + Jauche, 3,0 GVE	5	233
Gumpenstein, GL-480	D 54-a,b	30-50	1.25	13.1	1.4	30.42	Stallmistkompost + Jauche, 3,0 GVE	5	233
Admont, GL-320	1-a,b,c,d	0-10 cm	5.29	1.16	1.09	56.89	ungedüngt	3	0

Versuch	Feld-name	Tiefen-stufe [cm]	C <sub>org</sub> [%]	Grob-boden [%]	Lagerungs-dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	SOC-Vorrat [t/ha]	Düngung	Schnitt-frequenz	N-Input kg/ha/Jahr
Admont, GL-320	8-a,b,c,d	0-10 cm	4.22	2.64	1.15	47.28	PK mineralisch	3	0
Admont, GL-320	12-a,b,c,d	0-10 cm	4.27	0.52	1.15	48.83	NPK mineralisch	3	80
Admont, GL-320	15-a,b,c,d	0-10 cm	4.62	0.30	1.13	51.91	NPK mineralisch + Kalk	3	80
Admont, GL-320	22-a,b,c,d	0-10 cm	5.93	1.66	1.05	61.32	Stallmist + Jauche	3	144.45

Die gemessenen Werte des Grobanteils in der gesamten Tiefenstufe 0 bis 50 cm zeigen die Varianz des Grobbodenanteils in den unterschiedlichen Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm und 30-50 cm. Diese Standorteigenschaft beeinflusst den Kohlenstoffvorrat und der Einfluss der Bewirtschaftung wird demgemäß geringer bzw. dadurch überlagert. Deshalb wird nur der Corg-Vorrat im Feinboden als Bezugsbasis für die geprüften Bewirtschaftungsmaßnahmen verwendet.

In Tabelle 4 sind die mittleren Ergebnisse der ermittelten SOC-Vorräte der 10 ausgewählten Versuchsvarianten der Versuche der HBLFA Raumberg-Gumpenstein dargestellt.

Tabelle 4: Mittlere Corg-Vorräte und Anteile in den einzelnen Tiefenstufen sowie kumulierte Anteile bis 50 cm der 10 beprobten Versuchsvarianten der Versuche der HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Tiefen-stufe [cm]	Corg [%]	Grobboden [%]	Lagerungsdichte (kg/cdm)	SOC-Vorrat [t/ha]	Anteil kumuliert
0-10	3,89	15,48	1,08	34,96	36,3
10-30	1,81	25,01	1,36	36,95	74,6
30-50	1,10	23,79	1,49	24,50	100,0

Im Mittel beträgt der Corg-Vorrat bis 50 cm Tiefe 96,4 t/ha, davon liegen mit 35 t 36 % in der obersten Bodenschicht bis 10 cm vor, in der Schicht 10-30 cm sind mit 38 t 37 % und von 30-50 cm 25 t, was 25 % entspricht.

## 4.2 Statistische Auswertung zu den Kohlenstoffvorräten von Langzeitversuchsflächen

Für die statistischen Auswertungen der Langzeitversuchsflächen wurden die Humusgehalte und daraus errechneten  $SOC_{FB}$ -Vorräte (siehe Kap. 3.4.1) der obersten 0-10 cm Bodentiefe herangezogen, da die überwiegende Anzahl der Daten aus dieser Probenahmetiefe stammt. Auch für Düngempfehlungen wird die Beprobung aus dieser Schicht in der Praxis durchgeführt. Die Bodenkohlenstoffvorräte im Grünland sind aber auch in tieferen Schichten bedeutend, was durch die Ergebnisse der wenigen, gemessenen Kohlenstoffvorräte bis in 50 cm Tiefe bestätigt wurde (siehe Kap. 4.1).

### 4.2.1 Gumpenstein und Admont

Die  $SOC_{FB}$ -Vorräte in Grünlandböden unterschiedlicher Bewirtschaftung wurden zunächst pro Versuch analysiert. Im Folgenden werden ausgewählte Versuche aus Gumpenstein und Admont dargestellt.

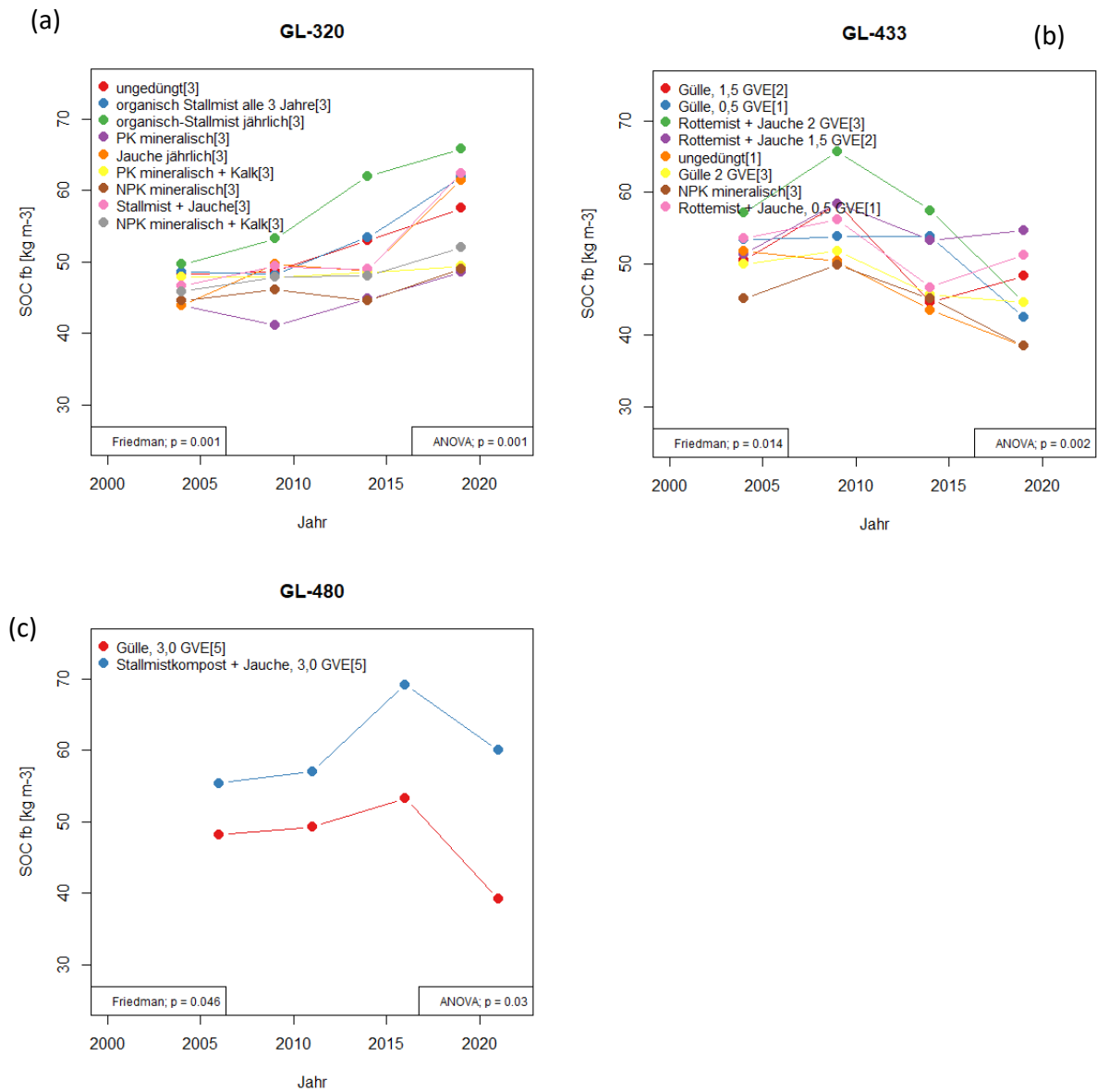
Im Versuch GL-320 in Admont wurden acht Versuchsflächen mit verschiedenen Düngbehandlungen sowie eine ungedüngte Kontrollfläche auf 3-Schnittwiesen miteinander verglichen. Der Friedman-Test sowie die ANOVA zeigen beide signifikante Unterschiede zwischen den Düngbehandlungen. Die  $SOC$ -Vorräte im Feinboden ( $SOC_{FB}$ ) sind bei Flächen mit organischer Düngung deutlich höher als bei Flächen, welche mit mineralischen Düngern behandelt werden (Abbildung 3a). Die  $SOC_{FB}$ -Vorräte der ungedüngten Kontrolle sind niedriger als bei der organischen Düngung und höher als bei der Behandlung mit mineralischen Düngern. Besonders Düngbehandlungen mit Stallmist unterscheiden sich relativ konsistent von Behandlungen mit Mineraldüngern.

Der Versuch GL-433 in Gumpenstein verdeutlicht, dass die Behandlung mit Stallmist auch bei höherer Schnitffrequenz einen stärkeren positiven Einfluss auf den  $SOC$ -Vorrat hat, als Behandlungen mit Gülle und mineralischem Dünger (Abbildung 3b). Im Versuch GL-480 in Gumpenstein wurden die Effekte von Behandlungen mit Stallmist und Gülle auf intensiv bewirtschafteten Flächen (5-Schnittwiesen) verglichen. Flächen mit Stallmistbehandlungen wiesen signifikant höhere  $SOC_{FB}$ -Vorräte in 0-10 cm auf, als Flächen mit Güllebehandlungen (Abbildung

3c). Die statistischen Analysen pro Versuch ergeben, dass Düngebehandlungen mit Stallmist die  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorräte in 0-10 cm am effektivsten fördern, gefolgt von Behandlungen mit Gülle und Mineraldüngern.

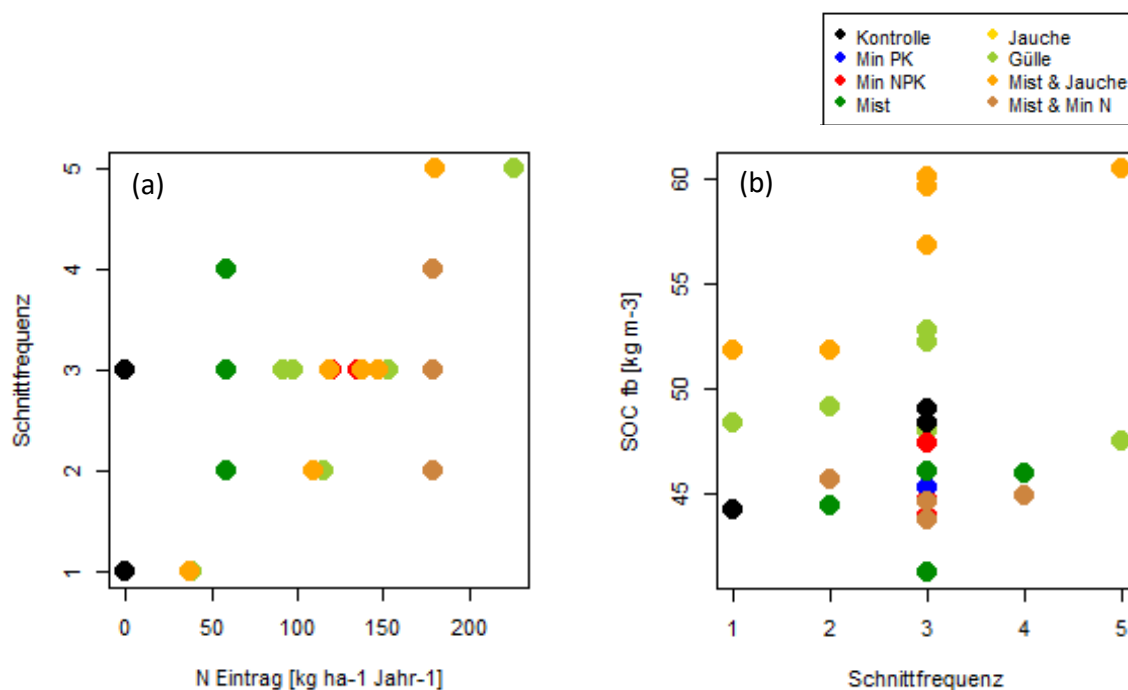
Die Daten aus den Langzeitversuchen in Gumpenstein und Admont wurden auf Zusammenhänge zwischen den Faktoren  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorräte, Schnittfrequenz und N-Eintrag geprüft. Eine intensive Nutzung von Grünland geht in der Regel mit einer höheren Düngung einher. Die Schnittfrequenz korreliert dementsprechend mit dem N-Input (Abbildung 4a). Werden die SOC-Vorräte der Schnittfrequenz gegenübergestellt (Abbildung 4 b), ist ein deutliches Muster bei den Düngebehandlungen erkennbar: Erfolgt der N-Eintrag über organische Dünger, bleiben die SOC-Vorräte trotz höherer Schnittfrequenz stabil.

Abbildung 3: Entwicklung der SOC<sub>FB</sub>-Vorräte (kg/m<sup>3</sup>) in 0-10 cm Tiefe auf den Versuchsflächen in Admont und Gumpenstein (Versuch GL-320, GL-433 und GL-480) bei unterschiedlichen Düngebehandlungen und Schnitffrequenzen.



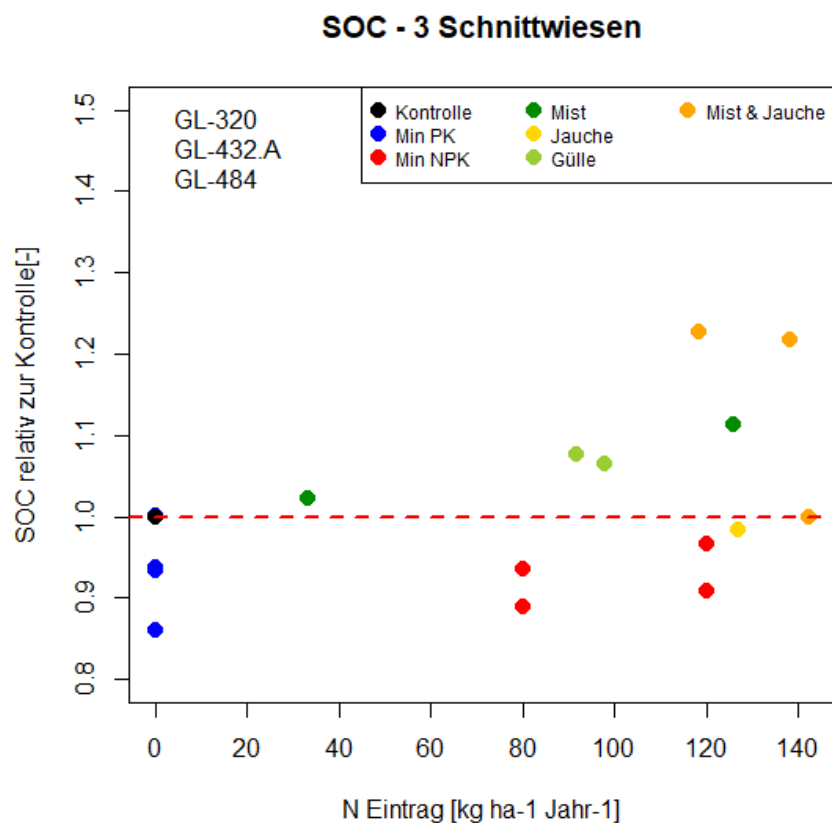
Schnitffrequenzen der jeweiligen Versuchsflächen werden in eckigen Klammern rechts von der Düngebehandlung angegeben. P-Werte des Friedman Tests (links) und der ANOVA (rechts) sind im unteren Bereich der Grafik abgebildet.

Abbildung 4: Korrelationen der Daten aus den Langzeitversuchen in Gumpenstein und Admont nach Düngebehandlung



Korrelationen zwischen Schnittfrequenz und N-Eintrag (kg/ha/Jahr) sowie zwischen Schnittfrequenz und SOC<sub>FB</sub>-Vorräten in 0-10 cm Tiefe (kg/m<sup>3</sup>) für die Düngebehandlungen ungedüngt (Kontrolle), Mineraldünger mit Phosphor und Kalium (Min PK), Mineraldünger mit Stickstoff, Phosphor und Kalium (Min NPK), Stall- bzw. Rottemist (Mist), Jauche, Gülle, Mist und Jauche, Mist und Mineraldünger.

Abbildung 5: SOC<sub>FB</sub>-Vorräte von 3-Schnittwiesen in Gumpenstein und Admont normalisiert auf die ungedüngte Kontrollfläche

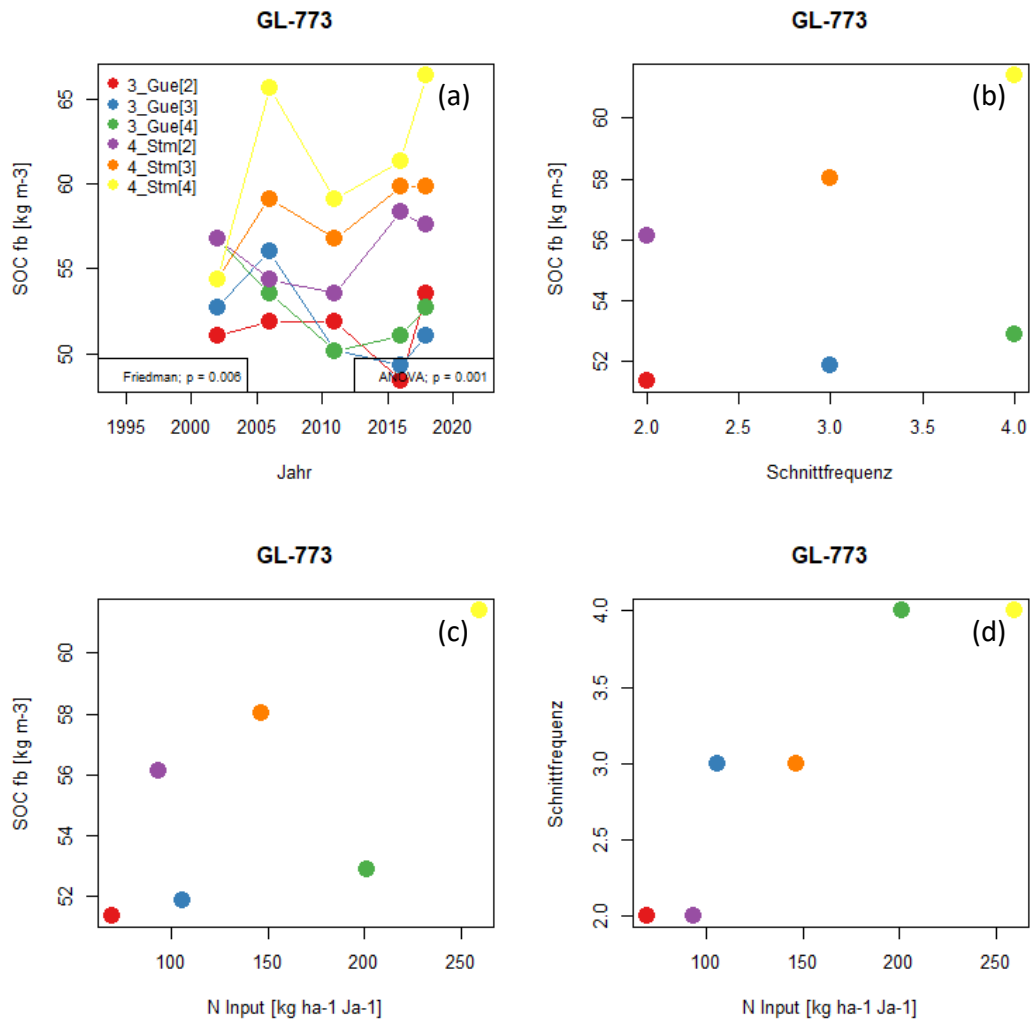


Werden die SOC<sub>FB</sub>-Vorräte der 3-Schnittwiesen in Gumpenstein und Admont auf die ungedüngte Kontrollfläche normalisiert, wird erkennbar, welche Düngebehandlungen zu Ab- bzw. Zunahmen im SOC<sub>FB</sub>-Vorrat führen. Punkte, die unterhalb der roten Linie in Abbildung 5 liegen, zeigen jene Düngebehandlungen an, welche einen Abbau der SOC<sub>FB</sub>-Vorräte bedingen. Liegen Punkte oberhalb der roten Linie, bedeutet dies eine Zunahme der SOC<sub>FB</sub>-Vorräte. Behandlungen mit mineralischen Düngern führten zu einem Abbau der SOC<sub>FB</sub>-Vorräte, während Behandlungen mit organischen Düngern die SOC<sub>FB</sub>-Vorräte steigerten.



## 4.2.2 Trockenschadenprojekt DW-NET4

Abbildung 6: Entwicklung der  $SOC_{FB}$ -Vorräte ( $kg/m^3$ ) in 0-10 cm Tiefe auf den Versuchsflächen im Trockenschadenprojekt DW-NET4 bei Behandlungen mit Gülle und Stallmist auf 2-, 3- und 4-Schnittwiesen



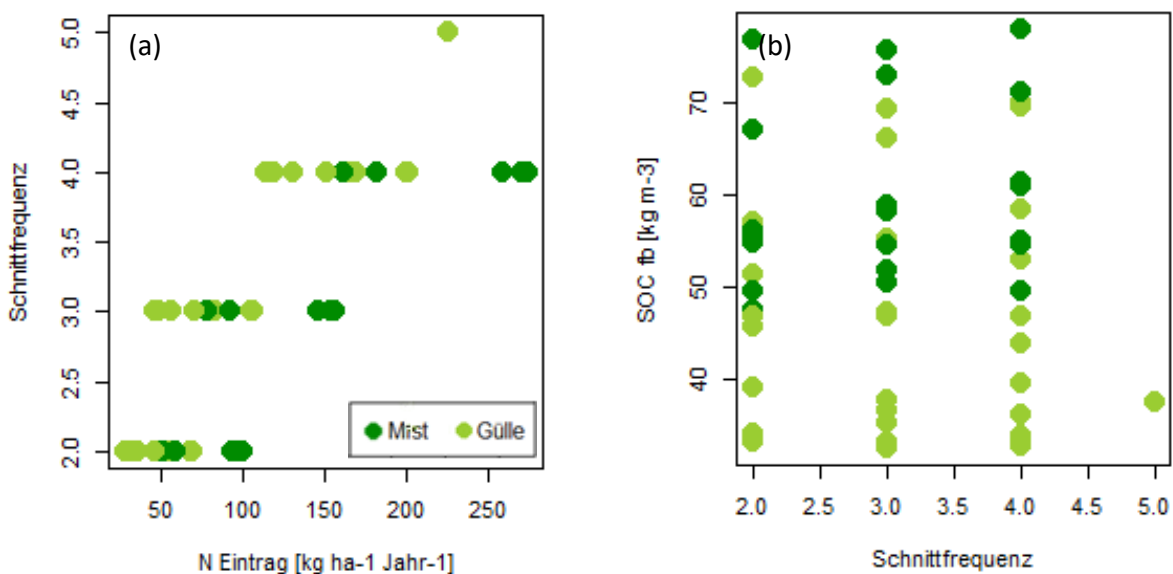
Schnittfrequenzen der jeweiligen Versuchsflächen werden in eckigen Klammern rechts von der Düngebehandlung angegeben. P-Werte des Friedman Tests (links) und der ANOVA (rechts) sind im unteren Bereich der Grafik abgebildet.

Der Versuch GL-773 aus dem Trockenschadenprojekt DW-NET4 gibt Aufschluss über die Effekte von Düngebehandlungen mit Stallmist und Gülle auf die  $SOC_{FB}$ -Vorräte von 2-, 3- und 4-Schnittwiesen. Versuchsflächen, die mit Stallmist gedüngt werden, wiesen signifikant höhere  $SOC_{FB}$ -Vorräte auf, als Versuchsflächen mit Güllebehandlung (Abbildung 6a).

Bei Versuchsflächen mit Stallmistbehandlungen konnte ein signifikanter positiver Zusammenhang zwischen Schnittfrequenz und den  $SOC_{FB}$ -Vorräten beobachtet werden. Bei Versuchsflächen mit

Güllebehandlungen konnte hingegen keine signifikante positive Korrelation zwischen Schnittfrequenz und  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorrat nachgewiesen werden (Abbildung 6b). Der  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorrat korreliert bei Stallmistbehandlungen auch positiv mit dem N-Input (Abbildung 6c). Eine intensive Nutzung (hohe Schnittfrequenz) geht wiederum mit einem erhöhten N-Input einher (Abbildung 6d), der v.a. bei Stallmist auch mit einem höheren Eintrag an organischer Substanz verbunden ist.

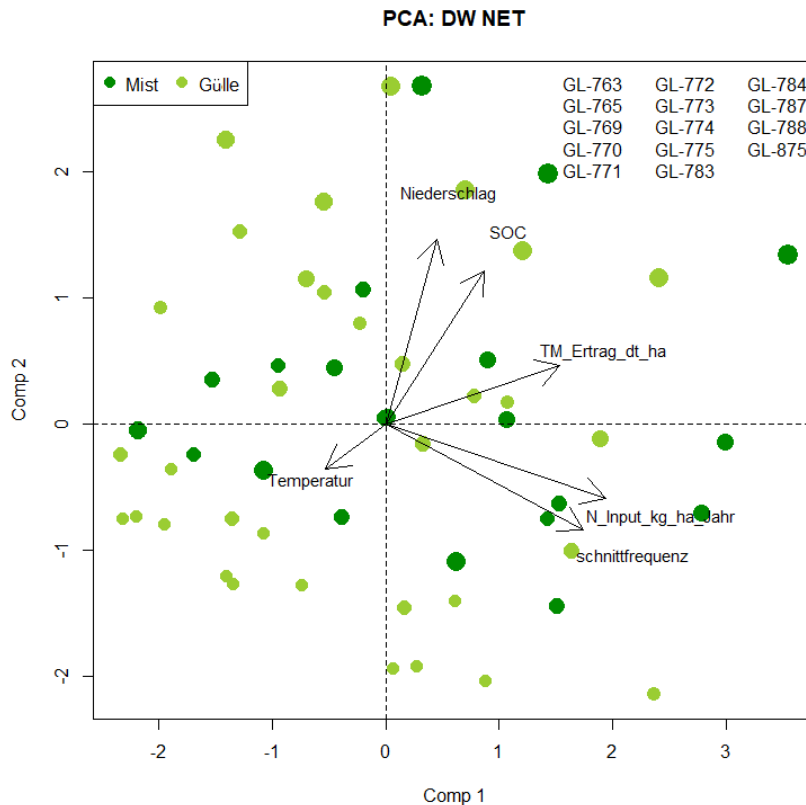
Abbildung 7: Korrelationen der Daten aus dem Trockenschadenprojekt DW-NET4 nach Düngemittelbehandlung (Stallmist und Gülle)



Korrelationen zwischen Schnittfrequenz und N-Eintrag (kg/ha/Jahr) sowie zwischen Schnittfrequenz und  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorräten in 0-10 cm Tiefe (kg/m<sup>3</sup>) für die Düngemittelbehandlungen Stallmist und Gülle

Die Daten aller Versuchsflächen aus dem Trockenschadenprojekt DW-NET4 wurden auf Zusammenhänge zwischen den Faktoren  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorräte, Schnittfrequenz und N-Eintrag überprüft. Die Schnittfrequenz korreliert wiederum mit dem N-Input (Abbildung 7a). Werden die  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorräte der Schnittfrequenz gegenübergestellt, ist ein deutliches Muster bei den Düngemittelbehandlungen erkennbar. Auch bei höherer Schnittfrequenz weisen Flächen mit Stallmistbehandlung tendenziell höhere  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorräte auf, als Flächen mit Güllebehandlung (Abbildung 7b).

Abbildung 8: PCA – Hauptkomponentenanalyse Trockenschadenprojekt DW-NET4



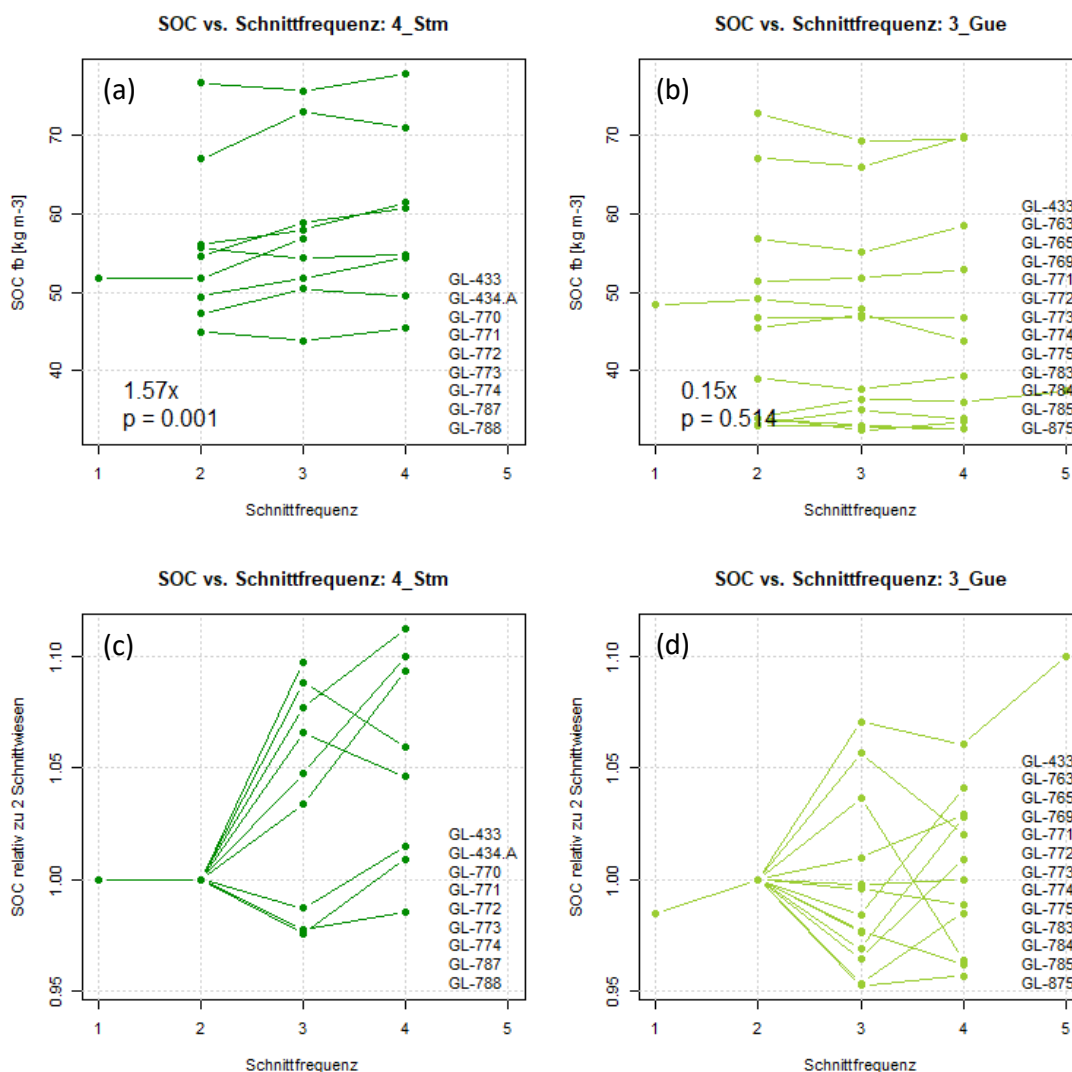
Die Größenskalierung der Punkte gibt die Höhe der  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorräte an. Je größer ein Punkt ist, desto höher ist der berechnete  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorrat einer Versuchsfläche. Die Versuche, die in die PCA eingegangen sind, werden rechts oben in der Grafik angeführt. Die Richtung und Größe der Pfeile (Koeffizienten) stellen potenzielle Zusammenhänge zwischen Faktoren dar.

Die Hauptkomponentenanalyse (PCA) der DW-NET4 Daten zeigt, dass der  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorrat relativ unabhängig von TM-Ertrag, N-Input und Schnittfrequenz ist (Abbildung 8). Der N-Input und die Schnittfrequenz korrelieren stark miteinander und tragen maßgeblich zur Komponente 1 bei, während  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorrat und Niederschlag, die stark positiv miteinander korrelieren (siehe Kap. 4.5.1), für Komponente 2 ausschlaggebend sind. Die Verteilung der hellgrünen und dunkelgrünen Punkte in Abbildung 8 gibt Aufschluss über den Einfluss der Düngerart auf den SOC-Vorrat im Feinboden. Die dunkelgrünen Punkte clustern um den  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorrat. Demnach führt Düngung mit Stallmist tendenziell zu höheren  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorräten, als Düngung mit Gülle. Die ersten zwei Komponenten, die im Biplot in Abbildung 8 dargestellt sind, erklären 59,9% der Varianz der Daten.

### 4.2.3 Zusammenhang Kohlenstoffvorräte mit Wirtschaftsdüngerbringung und Schnittfrequenz

In weiterer Folge wurden die Einflussfaktoren Düngebehandlung und Schnittfrequenz auf die SOC<sub>FB</sub>-Vorräte gesammelt über alle Langzeitversuchs-Daten (Langzeitversuche Gumpenstein und Admont (Kap. 4.2.1) und Trockenschadenprojekt, DW-NET4 (Kap. 4.2.2)) hinweg betrachtet.

Abbildung 9: Veränderungen der SOC<sub>FB</sub>-Vorräte (kg/m<sup>3</sup>) in 0-10 cm Tiefe mit zunehmender Schnittfrequenz bei Stallmist- (links) und Güllebehandlungen (rechts)

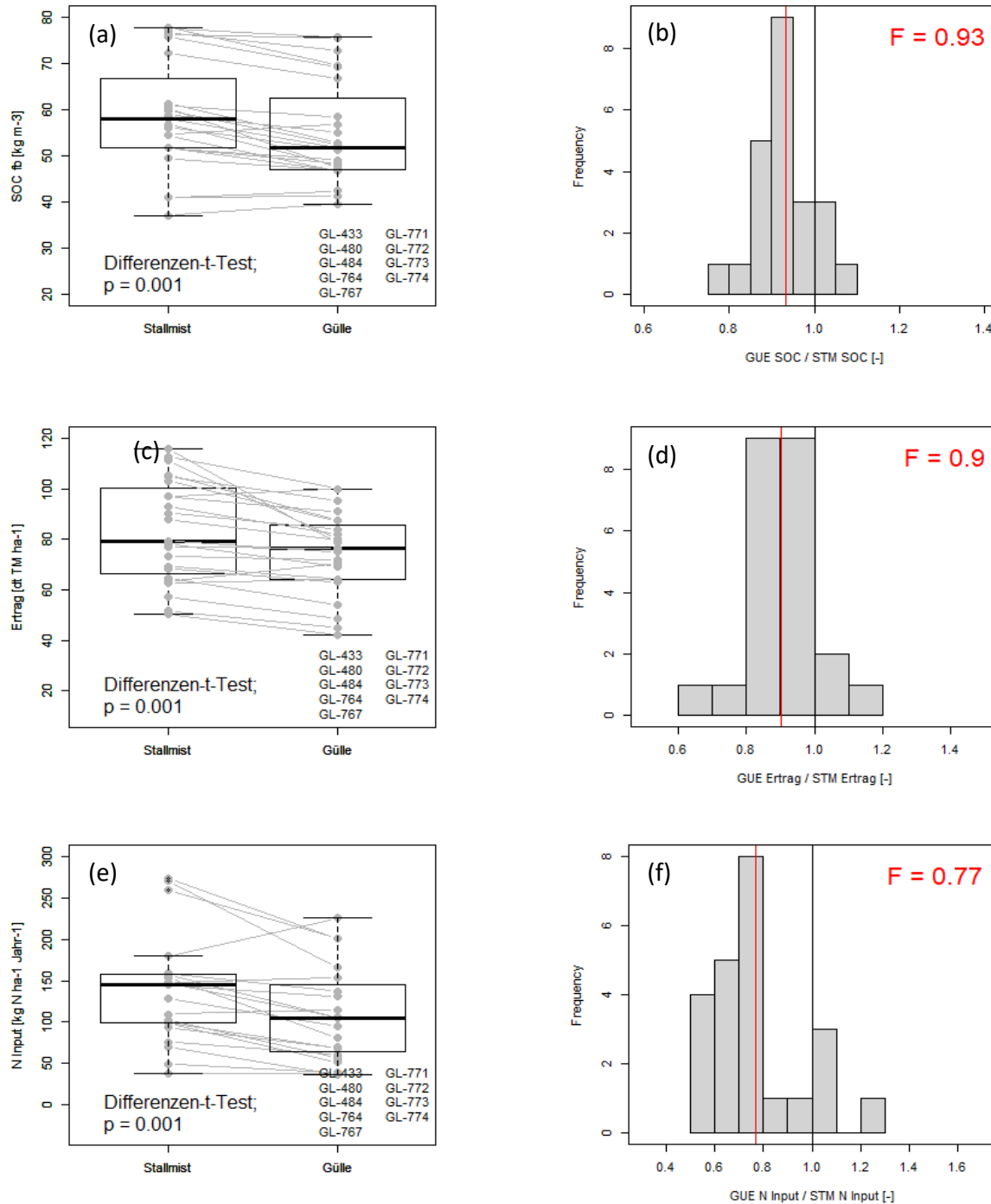


Dunkelgrüne Punkte und Linien markieren SOC<sub>FB</sub>-Vorräte bei Düngebehandlungen mit Stallmist (links). Hellgrüne Punkte und Linien repräsentieren SOC<sub>FB</sub>-Vorräte auf Flächen mit Güllebehandlungen (rechts). Versuche die in die lineare Regression einfließen sind in den Grafiken rechts unten gelistet. Der Schätzwert der Steigung und p-Wert der linearen Regression sind in den beiden oberen Grafiken links unten angegeben.

Die lineare Regression zeigt einen signifikanten Anstieg der  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorräte mit zunehmender Schnitffrequenz bei Versuchsflächen mit Stallmistbehandlung (Abbildung 9a). Der höhere Eintrag an organischer Substanz mit dem Stallmist durch höhere Düngung bei Flächen mit höherer Schnitffrequenz überkompensiert demnach den höheren Biomasseentzug durch die höhere Schnitffrequenz. Bei Versuchsflächen, die mit Gülle gedüngt werden, konnte kein signifikanter Einfluss von der Schnitffrequenz auf den  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorrat festgestellt werden (Abbildung 9b). Die Analyse der Werte zeigt, dass der Eintrag von organischem Stickstoff mit der Gülle die zunehmende Störung durch die steigende Schnitffrequenz kompensiert, aber zu keinem Anstieg der  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorräte führt wie bei den Stallmist-Düngungen. Besonders deutlich wird der Effekt der Schnitffrequenz, wenn die  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorräte für 2-Schnittwiesen normalisiert werden (Abbildung 9c und d).

#### 4.2.4 Vergleich Stallmist und Gülle

Abbildung 10: Einfluss von Stallmist- und Güllebehandlung auf  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ - Vorrat ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ; a-b) in 0-10 cm Tiefe, Ertrag (dt TM/ha; c-d) und N-Eintrag ( $\text{kg N}/\text{ha}/\text{Jahr}$ ; e-f)

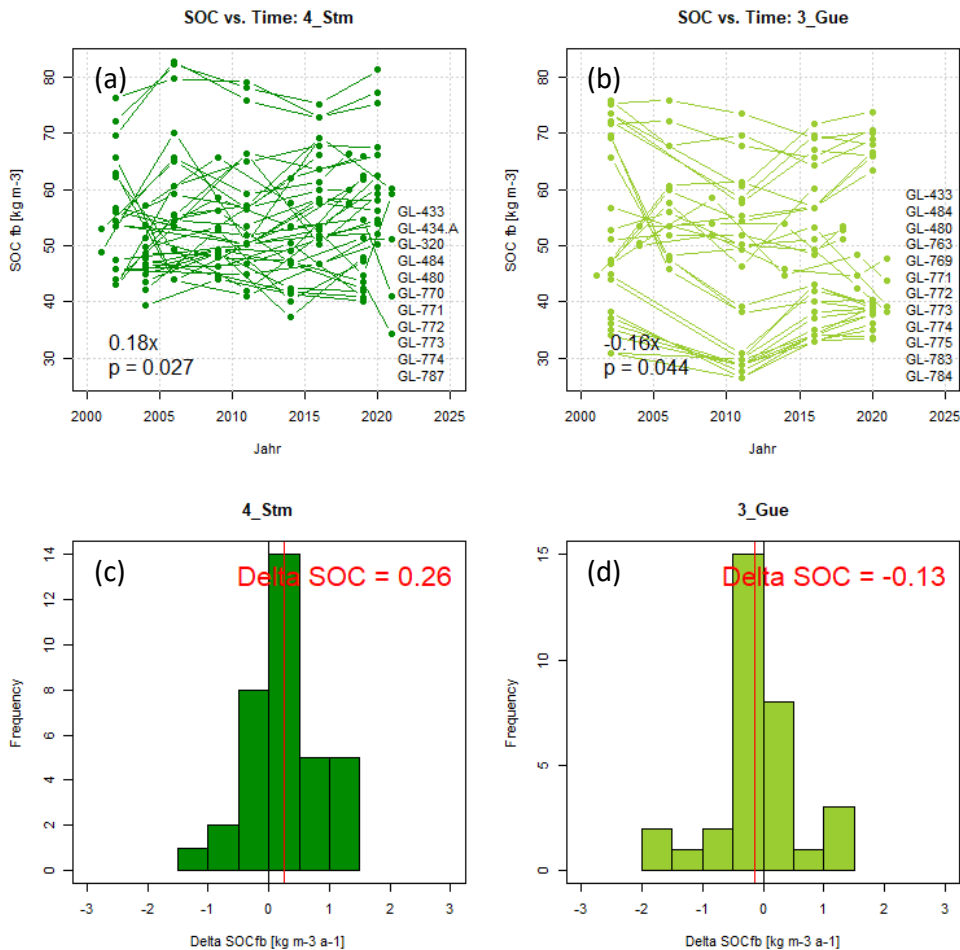


Miteinander verbundene Punkte zwischen den Boxplots repräsentieren Stallmist-Gülle-Paare mit der gleichen Schnittfrequenz aus einem Versuch. Die p-Werte aus dem paarweisen Differenzen-t-Test sind links unten in den Grafiken angegeben. Die rote Linie im Histogramm markiert den Durchschnittswert aller Stallmist-Gülle-Paare.

Die gemeinsame Auswertung der Daten zu den Langzeitversuchen aus Gumpenstein und DW-NET4 zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen den Düngebehandlungen in ihrer Auswirkung auf den  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorrat ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) in 0-10 cm Tiefe (Abbildung 10a). Die Düngung mit Stallmist bewirkt einen im Durchschnitt 7 % höheren  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorrat, als eine Düngung mit Gülle (Abbildung 10b). Des Weiteren führt die Düngung mit Stallmist in den Langzeitversuchen zu einem signifikant erhöhten TM-Ertrag auf den Versuchsflächen (Abbildung 10c). Die mit Gülle gedüngten Flächen weisen im Durchschnitt einen um 10 % niedrigeren TM-Ertrag auf (Abbildung 10d). Bei der Düngung mit Stallmist ist der höhere TM-Ertrag (Abbildung 10c) wahrscheinlich auf den signifikant höheren N-Input (Abbildung 10e) zurückzuführen. Der jährliche N-Input ist bei der Düngung mit Stallmist durchschnittlich um 23 % höher, als bei der Düngung mit Gülle (Abbildung 10f).

## 4.2.5 Trends über die Zeit

Abbildung 11: Durchschnittliche jährliche Änderung der  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorräte ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) in 0-10 cm Tiefe zwischen 2000-2021 bei Stallmist- und Güllebehandlungen



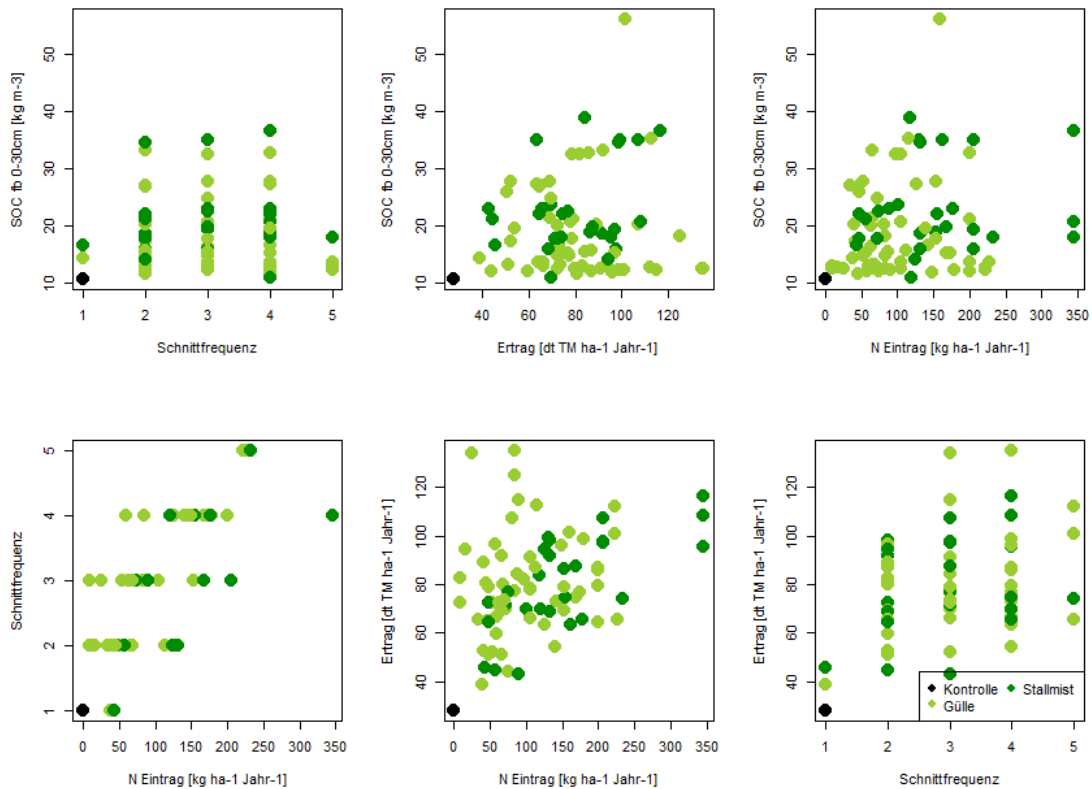
Dunkelgrüne Punkte und Linien markieren  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorräte bei Düngbehandlungen mit Stallmist. Hellgrüne Punkte und Linien repräsentieren  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorräte auf Flächen mit Güllebehandlungen. Versuche, die in die lineare Regression einfließen, sind in den Grafiken rechts unten gelistet. Schätzwert und p-Wert der linearen Regression sind in den beiden oberen Grafiken links unten angegeben. Die rote Linie im Histogramm markiert die Delta- $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Werte (Differenz aus der ersten und letzten  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Gehaltsbestimmung dividiert durch die Jahre).

Mit der linearen Regression wurde die Auswirkung der Düngung über die Zeit (2000-2021) getestet. Aus der Steigung in Abbildung 11a und b von  $+0.18$  bzw.  $-0.16$  ergibt sich die jährliche Zu- bzw. Abnahme im  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorrat in  $\text{kg}$  pro  $\text{m}^3$  pro Jahr. Für Stallmist konnte ein signifikanter positiver Zusammenhang mit der Zeit beobachtet werden. Für Gülle war der Zusammenhang signifikant leicht negativ. Die Histogramme zeigen die Delta- $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Werte für Stallmist und Gülle. Diese decken sich mit den Trends aus der Regressionsanalyse. Eine Düngung mit Stallmist bedingt eine Zunahme der  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorräte von  $0.26 \text{ kg SOC}$  pro  $\text{m}^3$  pro Jahr, während Güllebehandlungen zu einer Abnahme von  $0.13 \text{ kg SOC}$  pro  $\text{m}^3$  pro Jahr führten.



#### 4.2.6 Tiefenstufen 0-30 cm und 0-50 cm

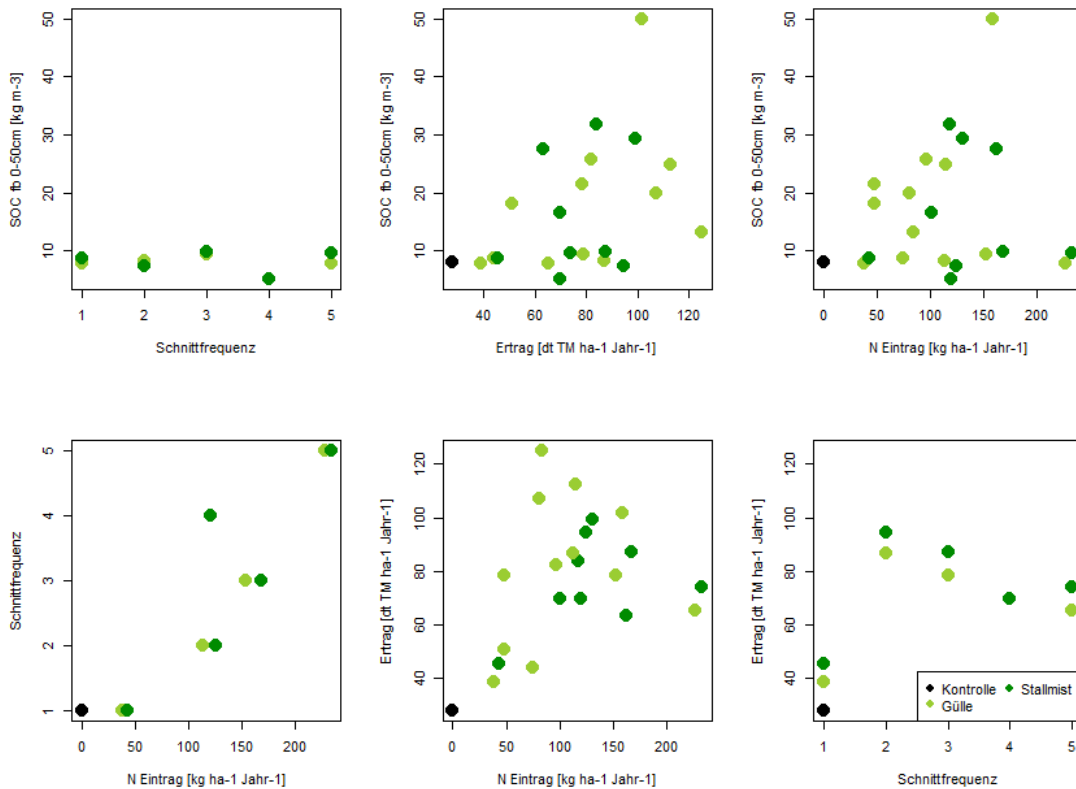
Abbildung 12: Korrelationen der Daten aus den Langzeitversuchen in Gumpenstein und dem Trockenschadenprojekt DW-NET4 nach Düngebehandlung (Stallmist und Gülle) in 0-30 cm Tiefe



Plots zwischen Schnittfrequenz, N-Eintrag (kg/ha/Jahr) und SOC<sub>FB</sub>-Vorräten in 0-30 cm Tiefe (kg/m<sup>3</sup>) für die Düngebehandlungen Stallmist und Gülle

Bei der Betrachtung der Tiefenstufe 0-30 cm ergibt sich ein weniger deutliches Bild, als bei der Tiefenstufe 0-10 cm. Die Korrelationen in Abbildung 12 zeigen die Daten aus den Langzeitversuchen in Gumpenstein und DW-NET4. Die Schnittfrequenz korreliert positiv mit dem N-Input. Des Weiteren liegt eine positive Korrelation zwischen dem TM-Ertrag und dem N-Input vor. Es sind keine klaren Muster in Bezug auf die Düngebehandlung und SOC<sub>FB</sub>-Vorräte in dieser Tiefenstufe ersichtlich.

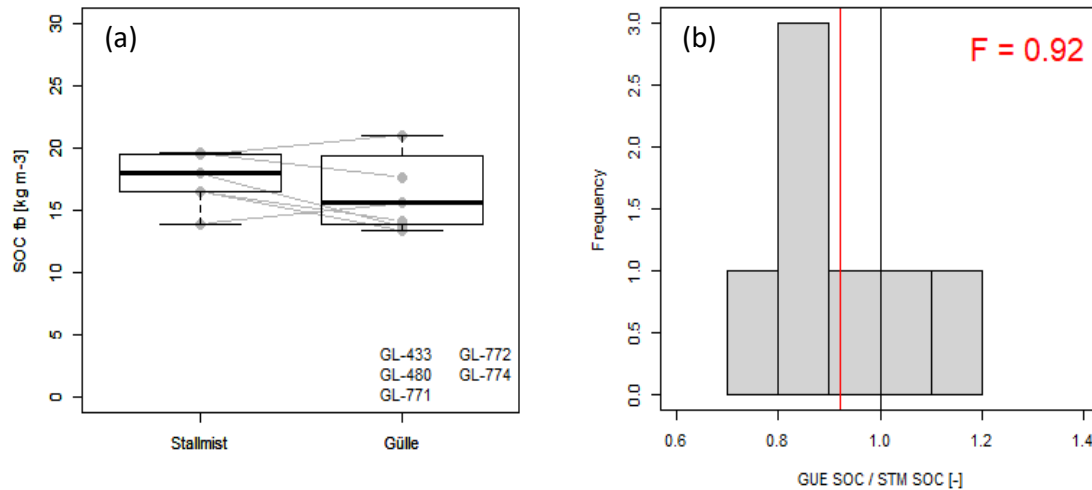
Abbildung 13: Plots der Daten aus den Langzeitversuchen in Gumpenstein und dem Trockenschadenprojekt DW-NET4 nach Düngbehandlung (Stallmist und Gülle) in 0-50 cm Tiefe



Plots zwischen Schnittfrequenz, N-Eintrag (kg/ha/Jahr) und SOC<sub>FB</sub>-Vorräten in 0-50 cm Tiefe (kg/m<sup>3</sup>) für die Düngbehandlungen Stallmist und Gülle

In der Tiefenstufe 0-50 cm ergibt sich ebenfalls ein weniger deutliches Bild, als bei der Tiefenstufe 0-10 cm. Die Plots in Abbildung 13 umfassen die Versuchsflächen aus den Langzeitversuchen in Gumpenstein und DW-NET4, bei welchen Proben bis zu 50 cm Tiefe genommen wurden. Die Schnittfrequenz korreliert wiederum positiv mit dem N-Input. Es liegt eine positive Korrelation zwischen dem TM-Ertrag und dem N-Input vor. Es sind abermals keine klaren Muster in Bezug auf die Düngbehandlung und SOC<sub>FB</sub>-Vorräte in dieser Tiefenstufe ersichtlich.

Abbildung 14: Einfluss von Stallmist- und Güllebehandlung auf SOC- Vorrat ( $\text{kg/m}^3$ ) in 0-30 cm Tiefe



Miteinander verbundene Punkte zwischen den Boxplots repräsentieren Stallmist-Gülle-Paare mit der gleichen Schnittfrequenz aus einem Versuch. Die p-Werte aus dem paarweisen Differenzen-t-Test sind links unten in den Grafiken angegeben. Die rote Linie im Histogramm markiert den Durchschnittswert aller Stallmist-Gülle-Paare.

Der Vergleich des Einflusses von Stallmist und Gülle auf den  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorrat in 0-30 cm Tiefe zeigt den gleichen Trend, wie bei 0-10 cm Tiefe. Stallmist weist einen stärkeren positiven Einfluss auf den  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorrat auf, als Gülle (Abbildung 14a). Die  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorräte der Versuchsflächen mit Güllebehandlung waren in 0-30 cm im Durchschnitt um 8% kleiner als bei Flächen die mit Stallmist gedüngt wurden (Abbildung 14b). Es ist jedoch für diese Tiefenstufe die Stichprobe für eine statistische Analyse zu klein ( $N=7$ ). Trotzdem ist der generelle Trend konsistent mit dem aufgrund der hohen Stichprobenanzahl robusten Analyseergebnis für die 0-10 cm Proben (siehe Kap. 4.2.4).

### 4.3 Auswertung der INVEKOS-Daten nach Hauptproduktionsgebiet (HPG) und Kleinproduktionsgebiet (KPG)

In Oberösterreich werden ca. 208.000 ha von über 22.000 Betrieben und in Salzburg 93.500 ha als Grünland (GL) von über 7.100 Betrieben genutzt. Um die Vollständigkeit zu wahren, wurde von Salzburg auch das HPG Hochalpen einbezogen, obwohl von dort keine Bodendaten vorliegen. Der wesentliche Unterschied zwischen den Bundesländern liegt in der Betriebsstruktur: Während in Salzburg die reinen Grünland-Betriebe überwiegen, auch im Salzburger Alpenvorland liegt der Grünland-Anteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) bei 90 %, sind in Oberösterreich die Acker- und Grünlandflächen regional sehr unterschiedlich auf die Betriebe verteilt:

Tabelle 5: Betriebe und Nutzflächen in den HPG und KPG in OÖ und Salzburg lt. INVEKOS 2020

Bundesland	Haupt- und Kleinproduktionsgebiete	Betriebe mit Ackerland	Ackerfläche in ha	Betriebe mit Grünland	Grünlandfläche in ha	Anteil GL an LN in %
Oberösterreich	<b>Alpenvorland</b>	<b>10.130</b>	<b>227.339</b>	<b>11.171</b>	<b>78.713</b>	<b>26</b>
	Altheim- Obernberger Gebiet	411	13.888	419	2.215	14
	Grieskirchen- Kremsmünster Gebiet	3.113	69.004	3.363	15.706	19
	Oberes Innviertel	1.105	19.861	1.515	18.241	48
	Oberösterreichischer Zentralraum	2.565	68.169	2.255	6.193	8
	Rieder Gebiet	2.097	45.209	2.441	21.351	32
	Vöcklabrucker Gebiet	839	11.207	1.178	15.009	57
	<b>Voralpen</b>	<b>290</b>	<b>2.373</b>	<b>2.789</b>	<b>39.881</b>	<b>94</b>
	Äußeres Salzkammergut	135	918	1.010	12.191	93
	Inneres Salzkammergut, Eisenwurz	155	1.455	1.779	27.690	95
	<b>Wald- und Mühlviertel</b>	<b>6.486</b>	<b>58.419</b>	<b>8.100</b>	<b>89.503</b>	<b>61</b>
	Hochlagen des Mühlviertels	2.598	18.941	3.305	38.168	67
	Mittellagen des Mühlviertels	3.888	39.477	4.795	51.335	57
	<b>Gesamtergebnis</b>	<b>16.906</b>	<b>288.131</b>	<b>22.060</b>	<b>208.097</b>	<b>42</b>
Salzburg	<b>Alpenvorland</b>	<b>409</b>	<b>3.096</b>	<b>1.756</b>	<b>29.355</b>	<b>90</b>
	Flachgau	366	2.706	1.426	26.235	91
	Halleiner Becken	43	390	330	3.121	89
	<b>Hochalpen</b>	<b>446</b>	<b>1.844</b>	<b>4.140</b>	<b>48.937</b>	<b>96</b>
	<b>Voralpen</b>	<b>22</b>	<b>29</b>	<b>1.274</b>	<b>15.182</b>	<b>100</b>
	Salzkammergut	13	18	486	6.667	100
	Tennengau	9	11	788	8.516	100
	<b>Gesamtergebnis</b>	<b>878</b>	<b>4.970</b>	<b>7.171</b>	<b>93.475</b>	<b>95</b>

In den KPG Oberösterreichischer Zentralraum, Altheim- Obernberger Gebiet und Grieskirchen-Kremsmünster Gebiet liegt der GL-Anteil im Mittel unter 20 % an der LN, womit viele Betriebe die Voraussetzungen für die Teilnahme am Vorbeugenden Grundwasserschutz nicht erfüllen. Im OÖ Alpenvorland weist das KPG Vöcklabruck mit einem GL-Anteil von 57 % den höchsten Wert auf, was sich auch in der Nutzungsintensität widerspiegelt. In den Voralpen ist der GL-Anteil in OÖ mit 94 % und Salzburg mit fast 100 % sehr hoch, im Mühlviertel liegen im Mittel Betriebe mit einem Anteil an Ackerfläche zw. 43 % in den Mittellagen und 33 % in den Hochlagen vor.

Tabelle 6: Grünland-Nutzung in den HPG und KPG in OÖ und Salzburg lt. INVEKOS 2020

Bundesland	Haupt- und Kleinproduktionsgebiete	Anteil drei- und mehrmähdige Wiesen [%]	Anteil zwei-mähdige Wiesen [%]	Anteil ein- mähdige Wiesen [%]	Anteil Kulturweide [%]	Anteil Hutweiden [%]	Anteil Grünlandbrache [%]
Oberösterreich	<b>Alpenvorland</b>	<b>84,7</b>	<b>8,5</b>	<b>1,3</b>	<b>3,5</b>	<b>0,2</b>	<b>1,1</b>
	Altheim- Obernberger Gebiet	88,6	6,3	0,4	2,5	0,1	1,5
	Grieskirchen- Kremsmünster G.	72,1	15,5	2,2	7,1	0,4	2,1
	Oberes Innviertel	92,4	2,9	1,0	2,4	0,1	0,2
	Oberösterreichischer Zentralr.	48,8	31,0	5,4	7,8	0,2	5,7
	Rieder Gebiet	92,9	4,2	0,3	1,6	0,0	0,5
	Vöcklabrucker Gebiet	91,1	5,3	0,7	2,1	0,2	0,2
	<b>Voralpen</b>	<b>65,9</b>	<b>13,9</b>	<b>2,7</b>	<b>14,2</b>	<b>2,2</b>	<b>0,2</b>
	Äußeres Salzkammergut	75,6	12,1	3,3	6,3	1,4	0,2
	Inneres Salzkammergut, Eisenw.	61,6	14,7	2,5	17,6	2,6	0,2
	<b>Wald- und Mühlviertel</b>	<b>83,8</b>	<b>10,7</b>	<b>1,2</b>	<b>3,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>
	Hochlagen des Mühlviertels	80,4	12,9	1,8	3,4	0,1	0,2
	Mittellagen des Mühlviertels	86,3	9,1	0,8	2,9	0,1	0,1
	<b>Gesamtergebnis</b>	<b>80,7</b>	<b>10,5</b>	<b>1,5</b>	<b>5,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>
Salzburg	<b>Alpenvorland</b>	<b>91,3</b>	<b>3,7</b>	<b>1,1</b>	<b>1,8</b>	<b>0,5</b>	<b>0,0</b>
	Flachgau	93,2	2,6	0,7	1,7	0,2	0,0
	Halleiner Becken	74,9	13,0	4,7	3,0	3,6	0,0
	<b>Hochalpen</b>	<b>52,9</b>	<b>23,2</b>	<b>1,7</b>	<b>5,3</b>	<b>15,1</b>	<b>0,0</b>
	<b>Voralpen</b>	<b>66,8</b>	<b>18,0</b>	<b>2,8</b>	<b>2,6</b>	<b>7,1</b>	<b>0,0</b>
	Salzkammergut	76,0	12,1	2,1	2,5	2,4	0,1
	Tennengau	59,6	22,6	3,4	2,6	10,7	0,0
	<b>Gesamtergebnis</b>	<b>67,2</b>	<b>16,2</b>	<b>1,7</b>	<b>3,8</b>	<b>9,2</b>	<b>0,0</b>

In den INVEKOS-Daten werden die drei- und mehrmähdigen Wiesen zu einer Klasse zusammengefasst, wobei dieser Anteil je nach klimatischen Bedingungen in den HPG entsprechend variiert: In den Hochalpen liegt dieser Anteil mit 53 % am niedrigsten, gefolgt von den Voralpen mit etwa 2 Drittel und im Alpenvorland bei 85 % in OÖ und 91 % in Salzburg: Der höchste Anteil dieser Kategorie (3- und mehrmähdig) liegt in den KPG Flachgau, Rieder Gebiet, Oberes Innviertel und Vöcklabrucker Gebiet vor. Hingegen weist das KPG OÖ Zentralraum geringere Schnittfrequenzen auf, weil dort die GL-Nutzung mit einem Anteil an der LN von nur 8 % eine untergeordnete Rolle spielt.

In einem weiteren Schritt wurden nur die Betriebe mit Milchlieferung ausgewählt. In Salzburg lieferte knapp die Hälfte der GL-Betriebe auch Milch, in OÖ ist dieser Anteil nur etwa um 30 %. Wie ersichtlich, ist der Rinder GVE-Besatz im Alpenvorland mit über 1,5 GVE/ha LN höher als in den Voralpen und im Mühlviertel. Die rechnerisch ermittelten Milchliefermengen pro Rinder-GVE bzw. pro ha LN zeigen die höchste Intensität im KPG Flachgau und Vöcklabrucker Gebiet. Diese Auswertungen stimmen auch mit den Nutzungshäufigkeiten des GL in INVEKOS überein.

Tabelle 7: Betriebe mit Milchlieferung, Rinder u. Milchliefermenge pro GVE u. ha LN

Bundesland	Haupt- und Kleinproduktionsgebiete	Betriebe mit GL u. Milchlieferung	mittlere LN/Betrieb in ha	Anteil Grünland an der LN [%]	Rinder GVE/ha LN	kg Milchlieferung/GVE-Rind	kg Milchlieferung/ha LN
Oberösterreich	<b>Alpenvorland</b>	<b>2.640</b>	<b>32</b>	<b>53</b>	<b>1,54</b>	<b>3.881</b>	<b>5.974</b>
	Altheim- Obernberger Gebiet	91	38	33	1,48	3.844	5.673
	Grieskirchen- Kremsmünster Gebiet	451	27	50	1,47	3.744	5.490
	Oberes Innviertel	620	33	60	1,56	3.923	6.126
	Oberösterreichischer Zentralraum	156	28	33	1,28	3.668	4.686
	Rieder Gebiet	804	33	49	1,55	3.812	5.902
	Vöcklabrucker Gebiet	518	31	64	1,63	4.083	6.674
	<b>Voralpen</b>	<b>951</b>	<b>24</b>	<b>95</b>	<b>1,35</b>	<b>3.968</b>	<b>5.354</b>
	Äußeres Salzkammergut	396	20	93	1,33	4.069	5.421
	Inneres Salzkammergut, Eisenwurz.	555	27	96	1,36	3.915	5.318
	<b>Wald- und Mühlviertel</b>	<b>2.977</b>	<b>28</b>	<b>60</b>	<b>1,43</b>	<b>3.984</b>	<b>5.695</b>
	Hochlagen des Mühlviertels	1.221	27	64	1,31	4.009	5.264
	Mittellagen des Mühlviertels	1.756	28	58	1,51	3.970	5.976
	<b>Gesamtergebnis</b>	<b>6.568</b>	<b>29</b>	<b>61</b>	<b>1,47</b>	<b>3.934</b>	<b>5.776</b>
Salzburg	<b>Alpenvorland</b>	<b>1.023</b>	<b>25</b>	<b>92</b>	<b>1,51</b>	<b>4.491</b>	<b>6.796</b>
	Flachgau	882	26	92	1,52	4.488	6.824
	Halleiner Becken	141	14	92	1,42	4.530	6.453
	<b>Hochalpen (ohne Almflächen)</b>	<b>1.730</b>	<b>17</b>	<b>95</b>	<b>1,58</b>	<b>2.984</b>	<b>4.702</b>
	<b>Voralpen</b>	<b>653</b>	<b>16</b>	<b>100</b>	<b>1,22</b>	<b>3.926</b>	<b>4.783</b>
	Salzkammergut	240	19	100	1,25	4.342	5.425
	Tennengau	413	14	100	1,19	3.580	4.272
	<b>Gesamtergebnis</b>	<b>3.406</b>	<b>19</b>	<b>95</b>	<b>1,49</b>	<b>3.698</b>	<b>5.528</b>

## 4.4 Statistische Auswertung der Bodendaten von Praxisflächen

### 4.4.1 Anzahl der Bodenproben pro Bundesland, HPG und KPG gesamt und bei Vorbeugendem Grundwasserschutz

Insgesamt standen aus den unterschiedlichen Perioden, Initiativen und der ÖPUL-Maßnahme „Vorbeugender Grundwasserschutz“ die Ergebnisse von mehr als 38.000 Proben zur Verfügung. In der folgenden Tabelle ist die Herkunft der Proben aufgelistet. Die allermeisten Proben wurden im

Rahmen der ÖPUL-Maßnahme untersucht. Bezogen auf die Teilnahmefläche von knapp 114.000 ha wurde mit über 32.000 Proben die Förderungsverpflichtung von einer Probe pro 5 ha GL in allen Regionen erfüllt.

Tabelle 8: Anzahl der Bodenproben gesamt und bezogen auf Vorbeugenden Grundwasserschutz

Bundesland	Haupt- und Kleinproduktionsgebiete	Anzahl Bodenproben (gesamt)	Anzahl Bodenproben pro ha GL	GL-Fläche Vorbeugender GW-Schutz	Anzahl Bodenproben Vorbeugender GW-Schutz	Anzahl Bodenproben pro ha GL-Vorb. GW-
Oberösterreich	<b>Alpenvorland</b>	<b>9.753</b>	9,5	34.328	<b>8.284</b>	4,1
	Altheim- Obernberger Gebiet	119	24,9	411	<b>89</b>	4,6
	Grieskirchen- Kremsmünster G.	1.681	11,9	4.668	<b>1.320</b>	3,5
	Oberes Innviertel	2.453	10,1	8.955	<b>1.812</b>	4,9
	Oberösterreichischer Zentralr.	447	14,5	1.939	<b>426</b>	4,6
	Rieder Gebiet	2.471	9,9	8.756	<b>2.155</b>	4,1
	Vöcklabrucker Gebiet	2.582	6,0	9.599	<b>2.482</b>	3,9
	<b>Voralpen</b>	<b>6.319</b>	7,1	15.550	<b>5.592</b>	2,8
	Äußeres Salzkammergut	2.257	5,9	6.711	<b>2.071</b>	3,2
	Inneres Salzkammergut, Eisenw.	4.062	7,9	8.839	<b>3.521</b>	2,5
	<b>Wald- und Mühlviertel</b>	<b>15.146</b>	7,7	37.859	<b>11.638</b>	3,3
	Hochlagen des Mühlviertels	9.078	8,3	15.317	<b>4.576</b>	3,3
	Mittellagen des Mühlviertels	6.068	7,3	22.542	<b>7.062</b>	3,2
	<b>Gesamtergebnis OÖ</b>	<b>31.218</b>	8,2	87.464	<b>25.514</b>	3,4
Salzburg	<b>Alpenvorland</b>	<b>5.896</b>	5,0	23.888	<b>5.896</b>	4,1
	Flachgau	5.351	4,9	21.840	<b>5.351</b>	4,1
	Halleiner Becken	545	5,7	2.048	<b>545</b>	3,8
	<b>Voralpen</b>	<b>890</b>	17,1	2.089	<b>890</b>	2,3
	Salzkammergut	460	14,5	903	<b>460</b>	2,0
	Tennengau	430	19,8	1.186	<b>430</b>	2,8
	<b>Gesamtergebnis Salzburg</b>	<b>6.786</b>	13,8	25.978	<b>6.786</b>	3,8
<b>Gesamtergebnis OÖ u. Salzburg</b>		<b>38.004</b>	6,6	113.714	<b>32.300</b>	3,5

#### 4.4.2 Verminderung der einbezogenen Proben um die Standorte mit erhöhten Humusgehalten (größer 15 %) und Statistik der Bodenparameter nach HPG

Vor allem stark grundwasserbeeinflusste, hydromorphe Böden (Gley, Augley, Anmoor, Niedermoor) sind sehr humusreich, weil die Mineralisierung der organischen Substanz aufgrund von nässebedingtem Sauerstoffmangel gehemmt ist (Bohner et al. 2023). Daher wurden Proben



mit einem Humusgehalt über 15 % von der weiteren Auswertung zur Ableitung von Effekten durch die Bewirtschaftung ausgeschlossen. Dieselbe Grenze wurde von Drexler et al. (2020) für die Ableitung von standorttypischen Humusgehalten von Grünland in Deutschland eingezogen.

Tabelle 9: Anzahl der Bodenproben mit Humusgehalt > 15 % und daraus geschätzte GL-Fläche

Bundesland	Haupt- und Kleinproduktionsgebiete	Anzahl Bodenproben < 15 % Humus	Anzahl Bodenproben > 15 % Humus	Anteil der Bodenproben > 15 %	Geschätzte GL-Fläche mit Humus > 15 % (Basis gesamtes GL) in ha	Geschätzte GL-Fläche mit Humus > 15 % (Basis GL-Fläche Vorb. GW-Schutz) in ha
Oberösterreich	<b>Alpenvorland</b>	<b>9.643</b>	<b>110</b>	<b>n.a.</b>	<b>854</b>	<b>383</b>
	Altheim- Obernberger Gebiet	119	0	0,00	0	0
	Grieskirchen- Kremsmünster G.	1.658	23	1,37	215	64
	Oberes Innviertel	2.379	74	3,02	550	270
	Oberösterreichischer Zentralr.	446	1	0,22	14	4
	Rieder Gebiet	2.469	2	0,08	17	7
	Vöcklabrucker Gebiet	2.572	10	0,39	58	37
	<b>Voralpen</b>	<b>6.082</b>	<b>237</b>	<b>n.a.</b>	<b>1.583</b>	<b>534</b>
	Äußeres Salzkammergut	2.234	23	1,02	124	68
	Inneres Salzkammergut,Eisenw.	3.848	214	5,27	1.459	466
	<b>Wald- und Mühlviertel</b>	<b>14.982</b>	<b>164</b>	<b>n.a.</b>	<b>1.023</b>	<b>413</b>
	Hochlagen des Mühlviertels	5.917	151	2,49	950	381
	Mittellagen des Mühlviertels	9.065	13	0,14	74	32
	<b>Gesamtergebnis OÖ</b>	<b>30.707</b>	<b>511</b>	<b>n.a.</b>	<b>3.460</b>	<b>1.330</b>
Salzburg	<b>Alpenvorland</b>	<b>5.706</b>	<b>190</b>	<b>n.a.</b>	<b>936</b>	<b>774</b>
	Flachgau	5.167	184	3,44	902	751
	Halleiner Becken	539	6	1,10	34	23
	<b>Voralpen</b>	<b>878</b>	<b>12</b>	<b>n.a.</b>	<b>238</b>	<b>33</b>
	Salzkammergut	460	0	0,00	0	0
	Tennengau	418	12	2,79	238	33
<b>Gesamtergebnis Salzburg</b>	<b>6.584</b>	<b>202</b>	<b>n.a.</b>	<b>1.174</b>	<b>807</b>	
<b>Gesamtergebnis OÖ u. Salzburg</b>		<b>37.291</b>	<b>713</b>	<b>n.a.</b>	<b>4.634</b>	<b>2.137</b>

n.a. ....nicht auswertbar, Datenbezug nur auf Ebene der KPG

Die obige Tabelle gibt einen Überblick, in welchen Regionen wieviele Proben mit Humusgehalten über 15 % vorlagen. Nach Berechnung der Anteile wurde eine sehr grobe Abschätzung der zugrundeliegenden Fläche vorgenommen, wobei als Bezugsbasis sowohl die gesamte GL-Fläche,

als auch nur die in der ÖPUL-Maßnahme enthaltene Fläche gewählt wurde. In den KPG Flachgau, Inneres Salzkammergut – Eisenwurzen, Hochlagen des Mühlviertels und Oberes Innviertel liegt ein höherer Anteil hydromorpher Standorte vor.

Die folgende Tabelle 10 zeigt die Daten aller erhobenen Bodenparameter mit Humusgehalten > 15 % in den HPG. Beim Säuregrad sind die pH-Werte im Mühlviertel mit unter 5,3 noch niedriger, während in den beiden anderen HPG etwas höhere pH-Werte vorliegen als bei den Proben kleiner 15 % Humus. Die verfügbaren P-Gehalte liegen im AV und den VA deutlich höher. Die verfügbaren K-Gehalte sind geringfügig höher, wobei die K-Gehalte im Mühlviertel auch in den Grundwasser beeinflussten Böden deutlich am höchsten sind. Im Alpenvorland liegen mit im Mittel über 24 % Humus die höheren Werte vor, bezogen auf die gespeicherte org. C-Menge gleichen sich die Werte mit 82 – 86 t/ ha an. Bei der Bewirtschaftung solcher Flächen ist ein weiterer Humusverlust durch Bewußtseinsbildung und andere geeignete Maßnahmen zu vermeiden.

Tabelle 10: Statistik der Bodenparameter der Proben mit Humusgehalt > 15 % in den HPG

Bodenparameter	Hauptproduktionsgebiet: Alpenvorland 300 Proben Voralpen 249 Proben Mühlviertel 164 Proben	Mean	SD	95 % Confidence Interval		Homogen. Subsets
				Lower Bound	Upper Bound	
Humus in %	Alpenvorland	<b>24,2</b>	10,0	23,3	25,1	<b>c</b>
	Voralpen	<b>18,9</b>	6,3	17,9	20,0	<b>a</b>
	Wald- und Mühlviertel	<b>20,5</b>	6,8	19,2	21,7	<b>b</b>
Corg-Vorrat in t/ha bis 10 cm	Alpenvorland	<b>86,2</b>	8,6	85,4	87,1	<b>c</b>
	Voralpen	<b>82,2</b>	5,5	81,3	83,1	<b>a</b>
	Wald- und Mühlviertel	<b>84,7</b>	6,9	83,6	85,8	<b>b</b>
pH in CaCl <sub>2</sub>	Alpenvorland	<b>6,12</b>	0,64	6,06	6,18	<b>b</b>
	Voralpen	<b>6,61</b>	0,51	6,54	6,68	<b>c</b>
	Wald- und Mühlviertel	<b>5,27</b>	0,51	5,19	5,36	<b>a</b>
mg P-CAL/kg	Alpenvorland	<b>53</b>	38	50	57	<b>b</b>
	Voralpen	<b>37</b>	29	33	41	<b>a</b>
	Wald- und Mühlviertel	<b>37</b>	22	32	42	<b>a</b>
mg K-CAL/kg	Alpenvorland	<b>150</b>	160	133	167	<b>a</b>
	Voralpen	<b>169</b>	154	150	188	<b>a</b>
	Wald- und Mühlviertel	<b>221</b>	131	198	244	<b>b</b>

#### 4.4.3 Statistik der Bodenparameter nach HPG aller Proben < 15 % Humus und graphische Darstellung nach Perzentilen (5, 10, 25, 50, 75, 90 und 95 %)

Bevor Auswertungen hinsichtlich Effekten der Bewirtschaftung erfolgen können, ist zu prüfen, ob und welche regionalen Unterschiede bei den Bodenparametern bestehen. Denn bei Vorliegen von statistisch signifikanten Differenzen können weitere Datenanalysen nur entsprechend getrennt durchgeführt werden.

Die Humusgehalte sind in den Voralpen mit im Mittel 7,6 % um mehr als 1,5 % deutlich höher als im Alpenvorland, auch der Unterschied zum Mühlviertel ist mit 1 % signifikant. Hinsichtlich Corg-Vorrat besteht dieselbe signifikante Reihung: AV < MV < VA. Neben der Bewirtschaftung können auch klimatische Einflüsse und die Höhenlage dafür relevant sein. Auch die pH-Werte sind signifikant unterschiedlich: Der höchste Mittelwert liegt in den Voralpen mit 6,03 vor, was auf das häufig vorkommende kalkhaltige Ausgangssubstrat zurückzuführen ist. Im Alpenvorland wird bezogen auf den Mittelwert mit 5,83 der anzustrebende pH-Wert entsprechend den Richtlinien für die sachgerechte Düngung erreicht. Der niedrigste Säuregrad ist im Mühlviertel mit pH 5,5 anzutreffen, die Mittelwerte liegen jedoch oberhalb der anzustrebenden pH-Mindestgehalte von 5,0 bei leichter bzw. 5,5 bei mittlerer Bodenart.

Tabelle 11: Statistik der Bodenparameter der Proben mit Humusgehalt < 15 % in den HPG

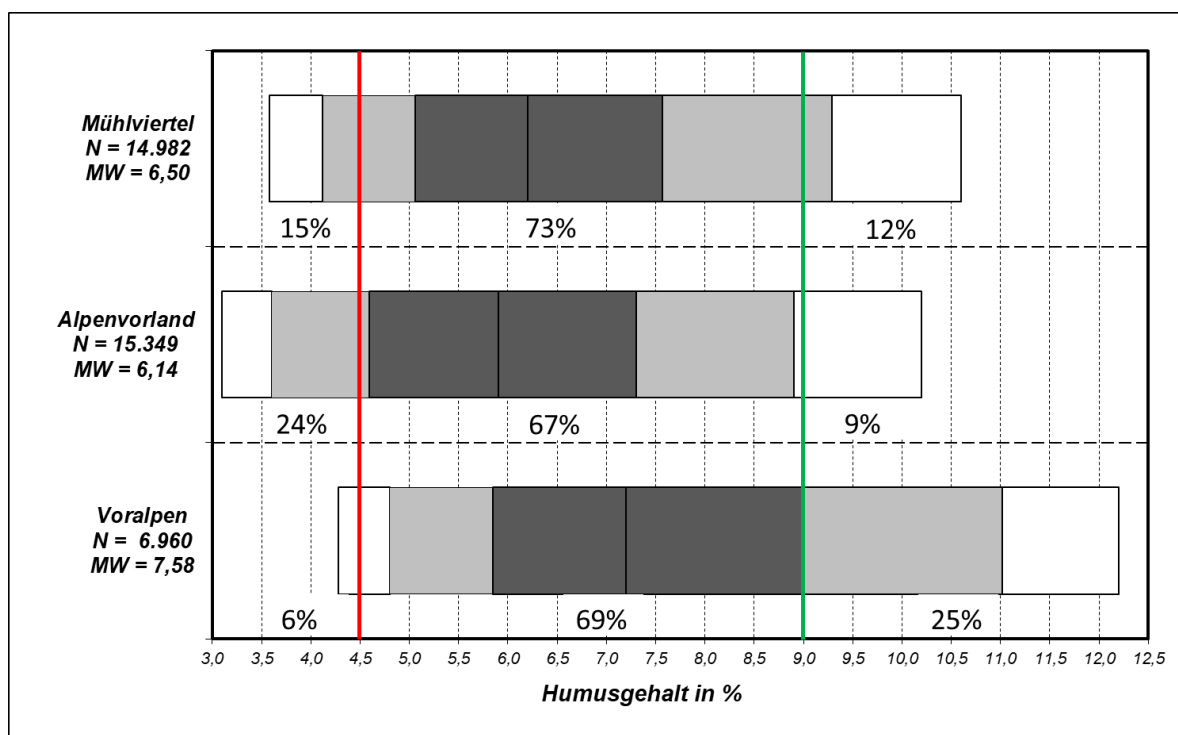
Bodenparameter	Hauptproduktionsgebiet: Alpenvorland 15.349 Pr. Voralpen 6.960 Proben Mühlviertel 14.982 Proben	Mean	Std. Deviation	95 % Confidence Interval		Homogen. Subsets
				Lower Bound	Upper Bound	
Humus in %	Alpenvorland	<b>6,14</b>	2,16	6,11	6,18	<b>a</b>
	Voralpen	<b>7,58</b>	2,37	7,53	7,64	<b>c</b>
	Wald- und Mühlviertel	<b>6,50</b>	2,13	6,47	6,54	<b>b</b>
Corg-Vorrat in t/ha bis 10 cm	Alpenvorland	<b>39,7</b>	10,8	39,5	39,9	<b>a</b>
	Voralpen	<b>46,8</b>	10,9	46,6	47,1	<b>c</b>
	Wald- und Mühlviertel	<b>41,6</b>	10,4	41,4	41,8	<b>b</b>
pH in CaCl <sub>2</sub>	Alpenvorland	<b>5,83</b>	0,58	5,82	5,84	<b>b</b>
	Voralpen	<b>6,03</b>	0,62	6,02	6,05	<b>c</b>
	Wald- und Mühlviertel	<b>5,50</b>	0,46	5,49	5,51	<b>a</b>
mg P-CAL/kg	Alpenvorland	<b>32</b>	23	32	32	<b>b</b>
	Voralpen	<b>25</b>	20	25	26	<b>a</b>
	Wald- und Mühlviertel	<b>34</b>	25	34	35	<b>c</b>
mg K-CAL/kg	Alpenvorland	<b>131</b>	75	129	133	<b>b</b>
	Voralpen	<b>128</b>	85	125	130	<b>a</b>
	Wald- und Mühlviertel	<b>206</b>	138	205	208	<b>c</b>

Die extensivere Nutzungsintensität (geringere GVE-Dichte/ha) zeigt sich in den signifikant niedrigeren P-CAL-Gehalten von 25 mg/kg in den Voralpen. Im Alpenvorland und im Mühlviertel sind die Gehalte mit 32 bzw. 34 mg/kg signifikant höher. Die pflanzenverfügbaren Phosphorgehalte sind generell als niedrig bis sehr niedrig einzustufen (sehr niedrige Stufe A < 26 mg, niedrige Stufe B 27 - 46 mg und ausreichende Stufe C von 47 – 68 mg P-CAL/kg).

Im Mühlviertel wurden die höchsten pflanzenverfügbaren Kaliumgehalte festgestellt, der Mittelwert liegt mit 206 mg/kg deutlich in der hohen Gehaltsstufe D (171 – 332 mg K/kg). Im Alpenvorland und in den Voralpen ist die K-Versorgung günstig, die Mittelwerte liegen mit 130 mg/kg im mittleren Bereich der ausreichenden Stufe C (88 – 170 mg K/kg).

Die folgenden Abbildungen stellen die Bandbreite der Bodenparameter dar und zeigen somit die große Heterogenität der Standorte in allen HPG auf. Im dunkelgrauen Bereich liegen 50 % der Messwerte, die Linie innerhalb dieses dunkelgrauen Bereiches stellt den Median dar, der Mittelwert (MW) ist in der Legende unterhalb der zugrundeliegenden Probenanzahl N angeführt. Im hellgrauen Bereich liegen jeweils weitere 15 % der nächst niedrigeren bzw. höheren Werte, insgesamt umfassen somit diese beiden grauen Abstufungen 80 % der Werte. Im farblosen Bereich sind die jeweils weiteren niedrigeren und größeren 5 % der Werte situiert, die kleinsten 5 % und die größten 5 % der Werte sind nicht dargestellt.

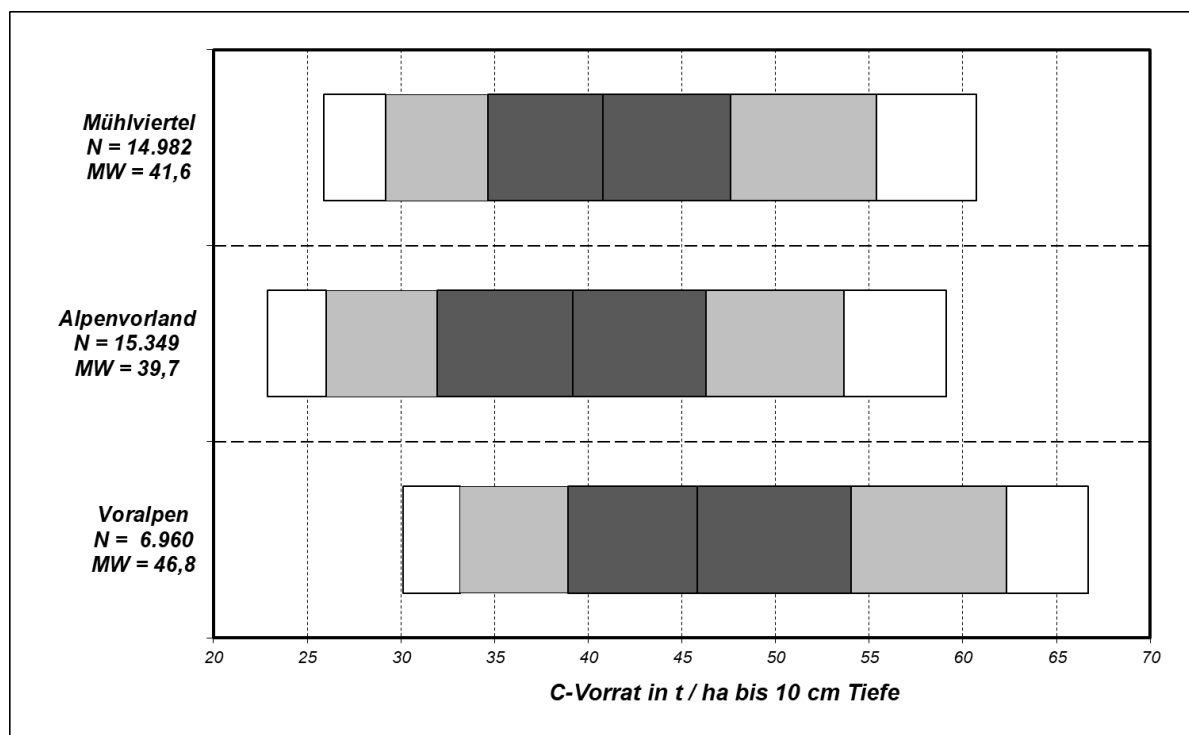
Abbildung 15: Humusgehalte (Perzentile: 5, 10, Q-25, Median-50, Q-75, 90, 95) in den HPG



Bezogen auf den anzustrebenden Bereich der **Humusgehalte** von 4,5 % (rote Linie) bis 9 % (grüne Linie) lt. RLSGD liegt der mittlere Anteil (Q25 bis Q75) in allen HPG innerhalb dieser Spanne. 67 % der Proben vom AV, 69 % von den VA und 73 % vom MV befinden sich in dem anzustrebenden Bereich. Im AV weisen 23 % der Proben Gehalte < 4,5 % Humus auf. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass sowohl aus dem AV, als auch aus dem MV Bodenproben von Wechselwiesen bei den Beratungsprojekten aus OÖ (Landesbodenuntersuchung, BIGL) als GL-Proben bezeichnet wurden und diese Anteile an Wechselwiesen niedrigere Humusgehalte mitverursacht haben. Auch die höheren Anteile leichter Böden im MV sind als Ursache für die rund 15 % niedrigeren Humuswerte zu nennen. Durch den Ausschluß hydromorpher Proben mit Humusgehalten über 15 % sind nur Mineralböden enthalten, sodass im AV und MV Proben mit Gehalten über 9 % Humus einen Anteil von 9 und 12 %, im niederschlagsreicheren HPG VA liegt dieser Anteil höher um 25 %.

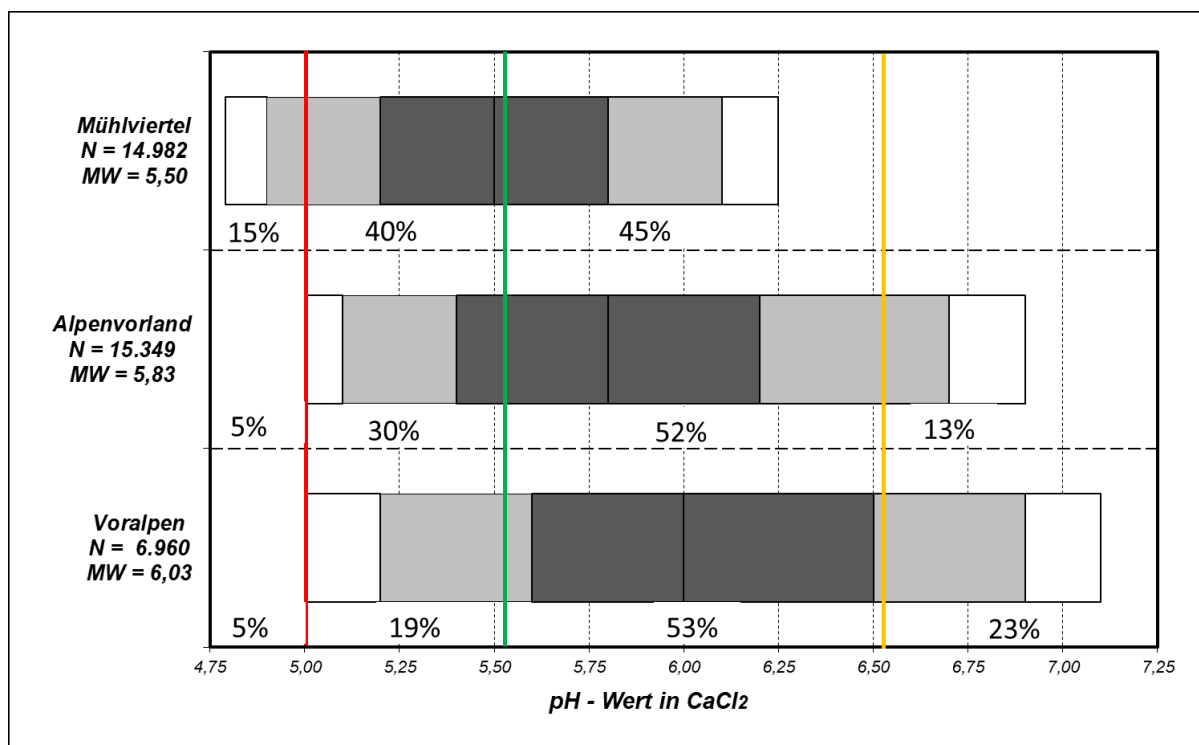
Die mit den Humusgehalten errechneten **Corg-Vorräte** in der folgenden Abb. zeigen die enorme Variationsbreite auf: Im AV und MV weisen über 10 % der Standorte Vorräte unter 30 t C/ha in 0-10 cm Bodentiefe auf. Gleichzeitig wird ersichtlich, dass etwa 10 % der dortigen Flächen Vorräte über 55 t C/ha aufweisen, in den VA liegt dieser Anteil bei fast 20 %. Die Stabilisierung der hohen Corg-Gehalte und -Vorräte durch angepasste Bewirtschaftungsverfahren, auf die bei der Beratung zu verweisen ist, hat höchste Relevanz als Ziel der ÖPUL-Grünland-Maßnahme „Humuserhalt und Bodenschutz auf umbruchsfähigem Grünland“.

Abbildung 16: Corg-Vorräte (Perzentile 5, 10, Q-25, Median-50, Q-75, 90, 95) in den HPG



Beim **Säuregrad** wird im Mühlviertel bei etwa 15 % der Proben der anzustrebende Mindestgehalt von pH 5 für leichte Böden unterschritten. In den anderen HPG liegen 5 % der Proben unterhalb von pH 5. Eine Verbesserungskalkung ist dort erforderlich. Gemäß RSGD (2022) ist für leichte Grünlandböden ein pH-Wert um 5,0 und für mittelschwere Böden ein pH-Wert um 5,5 anzustreben. Bei schwere Böden, mit über 25 % Tongehalt, wird ein pH-Wert von 6,0 empfohlen. Solche Böden kamen in den auf Ton untersuchten Proben nur selten vor, auch bei den bis 50 cm Tiefe intensiv untersuchten Standorten waren keine schweren Oberbodenproben dabei. Im pH-Bereich zwischen 5,0 – 5,55, wo eine regelmäßige Erhaltungskalkung laufend einzuplanen ist, liegen 40 % der Proben im MV, 30 % im AV und knapp 20 % in den VA. Etwa die Hälfte der Proben (44- 53 %) liegt in allen HPG im schwach sauren Bereich (pH 5,55 bis 6,55), wo aktuell noch keine Kalkung angezeigt ist. Nur bei etwa 13 % der Proben aus dem AV und 23 % aus den VA im Neutralbereich liegt noch eine größere Säure-Pufferkapazität vor. Aus dem Median bzw. Mittelwert allein ist der Anteil von Flächen in den HPG, auf denen Kalkbedarf besteht, nicht ableitbar.

Abbildung 17: pH-Werte (Perzentile 5, 10, Q-25, Median-50, Q-75, 90, 95) in den HPG



Die Einstufung der **Phosphor-Gehalte** in den niedrigen Gehaltsbereichen ist für Grünland und Ackerland gleich, wobei die sehr niedrige Stufe A Gehalte bis 26 mg/kg umfasst und die niedrige Stufe B bis 46 mg/kg reicht. In den VA liegen etwa 60 % der Proben in Stufe A und nur 8 % in der ausreichenden Stufe C. Im AV sind 40 % der Proben in der sehr niedrigen Stufe A, 45 % in der niedrigen Stufe B und etwa 15 % in der ausreichenden Stufe C. Im Mühlviertel liegt die P-

Versorgung um etwa 3 mg/kg höher, es kommen auch Proben in der hohen Stufe D mit 7 % vor. In den Stufen A und B sind 37 % und 45 %, der Anteil in der ausreichenden Stufe C beträgt um 11 %.

Abbildung 18: Phosphor-CAL in mg/kg (Perzentile 5, 10, Q-25, Median-50, Q-75, 90, 95) in den HPG

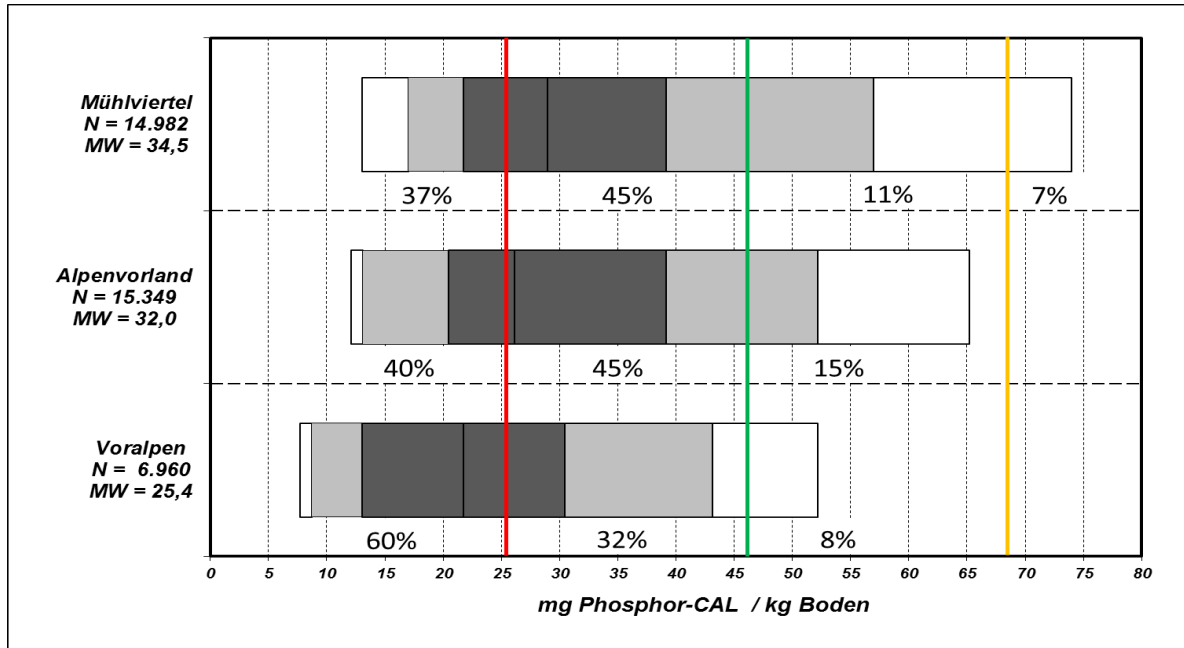
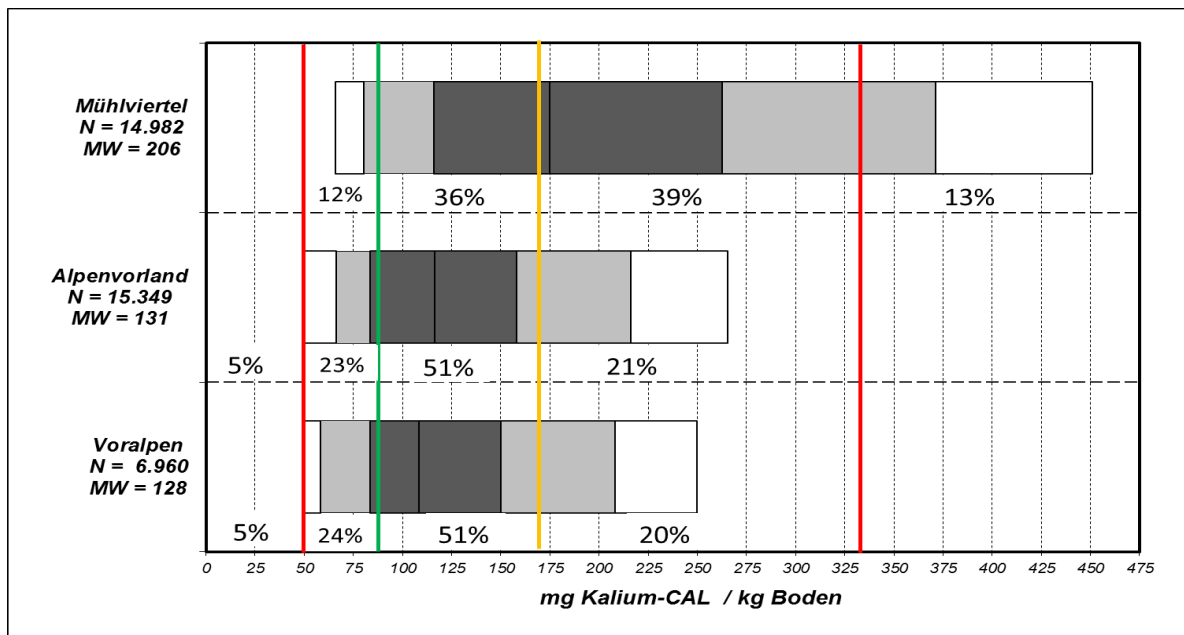


Abbildung 19: Kalium-CAL in mg/kg (5, 10, Q-25, Median-50, Q-75, 90, 95Perzentile) in den HPG



Beim **Kalium** ist die Versorgungslage im Mühlviertel hingegen fast durchwegs ausreichend (Stufe C 88 – 170 mg/kg ) bis hoch (Stufe D 171 – 332 mg/kg), bei etwa 13 % der Proben auch sehr hoch (Stufe E), während sehr niedrige Gehalte nicht vorkommen. Das Kalium-reiche bodenbildende Ausgangsgestein ist als wesentliche Ursache dafür zu nennen. Im AV und in den VA befinden sich etwa 5 % der Proben in der niedrigen Stufe A, knapp ein Viertel in Stufe B und der überwiegende Anteil mit mehr als 50 % in Stufe C, etwa 20 % entfallen auf die hohe Stufe D.

#### **4.4.4 Statistik der Bodenparameter nach KPG aller Proben < 15 % Humus**

In der folgenden Tabelle ist die statistische Auswertung der Humusgehalte in den KPG ersichtlich. Wegen der großen Probenzahlen werden insgesamt 9 signifikant unterschiedliche Gruppen ausgewiesen. Die KPG Inneres Salzkammergut- Eisenwurzen, Halleiner Becken, Hochlagen des MV, das Salzkammergut in Salzburg, das Äußere Salzkammergut in OÖ und der Tennengau haben signifikant höhere Humusgehalte im Vergleich zu den KPG im Alpenvorland (Vöcklabruck, Grieskirchen-Kremsmünster, Oberes Innviertel und Rieder Gebiet) sowie den Mittellagen des MV. Die niedrigsten Humusgehalte wurden im Altheim-Obernberger Gebiet und OÖ. Zentralraum gemessen, in den Regionen mit dem geringsten Grünlandanteil von 14 bzw. 8 % an der LN. Wenn die Umstellung von Wechselwiesen oder Ackerfütterungen zu Dauergrünland noch nicht mindestens etwa 2 Jahrzehnte zurückliegt, dürfte das neue Gleichgewichtsniveau des Humusgehaltes noch nicht erreicht sein. Die unterschiedlichen klimatischen Verhältnisse werden zudem eine Rolle spielen, wie die geringere Niederschlagsmenge in den beiden KPG. Auch die beiden Gebiete des Mühlviertels weisen einen signifikant unterschiedlichen Humusgehalt auf, wobei in den Mittellagen ein niedriger Humusgehalt als in den Hochlagen vorliegt. Die Unterschiede zwischen den beiden Gebieten können aufgrund der Höhenlage und somit der kühleren Witterung in den Hochlagen begründet werden, wodurch auch die Mineralisierungsrate vermindert ist.



Tabelle 12: Humusgehalte in % – Vergleichende Statistik der KPG

Kleinproduktionsgebiet	Mean	SD	95% Confidence Interval		Homogen. Subsets
			Lower Bound	Upper Bound	
OÖ. Zentralraum	<b>4,71</b>	1,47	4,51	4,90	<b>a</b>
Altheim- Obernberger Gebiet	<b>5,19</b>	1,36	4,81	5,58	<b>b</b>
Rieder Gebiet	<b>5,80</b>	1,58	5,71	5,88	<b>c</b>
Mittellagen des Mühlviertels	<b>6,05</b>	1,79	6,00	6,09	<b>d</b>
Flachgau	<b>6,09</b>	2,49	6,03	6,15	<b>d</b>
Oberes Innviertel	<b>6,13</b>	1,99	6,05	6,22	<b>d</b>
Grieskirchen- Kremsmünster G.	<b>6,28</b>	2,01	6,18	6,39	<b>d</b>
Vöcklabrucker Gebiet	<b>6,52</b>	1,97	6,43	6,60	<b>e</b>
Tennengau	<b>6,87</b>	2,65	6,66	7,07	<b>f</b>
Äußeres Salzkammergut	<b>6,96</b>	1,99	6,87	7,05	<b>f g</b>
Salzkammergut	<b>6,96</b>	2,08	6,77	7,16	<b>f g</b>
Hochlagen des Mühlviertels	<b>7,20</b>	2,41	7,14	7,25	<b>g</b>
Halleiner Becken	<b>7,49</b>	2,48	7,31	7,67	<b>h</b>
Inneres Salzkammergut, Eisenw.	<b>8,10</b>	2,45	8,03	8,16	<b>i</b>

Bei den Corg-Vorräten liegt dieselbe Reihenfolge wie beim Humusgehalt vor, es werden ebenfalls 9 homogene Gruppen ausgewiesen. Die klimatischen Einflüsse auf die mittleren Vorräte werden unter 4.5.3 im Detail vorgestellt.

Tabelle 13: Corg-Vorräte in t/ ha bis 10 cm – Vergleichende Statistik der KPG

Kleinproduktionsgebiet	Mean	Std. Deviation	95% Confidence Interval		Homogen. Subsets
			Lower Bound	Upper Bound	
OÖ. Zentralraum	<b>32,2</b>	8,2	31,2	33,2	<b>a</b>
Altheim- Obernberger Gebiet	<b>35,0</b>	7,5	33,2	36,9	<b>b</b>
Rieder Gebiet	<b>38,2</b>	8,2	37,8	38,6	<b>c</b>
Flachgau	<b>39,2</b>	12,5	38,9	39,4	<b>c d</b>
Mittellagen des Mühlviertels	<b>39,4</b>	9,1	39,2	39,7	<b>c d</b>
Oberes Innviertel	<b>39,8</b>	10,0	39,3	40,2	<b>d</b>
Grieskirchen- Kremsmünster G.	<b>40,5</b>	10,0	40,0	41,0	<b>d</b>
Vöcklabrucker Gebiet	<b>41,8</b>	9,6	41,4	42,2	<b>e</b>
Tennengau	<b>43,1</b>	12,4	42,1	44,1	<b>f</b>
Salzkammergut	<b>44,0</b>	10,2	43,0	44,9	<b>f g</b>
Äußeres Salzkammergut	<b>44,0</b>	9,5	43,6	44,5	<b>f g</b>
Hochlagen des Mühlviertels	<b>44,9</b>	11,4	44,6	45,2	<b>g</b>
Halleiner Becken	<b>46,3</b>	11,6	45,4	47,2	<b>h</b>
Inneres Salzkammergut, Eisenw.	<b>49,2</b>	11,0	48,9	49,5	<b>i</b>

Tabelle 14: pH-Wert in CaCl<sub>2</sub> – Vergleichende Statistik der KPG

Kleinproduktionsgebiet	Mean	SD	95% Confidence Interval		Homogen. Subsets
			Lower Bound	Upper Bound	
Hochlagen des Mühlviertels	<b>5,48</b>	0,45	5,46	5,49	<b>a</b>
Mittellagen des Mühlviertels	<b>5,51</b>	0,46	5,50	5,52	<b>a</b>
Vöcklabrucker Gebiet	<b>5,69</b>	0,46	5,67	5,71	<b>b</b>
Rieder Gebiet	<b>5,69</b>	0,52	5,67	5,71	<b>b</b>
Altheim- Obernberger Gebiet	<b>5,82</b>	0,45	5,72	5,92	<b>c</b>
Flachgau	<b>5,84</b>	0,61	5,83	5,86	<b>c</b>
Oberes Innviertel	<b>5,85</b>	0,56	5,83	5,87	<b>c</b>
Salzkammergut	<b>5,88</b>	0,66	5,83	5,93	<b>c d</b>
Äußeres Salzkammergut	<b>5,88</b>	0,54	5,86	5,90	<b>c d</b>
Grieskirchen- Kremsmünster G.	<b>5,94</b>	0,57	5,92	5,97	<b>d e</b>
Tennengau	<b>5,96</b>	0,76	5,90	6,01	<b>e</b>
OÖ. Zentralraum	<b>6,07</b>	0,64	6,02	6,12	<b>f</b>
Inneres Salzkammergut, Eisenw.	<b>6,15</b>	0,62	6,13	6,16	<b>g</b>
Halleiner Becken	<b>6,30</b>	0,71	6,25	6,34	<b>h</b>

Die Tabelle 14 zeigt die pH-Wert-Statistik der KPG. Beim pH-Wert weisen das Halleiner Becken, das Innere Salzkammergut, Eisenwurzen und der Tennengau, die unmittelbar westlich an das KPG NÖ Kalkalpen anschließen, die signifikant höheren Werte auf. Die Regionen befinden sich alle in den Nördlichen Kalkalpen, womit im Bezug auf das bodenbildende Ausgangsgestein die Ursache genannt ist. Die signifikant niedrigsten mittleren pH-Werte liegen mit 5,50 einheitlich in den KPG des Mühlviertels vor, weil der Untergrund mit Granit und Gneis den gegenteiligen Effekt erzielt und den pH-Wert im Oberboden senkt (Wagner, 1990). Die mittleren pH-Werte in den KPG im Alpenvorland liegen zwischen den beiden genannten Zonen, in einem engen Bereich zwischen 5,69 und 5,94, wobei auch einige signifikante Unterschiede auftreten, z.B. zw. Vöcklabrucker und Rieder Gebiet mit niedrigeren und Grieskirchen-Kremsmünster mit höheren pH-Werten.

Die niedrigsten mittleren Phosphorgehalte liegen in den KPG Äußeres und Inneres Salzkammergut vor. Es ist darauf zu verweisen, dass in diesen KPG die höchsten Humusgehalte vorliegen, die niedrigen Phosphorgehalte können über die höheren Humusgehalte abgedeckt werden, da hierbei ein Teil des Phosphors organisch gebunden ist und die CAL-Methode diesen Phosphor-Pool nicht erfasst (Steffens et al., 2010). Die höheren P-Gehalte in den KPG Altenheim – Obernberger Gebiet und OÖ. Zentralraum sind auch ein Hinweis dafür, dass diese Standorte vor einigen Jahrzehnten als Wechselwiesen oder Acker genutzt wurden, die intensiver mit Phosphor versorgt wurden.

Tabelle 15: Phosphor-CAL in mg/kg – Vergleichende Statistik der KPG

Kleinproduktionsgebiet	Mean	Std. Deviation	95% Confidence Interval		Homogen. Subsets
			Lower Bound	Upper Bound	
Äußeres Salzkammergut	<b>23,4</b>	13,2	22,4	24,3	<b>a</b>
Inneres Salzkammergut, Eisenw.	<b>24,2</b>	22,2	23,5	25,0	<b>a</b>
Vöcklabrucker Gebiet	<b>27,4</b>	17,2	26,5	28,3	<b>b</b>
Oberes Innviertel	<b>31,1</b>	21,0	30,1	32,0	<b>c</b>
Grieskirchen- Kremsmünster G.	<b>31,5</b>	20,8	30,4	32,6	<b>c d</b>
Flachgau	<b>32,8</b>	21,7	32,2	33,4	<b>c d e</b>
Mittellagen des Mühlviertels	<b>33,8</b>	22,6	33,3	34,3	<b>c d e f</b>
Tennengau	<b>34,6</b>	21,5	32,4	36,8	<b>d e f</b>
Rieder Gebiet	<b>34,7</b>	24,6	33,8	35,6	<b>d e f</b>
Halleiner Becken	<b>35,0</b>	37,7	33,1	36,9	<b>d e f</b>
OÖ. Zentralraum	<b>35,3</b>	28,9	33,2	37,5	<b>e f</b>
Hochlagen des Mühlviertels	<b>35,5</b>	27,7	34,9	36,1	<b>e f</b>
Salzkammergut	<b>36,5</b>	21,7	34,4	38,6	<b>f</b>
Altheim- Obernberger Gebiet	<b>39,7</b>	33,7	35,6	43,8	<b>g</b>

Die Phosphorversorgung der Grünlandöden kann somit in den verschiedenen KPG in OÖ und Salzburg als niedrig und zusätzlich als sehr heterogen betrachtet werden. Aus den Bodendaten lassen sich für die Bewirtschafter Hinweise ableiten, welche Flächen im Rahmen des abgestuften Wiesenbaus intensiver bzw. extensiver genutzt werden. Damit werden einerseits die Ressourcen (Corg-Vorrat) erhalten, und die verfügbaren Nährstoffe können effizient eingesetzt werden, um ein optimales Pflanzenwachstum auf intensiver geführten Flächen zu gewährleisten.

Die auffällig höchsten Kaliumgehalte (siehe Tabelle 16) sind in den zwei KPG des Mühlviertels zu finden, wobei in den Hochlagen ein signifikant höherer Gehalt vorliegt. Diese Werte sind aufgrund des kristallinen Ausgangsgestein erklärbar. Alle weiteren Mittelwerte der KPG finden sich in der ausreichend Stufe C, außer das KPG Tennengau.

Aufgrund der hohen Kaliumgehalte in den Wirtschaftsdüngern von rinderhaltenden Betrieben ist auf Grünlandböden eine ausreichend hohe Kaliumversorgung zumeist sichergestellt. Wegen der in der Auswertung festgestellten ausreichenden Gehalte an Kalium ist keine mineralische Ergänzungsdüngung erforderlich.

Tabelle 16: Kalium-CAL in mg/kg – Vergleichende Statistik der KPG

Kleinproduktionsgebiet	Mean	Std. Deviation	95% Confidence Interval		Homogen. Subsets
			Lower Bound	Upper Bound	
Tennengau	<b>86</b>	58	76	96	<b>a</b>
Salzkammergut	<b>94</b>	65	84	104	<b>a</b>
Halleiner Becken	<b>112</b>	88	103	121	<b>b</b>
Altheim- Obernberger Gebiet	<b>117</b>	62	97	136	<b>b</b>
Flachgau	<b>122</b>	72	119	125	<b>b c</b>
Oberes Innviertel	<b>132</b>	81	128	136	<b>c d</b>
Inneres Salzkammergut, Eisenw.	<b>133</b>	86	129	136	<b>c d</b>
Äußeres Salzkammergut	<b>134</b>	86	129	138	<b>c d</b>
Vöcklabrunner Gebiet	<b>137</b>	70	133	141	<b>c d</b>
Grieskirchen- Kremsmünster G.	<b>139</b>	69	134	144	<b>d</b>
Rieder Gebiet	<b>140</b>	76	136	144	<b>d</b>
OÖ. Zentralraum	<b>145</b>	96	135	155	<b>d</b>
Mittellagen des Mühlviertels	<b>197</b>	137	195	199	<b>e</b>
Hochlagen des Mühlviertels	<b>221</b>	138	218	223	<b>f</b>

#### 4.4.5 ÖPUL-Maßnahme „Vorbeugender Grundwasserschutz“ in OÖ und Salzburg: Statistik der Bodenparameter nach HPG und KPG aller Proben < 15 % Humus

In den folgenden Tabellen sind nur die Bodenproben enthalten, die im Rahmen des „Vorbeugenden Grundwasserschutzes Grünland“ in OÖ und Salzburg verpflichtend waren. Die Proben wurden in Salzburg in der Periode 2015 – 2018 und in OÖ, wegen der späteren Einführung der Maßnahme, zwischen 2017 – 2018 gezogen. Weil sich die spezifische Ausgestaltung, Anforderungen und Fördervoraussetzungen dieser Intervention, die nun „Humuserhalt und Bodenschutz auf umbruchsfähigem Grünland“ bezeichnet wird, im Vergleich zur vorigen Periode kaum geändert hat, können zeitliche Veränderungen der untersuchten Bodenparameter mit diesen Daten als Bezugsbasis in zukünftigen Evaluierungen ermittelt werden.

Tabelle 17: Bodenparameter der Proben der Tiefenstufe 0-10 cm im Rahmen des Vorbeugenden Grundwasserschutz in OÖ und Salzburg mit Humusgehalt < 15 % in den HPG

Bodenparameter	Hauptproduktionsgebiet: Alpenvorland 13.688 Pr. Voralpen 6.162 Pr. Mühlviertel 11.217 Pr.	Mean	SD	95% Confidence Interval		Homogen. Subsets
				Lower Bound	Upper Bound	
Humus in %	Alpenvorland	<b>6,17</b>	2,18	6,14	6,21	<b>a</b>
	Voralpen	<b>7,54</b>	2,37	7,49	7,60	<b>c</b>
	Wald- und Mühlviertel	<b>6,54</b>	2,07	6,50	6,58	<b>b</b>
Corg-Vorrat in t/ha bis 10 cm	Alpenvorland	<b>39,8</b>	10,9	39,7	40,0	<b>a</b>
	Voralpen	<b>46,6</b>	10,9	46,4	46,9	<b>c</b>
	Wald- und Mühlviertel	<b>41,9</b>	10,0	41,7	42,0	<b>b</b>
pH in CaCl <sub>2</sub>	Alpenvorland	<b>5,82</b>	0,59	5,81	5,83	<b>b</b>
	Voralpen	<b>6,02</b>	0,63	6,01	6,04	<b>c</b>
	Wald- und Mühlviertel	<b>5,45</b>	0,46	5,44	5,46	<b>a</b>
mg P-CAL/kg	Alpenvorland	<b>31,6</b>	22,2	31,2	32,0	<b>b</b>
	Voralpen	<b>25,4</b>	19,8	24,8	25,9	<b>a</b>
	Wald- und Mühlviertel	<b>34,2</b>	25,5	33,8	34,6	<b>c</b>
mg K-CAL/kg	Alpenvorland	<b>129</b>	75	127	130	<b>b</b>
	Voralpen	<b>124</b>	86	122	127	<b>a</b>
	Wald- und Mühlviertel	<b>197</b>	138	195	199	<b>c</b>

Die Auswertung nach HPG erfolgte in derselben Form wie im vorherigen Abschnitt.

Die Daten der Bodenparameter nach KPG sind komprimiert, jedoch sind auch weitere statistische Detailauswertungen mit dem Datensatz möglich. Die gesamte Grünlandfläche an dieser Maßnahme lag bei über 133.000 ha in OÖ und Salzburg, die Anzahl der Bodenproben und die Mittelwerte und Standardabweichung ist in der folgenden Tabellen nach KPG enthalten.

Tabelle 18: Bodenparameter der Proben im Rahmen des Vorbeugenden Grundwasserschutz in OÖ und Salzburg mit Humusgehalt < 15 % in den KPG (sortiert nach Bundesland und KPG)

Kleinproduktions-Gebiet	N	Humus in %		Corg-Vorrat		pH-Wert		mg P-CAL/kg		mg K-CAL/kg	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<b>Altheim-Obernberger G.</b>	88	<b>5,45</b>	1,28	<b>36,5</b>	7,0	<b>5,78</b>	0,47	<b>42,2</b>	37,5	<b>123</b>	65
<b>Grieskirchen-Kremsmünster G.</b>	1.277	<b>6,40</b>	2,06	<b>41,1</b>	10,1	<b>5,94</b>	0,59	<b>29,9</b>	19,9	<b>134</b>	67
<b>Oberes Innviertel</b>	1.829	<b>6,08</b>	1,99	<b>39,5</b>	9,9	<b>5,82</b>	0,57	<b>30,3</b>	22,2	<b>128</b>	82
<b>OÖ. Zentralraum</b>	329	<b>4,80</b>	1,49	<b>32,7</b>	8,3	<b>6,04</b>	0,67	<b>36,6</b>	29,6	<b>148</b>	100
<b>Rieder Gebiet</b>	2.068	<b>5,84</b>	1,57	<b>38,5</b>	8,1	<b>5,68</b>	0,53	<b>33,7</b>	21,4	<b>137</b>	75
<b>Vöcklabrunner G.</b>	2.393	<b>6,51</b>	1,96	<b>41,8</b>	9,6	<b>5,69</b>	0,47	<b>27,3</b>	17,4	<b>135</b>	68
<b>Hochlagen des Mühlviertels</b>	4.544	<b>7,20</b>	2,32	<b>45,0</b>	10,9	<b>5,44</b>	0,46	<b>35,8</b>	29,0	<b>213</b>	134
<b>Mittellagen des Mühlviertels</b>	6.673	<b>6,09</b>	1,74	<b>39,7</b>	8,8	<b>5,46</b>	0,46	<b>33,1</b>	22,6	<b>187</b>	140
<b>Äußeres Salzkammergut</b>	2.011	<b>6,89</b>	1,95	<b>43,7</b>	9,4	<b>5,87</b>	0,54	<b>22,7</b>	12,8	<b>132</b>	88
<b>Inneres Salzkammergut, Eisenw.</b>	3.273	<b>8,11</b>	2,45	<b>49,3</b>	11,0	<b>6,15</b>	0,63	<b>24,2</b>	21,9	<b>128</b>	88
<b>Flachgau</b>	5.165	<b>6,09</b>	2,49	<b>39,2</b>	12,5	<b>5,84</b>	0,61	<b>32,8</b>	21,7	<b>122</b>	73
<b>Halleiner Becken</b>	539	<b>7,49</b>	2,48	<b>46,3</b>	11,6	<b>6,30</b>	0,71	<b>35,0</b>	37,7	<b>112</b>	88
<b>Salzkammergut</b>	460	<b>6,96</b>	2,08	<b>44,0</b>	10,2	<b>5,88</b>	0,66	<b>36,5</b>	21,7	<b>94</b>	65
<b>Tennengau</b>	418	<b>6,87</b>	2,65	<b>43,1</b>	12,4	<b>5,96</b>	0,76	<b>34,6</b>	21,5	<b>86</b>	58

#### 4.4.6 Einfluss von Schnitthäufigkeit und GVE/ha auf Humusgehalt, Corg-Vorrat und weitere Bodenparameter in den HPG und ausgewählten KPG in OÖ

Je nach Intensität der Bewirtschaftung kann Dauergrünland in Wirtschafts- und Extensivgrünland eingeteilt werden. Wiesen, Weiden und Mähweiden mit mehr als zwei Nutzungen pro Jahr und regelmäßiger Düngung zählen zum Wirtschaftsgrünland. Das Extensivgrünland wird ein- bis zweimal pro Jahr gemäht oder extensiv beweidet (unter 1.0 GVE pro Hektar und Jahr) und in der Regel nicht gedüngt. Eine intensive (ertragsbetonte) Grünlandbewirtschaftung bedeutet mehr als vier Nutzungen pro Jahr oder eine intensive Beweidung (über 1.5 GVE pro Hektar und Jahr) verbunden mit regelmäßiger Düngung der Aufwüchse. Intensivgrünland muss regelmäßig nachgesät werden. Der Großteil der Wiesen wird in Österreich drei- bis viermal pro Jahr gemäht, also mittelintensiv genutzt. Die Verminderung der Wurzelmasse und Durchwurzelungstiefe infolge Intensivierung der Grünlandbewirtschaftung erfolgt primär durch Änderungen in der Artenzusammensetzung der Vegetation und durch Änderungen im Deckungsgrad einzelner Arten innerhalb des Pflanzenbestandes. Nährstoffarme, extensiv genutzte Grünlandökosysteme weisen

eine höhere Wurzelmasse, ein höheres Wurzel-Spross-Verhältnis und eine bessere Durchwurzelung des Unterbodens als vergleichbare nährstoffreiche, intensiv genutzte Grünlandökosysteme auf (Bohner et al. 2023).

Von insgesamt über 10.600 Proben liegen die Angaben zur Schnitthäufigkeit der jeweiligen Grünlandfläche, von der die Bodenprobe stammt, vor. In der folgenden Tabelle sind die prozentuellen Anteile der Schnittfrequenz und die entsprechenden Humusgehalte und Corg-Vorräte in der obersten Bodenschicht bis 10 cm in den 3 HGP enthalten. Auf Grund dieser Einschränkung können keine Daten zu tieferen Bodenschichten einbezogen werden. Ein- und zweimähdige Wiesen sind im Datenpool der Bodenproben aus OÖ etwas seltener enthalten als in den INVEKOS-Daten, die etwas höheren Anteile im Alpenvorland und Mühlviertel dieser Kategorien sind in beiden unterschiedlichen Datensätzen (INVEKOS und Praxisflächen) in gleichem Maß abgebildet. Im Alpenvorland wird bei mehr als 26 % der Proben eine fünfmähdige Nutzung angegeben, eine sechsmähdige Nutzung ist mit 2,5 % selten, in beiden anderen HPG reichen die nur sehr geringen Nennungen nicht für eine Auswertung dieser Kategorie. 5-schnittige Wiesen haben in den Voralpen einen Anteil von knapp 10 % und im Mühlviertel von über 3 %.

Bei extensiver Nutzung (ein- bis 2-mähdig) liegen im Mühlviertel die Humusgehalte um etwa 0,6 % sowie die Corg-Vorräte um 3 t/ha höher im Vergleich zum mittelintensiven Wirtschaftsgrünland, in den beiden anderen HPG (Alpenvorland und Voralpen) liegen bei extensiver Nutzung geringere Humuswerte und Corg-Vorräte vor. Bei intensiver Nutzung (5- und 6-Schnitte) liegen im AV im Verleich zu mittelintensiver Nutzung höhere Corg-Gehalte und –Vorräte vor, in den Voralpen und im Mühlviertel geringere, die Trends sind uneinheitlich. Deshalb wurden die KPG mit ausreichenden Datensätzen im einzelnen ausgewertet.

Tabelle 19: Schnitthäufigkeit in %, Humusgehalt und Corg-Vorrat der Tiefenstufe 0-10 cm der Proben in OÖ mit Humusgehalt < 15 % in den HPG

Schnitthäufigkeit lt. Angabe Landwirt	Alpenvorland N = 2.770			Voralpen N = 854			Mühlviertel N = 7.035		
	Anteil in %	Humus in %	Corg- Vorrat	Anteil in %	Humus in %	Corg- Vorrat	Anteil in %	Humus in %	Corg- Vorrat
Wiese-1Schnitt	0,0	n.a.	n.a.	0,1	n.a.	n.a.	0,7	7,22	45,3
Wiese-2Schnitt	2,5	5,84	38,2	6,0	7,79	47,8	5,6	7,61	46,7
Wiese-3Schnitt	18,3	6,10	39,5	32,8	8,49	50,9	52,1	6,99	44,0
Wiese-4Schnitt	46,8	6,42	41,2	49,4	8,00	48,7	36,5	6,93	43,8
Wiese-5Schnitt	26,4	6,52	41,8	9,6	7,67	47,0	3,4	6,60	42,3
Wiese-6Schnitt	2,5	6,85	43,4	0,2	n.a.	n.a.	0,0	n.a.	n.a.
Wiese-Dauerweide	3,5	6,16	39,6	1,9	8,47	50,4	1,7	6,98	43,9

Im KPG Hochlagen des Mühlviertels liegt eine tendenzielle Abnahme beim Corg mit zunehmender Schnittfrequenz bis fünfmähdig vor, in den Mittellagen des MV ist keine weitere Verminderung bei 5-Schnittnutzung erkennbar. Für dieses HPG kann daher gefolgert werden, dass in den Hochlagen die 2-4fach Nutzung hinsichtlich Corg-Pool am günstigsten ist, in den Mittellagen ist standortabhängig eine 3-bis 5fach Nutzung mit Hinblick auf den Corg-Pool auf den dafür geeigneten Standorten möglich, wobei die fünfmähdige Nutzung flächenmäßig von geringer Bedeutung ist.

Tabelle 20: Schnitthäufigkeit in %, Humusgehalt und Corg-Vorrat der Tiefenstufe 0-10 cm der Proben in OÖ mit Humusgehalt < 15 % in 3 ausgewählten KPG (Mühlviertel und Vöcklabrucker G.)

Schnitthäufigkeit lt. Angabe Landwirt	Hochlagen des Mühlviertels N = 3.171			Mittellagen des Mühlviertels N = 3.864			Vöcklabrucker Gebiet N = 633		
	Anteil in %	Humus in %	Corg- Vorrat	Anteil in %	Humus in %	Corg- Vorrat	Anteil in %	Humus in %	Corg- Vorrat
Wiese-1Schnitt	1,0	7,28	45,6	0,4	7,10	44,9	0,2	n.a.	n.a.
Wiese-2Schnitt	7,9	8,48	50,8	3,7	6,08	39,5	2,6	6,55	42,0
Wiese-3Schnitt	55,7	7,73	47,4	49,2	6,31	40,7	18,1	7,11	44,5
Wiese-4Schnitt	31,9	7,68	47,3	40,3	6,44	41,5	45,6	7,19	44,9
Wiese-5Schnitt	2,2	7,33	45,8	4,4	6,31	40,9	25,9	7,27	45,5
Wiese-6Schnitt	0,0	n.a.	n.a.	0,0	n.a.	n.a.	2,5	6,60	42,2
Wiese-Dauerweide	1,3	8,79	52,4	2,0	6,00	39,3	5,2	6,56	41,3

In den 4 KPG des Alpenvorlandes haben die 5- und 6-Schnitt Wiesen eine höhere Frequenz, die Anteile liegen zwischen 22 % im Grieskirchen-Kremsmünster Gebiet bis 46 % im Oberen Innviertel. Bei fünfmähdiger Nutzung sind die Corg-Pools in allen KPG etwas höher oder in demselben Bereich wie bei 3- bis 4-Schnitt-Nutzung, auf den Standorten mit 6-Schnittnutzung liegen die Corg-Pools mit Ausnahme vom Vöcklabrucker Gebiet über den Vorräten bei mittelintensiver Nutzung. Ob dabei bereits Effekte einer Übernutzung mit höherem Wurzelwachstum in der obersten Bodenschicht zu diesem Ergebnis führen, kann mit den vorliegenden Daten nicht beantwortet werden.



Tabelle 21: Schnitthäufigkeit in %, Humusgehalt und Corg-Vorrat der Tiefenstufe 0-10 cm der Proben in OÖ mit Humusgehalt < 15 % in 3 ausgewählten KPG im Alpenvorland

Schnitthäufigkeit lt. Angabe Landwirt	Grieskirchen- Krems- münster Gebiet N = 685			Oberes Innviertel N = 415			Rieder Gebiet N = 830		
	Anteil in %	Humus in %	Corg- Vorrat	Anteil in %	Humus in %	Corg- Vorrat	Anteil in %	Humus in %	Corg- Vorrat
Wiese-1Schnitt	0,0	n.a.	n.a.	0,0	n.a.	n.a.	0,0	n.a.	n.a.
Wiese-2Schnitt	2,0	6,36	41,0	1,4	6,24	39,3	1,8	5,12	34,6
Wiese-3Schnitt	20,7	5,92	38,7	11,3	7,27	45,5	13,6	5,86	38,5
Wiese-4Schnitt	51,7	6,84	43,2	39,3	6,59	42,1	51,1	5,69	37,6
Wiese-5Schnitt	20,3	6,73	42,8	40,5	6,42	41,4	28,8	6,01	39,2
Wiese-6Schnitt	2,0	7,40	46,1	5,3	6,80	43,0	2,2	6,69	42,9
Wiese-Dauerweid.	3,2	5,84	38,2	2,2	6,75	42,4	2,5	6,32	40,7

In den vier KPG im oberösterr. Alpenvorland liegt der Grünlandanteil an der gesamten LN zwischen 19 bis 57 %, es besteht daher eine Konkurrenz zwischen GL- und Ackernutzung, wobei geeignete günstige Standorte als Ackerflächen verwendet werden. Der flächenmäßig größere Anteil des Grünlandes wird im Alpenvorland mittelintensiv mit 3-4 Schnitten genutzt. Klima- und standortbedingt sind GL-Flächen vorhanden, bei denen eine höhere Nutzungsfrequenz ohne negative Auswirkungen auf die Corg-Vorräte möglich ist. In der Beratung im Rahmen des Vorbeugenden Grundwasserschutzes hinsichtlich Nutzungshäufigkeit ist auf Standortverhältnisse besonders einzugehen.

In den KPG des Alpenvorlandes in Salzburg spielt die Ackernutzung mit 10 % Anteil eine viel geringere Rolle als in OÖ. Der geeignete Flächenanteil mit einer intensiven Nutzung (fünf- und mehrmähdig) wird daher dort höher sein können.

Auch der GVE-Besatz pro ha LN ist als Indikator für die Nutzungsintensität geeignet. Dafür stehen von allen Bodenproben durch Verknüpfung mit den INVEKOS-Daten die Informationen zur Verfügung. Der Viehbesatz ist in den KPG der Voralpen und des Mühlviertels geringer als im Alpenvorland, mit Ausnahme des OÖ. Zentralraums, wo die Tierhaltung eine geringere Rolle spielt.

Tabelle 22: Korrelationen zwischen GVE/ ha LN und Bodenparameter in den 14 KPG

Kleinproduktionsgebiete	GVE/ ha LN			Bodenparameter: pH in CaCl <sub>2</sub> , mg P-CAL/kg, mg K-CAL/kg, Humus in %, C-Vorrat bis 10 cm				
	N	Mean	SD	pH-Wert	Phosphor	Kalium	Humus	C-Vorrat
Altheim- Obernberger Gebiet	93	1,57	0,79	0,336**	0,066	0,165	-0,112	-0,136
Grieskirchen-Kremsmünster Gebiet	1.383	1,53	0,57	0,057*	,181**	,132**	-0,036	-0,033
Oberes Innviertel	1.979	1,48	0,50	,058**	,157**	,085**	-0,024	-0,022
Oberösterreichischer Zentralraum	339	1,25	0,58	-,129*	0,030	0,093	-0,091	-0,077
Rieder Gebiet	2.163	1,53	0,51	,046*	,130**	,066**	0,009	0,009
Vöcklabrucker Gebiet	2.455	1,59	0,52	0,027	,115**	,171**	0,005	0,010
Hochlagen des Mühlviertels	4.938	1,20	0,47	,159**	,161**	,104**	-0,002	-0,001
Mittellagen des Mühlviertels	7.216	1,38	0,77	,095**	,073**	0,004	,086**	,085**
Äußeres Salzkammergut	2.180	1,31	0,43	,082**	,236**	,144**	-0,010	-0,011
Inneres Salzkammergut, Eisenwurzen	3.394	1,29	0,44	0,005	,110**	,065**	-,086**	-,091**
Flachgau	5.165	1,45	0,47	,039**	,094**	,092**	-0,025	-0,027
Halleiner Becken	539	1,39	0,65	0,064	0,064	-0,007	-,110*	-,102*
Salzkammergut	460	1,33	0,48	0,075	,115*	0,034	0,050	0,052
Tennengau	418	1,27	0,50	-0,059	0,092	0,027	-0,036	-0,037

Der GVE-Besatz wurde mit allen Bodenparametern korreliert. Es bestehen insgesamt nur sehr geringe bzw. schwache Beziehungen; auf Grund der hohen Probenzahlen ergeben sich dennoch häufig signifikante und hochsignifikante Korrelationen. Zwischen pH-Wert und den verfügbaren Phosphor- und Kaliumgehalten liegen meist positive Beziehungen vor, ein höherer Tierbestand geht mit höheren Nährstoffgehalten und pH-Werten einher. Zwischen dem GVE-Besatz und dem Humusgehalt bzw. Corg-Vorrat besteht in den meisten KPG kein signifikanter Zusammenhang. Bei höherem Tierbestand werden entsprechend mehr Nährstoffe rückgeführt, Auswirkungen auf den Corg-Pool sind nicht ableitbar.

Auf Grünland überwiegen die standörtlichen Abhängigkeiten von Klima, Bodenart und Bodenform auf die Bodenparameter, Effekte der Bewirtschaftung sind im Rahmen von standortangepasster Intensität und Kreislaufwirtschaft nur in geringem Ausmaß nachweisbar.

#### 4.4.7 Statistik der Bodenparameter von Betrieben mit bzw. ohne Milchlieferung

In der folgenden Auswertung wurde zwischen Betrieben mit und ohne Milchlieferung unterschieden, weil bei Milchkühen die Nährstoffausscheidung deutlich über jener bei Mutterkuhhaltung oder Rindermast liegt.

Tabelle 23: Mittelwerte der Bodenparameter (0-10 cm) der Betriebe mit und ohne Milchlieferung in den HPG

Bodenparameter	Hauptproduktionsgebiet	Mit Milchlieferung			Ohne Milchlieferung			%
		Mean	SD	N	Mean	SD	N	
Humus in %	Alpenvorland	<b>6,19</b>	2,16	10.759	<b>6,15</b>	2,24	3.350	<b>100,7</b>
	Voralpen	<b>7,50</b>	2,37	4.324	<b>7,76</b>	2,41	2.116	<b>96,5</b>
	Mühlviertel	<b>6,68</b>	2,05	7.760	<b>6,51</b>	2,20	4.397	<b>102,6</b>
Corg-Vorrat in t/ha bis 10 cm	Alpenvorland	<b>40,0</b>	10,8	10.759	<b>39,7</b>	11,1	3.350	<b>100,7</b>
	Voralpen	<b>46,4</b>	10,9	4.324	<b>47,7</b>	11,0	2.116	<b>97,4</b>
	Mühlviertel	<b>42,6</b>	9,9	7.760	<b>41,6</b>	10,7	4.397	<b>102,3</b>
pH in CaCl <sub>2</sub>	Alpenvorland	<b>5,81</b>	0,57	10.759	<b>5,86</b>	0,62	3.350	<b>99,1</b>
	Voralpen	<b>6,01</b>	0,62	4.324	<b>6,05</b>	0,65	2.116	<b>99,3</b>
	Mühlviertel	<b>5,52</b>	0,46	7.760	<b>5,40</b>	0,47	4.397	<b>102,1</b>
mg P-CAL/kg	Alpenvorland	<b>32</b>	21	10.759	<b>32</b>	26	3.350	<b>100,8</b>
	Voralpen	<b>27</b>	21	4.324	<b>22</b>	17	2.116	<b>119,7</b>
	Mühlviertel	<b>35</b>	24	7.760	<b>34</b>	28	4.397	<b>105,3</b>
mg K-CAL/kg	Alpenvorland	<b>132</b>	75	10.759	<b>120</b>	73	3.350	<b>109,5</b>
	Voralpen	<b>129</b>	87	4.324	<b>115</b>	81	2.116	<b>112,1</b>
	Mühlviertel	<b>210</b>	149	7.760	<b>188</b>	126	4.397	<b>111,6</b>

Der deutlichste Effekt ist mit um 10 % höheren Kalium-CAL-Gehalten einheitlich in allen 3 HPG gegeben, was mit der hohen Rückführung des Kaliums in den Wirtschaftsdüngern erklärt werden kann. Ausgehend von einem sehr niedrigen Gehalt bei Phosphor liegt nur im HPG Voralpen eine deutliche Erhöhung bei Milchlieferung vor, was auf zusätzliches Phosphor in den Rationen zurückgeführt werden könnte. Bei den weiteren Parametern (pH-Wert, Humus und C-Vorrat) liegen die Unterschiede innerhalb von 3 %.

Wie bereits angeführt, sind nur spezifische Effekte der Bewirtschaftung bei den Bodenparametern nachweisbar. Der positive Zusammenhang beim Kalium war auch beim Viehbasatz in fast allen KPG ersichtlich.

#### 4.4.8 Statistik der Bodenparameter von biologisch und konventionell wirtschaftenden Betrieben

In der folgenden Auswertung wurde zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen biologisch und konventionell unterschieden.

Tabelle 24: Mittelwerte der Bodenparameter (0-10 cm) bei biolog. und konventionell wirtschaftenden Betriebe in den HPG

Bodenparameter	Hauptproduktionsgebiet	Biolog. Bewirtschaftung			Konvent. Bewirtschaftung			%
		Mean	SD	N	Mean	SD	N	
Humus in %	Alpenvorland	<b>6,03</b>	2,31	4.391	<b>6,25</b>	2,11	9.435	<b>96,3</b>
	Voralpen	<b>7,57</b>	2,38	2.585	<b>7,60</b>	2,40	3.657	<b>99,6</b>
	Mühlviertel	<b>6,57</b>	2,21	3.938	<b>6,66</b>	2,05	7.761	<b>98,7</b>
C_Vorrat_10cm_in t_ha	Alpenvorland	<b>39,0</b>	11,6	4.391	<b>40,3</b>	10,5	9.435	<b>96,6</b>
	Voralpen	<b>46,8</b>	10,9	2.585	<b>46,9</b>	11,0	3.657	<b>99,7</b>
	Mühlviertel	<b>41,9</b>	10,6	3.938	<b>42,5</b>	9,9	7.761	<b>98,7</b>
pH in CaCl2	Alpenvorland	<b>5,83</b>	0,62	4.391	<b>5,82</b>	0,57	9.435	<b>100,2</b>
	Voralpen	<b>6,00</b>	0,64	2.585	<b>6,04</b>	0,62	3.657	<b>99,4</b>
	Mühlviertel	<b>5,46</b>	0,47	3.938	<b>5,48</b>	0,47	7.761	<b>99,6</b>
mg P-CAL/kg	Alpenvorland	<b>29</b>	22	4.391	<b>33</b>	23	9.435	<b>87,1</b>
	Voralpen	<b>24</b>	17	2.585	<b>27</b>	21	3.657	<b>87,2</b>
	Mühlviertel	<b>32</b>	25	3.938	<b>36</b>	26	7.761	<b>87,5</b>
mg K-CAL/kg	Alpenvorland	<b>125</b>	76	4.391	<b>131</b>	74	9.435	<b>95,4</b>
	Voralpen	<b>118</b>	68	2.585	<b>129</b>	96	3.657	<b>91,1</b>
	Mühlviertel	<b>202</b>	165	3.938	<b>203</b>	130	7.761	<b>99,1</b>

Die markantesten Unterschiede liegen beim Phosphor in CAL vor, in allen HPG liegen die Werte um über 12 % bei biolog. Bewirtschaftung im Mittel niedriger. Als mögliche Ursachen dafür können Zusätze in den Futterrationen oder zusätzlicher Einsatz von P-Düngemitteln genannt werden. Beim Kalium sind im Mühlviertel keine Unterschiede feststellbar, was mit den hohen Gehalten aus dem bodenbildenden kristallinen Substrat erklärt werden kann; im Alpenvorland und in den Voralpen sind die K-Gehalte bei Bio-Betrieben um 5 bzw. 9 % niedriger, was auf die etwas geringeren GVE-Dichten bei den Biobetrieben zurückgeführt werden kann.

#### 4.4.9 Zeitliche Veränderung der Corg - Parameter in den HPG und KPG in OÖ

Auf die unterschiedlichen Motive zur Bodenbeprobung (Aktionen des Landes OÖ, Beratungsprojekt der Landwirtschaftskammer, Verpflichtung bei ÖPUL-Maßnahmen) wurde bereits hingewiesen, wodurch die Eignung für eine zeitliche Vergleichsauswertung etwas eingeschränkt ist. Auf eine weitere Differenzierung wurde auch verzichtet, weil aus dem Jahr 2009 weit weniger Daten vorliegen im Vergleich zu den jüngsten Daten von 2018 bis 2020. Es handelt sich um keine abhängigen Proben (wobei dieselbe Fläche nach 10 Jahren wieder in gleicher Weise beprobt wird) , sondern es wurden nach KPG die Mittelwerte von allen vorhandenen Grünlandproben gegenüber gestellt. Die Originalanalysewerte eines Labors wurden, nach Feststellung eines methodischen Fehlers mittels eines Vergleichsprobensatzes mit 60 Proben, mit einem daraus ermittelten Faktor einheitlich korrigiert.

Tabelle 25: Mittelwerte der Humusgehalte (0-10 cm) aus 2 Perioden in den KPG in OÖ

Kleinproduktionsgebiet	Humus in %: 2009			Humus in %: 2018-2020			Differenz
	Mean	SD	N	Mean	SD	N	
Altheim- Obernberger Gebiet	<b>4,01</b>	0,73	26	<b>5,52</b>	1,31	93	1,52
Grieskirchen- Kremsmünster G.	<b>5,72</b>	1,80	277	<b>6,39</b>	2,03	1.383	0,67
Oberes Innviertel	<b>6,20</b>	1,97	400	<b>6,12</b>	2,00	1.979	-0,08
OÖ. Zentralraum	<b>4,45</b>	1,44	107	<b>4,79</b>	1,48	339	0,33
Rieder Gebiet	<b>5,34</b>	1,54	306	<b>5,86</b>	1,58	2.163	0,52
Vöcklabrucker Gebiet	<b>5,99</b>	2,05	117	<b>6,54</b>	1,96	2.455	0,55
Hochlagen des Mühlviertels	<b>6,66</b>	2,55	979	<b>7,30</b>	2,36	4.938	0,65
Mittellagen des Mühlviertels	<b>5,65</b>	1,81	1.846	<b>6,15</b>	1,76	7.219	0,50
Äußeres Salzkammergut	<b>6,86</b>	2,06	54	<b>6,97</b>	1,98	2.180	0,10
Inneres Salzkammergut, Eisenw.	<b>7,71</b>	2,19	454	<b>8,15</b>	2,48	3.394	0,43
Total	<b>6,09</b>	2,16	4.566	<b>6,70</b>	2,18	26.143	0,61

In allen KPG, mit Ausnahme im KPG Oberes Innviertel wurde eine Zunahme des Humusgehaltes festgestellt. In den meisten KPG liegen diese bei +0,43 % bis +0,67 % Humus in einem engen Bereich. Im Äußeren Salzkammergut und im Oberen Innviertel liegt der Unterschied zwischen +0,10 bis – 0,08 % Humus. Der sehr große Unterschied im KPG Altheim-Obernberger G. ist wegen der geringen Anzahl (26 Proben im Jahr 2009) sehr unsicher.

Bei den Corg-Vorräten ergeben sich naturgemäß fast idente Unterschiede, die entsprechend der Berechnungsprozedur (bei höheren Humuswerte wird eine etwas geringere Lagerungsdichte angenommen) aber etwas geringer sind.

Tabelle 26: Mittelwerte der errechneten Corg-Vorräte aus 2 Perioden in den KPG

Kleinproduktionsgebiet	Corg in t/ha bis 10 cm: 2009			Corg in t/ha bis 10 cm: 2018-2020			Differenz/ Jahr in t Corg/ha
	Mean	SD	N	Mean	SD	N	
Altheim- Oberberger Gebiet	<b>28,4</b>	4,4	26	<b>36,9</b>	7,1	93	0,85
Grieskirchen- Kremsmünster G.	<b>37,7</b>	9,4	277	<b>41,1</b>	10,0	1.383	0,34
Oberes Innviertel	<b>40,1</b>	9,8	400	<b>39,7</b>	10,0	1.979	-0,04
OÖ. Zentralraum	<b>30,8</b>	8,2	107	<b>32,7</b>	8,2	339	0,19
Rieder Gebiet	<b>35,7</b>	8,4	306	<b>38,6</b>	8,2	2.163	0,28
Vöcklabrucker Gebiet	<b>39,0</b>	10,4	117	<b>41,9</b>	9,6	2.455	0,29
Hochlagen des Mühlviertels	<b>42,1</b>	12,5	979	<b>45,5</b>	11,0	4.938	0,34
Mittellagen des Mühlviertels	<b>37,3</b>	9,6	1.846	<b>40,0</b>	8,9	7.219	0,27
Äußeres Salzkammergut	<b>43,5</b>	10,0	54	<b>44,0</b>	9,5	2.180	0,06
Inneres Salzkammergut, Eisenw.	<b>47,6</b>	9,8	454	<b>49,4</b>	11,1	3.394	0,18

Von besonderer Relevanz ist die letzte Spalte der Tabelle, in der Differenzen in t Corg pro ha und Jahr im Verlauf der 10 Jahre angeführt sind: Jährliche Zunahmen von 0,18 bis 0,34 t Corg pro ha und Jahr in 7 KPG. Auf Basis der im Projekt exakt ermittelten Corg-Vorräte von 10 repräsentativen Standorten in OÖ mit 72 t in der Schicht von 0 bis 30 cm wurde mit jährlichen Zunahmen von 0,3 t Corg fast punktgenau das propagierte 4 Promille Ziel (jährliche Zunahme des Corg-Pools um 0,4 % in der Bodenschicht bis 30 cm) in 5 von 9 KPG in OÖ erreicht. In 2 KPG ergeben sich jährliche Zunahmen von 0,18 t Corg, was einer Zunahme von 2,5 Promille entspricht, und in 2 KPG bleibt der C-Vorrat unverändert, kann also stabil gehalten werden. Die Gründe für die festgestellten Zunahmen der Corg-Vorräte in den untersuchten Grünlandböden sind nicht bekannt. Aber auch von Wenzel et al. (2022) wurden in NÖ. bei Wiederholungsuntersuchungen von Bodenzustandsinventurdaten Zunahmen der Corg-Vorräte im Grünland nachgewiesen.

Eine weitergehende Prüfung der zeitlichen Veränderungen der Bodenparameter wird mit den Bodendaten vom Grünland vorgeschlagen, die im aktuellen ÖPUL 2023 – 2027 bei der Maßnahme „Humuserhalt und Bodenschutz im Grünland“ vorgesehen sind. Die Voraussetzungen zur Teilnahme haben sich nur unwesentlich verändert, sodass die Bodenprobenziehungen weitgehend mit der Vorgangsweise aus der Vorperiode ÖPUL 2014-2020 übereinstimmt. Daher wurden explizit diese Ergebnisse der ÖPUL-Maßnahme nach HPG und KPG zur weiteren Verwendung für zukünftige Evaluierungen ausgewertet.

## 4.5 Beziehung von standörtlichen und regionalen Klimadaten und Kohlenstoffvorräten

Die Klimadatenauswertung auf den Schwerpunkten der Acker- und Grünlandflächen je Katastralgemeinde für die Klimanormalperioden 1961 – 1990 und 1991 – 2020 mit Hilfe des OpenDataCube (ODC) der Bundesanstalt für Agrarwirtschaft und Bergbauernfragen wurde für das Projekt zur Verfügung gestellt, um den oft genannten Zusammenhang zwischen den Bodenwasserverhältnissen und dem Humusgehalt und –vorrat zu quantifizieren.

Folgende Klimaparameter sind für jede Katastralgemeinde verfügbar: Klimatische Wasserbilanz, Hitzetage, mittlerer Monats- und Jahresniederschlag, Mittelwert der Tagesmaximaltemperaturen in der Vegetationsperiode zur Ermittlung der Anzahl von Hitzetagen, Monats- und Jahresmitteltemperatur sowie Anzahl der Tage, die in eine Trockenperiode von 10 oder mehr Tagen fallen sowie die Höhenlage (Seehöhe) im m.

### 4.5.1 18 Langzeitversuchsflächen aus dem Trockenschadenprojekt

Für alle 18 Langzeitversuchsflächen aus dem Trockenschadenprojekt (DW-NET4, siehe Kap. 3.3) wurden die Korrelationen zwischen den Kohlenstoffvorräten im Feinboden ( $\text{SOC}_{\text{FB}}$ ) in 0-10 cm Bodentiefe und folgenden Klimaparametern (Mittelwerte 2000-2020) ausgewertet (Daten der Bundesanstalt für Agrarwirtschaft und Bergbauernfragen, ODC Open Data Cube):

- mittlere Lufttemperatur: Jahresmitteltemperatur = Durchschnitt der 12 Monatsmitteltemperaturen, diese Jahresmitteltemperatur über die 20 Jahre gemittelt.
- Niederschlag: die gesamte Niederschlagshöhe eines Jahres gemittelt über die 20 Jahre, Einheit mm/Jahr
- Klimatische Wasserbilanz: Jahresbilanz berechnet durch Niederschlag (Summe einzelner Tage im Jahr) minus Evapotranspiration (Summe einzelner Tage im Jahr). Diese Jahresbilanz wurde dann über 20 Jahre gemittelt.

Die Ergebnisse der Korrelationsberechnungen sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 27: Korrelationsmatrix (Pearson Korrelationskoeffizient und Signifikanzniveau: ns – nicht signifikant ( $p > 0.05$ ), \* ( $p < 0.05$ ), \*\* ( $p < 0.01$ )) der Klimadaten (Mittelwerte 2000-2020) mit SOC<sub>FB</sub>-Vorräten im DW-NET4 Projekt

	Seehöhe [m a.s.l.]	Lufttemperatur [°C]	Niederschlag [mm Jahr-1]	Klimatische Wasser- bilanz [mm Jahr-1]
SOC <sub>FB</sub> [kg m-3]	0.036 ns	-0.15 ns	0.39 **	0.36 **
Seehöhe [m a.s.l.]		-0.88 **	-0.032 ns	-0.0099 ns
Lufttemperatur [°C]			0.086 ns	0.037 ns
Niederschlag [mm Jahr-1]				0.99 **

Die Korrelationen zwischen den SOC<sub>FB</sub>-Vorräten der 18 Standorte des DW-NET4 Projektes und den dazugehörigen Klimadaten (Mittelwerte aus den Jahren 2000-2020) zeigen signifikant positive Zusammenhänge zwischen den SOC<sub>FB</sub>-Vorräten und dem Niederschlag sowie der klimatischen Wasserbilanz. Wie zu erwarten, ist zudem der Niederschlag mit der klimatischen Wasserbilanz positiv und die Seehöhe mit der Lufttemperatur negativ korreliert.

#### 4.5.2 17 ausgewählte Grünlandstandorte aus OÖ und Salzburg

Von den 17 Katastralgemeinden (KG) der ausgewählten Grünlandstandorte wurden die an den Flächenschwerpunkten der aktuellen Grünlandnutzung definierte Klimaparameter ausgewählt. Es wurde in einem 1. Schritt der verfügbare Basisdatensatz der 30-jährigen Mittel 1991 – 2020 der Klimaparameter Temperatur, Niederschlag, Hitzetage und Klimatische Wasserbilanz den Humusgehalten und den errechneten organischen Kohlenstoff-Vorräten gegenüber gestellt.



Tabelle 28: Klimadaten der 17 KG und Humus- und Corg-Vorrat der ausgewählten Standorte

Num- mer	KG-Name	See- höhe	Wasser- bilanz	Hitze- tage	Nieder- schlag	Temp- eratur	Humus % 0-10 cm	C-Vorrat t 0-10cm
1	Amesreith	851	194	2,9	916	7,5	5,25	33,97
2	Aschenberg	587	414	5,2	1113	8,5	7,93	49,18
3	Grasberg	695	645	5,3	1349	8,8	6,48	40,55
4	Hochburg	449	188	10,1	973	9,5	6,28	42,24
5	Kufhaus	601	521	6,8	1234	9,2	8,67	47,22
6	Mitteregg	569	363	6,9	1089	9,1	4,88	36,34
7	Moos	470	440	8,4	1184	9,6	6,00	40,31
8	Mühlbach	494	483	5,8	1189	8,8	6,40	45,99
9	Ohlsdorf	499	333	11,2	1097	9,9	6,48	38,88
10	Pergkirchen	302	4	14,4	823	10	5,21	37,37
11	Pfarrhofs-	406	113	10,6	888	9,6	4,11	31,16
12	St. Oswald	618	153	8,2	886	8,8	5,18	37,06
13	Adnet I	496	673	10,4	1456	9,8	9,65	54,54
14	Bergheim I	450	499	12,1	1300	10	8,34	48,64
15	Irrsdorf	568	573	7,5	1306	9,5	8,07	52,74
16	Schwerting	442	328	10,5	1110	9,9	7,19	43,53
17	Wald-	572	655	7,3	1385	9,4	6,23	42,21
<b>Minimum</b>		<b>302</b>	<b>4</b>	<b>2,9</b>	<b>823</b>	<b>7,5</b>	<b>4,11</b>	<b>31,16</b>
<b>Mittel</b>		<b>533</b>	<b>387</b>	<b>8,4</b>	<b>1135</b>	<b>9,3</b>	<b>6,61</b>	<b>42,47</b>
<b>Median</b>		<b>499</b>	<b>414</b>	<b>8,2</b>	<b>1113</b>	<b>9,5</b>	<b>6,40</b>	<b>42,21</b>
<b>Standardabweichung</b>		<b>124</b>	<b>203</b>	<b>2,9</b>	<b>191</b>	<b>0,7</b>	<b>1,51</b>	<b>6,54</b>
<b>Maximum</b>		<b>851</b>	<b>673</b>	<b>14,4</b>	<b>1456</b>	<b>10,0</b>	<b>9,65</b>	<b>54,54</b>

Tabelle 29: Korrelationsmatrix der Klimadaten (Mittelwerte 1991-2020) der 17 KG

	Niederschlag in mm pro Jahr	Hitzetage pro Jahr	Mittlere Jahres- temperatur in ° C	Klimatische Wasserbilanz mm
Seehöhe in m	0,141 ns	-0,869 **	-0,852 **	0,267 ns
Niederschlag in mm pro Jahr		-0,178 ns	0,194 ns	0,984 **
Hitzetage pro Jahr			0,888 **	-0,336 ns
Mittlere Jahres- temperatur in ° C				0,047 ns

Die Seehöhe weist eine hochsignifikante negative Beziehung mit der Temperatur und den Hitzetagen auf, es besteht jedoch kein Zusammenhang der Seehöhe mit der Niederschlagsmenge oder der klimatischen Wasserbilanz.

Tabelle 30: Korrelationsmatrix der Klimadaten (Mittelwerte 1991-2020) mit den Corg-Vorräten der 17 Standorte in 3 Bodenschichten

	Seehöhe in m	Niederschlag in mm pro Jahr	Hitzetage pro Jahr	Mittlere Jahres- temperatur in ° C	Klimatische Wasserbilanz
C-Vorrat in t,ha 0 bis 10 cm	-0,073 ns	0,731 **	-0,003 ns	0,230 ns	0,698 **
C-Vorrat in t,ha 0 bis 20 cm	0,165 ns	0,696 **	-0,178 ns	0,021 ns	0,690 **
C-Vorrat in t,ha 20 bis 50 cm	0,233 ns	0,203 ns	-0,185 ns	-0,222 ns	0,213 ns

Es besteht bei diesem Datensatz eine hochsignifikante Beziehung zwischen den C-Vorräten in den Schichten 0-10 cm und 0 -20 cm mit dem Niederschlag in mm pro Jahr und der klimatischen Wasserbilanz, jedoch nicht in der Schicht vom 20 – 50 cm. Die Streuung des Humusgehalts und somit der C-Vorräte in den obersten Schichten von Grünlandmineralböden wird vom standörtlichen Niederschlag und Klima zu etwa 50 % bestimmt, im Unterboden sind keine klimat. Einflüsse feststellbar.

#### 4.5.3 Mittel von den 14 Kleinproduktionsgebieten in OÖ und Salzburg

Nachdem sich die Humusgehalte und Corg-Vorräte in den 14 untersuchten KPG häufig signifikant unterscheiden, wurden die Klimadaten aller Katastralgemeinden eines KPG gemittelt und damit die Korrelationen berechnet. In den untersuchten KPG liegt die jährliche Niederschlagsmenge zwischen 830 und 1730 mm, die klimatische Wasserbilanz liegt zwischen ausgeglichen im KPG OÖ. Zentralraum und + 1000 mm im KPG Salzkammergut in Salzburg.

Tabelle 31: Klimadaten (Mittelwerte 1991-2020) der 14 KPG und mittlerer Humus- und Corg-Vorrat (0-10 cm) der 14 KPG

KPG	An- zahl1	See- höhe	Nieder- schlag	Hitze- tage	Temp- eratur	Wasser- bilanz	Humus in %	C-Vorrat in t,ha
Altheim- Obern- berger Gebiet	119	374	873	10,95	9,63	70	5,19	35,02
Äußeres Salz- kammergut	2234	586	1398	8,16	9,37	666	6,96	43,97
Grieskirchen- Kremsmünster G.	1660	420	971	11,04	9,78	192	6,28	40,54

KPG	Anzahl <sup>1</sup>	Seehöhe	Niederschlag	Hitzetage	Temperatur	Wasserbilanz	Humus in %	C-Vorrat in t/ha
Hochlagen des Mühlviertels	5917	715	921	5,08	7,99	198	7,20	44,90
Inneres Salzkammergut, Eisenw.	3848	590	1461	9,58	9,16	705	8,10	49,19
Mittellagen des Mühlviertels	9065	526	918	8,77	8,89	165	6,05	39,15
Oberes Innviertel	2379	472	1066	9,53	9,63	299	6,13	39,76
OÖ. Zentralraum	446	317	834	14,18	10,13	7	4,71	32,21
Rieder Gebiet	2469	442	973	9,74	9,48	199	5,80	38,22
Vöcklabrucker Gebiet	2572	529	1115	8,16	9,53	388	6,52	41,78
Flachgau	5165	520	1315	9,20	9,63	556	6,09	39,44
Halleiner Becken	539	504	1470	10,81	9,77	680	7,49	46,28
Salzkammergut	460	696	1728	5,89	8,90	1004	6,96	44,03
Tennengau	418	740	1566	6,68	8,60	809	6,87	43,10
<b>Minimum</b>		<b>317</b>	<b>834</b>	<b>5,1</b>	<b>8,0</b>	<b>7</b>	<b>4,71</b>	<b>32,1</b>
<b>Mittel</b>		<b>531</b>	<b>1186</b>	<b>9,1</b>	<b>9,3</b>	<b>424</b>	<b>6,45</b>	<b>41,26</b>
<b>Median</b>		<b>523</b>	<b>1091</b>	<b>9,4</b>	<b>9,5</b>	<b>343</b>	<b>6,40</b>	<b>41,16</b>
<b>Standardabw.</b>		<b>126</b>	<b>295</b>	<b>2,3</b>	<b>0,6</b>	<b>309</b>	<b>0,90</b>	<b>4,48</b>
<b>Maximum</b>		<b>740</b>	<b>1728</b>	<b>14,2</b>	<b>10,1</b>	<b>1004</b>	<b>8,10</b>	<b>49,19</b>

<sup>1</sup> Anzahl der Humuswerte und daraus ermittelter C-Vorrat bis 10 cm im KPG

Die Seehöhe weist eine hochsignifikante negative Beziehung mit der Temperatur und den Hitzetagen auf, zusätzlich besteht ein Zusammenhang der Seehöhe mit der Niederschlagsmenge und der klimatischen Wasserbilanz.

Tabelle 32: Korrelationsmatrix Klimadaten (Mittelwerte 1991-2020) 14 Kleinproduktionsgebiete

	Niederschlag in mm pro Jahr	Hitzetage pro Jahr	Mittlere Jahrestemperatur in ° C	Klimatische Wasserbilanz
<b>Seehöhe in m</b>	0,652 *	-0,919 **	-0,859 **	0,702 **
<b>Niederschlag in mm pro Jahr</b>		-0,444 ns	-0,216 ns	0,996 **

Hitzetage pro Jahr			0,872 **	-0,514 ns
Mittlere Jahres- temperatur in ° C				-0,275 ns

Tabelle 33: Korrelationsmatrix der Klimadaten mit den Corg-Vorräten der 14 KPG

	Seehöhe in m	Niederschlag in mm pro Jahr	Hitzetage pro Jahr	Mittlere Jahres- temperatur in ° C	Klimatische Wasserbilanz
Humus in % bis 10 cm	0,732 **	0,688 *	-0,571 *	-0,500 ns	0,717 **
C-Vorrat in t,ha bis 10 cm	0,733 **	0,689 **	-0,585 *	-0,498 ns	0,720 **

Auch in diesem Datensatz findet sich eine hochsignifikante positive Beziehung zwischen Humusgehalt und C-Vorrat einerseits und der Niederschlagsmenge und der klimat. Wasserbilanz andererseits: Etwa 50 % der Streuung der Humusgehalte und C-Vorräte können durch die Klimadaten erklärt werden. Zu beachten ist weiters, dass stark grundwasserbeeinflusste, hydromorphe Böden (Gley, Augley, Anmoor, Niedermoor), die wegen der gehemmten Mineralisierung aufgrund von nässebedingtem Sauerstoffmangel sehr humusreich sind, nicht in die Auswertung einbezogen sind: Ab einem Humusgehalt von 15 % wurde diese Grenze gesetzt.

#### 4.5.4 Resümee zu Humusgehalt und Corg-Vorräten mit standörtlichen Klimadaten

Mit der Datenverfügbarkeit von Klimadaten auf Ebene der KG ergeben sich neue zusätzliche Auswertungsoptionen. Die genaue Vorgangsweise bei der statistischen Auswertung der Klimadaten ist noch in Diskussion und mit Experten zu spezifizieren. Die hier gefundenen linearen Zusammenhänge sind als vorläufige und sehr vereinfachte Bewertung zu sehen, auch wegen der doch großen Unterschiede der 2 getrennt ausgewerteten standörtlichen Datensätze von 17 und 19 Standorten: Die Streuung der Corg-Vorräte in den mineralischen Oberböden von Grünland wird in den 2 Datensätzen in dem weiten Bereich von 14 bis fast 50 % vom standörtlichen Klima bestimmt. Eine Verbesserung wird dadurch erreicht werden können, wenn z.B. die Bodenform oder die Bodenart als zusätzliche Faktoren einbezogen werden. Denn unter sonst gleichen Bedingungen weisen tonreiche Grünlandböden meist höhere Humusgehalte auf als sandreiche, weil durch die Bindung an Tonminerale der Humus besser vor mikrobiellem Abbau geschützt wird und sich daher in tonreichen Grünlandböden stärker anreichern kann (Bohner et al., 2007). Auf die Abhängigkeit des Humusgehalts von der Wasserhaushaltsstufe wird in einer aktuellen Studie hingewiesen (BML 2022 b): Der Humusgehalt von Grünlandböden ist umso höher, je ungünstiger

die Lebensbedingungen für Bodenorganismen sind, v.a. je niedriger die Bodentemperatur und je höher die Bodenfeuchte ist. Durch unterschiedliche Bewirtschaftung und kulturtechnische Maßnahmen können die Humusgehalte nur langfristig innerhalb verhältnismäßig enger Grenzen verändert werden. Mit den hier vorgestellten Auswertungen wurde ein Schritt zur Quantifizierung dieser genannten Zusammenhänge zwischen C<sub>org</sub>-Vorrat und Klima getan.

Für das Grünland in Deutschland wurden auch Klimadaten und C<sub>org</sub>-Gehalte korreliert, am deutlichsten ist der Einfluss des Jahresgesamtniederschlages auf den C<sub>org</sub>-Gehalt (Drexler et al. 2020).

Es sollte jedenfalls bei zukünftigen Projekten zum Thema Boden, Agrarökologie, Nährstoffeffizienz etc. die Einbeziehung der nun verfügbaren Klimadaten auf Ebene der Katastralgemeinden in Erwägung gezogen und geprüft werden.

#### **4.6 Vorräte an Bodenkohlenstoff auf 17 ausgewählten Standorten und den 10 Probestellen der Grünland-Dauerversuche bis 50 cm Tiefe**

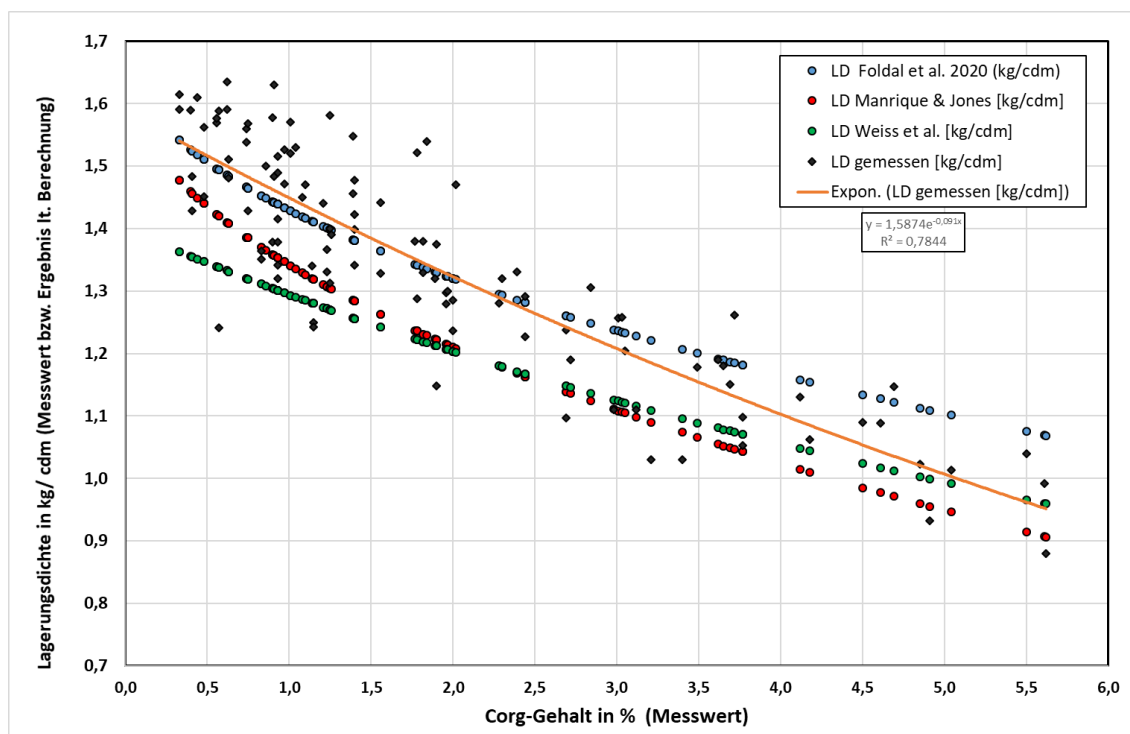
Neben der Bestimmung des C<sub>org</sub>-Gehalts der Bodenproben und des Grobbodenanteils über 2mm (v.a. Steinanteil) in den unterschiedlichen Tiefen ist die jeweilige Lagerungsdichte wesentlich für die exakte Ermittlung des C<sub>org</sub>-Vorrats auf einem Standort. Die konkrete Messung der Lagerungsdichte ist mit großem zeitlichen und apparativen Aufwand für die exakte Beprobung mit den Stechzylindern und anschließende Trocknung verbunden. Bei 4 Wiederholungen pro Bodenschicht und Tiefenstufen von jeweils 10 cm ist die exakte Befüllung von 20 Stechzylindern erforderlich, um von einem Bodenprofil bis 50 cm die Berechnungen durchführen zu können.

Im Rahmen des Projekts wurden insgesamt von 27 Standorten die C<sub>org</sub>-Vorräte im Detail bestimmt. Dazu liegen von insgesamt 107 Tiefenstufen die exakten Bestimmungen der Lagerungsdichten vor. Solche Daten sind erforderlich, um eine möglichst wirklichkeitsnahe Abschätzung der Lagerungsdichten vornehmen zu können zur Berechnung der C<sub>org</sub>-Vorräte. Die meisten Modelle benötigen für diese Abschätzung nur den C<sub>org</sub>-Gehalt.

Die gemessenen Daten wurden mit drei publizierten Modellen verglichen: Manrique & Jones (1991), Weiss et al. (2000) und Foldal et al. (2020). In der folgenden Abbildung sind alle Ergebnisse enthalten, zusätzlich wurde die Beziehung mit der höchsten Bestimmtheit aus den Daten ermittelt, wobei sich ein exponentieller Funktionstyp ergab (gelbe Kurve).

Die Modelle von Manrique & Jones (1991) und Weiss et al. (2000) schätzen die Lagerungsdichte über den gesamten gemessenen Bereich von 0,3 – 5,5 % Corg um etwa 0,10 bis 0,15 kg/cdm niedriger ein als das Modell von Foldal et al. Bezogen auf den Unterboden bei nur niedrigeren Corg-Vorräten ist Abweichung der gemessenen Werte von den berechneten mit 0,2 Einheiten noch größer. In dem relevanten Corg-Bereich für Oberböden von 2,5 – 5,6 % (entspricht 4,5 bis 9,7 % Humus) liegen bei allen 3 Modellen Abweichungen vor, weil die gemessenen Lagerungsdichten eine hohe Variabilität aufweisen. Mit dem in dieser Auswertung verwendeten Modell von Foldal et al. (2020) wird die Lagerungsdichte etwa um 0,1 überschätzt, mit den beiden anderen geprüften Modellen etwas unterschätzt. Bei der Bewertung der ermittelten Corg-Vorräte von den Oberböden ist dies zu berücksichtigen. Das mit den Projektdaten ermittelte Modell für die Abschätzung der Lagerungsdichte liegt zwischen den 3 publizierten Modellen und erreicht bei einem Corg-Gehalt von 5 % eine Lagerungsdichte von 1,0. Für allfällige zukünftige Untersuchungen zur Veränderungen der Corg-Vorräte ist jedenfalls dasselbe Modell zur Abschätzung der Lagerungsdichte auf Basis der Corg-Gehalte zu verwenden. Auch der angenommene Grobanteil von 5 Vol.% (Gerzabek et. al 2005) darf nicht verändert werden.

Abbildung 20: Gemessene und berechnete Lagerungsdichten mit 3 Modellen (n=108) und die exponentielle Funktion aus den gemessenen Daten



Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der ermittelten SOC-Vorräte der 17 Standorte in Oberösterreich und Salzburg. Im Anhang sind die einzelnen Standorte im Detail enthalten, wobei

große Streuungen ersichtlich sind. Ein Zusammenhang mit der Schnitthäufigkeit ist aus den wenigen Daten nicht gegeben, die unterschiedlichen standörtlichen Gegebenheiten, v.a. des Grobanteils bestimmen den Corg-Vorrat wesentlich mit.

Tabelle 34: Mittlere Corg-Vorräte und Anteile in den einzelnen Tiefenstufen sowie kumulierte Anteile bis 50 cm der 17 beprobten Grünland-Standorte in Oberösterreich und Salzburg

Tiefenstufe	Corg-Vorrat	Anteil	Corg-Vorrat	Anteil kumuliert
[cm]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[%]	[t/ha]	[%]
0-10	4,25	45,2	42,5	45,2
10-20	1,81	19,3	18,1	64,5
20-30	1,76	18,7	17,6	83,2
30-40	0,80	8,5	8,0	91,8
40-50	0,77	8,2	7,7	100,0
Tiefenstufe	Corg-Vorrat	Anteil	Corg-Vorrat	Anteil kumuliert
[cm]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[%]	[t/ha]	[%]
0-10	4,25	45,2	42,5	45,2
10-30	3,57	38,0	78,1	83,3
30-50	1,57	16,7	93,9	100,0

Im Mittel beträgt der Corg-Vorrat bis 50 cm Tiefe 94 t/ha, davon liegen 45 % in der obersten Bodenschicht bis 10 cm vor, in der Schicht 10-30 cm 38 % und von 30–50 cm 17 %. Zur Vergleichbarkeit mit den Daten von den Dauerversuchen wurden die Schichten 10 – 30 und 30 – 50 cm zusammengefasst.

In Tabelle 4 (siehe Kap. 4.1) sind die mittleren Ergebnisse der ermittelten SOC-Vorräte der 10 ausgewählten Versuchsvarianten der Versuche der HBLFA Raumberg-Gumpenstein dargestellt. Im Mittel beträgt der Corg-Vorrat bis 50 cm Tiefe 96,4 t/ha, davon liegen mit 35 t 36 % in der obersten Bodenschicht bis 10 cm vor, in der Schicht 10-30 cm sind mit 38 t 37 % und von 30–50 cm 25 t, was 25 % entspricht.

Bei der Bodenzustandserhebung in Deutschland wurde für Grünlandböden ein mittlerer Corg-Vorrat von 88 t/ ha in der Schicht 0 – 30 cm und und insgesamt 135 t/ha bis 1 m Tiefe ermittelt (BMEL 2019). Diese Menge an Corg-Vorrat liegt etwas über den hier ermittelten Werten, was auf den hohen Grobbodenanteil auf den hier ausgewählten Standorten zurückzuführen ist.

## 4.7 Kationenaustauschkapazität: Bewertung unter Einbeziehung der Standard-Bodenparameter

Im Rahmen der Bildungsinitiative Grünland wurde von ausgewählten Bodenproben auch diese Bestimmung durchgeführt sowie weitere Parameter wie Tongehalt nachuntersucht. Somit ist es nun auch von Grünlandböden möglich, die KAK in Abhängigkeit von pH-Wert, Humusgehalt und Bodenschwere zu zeigen.

### 4.7.1 Allgemeine Beschreibung der Funktion der Kationen

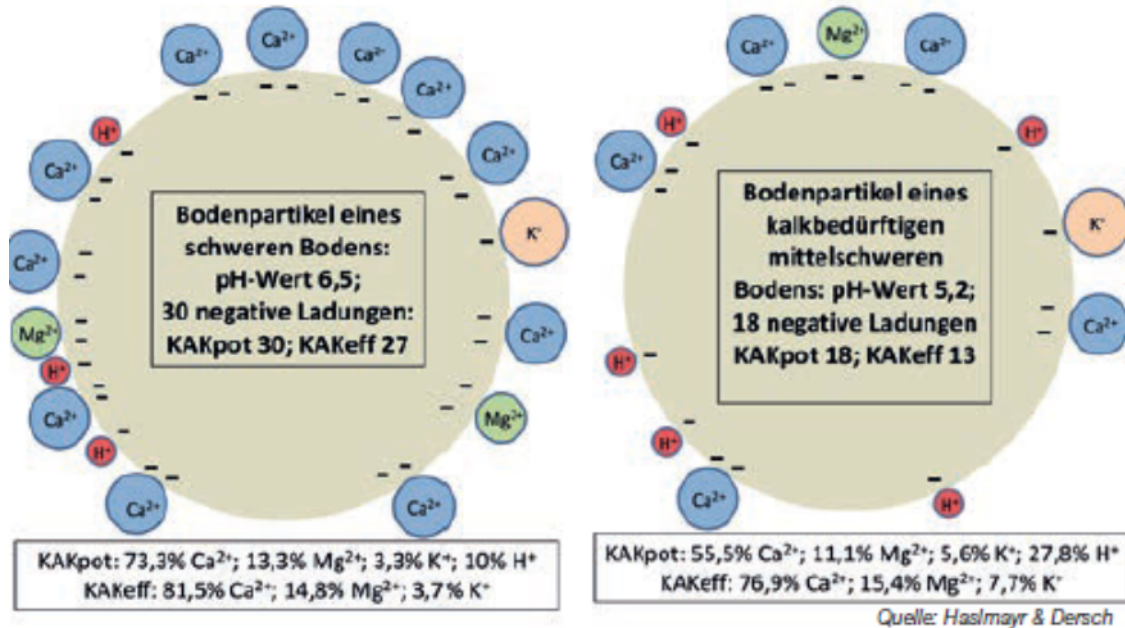
Die Funktion des Bodens als Ionenaustauscher ist eine wesentliche Voraussetzung für die Versorgung der Pflanzen mit Nährstoffen. Ton- und Humusteilchen im Boden weisen eine negative Ladung auf. Daher können an deren Oberflächen positiv geladene Ionen – sogenannte Kationen – andocken und dadurch pflanzenverfügbar gebunden werden. Dazu zählen die dadurch vor Auswaschung geschützten Calcium- (Ca), Magnesium- (Mg), Kalium- (K) und Natrium (Na)-Ionen. Bei starker Versauerung werden diese „basisch wirkenden“ Kationen ausgewaschen und zum Teil durch die „sauer wirkenden“ Aluminium- (Al), Eisen (Fe)- und Mangan (Mn)-Kationen ersetzt, hauptsächlich belegen dann aber saure H<sup>+</sup>-Ionen die Ladungsplätze.

Besonders wirksam sind sehr kleine Bodenpartikel, die eine hohe spezifische Oberfläche besitzen. Im Idealfall ohne jede Verdichtung können Tonteilchen eine innere Oberfläche von ca. 200 m<sup>2</sup>/g und die organische Substanz bei einer ungestörten porösen Struktur von bis zu 1.000 m<sup>2</sup>/g erreichen. Sand hingegen hat nur eine innere Oberfläche von 0,1 m<sup>2</sup>/g, der Schluff etwa 1 m<sup>2</sup>/g.

Daneben beeinflusst auch der pH-Wert die KAK. Dabei unterscheidet man zwischen der effektiven (KAK<sub>eff</sub>) und der potenziellen KAK (KAK<sub>pot</sub>). Die KAK<sub>eff</sub> ist der Anteil an der KAK, der beim aktuellen pH-Wert wirksam als Nährstoffspeicher zur Verfügung steht. Die KAK<sub>pot</sub> stellt hingegen die Gesamtheit aller negativen Ladungsplätze dar. Die KAK<sub>pot</sub> umfasst neben der aktuell wirksamen KAK<sub>eff</sub> auch jene Ladungsplätze, die bei pH-Werten unterhalb des neutralen Bereichs durch die sauer wirkenden H<sup>+</sup>-Ionen – oft auch als potenzielle Säure bezeichnet – blockiert werden. Je niedriger der pH-Wert bzw. je höher die H<sup>+</sup>-Säurekonzentration im Boden ist, desto höher wird dieser Anteil und die KAK<sub>eff</sub> wird entsprechend niedriger. Hingegen sind ab einem pH-Wert von größer als 7,0 - 7,2 keine negativen Ladungsplätze durch saure H<sup>+</sup>-Ionen besetzt. Daher nähern sich KAK<sub>eff</sub> und KAK<sub>pot</sub> bis pH 7,2 an, darüber sind sie gleich groß.



Abbildung 21: Vereinfachte Darstellung der KAK



Links: ein ausgewogenes Verhältnis mit nur wenigen H<sup>+</sup>-Ionen. Rechts: ein hoher H<sup>+</sup> Anteil senkt den pH-Wert und besetzt 28 % der KAKpot. Hier sollte durch die Kalkung 2 H<sup>+</sup> durch Ca<sup>2+</sup> ersetzt werden.

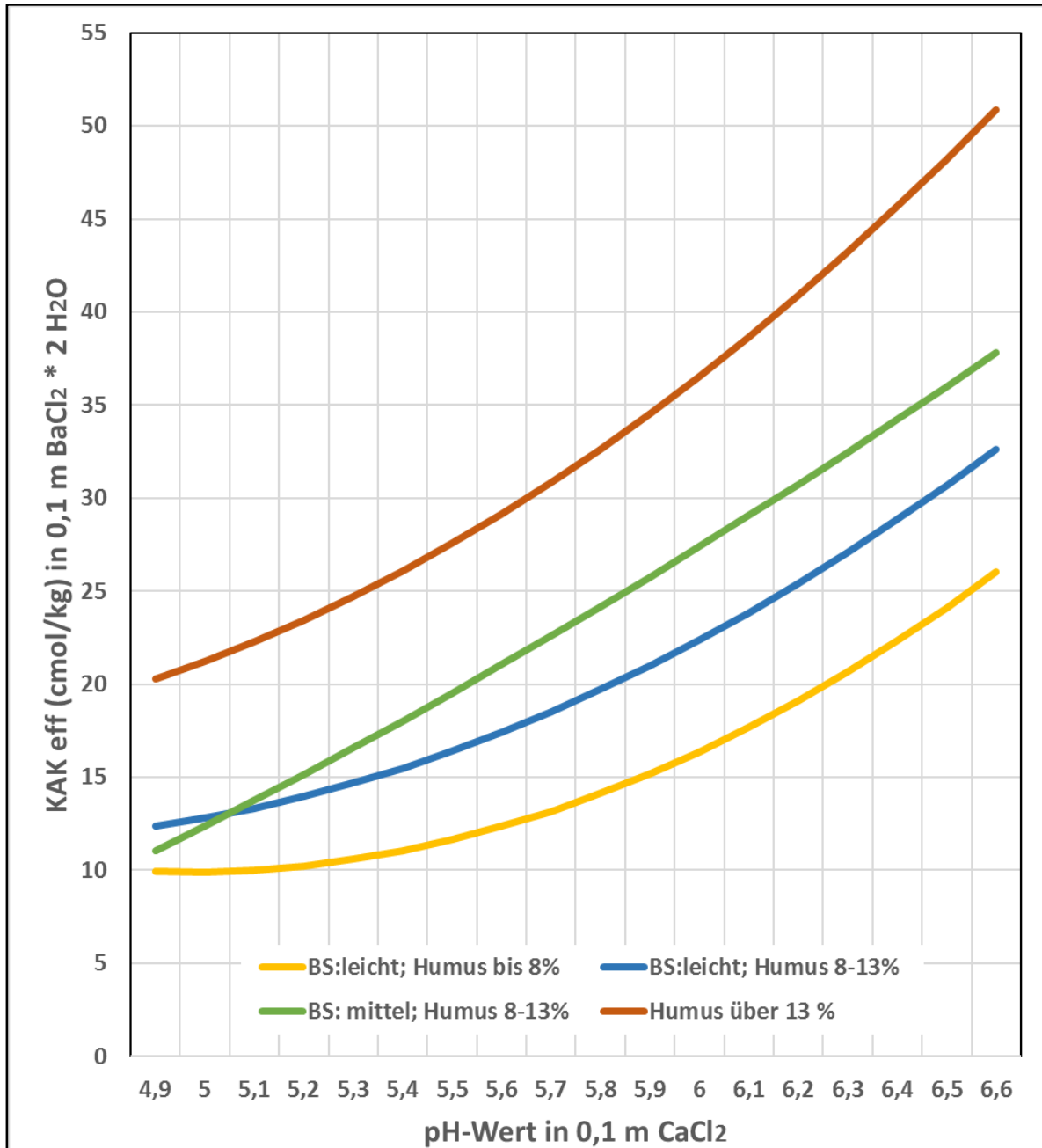
#### 4.7.2 Ergebnisse von den Grünlandböden in OÖ

Ton- und humusreiche Böden haben eine höhere KAK und damit auch ein höheres Speichervermögen als humusarme Sandböden. In der folgenden Abb. ist die KAK für Grünlandböden in OÖ dargestellt: So wie für Ackerland ist die Zunahme der KAKEff mit steigendem pH deutlich ersichtlich, zugleich ist die KAKEff höher als auf Ackerland, bedingt durch den mehr als doppelt so hohen Humusgehalt im Vergleich zu Ackerland. Das höchste Nährstoffspeichervermögen weisen Standorte mit Humusgehalten über 13 % auf. Das Mittel dieser zumeist grundwasserbeeinflussten, hydromorphen Standorte liegt dabei über 18 % Humus. Zu beachten ist jedoch, dass die im Grünland beprobte oberste Bodenschicht nur bis etwa 10-15 cm Tiefe reicht, auf Ackerland hingegen bis etwa 25 cm Tiefe. Auf Grünland ist der Abtrag dieser sehr fruchtbaren Grasnarbe durch Wassererosion minimal, durch das häufige Befahren können jedoch Verdichtungen die Nährstoffspeicherfunktion massiv schädigen. Bei etwa gleich hohem Humusgehalt liegt bei mittelschweren Böden die KAKEff im Vergleich zu leichten Böden um etwa 5 cmol/kg höher.

Durch Einhaltung des auf Grünland anzustrebenden pH-Werts von 5 auf leichten, von 5,5 auf mittleren und von 6,0 auf schweren Böden können auch deutlich mehr Ca- und Mg-Ionen austauschbar gebunden werden, wodurch die Bodenstruktur und die Wasserinfiltration verbessert

wird. Neben der Summe der austauschbaren Kationen sind die Gehalte und Anteile der einzelnen Kationen von Relevanz. Austauschbar vorliegende Aluminium-Ionen zeigen ein gravierendes Versauerungsproblem an. Über einem pH-Wert von 5,5 liegt dieser Anteil fast immer unter 1 %. Bei einem pH-Wert von 5,0 sind etwa 4 % bzw. bei einem pH-Wert von 4,75 sind rund 8 % der KAKeff mit Aluminium-Ionen belegt. Diese Anteile sind wegen des höheren Humusgehalts etwas geringer als auf Ackerland.

Abbildung 22: pH- Einfluss auf die effektive KAK bei Grünlandböden in OÖ für Bodenschwere (BS) leicht und mittel bei unterschiedlichen Humusbereichen (kleiner 8; 8-13 %) und für Standorte mit sehr hohen Humusgehalten (größer 13 %)



#### 4.7.3 Multiple Regressionsanalyse

In Anlehnung an die Studie von Danneberg (1999), zur Abschätzung der austauschbaren Kationen auf landwirtschaftlichen Böden Ostösterreichs mittels Regressionsgleichungen, wurde nun erstmalig auch für oberösterreichische Grünlandstandorte, eine multiple Regressionsanalyse zur Beschreibung der KAK durchgeführt. Zielsetzung dieser Auswertung ist, zu ermitteln, welchen Einfluss der pH-Wert, der

Ton- und Humusgehalt auf die KAK<sub>eff</sub> und KAK<sub>pot</sub> haben, sowie die KAK mittels Regressionsgleichungen abzuschätzen. Für diese Analyse wurde die Datengrundlage von oberösterreichischen Grünlandböden aus dem BIGL-Projekt herangezogen. Die statistische Auswertung wurde mittels dem Statistikprogramm IBM SPSS.Statistic 26 und seiner Prozedur Regression durchgeführt. Die Anwendbarkeit einer multiplen Regressionsanalyse ist auf das Vorhandensein einer Normalverteilung der Daten gebunden. Diese Voraussetzung ist bei Bodendaten häufig nicht gegeben, da aber die meisten statistischen Tests sehr robust gegenüber einer solchen Verletzung der Forderung einer Normalverteilung sind, wurde das Verfahren angewandt (Danneberg, 1999).

Bei der angewandten multiplen Regressionsanalyse ist zu beachten, dass die KAK jeweils die abhängige Variable darstellt. Die unabhängigen Variablen sind der pH-Wert, der Ton- und Humusgehalt. Der Stichprobenumfang von 299 Proben ergibt sich aus der Tatsache, dass bei diesen Proben die Parameter KAK, Humus, pH-Wert und Tongehalt vollständig vorliegen.

Die Regressionsgleichung für die Abschätzung der KAK<sub>eff</sub> sowie der KAK<sub>pot</sub> bei bekanntem Tongehalt, pH-Wert und Humusgehalt hat die Form:

$$\text{KAK}_{\text{eff}} \text{ bzw. } \text{KAK}_{\text{pot}} = \text{Konstante} + B1 \cdot \text{Ton (\%)} + B2 \cdot \text{pH-Wert} + B3 \cdot \text{Humus (\%)}$$

Die folgende Tabelle zeigt die Mittelwerte und die Standardabweichung (s) der beiden KAK-Größen. Dargestellt ist die KAK in cmol/kg als abhängige Variable sowie der Tongehalt, pH-Wert und Humusgehalt als unabhängige Variablen. Der Mittelwert der KAK<sub>eff</sub> beträgt demnach 22,06 cmol/kg und bei KAK<sub>pot</sub> 26,67 cmol/kg. Bei den unabhängigen Variablen besteht aufgrund desselben Datensatzes kein Unterschied beim Mittelwert und s zwischen KAK<sub>eff</sub> und KAK<sub>pot</sub>.

Tabelle 35: Deskriptive Statistikkennzahlen (Mittelwert und Standardabweichung (s)) der unabhängigen Bodenparameter und der KAK<sub>eff</sub> und KAK<sub>pot</sub>.

	KAK <sub>eff</sub> (N=299)		KAK <sub>pot</sub> (N=299)	
	Mittel	s	Mittel	s
KAK (cmol/kg)	22,06	12,25	26,67	11,61
Ton (%)	14,78	4,53	14,78	4,53
pH-Wert	5,91	0,54	5,91	0,54
Humus (%)	8,52	4,70	8,52	4,70

Tabelle 36: Multiple Regression KAK<sub>eff</sub>: ANOVA und Koeffizienten

ANOVA <sup>a</sup> : Model Summary R <sup>2</sup> =0,803						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	35750,113	3	11916,704	398,538	,000 <sup>b</sup>
	Residual	8790,898	294	29,901		
	Total	44541,011	297			
a. Dependent Variable: KAK_cmol_eff						
b. Predictors: (Constant), Humus, pH-Wert, Ton						

Coefficients <sup>a</sup>					
Model		Unstandardized Coefficients		t	Sig.
		B	Std. Error		
1	(Constant)	-82,309	3,890	-21,160	0,000
	Ton	0,582	0,073	7,958	0,000
	pH-Wert	13,813	0,600	23,027	0,000
	Humus	1,665	0,070	23,729	0,000
a. Dependent Variable: KAK_cmol_eff					

Wie in obiger Tabelle ersichtlich, wurde bei der KAK<sub>eff</sub> für das Modell ein Bestimmtheitsmaß von R<sup>2</sup>=0,803 ermittelt. Somit kann über 80 % der Streuung der KAK<sub>eff</sub> mittels der drei Variablen pH-Wert, Ton- und Humusgehalt erklärt werden. Es wurde festgestellt, dass die KAK<sub>eff</sub> bei einer Erhöhung von 1 % Ton um 0,58 cmol/kg steigt. Eine Steigerung des pH-Wertes um eine Einheit erhöht die KAK<sub>eff</sub> um 13,8 cmol/kg. Eine Erhöhung um ein Humusprozent bewirkt einen Anstieg der KAK<sub>eff</sub> von 1,66 cmol/kg.

Wie aus nachfolgender Tabelle ersichtlich, wurde bei der KAK<sub>pot</sub> für das Modell ein Bestimmtheitsmaß von R<sup>2</sup>=0,798 ermittelt. Somit kann rund 80 % der Streuung der KAK<sub>pot</sub> mittels der drei Variablen pH-Wert, Ton- und Humusgehalt erklärt werden. Es wurde festgestellt, dass die KAK<sub>pot</sub> bei einer Erhöhung von 1 % Ton um 0,607 cmol/kg steigt. Eine Steigerung des pH-Wertes um eine Einheit erhöht die KAK<sub>pot</sub> um 9,925 cmol/kg. Beim Humus bewirkt eine Erhöhung um ein Humusprozent einen Anstieg der KAK<sub>pot</sub> von 1,874 cmol/kg.

Tabelle 37: Multiple Regression KAKpot: ANOVA und Koeffizienten

ANOVA <sup>a</sup> : Model Summary R <sup>2</sup> =0,798						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	31967,377	3	10655,792	387,632	,000 <sup>b</sup>
	Residual	8081,898	294	27,489		
	Total	40049,275	297			
a. Dependent Variable: KAK_cmol_pot						
b. Predictors: (Constant), Humus, pH-Wert, Ton						
Coefficients <sup>a</sup>						
Model		Unstandardized Coefficients		t	Sig.	
		B	Std. Error			
1	(Constant)	-56,879	3,730	-15,250	0,000	
	Ton	0,607	0,070	8,646	0,000	
	pH-Wert	9,925	0,575	17,256	0,000	
	Humus	1,874	0,067	27,848	0,000	
a. Dependent Variable: KAK_cmol_pot						

Im Durchschnitt aller Proben beträgt die Calciumsättigung 80,6 % an der KAK<sub>eff</sub> und 64,5 % an der KAK<sub>pot</sub>. Somit liegt der Schnitt genau im anzustrebenden Bereich aus Tabelle 6 von 75-90 %. Bei niedrigen pH-Werten nimmt auch die Calciumsättigung an der KAK deutlich ab und geht auf 77 % an KAK<sub>eff</sub> bzw. 50 % an KAK<sub>pot</sub> zurück. . Je neutraler der pH-Wert, desto ähnlicher wird die Belegung von Ca an der KAK<sub>eff</sub> und KAK<sub>pot</sub> (85 % vs. 79 %).

Tabelle 38: Calciumsättigung an KAK<sub>eff</sub> und KAK<sub>pot</sub> bei ausgewählten pH-CaCl<sub>2</sub> Bereichen

pH-CaCl <sub>2</sub>	% Ca an KAK <sub>eff</sub>	% Ca an KAK <sub>pot</sub>
< 5,5	77,0	50,0
>=5,5 <=6,5	81,0	66,2
> 6,5	84,7	79,3

Die folgende Tabelle zeigt die Magnesiumbelegung in % bei unterschiedlichen pH-CaCl<sub>2</sub> Bereichen an KAK<sub>eff</sub> und KAK<sub>pot</sub>. Der gemäß RSGD 8 anzustrebende Bereich von 56-105 mg Mg/kg (Gehaltsklasse C), wurde in der Auswertung aufgrund der geringen Probenanzahl in diesem Bereich um den unteren Bereich der Gehaltsklasse D erweitert. Somit wurde die Magnesiumbelegung an der KAK auch für jene Proben dargestellt, die sich im Bereich von 56 bis 148 mg Mg/kg befinden.

Im Durchschnitt aller Proben beträgt die Magnesiumsättigung 13,7 % an der KAK<sub>eff</sub> und 10,8 % an der KAK<sub>pot</sub>. Somit liegt auch hier der Schnitt im anzustrebenden Bereich von 5-15 %. Die Magnesiumsättigung an der KAK<sub>eff</sub> ist im Vergleich zu Ca weniger abhängig vom pH-Wert. Hier ändert sich der Anteil an Mg mit dem pH-Wert kaum. Auch bei Mg gilt: Je neutraler der pH-Wert, desto ähnlicher die Belegung von Mg an der KAK<sub>eff</sub> und KAK<sub>pot</sub>

Tabelle 39: Magnesiumsättigung an KAK<sub>eff</sub> und KAK<sub>pot</sub> bei ausgewählten pH-CaCl<sub>2</sub> Bereichen bei allen Proben und bei Proben in Gehaltsklasse C und unterer Bereich von D (N für KAK<sub>pot</sub> gleich)

pH-CaCl <sub>2</sub>	% Mg an KAK <sub>eff</sub>	% Mg an KAK <sub>eff</sub> in Gehaltsklasse C + unterer Bereich D (56-148 mg/kg)	% Mg an KAK <sub>pot</sub>	% Mg an KAK <sub>pot</sub> in Gehaltsklasse C + unterer Bereich D (56-148 mg/kg)
< 5,5	13,6 (N=157)	11,90 (N=72)	8,8	6,98
>=5,5<=6,5	13,7 (N=533)	9,82 (N=88)	11,2	7,40
> 6,5	13,2 (N=92)	5,80 (N=9)	12,4	5,29

Die folgende Tabelle zeigt die Kaliumbelegung in % bei unterschiedlichen pH-CaCl<sub>2</sub> Bereichen an KAK<sub>eff</sub> und KAK<sub>pot</sub>. Zusätzlich wurde die Kaliumbelegung an der KAK auch, nach dem gemäß RSGD 8 anzustrebenden Bereich von 88-170 mg K/kg (Gehaltsklasse C) dargestellt.

Im Durchschnitt aller Proben beträgt die Kaliumsättigung 3,8 % an der KAK<sub>eff</sub> und 2,9 % an der KAK<sub>pot</sub>. Somit liegt der Schnitt genau im anzustrebenden Bereich von 2-5 %. Die Kaliumanteile an KAK<sub>eff</sub> und KAK<sub>pot</sub> liegen im neutralen und schwach sauren pH knapp beieinander. Lediglich im sehr sauren pH-Bereich gibt es Unterschiede, weil der K-Anteil bezogen auf KAK<sub>eff</sub> stark ansteigt. Die geringe Kaliumsättigung bei pH >6,5 in der Gehaltsklasse C steht etwas im Widerspruch zu den gängigen Zielvorgaben, ist jedoch durch die deutliche Steigerung der Austauschkapazität, vor allem der KAK<sub>eff</sub> mit steigendem pH-Wert begründet. Während auf Ackerland die Bodenschwere bei der Einstufung der Kaliumgehalte mit eingeht, wird die Bodenart beim Grünland nicht berücksichtigt, wodurch sich diese Diskrepanz ergibt.

Bei Vorliegen von Nährstoffgehalten und Säuregraden im Boden, die im Bereich der anzustrebenden Gehalte liegen, sind somit im Mittel auch entsprechende Nährstoffverhältnissen betreffend Calcium, Magnesium und Kalium am Austauscherkomplex gegeben, wie sie in den Richtlinien für die sachgerechte Düngung definiert werden.

Tabelle 40: Kaliumsättigung an  $KAK_{eff}$  und  $KAK_{pot}$  bei ausgewählten pH- $CaCl_2$  Bereichen bei allen Proben und bei Proben in Gehaltsklasse C (N für  $KAK_{pot}$  gleich)

pH- $CaCl_2$	% K an $KAK_{eff}$	% K an $KAK_{eff}$ in Gehaltsklasse C (88-170 mg/kg)	% K an $KAK_{pot}$	% K an $KAK_{pot}$ in Gehaltsklasse C (88-170 mg/kg)
< 5,5	4,6 (N=157)	3,22 (N=70)	2,9	2,03
$\geq 5,5 < 6,5$	3,9 (N=533)	2,15 (N=172)	3,1	1,70
> 6,5	1,7 (N=92)	1,09 (N=38)	1,6	1,02



# 5 Bedeutung der Ergebnisse für die Umsetzung in der nationalen Treibhausgas-Inventur

Eine maßgebliche Zielsetzung des Projekts war eine fundierte Ableitung von österreichtypischen „Managementfaktoren“ (im Verständnis der IPCC Guidelines) für Grünlandböden. Darunter werden Änderungsraten des Kohlenstoffvorrats der Grünlandböden durch gewisse Bewirtschaftungsarten verstanden. Diese Ableitung österreichtypischer „Managementfaktoren“ sollte die bisherigen Berechnungen der Veränderungen des Kohlenstoffvorrats der Grünlandböden in der österreichischen Treibhausgasinventur (THG-Inventur), die auf den „default“ Managementfaktoren der IPCC 2006 Guidelines (IPCC 2006) beruhen und sehr unsicher sind, verbessern. Nun konnten aus den Auswertungen der Langzeitversuche, der Daten aus dem Trockenschadensprojekt der HBLFA Raumberg-Gumpenstein und aus den Monitoring-Daten mit einer Ausnahme keine Managementfaktoren identifiziert bzw. abgeleitet werden, die zu einer signifikanten Änderung des Bodenkohlenstoffvorrates im Grünland geführt hätten. Die eine Ausnahme betrifft die aus den Langzeitversuchen festgestellte, signifikante positive Wirkung von Stallmist auf die C-Vorräte in Grünlandböden gegenüber der Ausbringung von Gülle, gegenüber der Mineraldünger-Verwendung und gegenüber den ungedüngten Varianten. Betrachtet man die in der Praxis häufigen Behandlungen, kann abgeleitet werden, dass die Düngung mit Stallmist zu rund 7 % höheren C-Vorräten in Grünlandböden gegenüber der Gülle-Düngung führte (siehe Kapitel 4.2.4).

Anhand dieses Unterschieds in den C-Vorräten in Grünlandböden, den Entwicklungen der Anteile von Festmist- und Gülleausbringungen im Grünland in Österreich seit 1990 gemäß TIHALO-II-Studie (BMNT 2018), dem Ausmaß der relevanten Grünlandflächen gemäß Grünen Berichten (z.B. BML, 2022, Kategorien mehrmähdige Wiesen (1990-2009), Mähweide/-wiesen mit zwei Nutzungen und Mähweide/-wiesen mit drei und mehr Nutzungen (2010-2021)) sowie österreichtypischen C-Vorräten in Grünlandböden aus den Bodenzustandsinventuren der Bundesländer (Zusammenstellung in Umweltbundesamt, 2022) lässt sich nun eine „theoretische“ Veränderung der C-Vorräte der Grünlandböden Österreichs aufgrund der Änderung der Anteile von Stallmist- und Gülledüngung schätzen. Gemäß TIHALO-II-Ergebnissen kommt es insgesamt bzw. für Rinder und Schweine zusammen ab etwa 2008 zu einer Abnahme der Festmist-Ausbringung zu Gunsten von Gülle-Ausbringung. Demnach hätten die Grünlandböden Österreichs aufgrund des Einflusses dieser spezifischen Änderung der Düngungspraxis (weniger Festmist, mehr Gülle) Veränderungen im Boden-C-Vorrat aufgewiesen, die in den letzten Jahren einem Äquivalent

von 80 bis 90 kt CO<sub>2</sub> Emission/Jahr (bzw. geringerer CO<sub>2</sub>-Speicherung/Jahr – siehe nachfolgend) entsprechen. Allerdings nahm gemäß TIHALO-II-Ergebnissen die Stallmist-Ausbringung insgesamt bzw. für Rinder und Schweine zusammen anteilmäßig gegenüber Gülleausbringung von 1990 bis etwa 2008 zu, was also ein umgekehrter Trend im Boden-C-Vorrat des Grünlands daraus gegenüber den letzten Jahren wahrscheinlich.

Insbesondere zeigen aber die umfangreichen Ergebnisse der Bodenuntersuchungen aus Oberösterreich, dass die Kohlenstoffvorräte in den untersuchten, „real bewirtschafteten“ Grünlandböden tendenziell im letzten Jahrzehnt leicht zunehmen (siehe Kapitel 4.4.9). In ähnlicher Weise zeigen Wiederholungen von Bodenzustandsinventur-Daten für Niederösterreich eine Zunahme der C-Vorräte von Grünlandböden während der letzten Jahrzehnte (Wenzel et al., 2022). Die Ursachen der festgestellten Zunahmen konnten jedoch weder in der vorliegenden Studie noch in der Studie von Wenzel et al. (2022) identifiziert werden.

Insgesamt ist somit sehr wahrscheinlich, dass die Boden-C-Vorräte in den Grünlandböden in ganz Österreich in den letzten Jahrzehnten zunahmen, auch wenn einzelne Faktoren mit gegenläufigen Effekten (die Abnahme der Stallmistdüngung zu Gunsten der Gülledüngung) gegenläufige Trends aufweisen. Für die THG-Inventur bedeuten diese Befunde, dass es zu unrealistischen Abnahmen führen würde, Veränderungen auf Basis des signifikanten Einflusses der Düngerart zu rechnen. Umgekehrt erlauben es aber die unbekannteren Ursachen für die nachgewiesenen Zunahmen der Boden-C-Vorräte in den untersuchten Grünlandböden nicht, belastbare Trends für ganz Österreich abzuleiten. Damit werden die bisherigen unsicheren Berechnungen der Boden-C-Vorratsänderungen im Grünland (ohne Landnutzungswechsel) in der THG-Inventur auf Basis der belastbaren neuen Erkenntnisse der vorliegenden Studie eingestellt und durch die konservative Annahme einer 0-Änderung der C-Vorräte im Boden des Grünlands (ohne Landnutzungswechsel) mit entsprechenden, anhand vorliegender Ergebnisse belastbaren Begründungen ersetzt.

Insgesamt weisen diese Ergebnisse auf die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen zur Feststellung der Veränderung der C-Vorräte im Boden des Grünlands Österreichs und dessen Ursachen hin. Die österreichweite Wiederholung der Bodenzustandsinventuren wäre erforderlich, um österreichweite Trends abzuleiten. Weiters sollte eine Validierung der Ergebnisse der ermittelten Kohlenstoffvorratszunahmen auf den Praxisflächen im Rahmen der ÖPUL-Intervention „Humuserhalt und Bodenschutz auf umbruchsfähigem Grünland“ bei der nächsten Evaluierung ab 2026 mit den Bodenuntersuchungsergebnissen durchgeführt werden, die bis Ende 2025 verpflichtend vorliegen. Dabei sollten möglichst viele Bewirtschaftungsparameter und weitere Einflussfaktoren miteingefasst werden, um die festgestellten Trends der Veränderungen bestmöglich anhand von Parametern erklären zu können. Gezielte Dauer-Versuche, die (weitere) Einflussfaktoren und Bewirtschaftungsparameter simulieren, könnten ebenfalls für die Erklärung

festgestellter realer Veränderungen der C-Vorräte im Boden des Grünlands Österreichs dienlich sein.

# 6 Diskussion: Vorgaben für ein zukünftiges SOC-Vorrats-Monitoring auf Grünland-Flächen

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden vorrangig bereits vorhandene, historische Daten zum Humusgehalt in Grünlandböden von Praxisflächen und Langzeitversuchsflächen ausgewertet. Um auf Basis der bereits in der Vergangenheit gemessenen Humusgehalte in der Bodenschicht 0-10 cm Kohlenstoffvorräte zu berechnen, wurde für die Proben von den Praxisflächen in Oberösterreich und Salzburg die Lagerungsdichte gemäß der Funktion von Foldal et al. (2020) berechnet und der Grobbodenanteil mit 5 % angenommen, was dem Mittelwert der OÖ BZI-Daten der 90er Jahre (Gerzabek et al. 2005) entspricht (siehe Kap. 3.5.2). Für die Langzeitversuchsflächen in Gumpenstein wurde der Kohlenstoffvorrat auf Basis von gemessenen Lagerungsdichten und Grobbodenanteilen gemäß FAO-Formel berechnet (siehe Kap. 4.1). Für die DW-NET4 Flächen war keine Umrechnung auf Kohlenstoffvorräte möglich, da weder gemessene Lagerungsdichten (diese könnten gemäß der Formel von Foldal et al. (2020) abgeschätzt werden), noch gemessene Grobbodenanteile vorlagen.

Für die Zukunft wären für die Quantifizierung von Kohlenstoffvorräten in Grünlandböden folgende Bedingungen zu erfüllen (siehe Bohner et al., 2023):

1. Ein einheitliches Beprobungskonzept und Beprobungsprotokoll sind erforderlich. Die Probenahme fläche muss repräsentativ für die jeweilige Grünlandfläche sein und sie muss landesüblich bewirtschaftet werden.
2. Versuchsflächen, die nicht mit landwirtschaftlichen Maschinen befahren oder beweidet werden, eignen sich wegen der fehlenden mechanischen Belastung nicht als Untersuchungsflächen (Hanegraaf et al., 2009). Die mechanische Belastung durch maschinelle Mahd oder Beweidung hat nämlich einen großen Einfluss auf die Lagerungsdichte und wesentliche Faktoren der Humusbildung und -stabilisierung im Boden (Durchwurzelung, Bodenleben, Aggregatbildung). In der vorliegenden Studie wurden Langzeitversuchsflächen dennoch herangezogen, da sie lange Mess-Zeitreihen bei gleichzeitig vorhandener Kenntnis der exakten Bewirtschaftung umfassen und daher statistische Analysen durchgeführt werden konnten (siehe Kap. 4.2).
3. Zusätzlich zu den Messungen des Humusgehalts in Grünlandböden sollte auch die

Lagerungsdichte und der Grobbodenanteil in den verschiedenen Bodentiefen bestimmt werden:

- Die Lagerungsdichte sollte idealerweise in 5-cm-Tiefenstufen-Intervallen in sechsfacher Wiederholung zumindest bis 30 cm Bodentiefe gemessen werden, weil in Dauergrünlandböden bis in diese Tiefe Bodenverdichtungen auftreten können. Die Lagerungsdichte schwankt in Dauergrünlandböden je nach Tiefenstufe, Bewirtschaftungsform und -intensität in einem weiten Bereich (Bohner et al., 2017) und eine kontinuierliche Zunahme mit der Bodentiefe findet selten statt.
  - Eine Bestimmung des Grobbodenanteils (Skelettgehalts) ist notwendig, da Dauergrünlandböden vor allem im Unterboden oft sehr skelettreich sind (Grobbodenanteil > 40 Gew.%) und die Nichtberücksichtigung des Bodenskelettgehalts vor allem in skelettreichen Dauergrünlandböden eine deutliche Überschätzung des organischen Bodenkohlenstoffvorrats bewirken würde. Für die genaue Quantifizierung der gesamten im Boden gespeicherten Kohlenstoffmenge muss der Kohlenstoffgehalt sowohl im Feinboden, als auch im Grobboden bestimmt werden (Corti et al., 2002).
4. Pflanzenwurzeln sollten vor der Kohlenstoffbestimmung (am besten vor der Siebung) von der Probe entfernt werden, da lebende Pflanzenwurzeln nicht zum Humus gehören. Die Gefahr einer Überschätzung des Kohlenstoffgehalts durch lebende Pflanzenwurzeln ist vor allem bei Proben aus dem A-Horizont von Dauergrünlandböden wegen der großen Wurzelmasse sehr hoch.
  5. Die Kohlenstoffvorräte sollten für das gesamte Solum, zumindest aber für 0-100 cm Bodentiefe analysiert werden, weil durch Pflanzenwurzeln und anözische Regenwürmer Kohlenstoffeinträge bis in diese Tiefe möglich sind. Bei der Interpretation der Untersuchungsergebnisse muss die Untersuchungstiefe berücksichtigt werden, weil sie den Kohlenstoffvorrat in Dauergrünlandböden maßgeblich beeinflusst (Bohner et al., 2016).
  6. Für die genaue Quantifizierung der Bodenkohlenstoffvorräte und ihrer Veränderungen ist eine horizontweise Beprobung anstelle einer Probenahme in Tiefenstufen-Intervallen notwendig (Kravchenko und Robertson, 2011; Wiesmeier et al., 2012).
  7. Für die statistische Absicherung der Untersuchungsergebnisse ist eine sehr hohe Anzahl an Einzelproben (15-20) auf der jeweiligen Probenahmefläche notwendig (Drexler et al.,

2022), da Dauergrünlandflächen, insbesondere Weideflächen, häufig eine hohe kleinräumige Heterogenität der Kohlenstoffvorräte aufweisen (VandenBygaart und Angers, 2006; Flessa et al., 2018). Generell ist die räumliche Variabilität des Kohlenstoffs im Unterboden beträchtlich höher, als im Oberboden (Poeplau et al., 2022).

8. Wenn eine Wiederholungsbeprobung angestrebt wird, muss die Probenahme fläche eingemessen und dauerhaft markiert werden. Zudem sollte bei einem Langzeitmonitoring die Probenahme immer zur gleichen Jahreszeit und bei ähnlichen Witterungsverhältnissen erfolgen, da die Lagerungsdichte im Boden von der Bodenfeuchte beeinflusst wird. Um zeitliche Veränderungen nachweisen zu können, sind regelmäßige Bodenprobenahmen im Turnus von 10-15 Jahren erforderlich (Smith, 2004a,b; Conant et al., 2011; Flessa et al., 2018).

Weiter sind für die Interpretation der Untersuchungsergebnisse Informationen über den Standort (Klima, Seehöhe, Hangneigung, Exposition, Geländeform, Gesteinsuntergrund, Wasserhaushaltsstufe, Vegetationstyp, Vegetationsdeckungsgrad), den Bodentyp, die Bodenart, die Struktur im Oberboden, sowie die Bewirtschaftung zumindest in den letzten 10 Jahren (jährliche Schnitt- bzw. Nutzungshäufigkeit, Viehbesatz, Art und Menge der jährlich ausgebrachten Düngemittel, Nachsaat) notwendig.

Klima, Vegetation und Bodentyp beeinflussen den Humusvorrat im Boden und seine zeitliche Veränderung in charakteristischer Weise (Wiesmeier et al., 2019; Kögel-Knabner und Amelung, 2021) und eine Übertragbarkeit der Untersuchungsergebnisse auf andere Klima-, Vegetations- und Bodenzonen ist daher nur sehr bedingt möglich.

# 7 Schlussfolgerungen

In diesem Bericht wurden zum einen über 38.000 Bodendaten von Praxisflächen aus dem Alpenvorland und den Voralpen in OÖ und Salzburg sowie aus dem Mühlviertel ausgewertet. Die Grünlandfläche in diesen Regionen beträgt über 252.000 ha, das entspricht etwa 37 % des Dauergrünlandes in Österreich. Zum anderen wurden mittels statistischer Auswertungen von Daten aus Langzeitversuchen der HBLFA Raumberg-Gumpenstein mit unterschiedlicher, exakt dokumentierter Bewirtschaftung weitere Grundlagen für ein besseres Verständnis des Beitrags unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Veränderung der Bodenkohlenstoffgehalte in Grünlandböden geschaffen.

Einerseits wurden also alle verfügbaren Daten von Praxisflächen herangezogen, die klarerweise nicht immer so konzipiert waren, um die konkrete Projektfrage hinsichtlich der zeitlichen Veränderungen der Corg-Vorräte zu beantworten. Es konnte damit jedoch die Datenbasis enorm verbessert und verbreitert werden und es stehen somit für zukünftige, darauf aufbauende Evaluierungen geeignete Basisdaten in hoher Anzahl zur Verfügung.

Die Ergebnisse der Datenauswertungen dieser Praxisflächen belegen für alle Kleinproduktionsgebiete in Oberösterreich eine Stabilisierung und für 5 Kleinproduktionsgebiete eine Zunahme der Humusgehalte und der Corg-Vorräte in der obersten Bodenschicht (0-10 cm). Die konkreten Ursachen dafür können nicht eindeutig geklärt werden, auch wegen der unterschiedlichen Datengröße und der unterschiedlichen Motive der Bewirtschafterinnen und Bewirtschafter zur Bodenuntersuchung je nach Erhebungsinitiative (siehe Kap. 3.6.1 - 3.6.3). Weiters ist die große Heterogenität hinsichtlich aller untersuchten Bodenparameter der Grünlandstandorte zu betonen, die in dieser Bandbreite bisher nicht dargestellt wurde.

Die Datenbasis sollte durch zusätzliche Erhebungen (Monitoring der Schnittfrequenz) erweitert werden, auch durch Einbeziehung tieferer Bodenschichten auf den Praxisflächen auf ausgewählten Standorten.

Die verfügbaren Daten von Praxisflächen mit Angabe der Schnittfrequenz zeigen insgesamt kein einheitliches Muster: In den Hochlagen des Mühlviertels und in den Voralpen kommt es mit steigender Frequenz bis zu 5 Schnitten zu geringen Abnahmen der Humusgehalte und Corg-Vorräte, während im Alpenvorland insgesamt und bei Detailauswertung in 3 von 4 Kleinproduktionsgebieten bis zur Anzahl von 6 Schnitten eine steigende Tendenz bei Humusgehalt und Corg-Vorrat in der obersten Bodenschicht bis 10 cm vorliegt. Zugleich ist darauf zu verweisen, dass im Alpenvorland von Oberösterreich nur bei etwa 3 % der beprobten Grünlandflächen eine

Schnittfrequenz von 6 und bei etwa 26 % von 5 Schnitten laut dem Nutzer erfolgt. Bei standortangepasster Bewirtschaftungsintensität zeigen die vorliegenden Daten für das Alpenvorland in OÖ keine negativen Effekte hinsichtlich der Corg-Speicherung im Oberboden (0-10 cm). Weil die Dauer der Schnittfrequenz nicht bekannt ist und die Auswirkungen auf den Unterboden nicht erfasst wurden, ist diese Fragestellung bei zukünftigen Untersuchungen bzw. Evaluierungen zu berücksichtigen.

Die Bewirtschaftungsform und –intensität spiegelt sich nur in geringem Ausmaß in den Bodenparametern wider: Zwischen pH-Wert und den verfügbaren Phosphor- und Kaliumgehalten liegen meist positive Beziehungen vor, ein höherer Tierbestand geht mit höheren Nährstoffgehalten und pH-Werten einher. Zwischen dem GVE-Besatz und dem Humusgehalt bzw. Corg-Vorrat besteht in den meisten KPG kein signifikanter Zusammenhang. Bei höherem Tierbestand werden entsprechend mehr Nährstoffe rückgeführt, Auswirkungen auf den Corg-Pool sind nicht ableitbar. Das bodenbildende Ausgangssubstrat in den Regionen beeinflusst den verfügbaren Kaliumgehalt wesentlich stärker als unterschiedliche Intensitäten und Formen der Bewirtschaftung, mit höheren Gehalten im Kristallin des Mühlviertels als in den Kalkalpen. Auch beim Säuregrad ist dieser Zusammenhang mit dem bodenbildenden Ausgangssubstrat nachweisbar, mit einem höheren Anteil saurer Standorte im Mühlviertel im Gegensatz zu den Voralpen, die überwiegend in den Nördlichen Kalkalpen liegen.

Bezüglich der Bewirtschaftungsform liegen die markantesten Unterschiede beim Phosphor in CAL vor, in allen HPG liegen die Werte um über 12 % bei biologischer Bewirtschaftung im Mittel niedriger. Als mögliche Ursachen dafür können Zusätze in den Futtermitteln oder zusätzlicher Einsatz von P-Düngemitteln bei konventioneller Bewirtschaftung genannt werden. Beim Kalium sind im Mühlviertel keine Unterschiede feststellbar, was mit den hohen Gehalten aus dem bodenbildenden kristallinen Substrat erklärt werden kann; im Alpenvorland und in den Voralpen sind die K-Gehalte um 5 bzw. 9 % niedriger, was auf die etwas geringeren GVE-Dichten bei den Biobetrieben zurückgeführt werden kann.

Die klimatische Situation der Standorte, insbesondere die Höhe des Jahresniederschlags und die klimatische Wasserbilanz wirken auf den Corg-Umsatz und somit auf den standörtlichen Corg-Vorrat in den obersten Bodenschichten: Höhere Niederschläge und eine hohe positive Wasserbilanz stehen mit höheren Humusgehalten und Corg-Vorräten in einem positiven Zusammenhang. Die höheren Humusgehalte in den Voralpen können damit zum Teil erklärt werden.

Eine standortangepasste Bewirtschaftungsintensität hinsichtlich Nutzungsfrequenz und Düngung nicht nur zwischen den Regionen, sondern auf Betriebsebene ist daraus ableitbar: Flächen mit hoher Bonität werden also entsprechend ihres Ertragspotentials genutzt und gedüngt, während im



Gegenzug dazu flachgründige, staunasse, entfernter gelegene oder aus verschiedenen Gründen schwer zu bewirtschaftende Flächen extensiviert werden, womit zur Erhaltung und Verbesserung der biologischen Vielfalt beigetragen wird.

In den statistischen Auswertungen der Langzeitversuchsflächen in Gumpenstein und Admont, aber auch des DW-NET4-Projektes, wurde die signifikant erhöhende Wirkung der Ausbringung von Stallmist auf die Bodenkohlenstoffvorräte in Grünlandflächen festgestellt, v.a. gegenüber den ungedüngten und mineralisch gedüngten Varianten, aber auch gegenüber der mit Gülle gedüngten Varianten (siehe Kap. 4.2). Die statistischen Analysen pro Versuch ergeben, dass Düngbehandlungen mit Stallmist die  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorräte in 0-10 cm am effektivsten fördern, mit Gülleausbringung bleiben die Vorräte stabil; Behandlungen mit Mineraldüngern führen zu niedrigeren  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorräten im Vergleich zu ungedüngten Varianten. Die Bedeutung der C-Zufuhr mit Wirtschaftsdüngern für den Kohlenstoffvorrat in Grünlandböden im Vergleich zu den Versuchsvarianten „ungedüngt“ oder „mineralisch gedüngt“ wurde bestätigt. Daraus kann gefolgert werden, dass der Wirtschaftsdünger, im besten Fall Stallmist, möglichst bedarfsgerecht wieder auf die Grünlandböden ausgebracht werden sollte. Die Annahme einer signifikant negativen Auswirkung der Schnittfrequenz auf die Bodenkohlenstoffvorräte konnte hingegen für die Bodenschicht 0-10 cm nicht bestätigt werden. Erfolgt der N-Eintrag über organische Dünger, bleiben die  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorräte trotz höherer Schnittfrequenz stabil. Daten der DW-NET4-Trockenschadenprojekt-Langzeitversuchsflächen zeigen, dass Flächen mit Stallmistbehandlung auch bei höherer Schnittfrequenz tendenziell höhere  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorräte aufweisen, als Flächen mit Güllebehandlung. Es ist also davon auszugehen, dass eine mit erhöhter Nutzungsintensität einhergehende stärkere Behandlung mit Wirtschaftsdüngern, im besten Fall Stallmist, kompensierend auf die Kohlenstoffvorräte in 0-10cm Tiefe wirkt.

Bei der Betrachtung der Tiefenstufe 0-30 cm und 0-50 cm zeigen sich keine klaren Muster zwischen Düngbehandlung und  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorräten, für statistische Analysen war die Stichprobenanzahl zu gering (siehe Kap. 4.2.6). Der generelle Trend, den die Daten zeigen, ist jedoch konsistent mit dem aufgrund der hohen Stichprobenanzahl robusten Analysenergebnis für die 0-10 cm Proben, die  $\text{SOC}_{\text{FB}}$ -Vorräte der Versuchsflächen mit Güllebehandlung waren in 0-30 cm im Durchschnitt um 8 % kleiner, als bei Flächen, die mit Stallmist gedüngt wurden.

Für die Interpretation der Daten der Langzeitversuchsflächen ist generell mitzubedenken, dass diese weder befahren, noch von Weidevieh betreten werden und dadurch diese Einflussfaktoren auf den Bodenkohlenstoffvorrat nicht gegeben sind. Dennoch kann festgehalten werden, dass die Dauerversuche aussagekräftige Ergebnisse v.a für Entwicklungen über einen längeren Zeitraum unter exakten Bedingungen liefern. So können sie etwa für aktuelle Fragen wie etwa zum Klimawandel und dessen Auswirkungen auf das Ökosystem Grünland, die sich nur in längeren Zeiträumen beantworten lassen, herangezogen werden. Für die Bodenkohlenstoff-Situation im

Speziell wird eine Adaptierung der Beprobung auch auf tiefere Schichten vorgeschlagen. Zudem sollten ausgewählte Praxisflächen ins Monitoringkonzept mit aufgenommen werden, die repräsentativ sind und eventuell auch in der Nähe von Klima-Messstationen liegen, um diese Daten miterfassen zu können.

Grundsätzlich besteht noch Forschungs- und Monitoringbedarf, um die Kohlenstoffvorräte und ihre Veränderungen in den Grünlandböden sowie die Kohlenstoff-Inputs besser zu verstehen (siehe Kap. 6) und sie in der THG-Inventur verbessert berichten zu können insbesondere auch die Ausführungen in den nächsten beiden Absätzen. Durch eine Zunahme der Länge der Vegetationsperiode und andere Klimawandel-Auswirkungen und die erhöhten Gehalte von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre ist es zu früh, um definitive Aussagen über die Bodenkohlenstoffvorrats-Veränderungen im Grünland und deren Ursachen zu treffen.

Die vorliegenden Befunde erlauben noch keine österreichweite Abschätzung der Veränderungen der Bodenkohlenstoff-Vorräte im Grünland in der THG-Inventur: Zum einen wurden signifikante Zunahmen der Bodenkohlenstoff-Vorräte in Oberböden (0-10 cm) auf den untersuchten Flächen nachgewiesen (siehe Tabelle 26), demgegenüber stehen Abnahmen von Festmist-Düngungen in Österreich in den letzten Jahren, die für sich betrachtet eigentlich eine Tendenz zur Abnahme der Bodenkohlenstoff-Vorräte im Grünland in den letzten Jahren erwarten ließen.

Änderungen des Bodenkohlenstoffs in den mineralischen Grünlandböden ohne Landnutzungswechsel können in der THG-Inventur berichtet werden, wenn:

- Ergebnisse aus Wiederholungsmessungen der Bodenzustandsinventuren repräsentativ für Österreich vorliegen, was nicht der Fall ist, oder
- wenn es etwa aus Langzeitversuchen eindeutige, quantitativ bekannte Mechanismen für die Änderung des Bodenkohlenstoffvorrats gibt (Änderungs- bzw. Managementfaktoren), anhand deren die Änderungen des Bodenkohlenstoffvorrats für Österreich mit entsprechenden Eingangsdaten (z.B. zur Grünlandbewirtschaftung, zu Klimaparametern) und mittels Modellen oder vereinfachten Methoden geschätzt werden können.

Für den zweiten Fall konnte zwar ein solcher Mechanismus bzw. Parameter im Rahmen dieses Projekts identifiziert werden (die Art der Grünland-Düngung bzw. der höhere Kohlenstoffvorrat bei Stallmist-Düngung), allerdings widerspricht der daraus erwartbare Trend einer Abnahme des Grünlandboden-Kohlenstoffvorrats dem Ergebnis, dass die Grünlandboden-Kohlenstoffvorräte im Oberboden (0-10 cm) der Praxisflächen in OÖ zunahmen (siehe Kap. 4.4.6). Es gibt also offensichtlich weitere Mechanismen die für diese Vorratszunahmen verantwortlich sind, und die erwartbare Vorratsabnahme aus der Änderung der Grünland-Düngung in den letzten Jahrzehnten

überkompensieren. Diese Mechanismen sind jedoch noch nicht bekannt. Daher wird vorläufig und künftig in der THG-Inventur begründet weder eine Zunahme noch eine Abnahme der Bodenkohlenstoff-Vorräte im Grünland auf mineralischen Böden und ohne Landnutzungswechsel berichtet werden, bis die Ursachen für die Zunahme bekannt sind und entsprechende Befunde bzw. Ergebnisse aus Monitoring und Versuchen eine robuste österreichweite Abschätzung der Veränderungen auf Basis von Eingangsdaten für die verursachenden Parameter erlauben.

In der ÖPUL2023-Maßnahme „Humuserhalt und Bodenschutz auf umbruchsfähigem Grünland (HBG)“ des GAP-Strategieplans wird von den Teilnehmer:innen pro angefangenen 5 ha förderfähiger Grünlandfläche mindestens eine Bodenprobe zur Untersuchung des pH-Wertes sowie des Phosphor- und Kalium-Gehaltes und des Humusgehaltes gezogen. Um Zusammenhänge zwischen Schnitthäufigkeit und Kohlenstoffgehalt bzw. -vorrat im Boden untersuchen zu können und damit gemeinsam mit den vorliegenden Daten zu längeren Datenreihen zu kommen, sollte auf dem Probenahmeblatt jedenfalls die exakte Schnitthäufigkeit von den Bewirtschafter:innen mit dokumentiert werden. Derzeit kann nur eine Zuordnung zur INVEKOS-Schlagnutzungskategorie „Mähwiese/-weide drei und mehr Nutzungen“ erfolgen, ohne genauer Differenzierung der Nutzungshäufigkeit.

Umsetzungsmaßnahmen im Dauergrünland auf Mineralböden zum Erhalt oder zur nachhaltigen Erhöhung der Kohlenstoffvorräte im Boden werden in Meyer et al. (2023) und BML (2022) dargelegt, es sind dies vor allem: Die Erhaltung des Dauergrünlands, die standortangepasste, entzugsorientierte Rückführung von Wirtschaftsdüngern, vorzugsweise von Stallmist oder Stallmistkompost, die Förderung der Bodendurchwurzelung (insbesondere der Tiefendurchwurzelung), die Vermeidung von Bodenverdichtung (Minimierung der Radlasten) sowie die Förderung eines dichten, geschlossenen Pflanzenbestands.

Um eine deutliche Senkung der Treibhausgas (THG)-Emissionen der Landwirtschaft zu erreichen, steht auch die Rinderhaltung im Fokus, trotz der Effizienzsteigerungen in den letzten Jahrzehnten. Methan aus der enterogenen Fermentation in Rindermägen ist ein Hauptverursacher der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen. Die Emissionsentwicklung ist stark durch Aktivitätszahlen, wie Tierbestände und Milchleistung beeinflusst. Daher werden in zukünftigen Szenarien Rückgänge der Rinderbestände bei zugleich steigenden durchschnittlichen Milchleistungen pro Milchkuh angenommen. Dies führt bei Milchkühen zu entsprechend höheren Bruttoenergieaufnahmen, die weiterhin zu einem möglichst hohen Anteil durch Grundfutter bester Qualität abzudecken sein werden. Die Anforderungen an eine mit den naturräumlichen Möglichkeiten der Standorte abgestimmte Bewirtschaftung unter Berücksichtigung von Pflanzenbestand, Düngung und Nutzungszeitpunkt zur Erzeugung von Grundfutter werden steigen. Das Konzept des abgestuften Wiesenbaus, einer standortangepassten Bewirtschaftungsintensität, erscheint dafür erfolgsversprechend.

## 8 Summary

Grassland soils can store large amounts of organic carbon, as due to the permanent plant cover there is almost no soil loss due to water and wind erosion and therefore a continuous carbon input via the plants and the farm manure without humus-degrading mineralization due to tillage. Grassland use provides a high level of basic fodder and protein for ruminants, especially dairy cows, and at the same time guarantees the typical open and diverse landscape, which provides favourable conditions for biodiversity.

This project investigated which site-adapted management measures can be used to maintain or increase the organic carbon (Corg) supply in the uppermost soil layer by means of statistical analysis of the Corg supply in the fine soil of long-term grassland experimental plots with regard to different management measures and by evaluating the available data on soil parameters of managed grassland areas ("practice plots") according to management and regional criteria. Mineral (terrestrial, non-hydromorphic) permanent grassland soils (no temporary pastures or forage crops) were investigated; land use changes were not considered.

Data were also included for the soil data of managed grassland plots, site and regional climate, and acidity, the main nutrients phosphorus and potassium, and cation exchange capacity were evaluated in addition to humus content. In this process, samples from sites with more than 15% humus (8.7% Corg), indicating groundwater-influenced hydromorphic soils (Gleysol, Eutric Histosol, augley, half-bog, low moor), were excluded from further evaluation to derive effects due to management. This proportion ranges from 0 to over 5% in the Small-scale Production Zones (SPZ). In the SPZ Flachgau, Inneres Salzkammergut - Eisenwurzten, Hochlagen des Mühlviertels and Oberes Innviertel a higher proportion of hydromorphic sites is present, a correspondence according to the soil mapping (eBod) is given.

From the results of the grassland long-term test plots of the HBLFA Raumberg-Gumpenstein it is deduced that with farm manure application, which is within the fertilization recommendations related to yield and cutting frequency, the Corg stock in the fine soil (SOCFB) is increased on average by 7% compared to slurry treatment (see Figure 10). The statistical analyses of the data from the long term experimental plots further show that the SOCFB stocks remain stable despite higher cutting frequency in the 0-10 cm soil layer with farm manure. Farm manure, in the best case stable manure, should therefore be reapplied to grassland soils as needed to maintain carbon stocks in the long term. Treatments with only mineral fertilizers lead to lower SOCFB stocks, even compared to unfertilized variants.

The results of the data evaluation of soil parameters of managed grassland areas show that with site-adapted management intensity with up to 6 cuts for the Alpine foothills in Upper Austria no negative effects occur with regard to Corg storage in the topsoil (0-10 cm). For the deeper soil layers only very limited data are available, therefore no statements can be made at present for the total carbon pool of the soil with 5 and 6 cuts. The share of grassland with 5- and 6-cut use in the Alpine foothills is 26 % and 3 %, respectively. In the foothills of the Alps and in the Mühlviertel, the shares of 5-cut meadows are lower, at 10 % and 3 %. The type and intensity of management is only reflected to a small extent in the soil parameters: higher livestock numbers are associated with higher nutrient contents and pH values. With higher livestock numbers, correspondingly more nutrients are recycled, but there are no effects on the Corg pool. The soil-forming parent substrate in the regions influences the available potassium content much more than different intensities and forms of management, with higher contents in the crystalline of the Mühlviertel than in the limestone Alps. This correlation with the soil-forming parent substrate is also detectable in the case of acidity, with a higher proportion of acidic sites in the Mühlviertel in contrast to the Pre-Alps, which are predominantly in the Northern Limestone Alps. The humus contents can only be changed in the long term within relatively narrow limits by different management and cultivation measures (BML 2022b).

The climatic situation of the sites, in particular the amount of annual precipitation and the climatic water balance affect the Corg turnover and thus the site-specific Corg stock in the uppermost soil layers: Higher precipitation and a high positive water balance are positively related to higher humus contents and Corg stocks. The higher humus contents in the Voralpen can thus be partly explained.

With the independent variables pH, clay and humus content, an estimation of the cation exchange capacity can be made. If the nutrient content and acidity of the soil are within the range of the desired contents, the nutrient ratios of calcium, magnesium and potassium at the exchange complex are balanced on average, as defined in the guidelines for proper fertilization.

Overall, the present findings do not yet allow for an Austria-wide assessment of changes in soil carbon stocks in grassland in the greenhouse gas (GHG) inventory: On the one hand, significant increases in soil carbon stocks in topsoil (0-10 cm) were detected on the practice areas investigated; on the other hand, there have been decreases in solid manure fertilisation in Austria in recent years, which, considered in isolation, would actually suggest a trend towards a decrease in soil carbon stocks in grassland in recent years. Changes in soil carbon in the mineral grassland soils without land use change can be reported in the GHG inventory if:

- results from repeated measurements of soil condition inventories are representative for Austria, which is not the case, or

- if, for example, there are clear, quantitatively known mechanisms for the change in soil carbon stocks from long-term experiments (change or management factors), on the basis of which the changes in soil carbon stocks for Austria can be estimated with appropriate input data (e.g. on grassland management, on climate parameters) and by means of models or simplified methods in accordance with 2006 IPCC Guidelines.

For the second case, such a mechanism or parameter could be identified (the type of grassland fertilisation or the higher carbon stock with solid manure application), but the trend of a decrease in grassland soil carbon stock derived from this contradicts the result that the grassland soil carbon stocks in the topsoil of the practice areas in Upper Austria increased. Thus, there are obviously further mechanisms responsible for these stock increases, which overcompensate for the expected stock decrease from the change in grassland fertilisation in the last decades. However, these mechanisms are not yet known. Therefore, preliminary and in the future, neither an increase nor a decrease in soil carbon stocks in grassland on mineral soils and without land use change will be reported in the GHG inventory, until the causes for the increase are known and corresponding findings or results from monitoring and experiments allow a robust Austria-wide estimation of the changes based on input data for the causative parameters.

# Anhang

Tabelle mit C-Vorrat nach Tiefenstufen absolut und in % zwischen 0 – 50 cm von 12 Standorten in OÖ

Standort (Anzahl Schnitte)	Tiefenstufe	Corg-Vorrat	Anteil	Corg-Vorrat	Anteil kumuliert
	[cm]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[%]	[t/ha]	[%]
<b>Altmünster (2)</b>	0-10	4,06	40,9	40,6	40,9
<b>Summe Corg: 99,2 t</b>	10-20	2,14	21,5	21,4	62,4
<b>2 Schnitte</b>	20-30	2,56	25,8	25,6	88,2
	30-40	0,57	5,8	5,7	94,0
	40-50	0,60	6,0	6,0	100,0
<b>St. Oswald/Freistadt (2)</b>	0-10	3,40	35,6	34,0	35,6
<b>Summe Corg: 95,3 t</b>	10-20	1,94	20,4	19,4	56,0
<b>2 Schnitte</b>	20-30	1,97	20,7	19,7	76,7
	30-40	1,11	11,7	11,1	88,4
	40-50	1,11	11,6	11,1	100,0
<b>Ohlsdorf (2)</b>	0-10	3,89	64,8	38,9	64,8
<b>Summe Corg: 60 t</b>	10-20	0,66	10,9	6,6	75,7
<b>2 Schnitte</b>	20-30	0,84	14,0	8,4	89,7
	30-40	0,62	10,3	6,2	100,0
	40-50	0,00	0,0	0,0	100,0
<b>Meggenhofen (3)</b>	0-10	3,12	50,5	31,2	50,5
<b>Summe Corg: 61,7 t</b>	10-20	0,99	16,1	9,9	66,6
<b>3 Schnitte</b>	20-30	1,09	17,6	10,9	84,2
	30-40	0,49	7,9	4,9	92,1
	40-50	0,49	8,0	4,9	100,1
<b>Haslach (3)</b>	0-10	3,71	41,0	37,1	41,0
<b>Summe Corg: 90,4</b>	Okt 20	1,60	17,7	16,0	58,7
<b>3 Schnitte</b>	20-30	1,65	18,2	16,5	76,9
	30-40	1,05	11,6	10,5	88,5
	40-50	1,04	11,5	10,4	100,0
<b>Pergkirchen (3)</b>	0-10	3,74	44,9	37,4	44,9
<b>Summe Corg: 83,2 t</b>	10-20	1,25	15,0	12,5	59,9
<b>3 Schnitte</b>	20-30	1,37	16,5	13,7	76,4
	30-40	0,99	11,9	9,9	88,3
	40-50	0,97	11,6	9,7	99,9

**Tabelle mit C-Vorrat nach Tiefenstufen absolut und in % zwischen 0 – 50 cm von 12 Standorten in OÖ (Fortsetzung)**

Standort (Anzahl Schnitte)	Tiefenstufe	Corg-Vorrat	Anteil	Corg-Vorrat	Anteil kumuliert
	[cm]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[%]	[t/ha]	[%]
<b>St. Roman (4)</b>	0-10	4,92	41,4	49,2	41,4
<b>Summe Corg: 118,7</b>	10-20	2,29	19,3	22,9	60,7
<b>4 Schnitte</b>	20-30	2,38	20,0	23,8	80,7
	30-40	1,14	9,6	11,4	90,3
	40-50	1,15	9,7	11,5	100,0
<b>Aschach/Steyr (4)</b>	0-10	3,63	36,4	36,3	36,4
<b>Summe Corg: 99,7</b>	10-20	1,98	19,9	19,8	56,3
<b>4 Schnitte</b>	20-30	2,11	21,1	21,1	77,4
	30-40	1,13	11,3	11,3	88,7
	40-50	1,12	11,2	11,2	99,9
<b>Hochburg (5)</b>	0-10	4,22	50,2	42,2	50,2
<b>Summe Corg: 84,1 t</b>	10-20	1,15	13,6	11,5	63,8
<b>5 Schnitte</b>	20-30	1,31	15,6	13,1	79,4
	30-40	0,86	10,2	8,6	89,6
	40-50	0,87	10,3	8,7	99,9
<b>Garsten (5)</b>	0-10	4,60	49,5	46,0	49,5
<b>Summe Corg: 92,9 t</b>	10-20	1,40	15,0	14,0	64,5
<b>5 Schnitte</b>	20-30	1,45	15,6	14,5	80,1
	30-40	0,93	10,0	9,3	90,1
	40-50	0,91	9,8	9,1	99,9
<b>Vorchdorf (5)</b>	0-10	4,03	44,8	40,3	44,8
<b>Summe Corg: 89,9 t</b>	10-20	1,61	17,9	16,1	62,7
<b>5 Schnitte</b>	20-30	1,94	21,5	19,4	84,2
	30-40	0,74	8,2	7,4	92,4
	40-50	0,68	7,6	6,8	100,0
<b>Pinsdorf (4)</b>	0-10	4,72	57,1	47,2	57,1
<b>Summe Corg t: 82,7 t</b>	10-20	3,55	42,9	35,5	100,0
<b>4 Schnitte</b>	20-30	n.b	n.b	n.b	100,0
	30-40	n.b	n.b	n.b	100,0
	40-50	n.b	n.b	n.b	100,0



**Tabelle mit C-Vorrat nach Tiefenstufen absolut und in % zwischen 0 – 50 cm von 5 Standorten in Salzburg (Fortsetzung)**

Standort (Anzahl Schnitte)	Tiefenstufe	Corg-Vorrat	Anteil	Corg-Vorrat	Anteil kumuliert
	[cm]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[%]	[t/ha]	[%]
<b>Adnet (3)</b>	0-10	5,45	52,8	54,5	52,8
<b>Summe Corg: 103,2 t</b>	10-20	2,29	22,2	22,9	75,0
<b>3 Schnitte</b>	20-30	2,58	25,0	25,8	100,0
	30-40	n.b	n.b	n.b	100,0
	40-50	n.b	n.b	n.b	100,0
<b>Seekirchen (4)</b>	0-10	4,22	43,2	42,2	43,2
<b>Summe Corg: 97,7 t</b>	10-20	1,71	17,5	17,1	60,7
<b>4 Schnitte</b>	20-30	1,81	18,5	18,1	79,2
	30-40	1,01	10,3	10,1	89,5
	40-50	1,02	10,5	10,2	100,0
<b>Lamprechtshausen (5)</b>	0-10	4,35	54,6	43,5	54,6
<b>Summe Corg: 79,8 t</b>	10-20	1,66	20,8	16,6	75,4
<b>5 Schnitte</b>	20-30	1,96	24,6	19,6	100,0
	30-40	n.b	n.b	n.b	100,0
	40-50	n.b	n.b	n.b	100,0
<b>Bergheim (5)</b>	0-10	4,86	32,2	48,6	32,2
<b>Summe Corg: 151,2 t</b>	10-20	2,94	19,4	29,4	51,6
<b>5 Schnitte</b>	20-30	3,09	20,4	30,9	72,0
	30-40	2,03	13,4	20,3	85,4
	40-50	2,21	14,6	22,1	100,0
<b>Straßwalchen (Kurzrasenweide)</b>	0-10	5,27	50,0	52,7	50,0
<b>Summe Corg: 105,4 t</b>	10-20	1,64	15,6	16,4	65,6
<b>Kurzrasenweide</b>	20-30	1,74	16,5	17,4	82,1
	30-40	0,95	9,1	9,5	91,2
	40-50	0,93	8,8	9,3	100,0

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Basisdaten zu den ausgewählten Langzeitversuchsstandorten der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, die im November 2021 beprobt wurden	18
Tabelle 2: Beschreibung von Bodentyp und Wasserhaushalt von 18 Standorten aus dem DaFNE-Projekt „Trockenschadenprojekt“ (DW-NET4)	19
Tabelle 3: SOC-Vorräte auf Basis gemessener Grobbodenanteile und Lagerungsdichten der 2021 beprobten Standorte in Gumpenstein und des 2019 beprobten Standorts in Admont	30
Tabelle 4: Mittlere Corg-Vorräte und Anteile in den einzelnen Tiefenstufen sowie kumulierte Anteile bis 50 cm der 10 beprobten Versuchsvarianten der Versuche der HBLFA Raumberg-Gumpenstein	33
Tabelle 5: Betriebe und Nutzflächen in den HPG und KPG in OÖ und Salzburg lt. INVEKOS 2020	50
Tabelle 6: Grünland-Nutzung in den HPG und KPG in OÖ und Salzburg lt. INVEKOS 2020	51
Tabelle 7: Betriebe mit Milchlieferung, Rinder u. Milchliefermenge pro GVE u. ha LN	53
Tabelle 8: Anzahl der Bodenproben gesamt und bezogen auf Vorbeugenden Grundwasserschutz	54
Tabelle 9: Anzahl der Bodenproben mit Humusgehalt > 15 % und daraus geschätzte GL-Fläche	55
Tabelle 10: Statistik der Bodenparameter der Proben mit Humusgehalt > 15 % in den HPG	56
Tabelle 11: Statistik der Bodenparameter der Proben mit Humusgehalt < 15 % in den HPG	57
Tabelle 12: Humusgehalte in % – Vergleichende Statistik der KPG	63
Tabelle 13: Corg-Vorräte in t/ ha bis 10 cm – Vergleichende Statistik der KPG	64
Tabelle 14: pH-Wert in CaCl <sub>2</sub> – Vergleichende Statistik der KPG	64
Tabelle 15: Phosphor-CAL in mg/kg – Vergleichende Statistik der KPG	65
Tabelle 16: Kalium-CAL in mg/kg – Vergleichende Statistik der KPG	66
Tabelle 17: Bodenparameter der Proben der Tiefenstufe 0-10 cm im Rahmen des Vorbeugenden Grundwasserschutz in OÖ und Salzburg mit Humusgehalt < 15 % in den HPG	67
Tabelle 18: Bodenparameter der Proben im Rahmen des Vorbeugenden Grundwasserschutz in OÖ und Salzburg mit Humusgehalt < 15 % in den KPG (sortiert nach Bundesland und KPG)	68
Tabelle 19: Schnitthäufigkeit in %, Humusgehalt und Corg-Vorrat der Tiefenstufe 0-10 cm der Proben in OÖ mit Humusgehalt < 15 % in den HPG	69
Tabelle 20: Schnitthäufigkeit in %, Humusgehalt und Corg-Vorrat der Tiefenstufe 0-10 cm der Proben in OÖ mit Humusgehalt < 15 % in 3 ausgewählten KPG (Mühlviertel und Vöcklabrucker G.)	70
Tabelle 21: Schnitthäufigkeit in %, Humusgehalt und Corg-Vorrat der Tiefenstufe 0-10 cm der Proben in OÖ mit Humusgehalt < 15 % in 3 ausgewählten KPG im Alpenvorland	71

Tabelle 22: Korrelationen zwischen GVE/ ha LN und Bodenparameter in den 14 KPG	72
Tabelle 23: Mittelwerte der Bodenparameter (0-10 cm) der Betriebe mit und ohne Milchlieferung in den HPG	73
Tabelle 24: Mittelwerte der Bodenparameter (0-10 cm) bei biolog. und konventionell wirtschaftenden Betriebe in den HPG	74
Tabelle 25: Mittelwerte der Humusgehalte (0-10 cm) aus 2 Perioden in den KPG in OÖ	75
Tabelle 26: Mittelwerte der errechneten Corg-Vorräte aus 2 Perioden in den KPG	76
Tabelle 27: Korrelationsmatrix (Pearson Korrelationskoeffizient und Signifikanzniveau: ns – nicht signifikant ( $p > 0.05$ ), * ( $p < 0.05$ ), ** ( $p < 0.01$ )) der Klimadaten (Mittelwerte 2000-2020) mit SOC <sub>FB</sub> -Vorräten im DW-NET4 Projekt	78
Tabelle 28: Klimadaten der 17 KG und Humus- und Corg-Vorrat der ausgewählten Standorte	79
Tabelle 29: Korrelationsmatrix der Klimadaten (Mittelwerte 1991-2020) der 17 KG	79
Tabelle 30: Korrelationsmatrix der Klimadaten (Mittelwerte 1991-2020) mit den Corg-Vorräten der 17 Standorte in 3 Bodenschichten	80
Tabelle 31: Klimadaten (Mittelwerte 1991-2020) der 14 KPG und mittlerer Humus- und Corg-Vorrat (0-10 cm) der 14 KPG	80
Tabelle 32: Korrelationsmatrix Klimadaten (Mittelwerte 1991-2020) 14 Kleinproduktionsgebiete	81
Tabelle 33: Korrelationsmatrix der Klimadaten mit den Corg-Vorräten der 14 KPG	82
Tabelle 34: Mittlere Corg-Vorräte und Anteile in den einzelnen Tiefenstufen sowie kumulierte Anteile bis 50 cm der 17 beprobten Grünland-Standorte in Oberösterreich und Salzburg	85
Tabelle 35: Deskriptive Statistik Kennzahlen (Mittelwert und Standardabweichung (s)) der unabhängigen Bodenparameter und der KAK <sub>eff</sub> und KAK <sub>pot</sub> .	90
Tabelle 36: Multiple Regression KAK <sub>eff</sub> : ANOVA und Koeffizienten	91
Tabelle 37: Multiple Regression KAK <sub>pot</sub> : ANOVA und Koeffizienten	92
Tabelle 38: Calciumsättigung an KAK <sub>eff</sub> und KAK <sub>pot</sub> bei ausgewählten pH-CaCl <sub>2</sub> Bereichen	92
Tabelle 39: Magnesiumsättigung an KAK <sub>eff</sub> und KAK <sub>pot</sub> bei ausgewählten pH-CaCl <sub>2</sub> Bereichen bei allen Proben und bei Proben in Gehaltsklasse C und unterer Bereich von D (N für KAK <sub>pot</sub> gleich)	93
Tabelle 40: Kaliumsättigung an KAK <sub>eff</sub> und KAK <sub>pot</sub> bei ausgewählten pH-CaCl <sub>2</sub> Bereichen bei allen Proben und bei Proben in Gehaltsklasse C (N für KAK <sub>pot</sub> gleich)	94

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Landwirtschaftliche Haupt- und Kleinproduktionsgebiete	12
Abbildung 2: Grafische Gegenüberstellung der gemessenen und der modellierten Lagerungsdichte mit Modellfehler (RSME)	21
Abbildung 3: Entwicklung der SOC <sub>FB</sub> -Vorräte (kg/m <sup>3</sup> ) in 0-10 cm Tiefe auf den Versuchsflächen in Admont und Gumpenstein (Versuch GL-320, GL-433 und GL-480) bei unterschiedlichen Düngebehandlungen und Schnitffrequenzen.	36
Abbildung 4: Korrelationen der Daten aus den Langzeitversuchen in Gumpenstein und Admont nach Düngebehandlung	37
Abbildung 5: SOC <sub>FB</sub> -Vorräte von 3-Schnittwiesen in Gumpenstein und Admont normalisiert auf die ungedüngte Kontrollfläche	38
Abbildung 6: Entwicklung der SOC <sub>FB</sub> -Vorräte (kg/m <sup>3</sup> ) in 0-10 cm Tiefe auf den Versuchsflächen im Trockenschadenprojekt DW-NET4 bei Behandlungen mit Gülle und Stallmist auf 2-, 3- und 4-Schnittwiesen	39
Abbildung 7: Korrelationen der Daten aus dem Trockenschadenprojekt DW-NET4 nach Düngebehandlung (Stallmist und Gülle)	40
Abbildung 8: PCA – Hauptkomponentenanalyse Trockenschadenprojekt DW-NET4	41
Abbildung 9: Veränderungen der SOC <sub>FB</sub> -Vorräte (kg/m <sup>3</sup> ) in 0-10 cm Tiefe mit zunehmender Schnitffrequenz bei Stallmist- (links) und Güllebehandlungen (rechts)	42
Abbildung 10: Einfluss von Stallmist- und Güllebehandlung auf SOC <sub>FB</sub> - Vorrat (kg/m <sup>3</sup> ; a-b) in 0-10 cm Tiefe, Ertrag (dt TM/ha; c-d) und N-Eintrag (kg N/ha/Jahr; e-f)	44
Abbildung 11: Durchschnittliche jährliche Änderung der SOC <sub>FB</sub> -Vorräte (kg/m <sup>3</sup> ) in 0-10 cm Tiefe zwischen 2000-2021 bei Stallmist- und Güllebehandlungen	46
Abbildung 12: Korrelationen der Daten aus den Langzeitversuchen in Gumpenstein und dem Trockenschadenprojekt DW-NET4 nach Düngebehandlung (Stallmist und Gülle) in 0-30 cm Tiefe	47
Abbildung 13: Plots der Daten aus den Langzeitversuchen in Gumpenstein und dem Trockenschadenprojekt DW-NET4 nach Düngebehandlung (Stallmist und Gülle) in 0-50 cm Tiefe	48
Abbildung 14: Einfluss von Stallmist- und Güllebehandlung auf SOC- Vorrat (kg/m <sup>3</sup> ) in 0-30 cm Tiefe	49
Abbildung 15: Humusgehalte (Perzentile: 5, 10, Q-25, Median-50, Q-75, 90, 95) in den HPG	58
Abbildung 16: Corg-Vorräte (Perzentile 5, 10, Q-25, Median-50, Q-75, 90, 95) in den HPG	59
Abbildung 17: pH-Werte (Perzentile 5, 10, Q-25, Median-50, Q-75, 90, 95) in den HPG	60
Abbildung 18: Phosphor-CAL in mg/kg (Perzentile 5, 10, Q-25, Median-50, Q-75, 90, 95) in den HPG	61
Abbildung 19: Kalium-CAL in mg/kg (5, 10, Q-25, Median-50, Q-75, 90, 95Perzentile) in den HPG	61

Abbildung 20: Gemessene und berechnete Lagerungsdichten mit 3 Modellen (n=108) und die exponentielle Funktion aus den gemessenen Daten	84
Abbildung 21: Vereinfachte Darstellung der KAK	87
Abbildung 22: pH- Einfluss auf die effektive KAK bei Grünlandböden in OÖ für Bodenschwere (BS) leicht und mittel bei unterschiedlichen Humusbereichen (kleiner 8; 8-13 %) und für Standorte mit sehr hohen Humusgehalten (größer 13 %)	89

## Literaturverzeichnis

**AGES (2013):** Humusgehalt, Säuregrad und pflanzenverfügbare Phosphor- und Kaliumgehalte auf Acker- und Grünland in Oberösterreich. Evaluierungsstudie im Auftrag des BMLFUW.

**BMEL (2019):** Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Humus in landwirtschaftlich genutzten Böden Deutschlands. Ausgewählte Ergebnisse der Bodenzustandserhebung, Thünen-Institut für Agrarklimaschutz.

**BML – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (2022):** Grüner Bericht 2022. Die Situation der Österreichischen Land- und Forstwirtschaft. 63. Auflage, Wien.

**BML - Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (2022b):** Humus in Diskussion. Daten, Fakten und Maßnahmen.

**BMLRT - Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (2021):** Österreichische Eiweißstrategie. Abschlussbericht Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BMLRT), Wien 2021, 53 S.

**BMNT - Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (2018).** Erhebung zum Wirtschaftsdüngermanagement aus der landwirtschaftlichen Tierhaltung in Österreich. Abschlussbericht TIHALO II. Wien. Pöllinger, Alfred Zentner, Andreas; Brettschuh, Sigrid; Lackner, Lukas; Amon, Barbara, Stickler, Yvonne.

**Bispo, A., Andersen, L., Angers, D.A., Bernoux, M., Brossard, M., Cécillon, L., Comans, R.N.J., Harmsen, J., Jonassen, K., Lamé, F., Lhuillery C., Maly, S., Martin, E., Mcelnea, A.E., Sakai, H., Watabe, Y. und T.K. Eglin (2017):** Accounting for carbon stocks in soils and measuring GHGs emission fluxes from soils: Do we have the necessary Standards? *Frontiers in Environmental Science* 5, 1-12.

**Bohner, A., Foldal, C. und R. Jandl (2016):** Kohlenstoffspeicherung in Grünlandökosystemen - eine Fallstudie aus dem österreichischen Berggebiet. *Die Bodenkultur* 67, 225-238.

**Bohner, A., Gehmacher, P., Bodner, G. und P. Strauss (2017):** Bodenverdichtung im Dauergrünland und ihre Auswirkung auf die Grünlandvegetation. Die Bodenkultur 68, 113-129.

**Bohner, A., C.B. Foldal, R. Jandl und H.Spiegel (2023):** Humus und Humusdynamik in Dauergrünlandböden: eine Literaturübersicht. Die Bodenkultur (in Vorb.)

**Conant, R.T., Ogle, S.M., Paul, E.A. und K. Paustian (2011):** Measuring and monitoring soil organic carbon stocks in agricultural lands for climate mitigation. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9, 169-173.

**Corti, G., Ugolini, F.C., Agnelli, A., Certini, G., Cuniglio, R., Berna, F. und M.J. Fernandez Sanjurjo (2002):** The soil skeleton, a forgotten pool of carbon and nitrogen in soil. *European Journal of Soil Science* 53, 283-298.

**Danneberg, O.H. (1999):** Regressionsgleichungen zur Abschätzung der Summe der austauschbaren Kationen in den landwirtschaftlich genutzten Böden Ostösterreichs. *Die Bodenkultur* 50 (2), 71-81.

**Drexler, S., Broll, G., Flessa, H. und A. Don (2022):** Benchmarking soil organic carbon to support agricultural carbon management: a German case study. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 185, 427-440.

**Drexler S, Broll G, Don A, Flessa H (2020):** Standorttypische Humusgehalte landwirtschaftlich genutzter Böden Deutschlands. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 200p, Thünen Report 75.

**Ellert, B.H. und J.R. Bettany (1995):** Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Canadian Journal of Soil Science* 75, 529-538.

**FAO (2017).** GSP Guidelines for sharing national data, information to compile a Global Soil Organic Carbon (GSOC) map. Pillar 4 Working Group, Version 1.

**Flessa, H., Don, A., Jacobs, A., Dechow, R., Tiemeyer, B. und C. Poeplau (2018):** Humus in landwirtschaftlich genutzten Böden Deutschlands. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), 48 S.

**Foldal, C., Jandl, R., Bohner, A., & Berger, A. (2020).** Deriving regional pedotransfer functions to estimate soil bulk density in Austria. *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment*, 71(4), 241-252.

**Gerzabek, M. H.; Strebl, F.; Tulipan, M. & Schwarz, S. (2005).** Quantification of organic carbon pools for Austria's agricultural soils using a soil information system. *Can. J. Soil Sci.* 85: 491–498.

**Hanegraaf, M.C., Hoffland, E., Kuikman, P.J. und L. Brussaard (2009):** Trends in soil organic matter contents in Dutch grasslands and maize fields on sandy soils. *European Journal of Soil Science* 60, 213-222.

**IPCC – The Intergovernmental Panel on Climate Change, Hg. (2006).** 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES). ISBN 4-88788-032-4.

**Kögel-Knabner, I. und W. Amelung (2021):** Soil organic matter in major pedogenic soil groups. *Geoderma* 384, 114785.

**Kravchenko, A.N. und G.P. Robertson (2011):** Whole-Profile soil carbon stocks: the danger of assuming too much from analyses of too little. *Soil Science Society of America* 75, 235-240.

Meyer, I., Sinabell, F., Streicher, G., Spiegel, H., Bohner, A.: Kohlenstoffsequestrierung in Österreichs Acker- und Grünlandböden. Bedeutung und ökonomische Effekte ausgewählter Maßnahmen. WIFO Monatsberichte 3/2023.

**Mitterhuber, L., Schroll, K., Bednarski, O., Paccagnel, K., Neuwirth, M. (2022):** Klimaentwicklung auf Acker- und Grünlandflächen - Auswertungsmethodik. Bundesanstalt für Agrarwirtschaft und Bergbauernfragen.



**Poeplau, C., Prietz, R. und A. Don** (2022): Plot-scale variability of organic carbon in temperate agricultural soils - Implications for soil monitoring. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 185, 403-416.

**Smith, P.** (2004a): Monitoring and verification of soil carbon changes under Article 3.4 of the Kyoto Protocol. *Soil Use and Management* 20, 264-270.

**Smith, P.** (2004b): How long before a change in soil organic carbon can be detected? *Global Change Biology* 10, 1878-1883.

**Schachtschabel, P.** (1951). Die Bestimmung von S-Wert, T-Wert und Sättigungsgrad. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 53(1), 7–20.

**Sobotik, M., Eberwein, R.K., Bodner, G., Stangl, R. und W. Loiskandl** (2020): *Pflanzenwurzeln*. DLG Verlag, Frankfurt am Main, 314 S.

**Steffens, D., Leppin, T., Luschin-Ebengreuth, N., Min Yang, Z., & Schubert, S.** (2010): Organic soil phosphorus considerably contributes to plant nutrition but is neglected by routine soil-testing methods. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 173(5), 765–771.

**Umweltbundesamt** (2022). Austria's National Inventory Report 2022. Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol. Reports, Band 0811. Wien.

**VandenBygaart, A.J. und D.A. Angers** (2006): Towards accurate measurements of soil organic carbon stock change in agroecosystems. *Canadian Journal of Soil Science* 86, 465-471.

**Wagner, K.** (1990): Neuabgrenzung landwirtschaftlicher Produktionsgebiete in Österreich (Bundesanstalt für Agrarwirtschaft, Hrsg.). Österreichischer Agrarverlag.

**Wenzel W.W., Duboc O., Golestanifard A., Holzinger C., Mayr K., Reiter J., Schiefer A.** (2022). Soil and land use factors control organic carbon status and accumulation in agricultural soils of Lower Austria. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115595>.

**Wiesmeier, M., Spörlein, P., Geuß, U., Hangen, E., Haug, S., Reischl, A., Schilling, B., von Lützw, M. und I. Kögel-Knabner (2012):** Soil organic carbon stocks in southeast Germany (Bavaria) as affected by land use, soil type and sampling depth. *Global Change Biology* 18, 2233-2245.

**Wiesmeier, M., Urbanski, L., Hobbey, E., Lang, B., von Lützw, M., Marin-Spiotta, E., van Wesemael, B., Rabot, E., Ließ, M., Garcia-Franco, N., Wollschläger, U., Vogel, H-J. und I. Kögel-Knabner (2019):** Soil organic carbon storage as a key function of soils - A review of drivers and indicators at various scales. *Geoderma* 333, 149-162.

## Abkürzungen

FB	Feinboden
GB	Grobboden
HPG	Hauptproduktionsgebiete
KAK	Kationenaustauschkapazität
KPG	Kleinproduktionsgebiet
LD	Lagerungsdichte
LULUCF	Land Use Land Use Change and Forestry
RMSE	Root Mean Square Error
SOC	Soil Organic Carbon
TM	Trockenmasse

**AGES - Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit**

Spargelfeldstraße 191, 1220 Wien

[www.ages.at](http://www.ages.at)