



Universität für Bodenkultur Wien
Department für Nutzpflanzen-
wissenschaften



HBLFA
Raumberg-Gumpenstein
Landwirtschaft

Universität für Bodenkultur
Department für Nutzpflanzenwissenschaften

Lagerungsdichte von Dauergrünlandböden im Almbereich des Großarltales

Masterarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades

Diplomingenieur

eingereicht von

Rupert Gruber, Bsc

Stud Kennz.: UH 066 455 Nutzpflanzenwissenschaften

Matr. Nr.: 01140835

Betreut von:

Mag. Dr. Andreas Bohner

Priv.-Doz. Dr. Gernot Bodner

Wien, 03.03.2020

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Masterarbeit unterstützt und motiviert haben.

Zuerst gebührt mein Dank meinen Betreuern Mag. Dr. Bohner und Priv.-Doz. Dr. Gernot Bodner. Ich möchte mich für die Anregung, Mithilfe und konstruktive Kritik im Laufe meiner Arbeit herzlich bedanken.

Desweiteren möchte ich mich bei den Landwirten und Almbauern der Gemeinden Großarl und Hüttschlag aufrichtig bedanken. Ohne die zuvorkommende Geste, mir ihre Flächen für die Beprobung zur Verfügung zu stellen, wäre die Arbeit nicht möglich gewesen.

Auch möchte ich mich bei meinen Labormitarbeiter_innen, Studienkolleg_innen und Freund_innen für die tatkräftige und emotionale Unterstützung im Zeitraum meines Studiums recht herzlich Bedanken.

Zu guter Letzt gilt mein besonderer Dank meinen Eltern, die mich im Laufe meiner Studienzeit immer mit druckvoller Kritik, finanziellen Mitteln und durch Liebe unterstützt haben.



Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Masterarbeit ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch bei keiner anderen Prüferin/ keinem anderen Prüfer als Prüfungsleistung eingereicht.

Mir ist bekannt, dass Zuwiderhandeln geahndet wird („Verwendung unerlaubter Hilfsmittel“) und weitere rechtliche Schritte nach sich ziehen kann.

Wien, am

Kurzfassung

Für die vorliegende Arbeit wurden verschiedene Almböden im Salzburger Großarlal auf ihre Dichte bis in eine Tiefe von 30 cm untersucht. Für die Erhebung der Lagerungsdichte kam die Stechzylindermethode zum Einsatz. Zusätzlich ist der Eindringwiderstand gemessen worden und es wurden verschiedene bodenphysikalische sowie bodenchemische Parameter erhoben. Um Aussagen über den Zusammenhang von Bodenverdichtung und dem darauf gedeihenden Pflanzenbestand treffen zu können, sind auch bodenverdichtungszeigende Arten nach ihrem Vorkommen und deren Soziabilität beurteilt worden.

Dauergrünlandböden können durch verschiedene Gründe verdichtet werden. Dazu zählt unter anderem die Bewirtschaftung der Flächen durch Weidevieh und das Befahren durch landwirtschaftliche Maschinen. Im Almbereich ist jedoch der Einsatz von schweren Maschinen begrenzt, weshalb meist auf leichtere, kompakte Spezialmaschinen zurückgegriffen wird, die jedoch auch einen gewissen Einfluss auf das Bodengefüge nehmen können. So ist aus den Untersuchungen aus dieser Arbeit hervorgegangen, dass bei Flächen, die befahren werden, im Vergleich zu reinen Weiden, eine erkennbar höhere Bodendichte im unteren Untersuchungsbereich (15 bis 30 cm) auftritt. Die Almflächen wurden in nutzungsabhängige Kategorien unterteilt. Hier ist eine stärkere Verdichtung im Oberboden von intensiv beweideten Flächenabschnitten ersichtlich. Im Gesamtvergleich mit den Daten aus den Untersuchungen von Gehmacher (2016) ist eine generell, geringere Bodendichte auf den Almflächen als auf den Dauergrünlandstandorten des Salzburger Flachgaves zu verzeichnen.

Abstract

For this study, various alpine soils of the Grossarl valley in Salzburg, Austria, were examined for density differences down to a depth of 30 cm. For the determination of the bulk density a sampling method using soil sampling rings was used. In addition, the penetration resistance was measured and various soil-physical and -chemical parameters were collected. In order to be able to make statements about the connection between soil compaction and the plant stock, soil compaction-indicating species were also assessed according to their occurrence and their sociability.

Permanent grassland soils can be compacted for various reasons. These include the cultivation of the land by grazing livestock and the use of agricultural machinery. However, the use of heavy machinery is limited in alpine pastures, which is why lighter, compact special machines are usually used, although these can also have a certain influence on the soil structure. Thus, the investigations from this work have shown that areas that are driven over, compared to only grazing land, have a visibly higher soil density in the lower investigation area (15 to 30 cm). The alpine pasture areas were divided into utilization-intensive categories. Here a stronger compaction in the topsoil of intensively grazed areas is visible. In an overall comparison with the data from Gehmacher's investigations (2016), a generally lower soil density can be observed on the alpine pastures than on the permanent grassland sites of the Salzburg Flachgau.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Ziel und Forschungsfragen.....	2
2. Forschungsstand	3
2.1 Bodendichte	3
2.1.1 Bodenporen	3
2.1.2 Bodenverdichtung	4
2.1.3 Trittbelastung	6
2.1.4 Lagerungsdichte	7
2.1.5 Negative Auswirkungen der Bodenverdichtung:.....	9
2.2 Boden im Grünland	9
2.2.1 Biotopvielfalt und Artenreichtum	9
2.2.2 Grünland als Kohlenstoffspeicher	10
2.3 Eindringwiderstand	11
2.3.1 Bewurzelbarkeit:	12
2.4 Pflanzenbestand im Dauergrünland	12
2.4.1 Zeigerpflanzen	14
2.4.2 Verdichtungszeiger	14
2.4.3 Zeigerwerte nach Ellenberg	16
3. Material und Methoden	17
3.1 Das Untersuchungsgebiet	17
3.2 Die Agrarstruktur	20
3.2.1 Das Grünland	20
3.2.2 Grünland im Almbereich	20
3.2.3 Die Struktur der Almen	21
3.2.4 Tourismus und wirtschaftliche Bedeutung:	22
3.3 Klima	23
3.4 Geologie	24
3.5 Der Boden allgemein	24
3.5.1 Definition von Boden	24
3.5.2 Bodenfunktion	25
3.5.3 Boden im Untersuchungsgebiet:	26
3.5.4 Einteilung von Böden:	26

3.5.5	Beschreibung der relevantesten Böden im Untersuchungsgebiet:	26
3.5.6	Auszug einer Bodenbewertung im Hubalmtal:	28
3.5.7	Bewirtschaftungsarten und Intensität:	29
3.5.8	Bodenphysikalische Untersuchungen	32
3.5.9	Bodenchemische Untersuchungen.....	36
3.5.10	Texturanalyse	37
3.5.11	Vegetationsanalyse	38
4.	Ergebnisse und Diskussion	39
4.1	Chemische Analyse.....	39
4.1.1	Gesamtdatenvergleich	39
4.1.2	pH-Wert.....	40
4.1.3	Stickstoff	41
4.1.4	Organischer Kohlenstoff	42
4.1.5	C/N Verhältnis.....	43
4.1.6	Datenvergleich nach Nutzungsformen	43
4.2	Bodentextur	44
4.3	Bodenwassergehalt.....	46
4.3.1	Errechnete Bodenfeuchte	46
4.3.2	Gemessene Bodenfeuchte	48
4.4	Lagerungsdichte.....	50
4.4.1	Gesamtdatenvergleich	50
4.5	Organischer Kohlenstoff und Lagerungsdichte	54
4.6	Bodenart und Lagerungsdichte	55
4.6.1	Lagerungsdichte und errechneter Wassergehalt.....	57
4.7	Nutzungsabhängige Lagerungsdichte	58
4.8	Eindringwiderstand.....	63
4.8.1	Gesamtdatenvergleich der untersuchten Flächen (Eindringwiderstand)	63
4.8.2	Vergleich Eindringwiderstand und errechneten Wassergehalt.....	65
4.8.3	Vergleich Eindringwiderstand und gemessenen Wassergehalt	66
4.8.4	Vergleich Eindringwiderstand und Bodentextur.....	67
4.9	Nutzungsabhängige Eindringwiderstände	69
4.10	Eindringwiderstände und Lagerungsdichten	74
4.10.1	Korrelation von Eindringwiderstand und Lagerungsdichte.....	74
4.10.2	Graphischer Vergleich von Eindringwiderstand und Lagerungsdichte	75
4.11	Vegetationsanalyse	80

5. Schlussfolgerungen und Ausblick	84
6. Literaturverzeichnis.....	87

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1. Einfluss der Kontaktfläche auf die Boden-beanspruchung (Brandhuber et al. 2010)	4
Abbildung 2-2. Druckzwiebeln: Druckverteilung in einem harten Boden (rechts) und einem weichen Boden (links) (Amelung et al. 2018)	5
Abbildung 2-3. Kontaktflächendruck von Mensch und Tier Im Vergleich mit landwirtschaftlichen Maschinen (KRB=Köpfrödebunker für Zuckerrüben) (Boxberger und Moitzi 2007)	6
Abbildung 3-1. Standorte der Untersuchungsflächen im Großarlal, modifiziert nach SAGIS (2019)	19
Abbildung 3-2. Verteilung der Grünfütterflächen in Österreich (BMNT 2018)	21
Abbildung 3-3. Lufttemperatur im Jahresverlauf (ZAMG 2018)	23
Abbildung 3-4. Niederschlag im Jahresverlauf (ZAMG 2018)	23
Abbildung 3-5. Bodenprofil einer Braunerde auf der Hühnerkaralm (SAGIS 2019)	28
Abbildung 3-6. Probennahme auf einem Dungmahd nach der Mahd (eigenes Foto)	32
Abbildung 3-7. Abgesteckte Teilfläche einer intensiven Almweide	33
Abbildung 3-8. Probeloch einer Teilfläche	33
Abbildung 3-9. Ermittlung des Eindring- widerstandes mit dem Penetrologger	35
Abbildung 3-10. Sieben zur späteren Weiterverarbeitung	36
Abbildung 3-11. Messen des pH-Wertes	36
Abbildung 3-12. Bodenarten des Feinbodens im Dreieckskoordinatensystem (Amelung et al. 2018)	37
Abbildung 4-1 Vergleich des Gesamtstickstoffgehalt [%] in Abhängigkeit der Nutzungsform	44
Abbildung 4-2. Korngrößenverteilung im A-Horizont	46
Abbildung 4-3. Korngrößenverteilung im B-Horizont	46
Abbildung 4-4. Wassergehalt [g/cm ³] aller Standorte unterteilt in den Tiefenstufen ..	47
Abbildung 4-5. Trennung von Trockenmasse [g/cm ³] und Wassermasse [g/cm ³]	48

Abbildung 4-6. Vergleich der Lagerungsdichte [g/m^3] aller Standorte in Abhängigkeit der Tiefenstufen	50
Abbildung 4-7. Vergleich der Lagerungsdichte in einem tiefenbezogenen Liniendiagramm von den Flächen der Großarltaler Almen mit jenen des Salzburger Flachgaves, modifiziert nach Gehmacher (2016). Alle Daten zusammengefasst.	53
Abbildung 4-8. Korrelation von Bodendichte [g/m^3] und organischem Kohlenstoffgehalt. Abgebildet in einem Scatter-Plott.....	54
Abbildung 4-9. Korrelation von Tongehalt [%] und Lagerungsdichte [g/cm^3]	55
Abbildung 4-10. Vergleich der Lagerungsdichten in Abhängigkeit der Nutzung und der Tiefenstufen.....	58
Abbildung 4-11. Vergleich des Eindringwiderstands [MPa] aller Standorte [n=22] im Tiefenverlauf.....	63
Abbildung 4-12. Graphischer Vergleich des Eindringwiderstandes von den Almböden im Großarlthal und der Flächen im Flachgau im Tiefenverlauf. Modifiziert nach (Gehmacher 2016)	64
Abbildung 4-13. Graphische Darstellung der Korrelation von der gemessenen Bodenfeuchte [V%] und dem Eindringwiderstand [MPa]	66
Abbildung 4-14. Graphische Darstellung der Korrelation des Eindringwiderstandes mit dem Sandanteil	67
Abbildung 4-15. Vergleich der Eindringwiderstände in Abhängigkeit der Nutzung und der Tiefenstufen.	69
Abbildung 4-16. Streudiagramm der beiden Parameter: Eindringwiderstand [MPa] und Lagerungsdichte [g/cm^3]	74
Abbildung 4-17. Linearer Vergleich der Lagerungsdichte, unterteilt in den Nutzungstypen.	75
Abbildung 4-18. Linearer Vergleich des Eindringwiderstandes, unterteilt in den Nutzungstypen.	76
Abbildung 4-19. Eindringwiderstand und Lagerungsdichte vom Dungmahd	77
Abbildung 4-20. Eindringwiderstand und Lagerungsdichte der intensiven Almweide	77

Abbildung 4-21. Eindringwiderstand und Lagerungsdichte der extensiven Almweide	78
Abbildung 4-22. Eindringwiderstand und Lagerungsdichte der intensiven Referenzfläche	78
Abbildung 4-23. Eindringwiderstand und Lagerungsdichte der extensiven Referenzfläche	79

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1. Typische Lagerungsdichten und Porenvolumina der Bodenarten (Amelung et al. 2018).....	8
Tabelle 2-2. Mögliche Einflussfaktoren für die Eindringwiderstandsmessung mit dem Penetrologger (Weissbach 2003).....	12
Tabelle 2-3. Bodenverdichtungs- und Übernutzungszeiger und ihre Eigenschaften (Deutsch 1997).....	15
Tabelle 2-4. Zeigerwerte ausgewählter, verdichtungszeigender Grünlandpflanzen (Dierschke und Briemle 2008) und (Ellenberg et al. 2001).....	16
Tabelle 3-1. Standortbezeichnungen, Nutzung Koordinaten und Seehöhen der Untersuchungsflächen.....	18
Tabelle 3-2. Bodeneigenschaften in Abhängigkeit der Tiefenstufe auf der Hühnerkaralm (Sagis 2019).....	28
Tabelle 3-3. Fraktionsanteil [%] der Korngrößen in Abhängigkeit der Tiefenstufen (Sagis 2019).....	28
Tabelle 3-4. Nutzungsart und Nutzungsintensität der Untersuchungsflächen	31
Tabelle 3-5. BRAUN-BLANQUET Skala nach (Wilmanns 1993).....	38
Tabelle 4-1 Auflistung der chemischen Ergebniswerte aller Standorte.....	39
Tabelle 4-2. Mittelwerte und Standardabweichung der chemischen Untersuchungen aller Standorte	40
Tabelle 4-3. Mittelwerte und Standardabweichungen der chemischen Analysen gegliedert nach Nutzungsformen und Horizonte.	43
Tabelle 4-4. Liste der Bodenarten aller Standorte	45
Tabelle 4-5. Errechnete Daten des Wassergehaltes [g/cm ³]	47
Tabelle 4-6: Mittelwerte und Standardabweichungen der Volumetrische Bodenfeuchte [%].....	49
Tabelle 4-7. Mittelwerte und Standardabweichungen der Bodenfeuchte [V%] zusammengefasst in Nutzungstypen.....	50
Tabelle 4-8. Bodendichte [g/m ³] in Abhängigkeit der Tiefenstufen	51

Tabelle 4-9: Mittelwerte und Standardabweichungen der Lagerungsdichte aller Standorte.....	52
Tabelle 4-10. Gesamtdatenvergleich der Lagerungsdichten in Abhängigkeit der Tiefenstufen von den untersuchten Alm- und Referenzflächen mit den Lagerungsdichteuntersuchungen vom Salzburger Flachgau (Gehmacher 2016)	53
Tabelle 4-11. Ergebnis der Spearmanschen Rangkorrelationsanalyse	54
Tabelle 4-12. Ergebnis der Spearmanschen Rangkorrelationsanalyse von Lagerungsdichte [g/cm ³] und Ton [%].....	55
Tabelle 4-13. Ergebnis der Spearmanschen Rangkorrelationsanalyse von Lagerungsdichte [g/cm ³] und Schluff [%].....	56
Tabelle 4-14. Ergebnis der Spearmanschen Rangkorrelationsanalyse von Lagerungsdichte [g/cm ³] und Sand [%].....	56
Tabelle 4-15. Vergleich von Trockenmasse und errechnetem Wassergehalt der Tiefenstufen mit dem Korrelationskoeffizienten nach Spearman.....	57
Tabelle 4-16. Lagerungsdichte [g/cm ³] vom Dungmahd	59
Tabelle 4-17. Lagerungsdichte [g/cm ³] der intensiven Almweide.....	60
Tabelle 4-18. Lagerungsdichte [g/cm ³] der extensiven Almweide.....	60
Tabelle 4-19. Lagerungsdichte [g/cm ³] der intensiven Reverenzfläche	60
Tabelle 4-20. Lagerungsdichte [g/cm ³] der extensiven Reverenzfläche	60
Tabelle 4-21. Chi-Quadrat, Freiheitsgrade und Signifikanz der Tiefenstufen	61
Tabelle 4-22. Signifikanzen der Lagerungsdichte im paarweisen Nutzungstyp-Vergleich	61
Tabelle 4-23. Tabellarische Auflistung des Eindringwiderstandvergleichs	63
Tabelle 4-24. Direktvergleich der Eindringwiderstände in Abhängigkeit der Tiefenstufen von den Almflächen im Großarlal und den Flächen des Salzburger Flachgaves nach (Gehmacher 2016) modifiziert.....	64
Tabelle 4-25. Korrelationsvergleich des errechneten Wassergehaltes und dem Eindringwiderstand	65

Tabelle 4-26. Werte der Berechnung des Spearman Rangsummenkoeffizienten von der gemessenen Bodenfeuchte und Eindringwiderstand	66
Tabelle 4-27. Ergebnis der Spearmanschen Rangkorrelationsanalyse vom Eindringwiderstand [g/cm ³] und Ton [%].....	68
Tabelle 4-28. Ergebnis der Spearmanschen Rangkorrelationsanalyse vom Eindringwiderstand [g/cm ³] und Schluff [%].....	68
Tabelle 4-29. Ergebnis der Spearmanschen Rangkorrelationsanalyse vom Eindringwiderstand [g/cm ³] und Sand [%].....	68
Tabelle 4-30. Eindringwiderstände [MPa] vom Dungmahd.....	71
Tabelle 4-31. Eindringwiderstände [MPa] der intensiven Almweiden	71
Tabelle 4-32. Eindringwiderstände [MPa] der extensiven Almweiden	71
Tabelle 4-33. Eindringwiderstände [MPa] der intensiven Referenzflächen.....	71
Tabelle 4-34. Eindringwiderstände [MPa] der extensiven Referenzflächen.....	72
Tabelle 4-35. Chi-Quadrat, Freiheitsgrade und Signifikanz der gewählten Tiefenstufen	72
Tabelle 4-36. Signifikanzen des Eindringwiderstandes im paarweisen Nutzungstyp-Vergleich	72
Tabelle 4-37. Ergebnis der Spearmanschen Rangkorrelationsanalyse	74
Tabelle 4-38. Auflistung der verdichtungszeigenden Pflanzen auf den Untersuchungsstandorten nach der Einteilung von BRAUN- BLANQUET	80

Abkürzungsverzeichnis

g	Gramm	ca.	circa
kg	Kilogramm	z.B.	zum Beispiel
cm	Zentimeter	usw.	und so weiter
m	Meter	bzw.	beziehungsweise
µm	Mikrometer	d.h.	das heißt
m ²	Quadratmeter	GVE	Großvieheinheit
ha	Hektar	DM	Dungmahd
cm ³	Kubikzentimeter	AI	Almweide Intensiv
l	Liter	AE	Almweide
KPa	Kilo Pascal		Extensiv
MPa	Mega Pascal	RI	Referenzfläche
°C	Grad Celsius		Intensiv
V	Volumen	RE	Referenzfläche
<	kleiner		Extensiv
>	größer		
min	Minimum		
max	Maximum		
med	Median		
n	Stichprobenumfang		
MW	Mittelwert		
SA	Standardabweichung		
org.	organisch		
C	Kohlenstoff		
N	Stickstoff		

1. Einleitung

Rund die Hälfte der österreichischen Agrarflächen werden als Dauergrünland bewirtschaftet und von diesem Teil entfällt rund ein Viertel der Flächen auf Almen und Bergmähder (Bmmt 2018). Durch die überwiegend extensive Bewirtschaftungsweise der Almflächen, wurde bisher kein Fokus auf die Bodenzustände in diesen Gebieten gelegt. Deshalb liegen auch wenig Daten über die vorherrschenden Bodengegebenheiten im Almbereich auf.

Viele Landwirte bewirtschaften die Almen noch in ihrer ursprünglichen Form. Die Beweidung erfolgt hauptsächlich durch Rinder. Diese verbringen ungeachtet der Witterungsverhältnisse oder sonstiger Umweltfaktoren, meist den gesamten Sommer auf den Almweiden.

Es ergeben sich standortspezifische Unterschiede in der Intensität der Beweidung. So ist die Trittfrequenz an manchen Standorten durch natürliche Gegebenheiten oder durch von Menschen induzierten Ursachen (z.B. Standort der Almhütte) beeinflusst. Eine weitere Form der Almflächenbewirtschaftung im Großarlal ist das „Bergmahd“. Hier kommen immer häufiger landwirtschaftliche Maschinen zum Einsatz, die auch einen Einfluss auf das Bodengefüge nehmen können.

Um den Bodenzustand im Dauergrünland und speziell im Almbereich beurteilen zu können, werden in dieser Arbeit die Flächen in drei Grundnutzungsformen gegliedert. Diese sind extensive und intensive Almweiden, sowie Bergmähder. Aus Vergleichsgründen wurden zusätzlich extensive sowie intensive Referenzflächen beprobt. Mithilfe der Stechzylinder-Methode, Eindringwiderstandsmessungen, Pflanzensoziologischen Bestimmungen und chemischen Bodenanalysen wurde der Grad der Bodenverdichtung ermittelt. Die verschiedenen Nutzungstypen wurden dann auf signifikante Unterschiede in ihrem Verdichtungsgrad miteinander und mit der Arbeit von Gehmacher (2016) verglichen.

Um weiterführende stoffliche Berechnungen durchführen zu können, ist es erforderlich die Lagerungsdichte der österreichischen Grünlandböden zu kennen.

1.1 Ziel und Forschungsfragen

Ziel der Arbeit ist es, den aktuellen Zustand des Bodens im Dauergrünland der Almregionen zu erheben und auszuwerten. Weiters wird auf die verschiedenen, möglichen Nutzungsformen, die auf den Almen möglich sind, eingegangen und mit dem Fokus auf die Lagerungsdichte des Bodens, werden die verschiedenen Standorte auf Differenzen hinsichtlich ihrer Bewirtschaftung unterteilt und miteinander verglichen. Durch Erkenntnisse aus pflanzensoziologischen und bodenphysikalischen Untersuchungen sollen mögliche nutzungsrelevante Unterschiede in der Lagerungsdichte der Almböden erkennbar werden.

Die gewonnenen Daten können in eine Übersicht, über den Zustand des Bodens im österreichischen Dauergrünland, einfließen.

Forschungsfragen zu dieser Arbeit:

„Welche Unterschiede der Bodendichten gibt es, im Hinblick auf die Bewirtschaftungsarten bzw. Bewirtschaftungsintensitäten im Almgebiet des Großarltales?“

„Wie ist der aktuelle Lagerungsdichtenzustand der untersuchten Böden und wie ist dieser zu beurteilen?“

„Welchen Einfluss hat die Bodendichte und die Bewirtschaftungsform bzw. Bewirtschaftungsintensität auf den Pflanzenbestand, bezogen auf Verdichtungszeigende Grünlandpflanzen?“

2. Forschungsstand

2.1 Bodendichte

Die Bodendichte wird als das Verhältnis zwischen Masse und Volumen (g/cm^3) definiert. Der Wassergehalt wird meist nicht in die Berechnungen einbezogen, denn dieser kann stark schwankend sein. Als Masse werden in der Regel nur die ofengetrockneten (105°C), festen Bestandteile des Bodens herangezogen. Um das Bodenporenvolumen, die Porenziffer oder den Wasseranteil zu ermitteln wird die Bodendichte benötigt. Dies kann unter anderem mit der Stechzylinder-Methode erfolgen. (Hartge und Horn 2009) Diese Art der Lagerungsdichtenbestimmung wurde auch bei dieser Arbeit angewandt.

Die Bodendichte hängt stark von der Korngrößenverteilung und dessen Form ab. So bewirkt ein hoher Sandanteil mit seinen verhältnismäßig großen, kugelförmigen Körnern eine geringe Bodendichte, da viel Platz im Zwischenraum gewährleistet wird. Tritt das Gefüge jedoch in Form von Plättchen auf, so steigt das Porenvolumen entgegen der Erwartungen. Dies ist mit dem Kartenhausprinzip zu erklären. Tonminerale kommen häufig in dieser Konstellation vor. Bei Tonmineralen sind die Oberflächenkräfte stärker als die massenbedingten Kräfte. So kommen diese bei einem ungestörten Boden in einer ungeordneten, plättchenförmigen Struktur vor. Solche Konstellationen können einen Porenanteil von 70-90 % erreichen. Wird ihnen jedoch Wasser entzogen und/oder es herrscht ein erhöhter Bodendruck vor, so kann der Porenanteil schnell auf 40-50 % sinken. Sandige Böden sind in der Regel stabiler als Böden mit hohem Anteil an Tonmineralen, denn wird nach einem Wasserentzug wieder Wasser zugeführt, so steigt der Porenanteil bei tonhaltigen Böden. (Amelung et al. 2018)

2.1.1 Bodenporen

Der Porenanteil bestimmt das Volumen maßgeblich mit. Hohlräume im Boden sind mit Wasser oder Luft gefüllt und werden in Primär- und Sekundärporen unterschieden. Primärporen sind körnungsbedingt. D.h. sie werden durch die Form und Anordnung der mineralischen Teilchen bestimmt. Sekundärporen hingegen entstehen durch das Wühlen von Tieren, Schrumpfungsrisse, mechanische Bearbeitung oder Gängen von

Würmern oder Pflanzenwurzeln. Sekundärporen können leichter zerstört werden als Primärporen. Der Anteil an Sekundärporen sinkt mit steigender Bodentiefe. Dies wirkt sich auch auf die Wasserleitfähigkeit aus. (Amelung et al. 2018)

2.1.2 Bodenverdichtung

- Faktoren für Bodenverdichtung:
- Maschine und/oder Tiere
 - Standort (aktuelle Bodenfeuchte, Bodenart)
 - Zeitpunkt des Befahrens/Beweidens
 - Art der Bodenbearbeitung
- (Boxberger und Moitzi 2007)

Von einer Bodenverdichtung spricht man, wenn sich mit dem Einhergehen einer Bodenverformung das Dreiphasensystem durch Scherwirkungen verändert. Böden bestehen aus den drei Phasen: Festsubstanz (mineralisch und organisch), Bodenwasser/Bodenlösung und Bodenluft. Der Anteil an mit Wasser und/oder Luft gefüllten Poren, sinkt mit einer zunehmenden Verdichtung des Bodens und gleichzeitig nimmt die feste Phase zu.

Die Zerstörung des Bodengefüges ist in der Landwirtschaft allgegenwärtig. Durch den Schlupf der Reifen von landwirtschaftlichen Maschinen oder der knetenden Beanspruchung von Tieren (Huftritt oder Scharren) entsteht eine Veränderung durch die Scherwirkung. Bei diesem Szenario bleibt die Porenanzahl gleich, jedoch wird durch die Scherung das Bodengefüge verschoben. Dies kann unter Umständen sogar einen positiven Effekt auf den Wasser- und Gasaustausch im Boden bewirken.

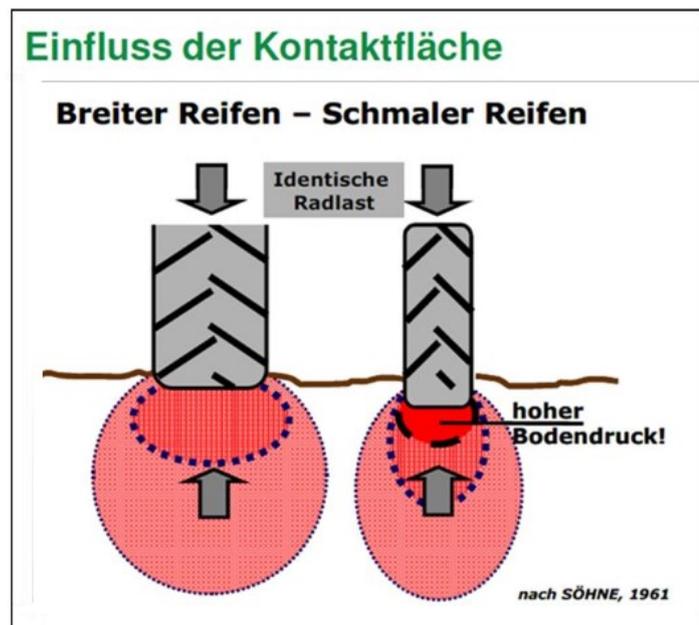


Abbildung 2-1. Einfluss der Kontaktfläche auf die Bodenbeanspruchung (Brandhuber et al. 2010)

Böden sind in ihrer Zusammensetzung, Wassergehalt, Entstehung, Horizont, usw. unterschiedlich stabil und so ist auch nicht jeder Boden oder jede Tiefenschicht gleich anfällig auf eine Verdichtung. (Amelung et al. 2018)

Der Oberboden wird für gewöhnlich durch den Kontaktflächendruck von Tier, Mensch oder Maschine verdichtet. Die Verdichtung des Unterbodens ist von den Radlasten oder dem Körpergewicht eines Tieres abhängig. Je höher die Rad- bzw. Achslasten sind, desto tiefer und weiter setzen sich die Druckwellen fort. Feuchte Böden sind für gewöhnlich anfälliger auf eine Schadverdichtung als trockene. (Boxberger und Moitzi 2007)

Durch die Auflast des Bodens an untere Erdschichten, wird durch die Gravitationskraft eine „natürliche“ Bodenverdichtung hervorgerufen. Bei punktförmigem Auflasten wie durch Landmaschinen oder Viehtritt erzeugt, verteilt sich die Kraft dreidimensional im Boden. Wie sich der Druck genau verteilt ist von Faktoren wie Wassergehalt, Textur oder dem Anteil an organischer Masse abhängig. Wird der Druck soweit erhöht, dass die elastische Verformbarkeit überschritten wird, kommt es zu einer dauernden, plastischen Verformung des Bodens und dessen Gefüge.

(Amelung et al. 2018)

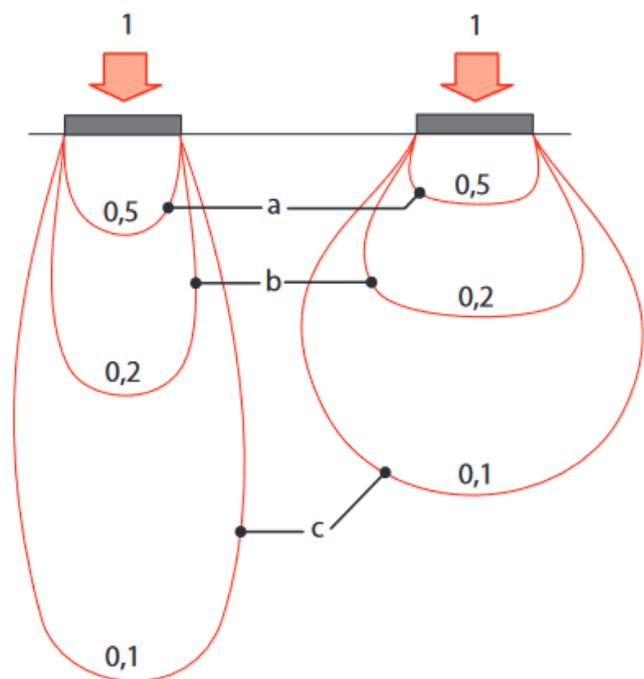


Abbildung 2-2. Druckzwiebeln: Druckverteilung in einem harten Boden (rechts) und einem weichen Boden (links) (Amelung et al. 2018)

Der Kontaktflächendruck ist ein wichtiger Indikator für eine Bodenverdichtung. Beim Einsatz von landwirtschaftlichen Maschinen kann dieser durch die Reifenbreite und durch den Luftdruck in den Reifen maßgeblich beeinflusst werden.

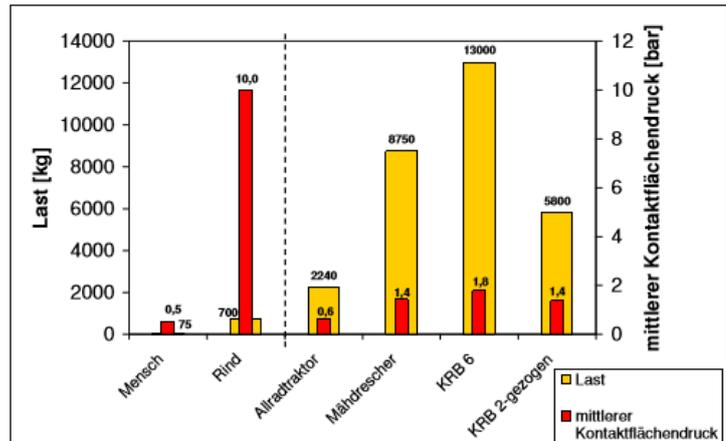


Abbildung 2-3. Kontaktflächendruck von Mensch und Tier Im Vergleich mit landwirtschaftlichen Maschinen (KRB=Köpfrödebunker für Zuckerrüben) (Boxberger und Moitzi 2007)

Abbildung 2-3 zeigt die Bedeutung des Kontaktflächendrucks. Durch die geringe Auflagefläche der Rinder im Verhältnis zu ihrem

Körpergewicht, verursachen diese beim Auftreten einen im Vergleich enormen Bodendruck. Dieser Druck verbleibt aber in den oberen Bodenschichten und er dehnt sich nicht so weit aus, wie es bei tonnenschweren Landmaschinen der Fall ist. (Boxberger und Moitzi 2007)

2.1.3 Trittbelastung

Bisher gibt es wenig Untersuchungen bezüglich der Bodenverdichtung im Grünland und dessen Auswirkungen. Einige Studien beziehen sich auf die immer schwerer werdenden landwirtschaftlichen Maschinen und deren häufige Befahrung im Grünland. Weil aber in Almgebieten die Weidehaltung vorherrscht und die Überfahrten hauptsächlich durch leichtere Spezialmaschinen erfolgen, wird in dieser Arbeit hauptsächlich auf die Trittbelastung eingegangen.

Auswirkungen von Viehtritt auf das Wasserregime und die Bodenerosion unterschiedlicher Bewirtschaftungsformen wurden im Grünland bisher nur spärlich untersucht. Durch den Tritt der Tiere kann die Bodendichte durch Verringerung des Porenvolumens erhöht werden. Bei unsachgemäßer Beweidung können Erosionsherde entstehen. Diese konzentrieren sich oftmals an Tränkstellen, im Eingangsbereich der Weide oder an Liegestellen. Auf extensiven Weideflächen, die auf Almen vorherrschen, tritt diese Form von Erosionsherden nur selten auf, weil viel weniger Tiere pro Flächeneinheit gehalten werden. Die Weidetiere sind aber auf der

Suche nach Futter viel mehr in Bewegung und treten deshalb viel öfter auf. Die Trittbelastung dürfte also bei einer intensiven Weideführung nicht höher sein als bei extensiver Bewirtschaftung. Auch Trittschäden heilen durch die ohnehin spärlichere Vegetationsdecke auf extensiven, ungedüngten Flächen langsamer als auf optimierten, intensiven Weideflächen. (Spatz 1975) Tritt und Weideschäden treten vor allem in Hanglagen und in niederschlagsreichen Gebieten auf (Sheath und Carlson 1998).

Für eine hohe Produktivität im Grünland ist eine dichte und lückenlose Grasnarbe essentiell. Nicht nur wegen des fehlenden Ertrages, sondern auch aufgrund der Gefahr einer drastischen Verunkrautung. Abiotische Schäden wie: Hitze, Kälte, Frost, Trockenheit, Schnee, mechanische Belastung oder Nährstoffmangel können neben einer Reihe von biotischen Faktoren (parasitär) den Grünlandbestand beeinträchtigen. (Pötsch 1996) Durch die Trittwirkung können aber nicht nur Narbenschäden entstehen, sondern auch eine Bodenverdichtung, die vor allem im Oberboden auftritt. Faktoren wie Bodentextur, Bodenstruktur, Ausgangsdichte Wassergehalt, Wasserspannung oder Bodenkonsistenz beeinflussen die Tragfähigkeit von Böden. Diese ist somit stark vom aktuellen Zustand abhängig. (Blume 1992) Aufgrund kleinräumiger Strukturen entwickelten sich in der Vergangenheit spezielle, angepasste Tierrassen, die durch verschiedene Eigenschaften für bestimmte Regionen typisch waren. Mit den heutigen, modernen Tierrassen stieg auch das Körpergewicht verschiedener Rinderrassen an. In der extensiven Tierhaltung herrschen also Mutterkuhbetriebe vor, die wiederum auf die Fleischproduktion abzielen, wodurch möglichst schwere Tiere gehalten werden. Diese belasten den Boden zusätzlich. (Bittermann 1990)

2.1.4 Lagerungsdichte

Die Lagerungsdichte gibt an, wieviel Trockenmasse in einem bestimmten Volumen enthalten ist. Sie ist das Verhältnis von Festsubstanz zum Porenanteil. (Hartge und Horn 2009)

Die Ermittlung der Lagerungsdichte erfolgt durch Wiegen einer Bodenprobe mit bekanntem Volumen. Durch Trocknen der Erde von mindestens 16 Stunden und 105°C wird das freie Bodenwasser entzogen. (Lebert et al. 2004)

Die Bodendichte kann also als Maß für die Lagerung verwendet werden. Die Formel hierfür lautet:

$$\rho_B = \frac{m_f}{V_g}$$

ρ_B ...Dichte des Gesamtvolumens

m_f ...Masse bei 105°C getrocknet

V_g ...Gesamtvolumen

(Amelung et al. 2018)

Die Lagerungsdichte wird in der Literatur auch als Trockendichte bezeichnet. Dabei wird der Boden nach einem standardisierten Maß bei 105°C getrocknet. Mit der Lagerungsdichte lässt sich rechnerisch auch der organisch gebundene Kohlenstoff ermitteln. (Amelung et al. 2018)

In der untenstehenden Tabelle sind typische Lagerungsdichten und Porenvolumina der Bodenarten dargestellt.

Tabelle 2-1. Typische Lagerungsdichten und Porenvolumina der Bodenarten (Amelung et al. 2018)

	Lagerungsdichte [g/cm ³]	Porenvolumen [%]
Sande	1,16–1,70	56–36
Schluffe	1,17–1,63	56-38
Lehme	1,20–2,00	55-30
Tone	0,93–1,72	65-35

Die Lagerungsdichten können folgendermaßen unterteilt werden:

- < 1,25 g/cm³: sehr gering
- 1,25 - 1,45 g/cm³: gering
- 1,45 - 1,65 g/cm³: mittel
- 1,65 - 1,85 g/cm³: hoch
- > 1,85 g/cm³: sehr hoch

(Boden 1994)

2.1.5 Negative Auswirkungen der Bodenverdichtung:

- Verschlechterung der Durchwurzelbarkeit
- geringere Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit
- Sauerstoffmangel und Stickstoffverluste (Denitrifikation)
- geringere Infiltration und Perkolation (Regenverdaulichkeit)
- erhöhter Oberflächenabfluss und dadurch stärkere Bodenerosion
- erschwerte Bearbeitbarkeit
- verringerte biologische Aktivität
- Förderung der Verunkrautung
- Ertragsdepression
- veränderte Porengrößenverteilung
- Plattenbildung

(Boxberger und Moitzi 2007)

2.2 Boden im Grünland

Grünland hat im Vergleich zu Äckern den wesentlichen Vorteil einer ganzjährig geschlossenen Pflanzendecke. Dadurch wird die Gefahr der Erosion erheblich vermindert und diese spielt deshalb, bis auf extreme Hanglagen, eine geringe Rolle. Auch die Gefahr der Nährstoffauswaschung ist wesentlich geringer im Grünland als auf Ackerböden. Dies ist auf die niedrigeren Düngermengen und wiederum auf die geschlossene Pflanzendecke zurückzuführen. Jedoch sind Grünlandstandorte oft an Überschwemmungsgebieten, Hanglagen oder Gebieten mit hohem Grundwasserspiegel anzutreffen. Diese Faktoren begünstigen wiederum die Gewässereutrophierung, jedoch nur in einem geringen Ausmaß. (Voigtländer 1977)

2.2.1 Biotopvielfalt und Artenreichtum

Die Beweidung der Almen hat großen Einfluss auf das jeweilige Ökosystem. Als ein Teil der Landwirtschaft, prägen weidende Tiere die Landschaft und beeinflussen somit auch die Artenvielfalt oder die Bestandeszusammensetzung der Weideflächen. Mit der Intensivierung der Weideflächen geht die Biotopvielfalt mit ihrer Flora und Fauna zurück. Dies ist ein wesentlicher Grund weshalb Almweideflächen so wertvoll sind.

(Spatz 1975) Eine Beweidung von angepassten Viehzahlen und Viehdichten wirkt sich also sehr positiv auf die biologische Vielfalt aus. Durch die Strukturvielfalt der extensiven Beweidung wird es vielen verschiedenen Pflanzen ermöglicht Fuß zu fassen. Das prägt wiederum die Etablierung komplexer Biozöosen. (Schley und Leytem 2004)

2.2.2 Grünland als Kohlenstoffspeicher

Circa 80% des terrestrisch gespeicherten Kohlenstoffes, der auch am Kohlenstoffkreislauf teilnimmt, ist im Boden gespeichert und nur 20 % entfallen auf die Vegetation. Verglichen mit Waldökosystemen mit ähnlichen Klimabedingungen hat das Grünland eine höhere Wurzelmasse und somit eine höhere Gesamtkohlenstoffzufuhr. (Amelung et al. 2018)

Grünland wird als wichtiger Kohlenstoffspeicher angesehen. Dies wirkt sich somit sehr positiv auf die Treibhausbilanz aus, weil eben viel CO₂ in Böden des Grünlandes gespeichert wird (Soussana et al. 2007). Die Grünlandböden im Alpenraum nehmen zwar mehr CO₂ auf als sie abgeben, jedoch spielen hier, bei entfernterer Betrachtung, noch andere Faktoren mit ein. Die Nettoökosystemkohlenstoffbilanz kann durch miteinbeziehen der Bewirtschaftung der Flächen, auch eine Quelle für CO₂-Abgaben werden. Durch die Düngung wird, abhängig von der Intensivierung, Kohlenstoff importiert und durch die Nutzung der Flächen wieder exportiert. Einen wesentlichen Anteil an der Nettoökosystemkohlenstoffbilanz haben ebenfalls Faktoren wie die klimatischen Standortbedingungen und die Länge der Vegetationsperiode. (Wohlfahrt et al. 2009) Beim Vergleich von Ackerflächen mit Grünlandflächen weist aber das Grünland eine wesentlich bessere Nettoökosystemkohlenstoffbilanz auf. Dies ist auf die deutlich höheren Humusgehalte zurückzuführen. (Vleeshouwers und Verhagen 2002)

Mit der Annahme eines mittleren Kohlenstoffgehaltes der organischen Substanz im Boden von 58%, lässt sich durch Multiplizieren des Faktors 1,72 mit dem organischen Kohlenstoffgehalt der Humusgehalt in Prozent errechnen (Nieder R. 2011). Im Grünland wird für die oberen 20 cm 5-8 % Humus als üblich angesehen (N.N s.a.).

2.3 Eindringwiderstand

Mit dem Eindringwiderstand kann man Aussagen über die Tragfähigkeit des Bodens und wie leicht Wurzeln in den Boden eindringen können, treffen. Der Widerstand wird durch verschiedene, veränderliche, bodenmechanische Parameter wie: Wassergehalt, Verbindungsstärke von mineralischen Teilchen oder der Dichte, beeinflusst. (Eijkelkamp 2013)

Die Ermittlung des Eindringwiderstandes erfolgt mit einem Penetrometer. Bei dieser Arbeit wurde ein Penetrologger von Eijkelkamp eingesetzt. Dieses Gerät misst mit einem Sensor die Kraft [KPa], die aufgewendet werden muss, um eine Lanze mit genormter Spitze, in den Boden zu drücken. Die Tiefe wird per Ultraschall festgestellt. Dabei ist ein möglichst geringer Steinanteil der Untersuchungsfläche sinnvoll. Auch sollte parallel zur Messung des Eindringwiderstandes der Feuchtegehalt eruiert werden, denn dieser beeinflusst den Widerstand maßgeblich. (Schwab et al. 2017)

Die theoretische Formel zur Ermittlung des Eindringwiderstandes sieht wie folgt aus:

$$q = \frac{F}{A}$$

q...Eindringwiderstand [MPa]

F...Kraft [N]

A...Konusoberfläche [mm²]

(Schwab et al. 2017)

Aufgrund einer fehlenden Standardisierung und Schwankungen im Bodenwassergehalt und dessen Folgen auf die Bodeneigenschaften, kann nur mit der Messung des Eindringwiderstandes keine genaue Aussage über die Bodenverdichtung getroffen werden. Die Vorschubgeschwindigkeit der Eindringlanze beeinflusst die Messwerte. Wichtig ist eine gleichmäßige Eindringgeschwindigkeit, auf die aber die wechselnde Zähigkeit der Tiefenstufen Einfluss nimmt. (Lebert et al. 2004)

In der nachstehenden Tabelle sind mögliche Faktoren, die die Eindringwiderstandsmessung beeinflussen können, aufgelistet.

Tabelle 2-2. Mögliche Einflussfaktoren für die Eindringwiderstandsmessung mit dem Penetrologger (Weissbach 2003)

bodenbedingte Einflussfaktoren	gerätebedingte Einflussfaktoren
Körnung	Konusabmessung
Gefügeform	Werkzeugmaterial
Wassergehalt	Eindringgeschwindigkeit
Substanz	

2.3.1 Bewurzelbarkeit:

Pflanzenwurzeln können mit bis zu 1 MPa in den Boden eindringen. Die Wurzeln sind jedoch in der Lage, Risse und Hohlräume zum Wachsen zu nutzen und vorhandene Steinchen im Boden zu umwachsen. Die Lanze des Penetrologgers ist dazu nicht im Stande. Man kann daher davon ausgehen, dass bei einem gemessenen Eindringwiderstand von 1,5 MPa das Wurzelwachstum weitgehend ungestört bleibt. Ein Eindringwiderstand von über 3 MPa gilt als oberster Grenzwert um ein Wurzelwachstum zu gewährleisten. (Eijkelkamp 2013)

Im Dauergrünland reichen die Wurzeln bis 60 cm tief in den Boden. In Ausnahmen bis zu 100 cm. Dies hängt vor allem von der Gründigkeit des Bodens ab. Grünlandstandorte sind häufig wenig tiefgründig, deshalb ist das Tiefenwachstum oft begrenzt. (Bohner 2010) 90 % der Wurzelmasse sind beim Dauergrünland in den oberen 10 cm zu finden (Dierschke und Briemle 2002).

2.4 Pflanzenbestand im Dauergrünland

Das Grünland verfügt über eine hohe Standortbreite und unterschiedliche Nutzungsweisen und es variiert dementsprechend stark. Mehr als 1000 Pflanzenarten kommen überwiegend auf Grünlandstandorten vor. Unter diesen sind sehr viele gefährdete Arten. Trockene- oder Halbtrockene- sowie Feuchtwiesen sind Lebensraum für eine Vielzahl von Tieren und Pflanzen. (Gerowitt et al. 2013)

Im Hinblick auf die Biodiversität kann das Grünland in drei Kategorien unterteilt werden:

- Intensiv genutztes Grünland: Weist nur wenige Arten auf, ist aber eine wichtige Futtergrundlage für Landwirte mit guter Futterqualität.
- Halbintensiv genutztes Grünland: Weist eine mittlere Artenvielfalt mit guter Futterqualität auf.
- Extensiv genutztes Grünland: Hat eine hohe Biodiversität und ist Lebensraum für viele Arten. Dieser Typ, der auch hauptsächlich im Untersuchungsgebiet vorherrscht, bringt jedoch kaum Ertrag und birgt eine geringe Futterqualität. (Gerowitt et al. 2013)

Wiesen und Weiden werden in Typen eingeteilt, die durch Schlüsselarten geprägt sind. Diese Standorttypen werden dann meist nach ihrer Leitart benannt. In Österreich sind etwa 100 bestandsbildende Arten am Aufbau dieser Gesellschaften beteiligt. (Ellmauer 1995) Bassler et al. (2000) gliederten einige extensive Wiesen- und Weidetypen in Kategorien nach ihrer Leitart. Dabei wurden die Standorte des extensiven Grünlandes nach ihrem Wassergehalt unterteilt. Das sind: halbtrockene bis frische Standorte und feuchte bis nasse Standorte. Diese wurden wiederum in Gesellschaftsgruppen, Gesellschaften, Sub-Gesellschaften, Varianten und Sub-Varianten gegliedert.

Aus futterbaulicher Sicht sollte ein gesunder Grünlandstandort aus 60% Gräsern, 20% Kräutern und 20% Leguminosen zusammensetzt sein und der Anteil an schmarotzenden oder giftigen Pflanzen sollte möglichst gering sein. Neben den natürlichen Standortfaktoren beeinflusst die Nutzung die Bestandeszusammensetzung maßgeblich. Darunter wird die Nutzungsintensität, Häufigkeit und der Zeitpunkt verstanden, sowie die Art, die Menge und die Verteilung der Düngung, die Unkrautregulierung und die Nachsaat. Ein weiterer Faktor ist der mechanische Einfluss auf den Boden durch Weidetiere oder Landmaschinen. (Buchgraber und Gindl 2004) Dazu kommen noch die natürlichen Standortfaktoren, die ebenfalls großen Einfluss auf die Bestandeszusammensetzung haben. Diese sind der Steingehalt und die Gründigkeit des Bodens sowie der Wärme, - Luft, - Wasser- und Nährstoffhaushalt. (Bohner 2015)

2.4.1 Zeigerpflanzen

Die im Grünland auftretenden Pflanzen kommen dort nicht wahllos vor, denn nur Arten mit ähnlichen Standortansprüchen können nebeneinander gedeihen. Diese Gruppen bilden dann eine Pflanzengesellschaft. Zeigerpflanzen dienen in solchen Systemen als Bioindikatoren. Durch ihr Auftreten, ihre Häufigkeit oder ihr nichtvorhandensein, können daraus Schlüsse über Standorteigenschaften oder die Nutzung getroffen werden. Die im Grünland wichtigsten Zeigerfaktoren sind: Nährstoffzeiger, Magerkeitszeiger, Säurezeiger, Carbonatzeiger, Trockenheitszeiger, Wechselfeuchte-, Feuchte- und Nässezeiger, Wärmezeiger, Kältezeiger, Bodenverdichtungszeiger, Übernutzungszeiger, Unternutzungszeiger und Lückenbüßer. Manche Pflanzen können dabei mehrere Zeigerfunktionen haben. Auf extensiv bewirtschafteten Flächen kommen vor allem Zeigerpflanzen für den Wärme- und Bodenwasserhaushalt sowie Säurezeiger vor. (Bohner und Starz 2011)

2.4.2 Verdichtungszeiger

Bodenverdichtungszeigende Pflanzen weisen häufig gleichzeitig auf eine Übernutzung der Flächen hin. Bei einem vermehrten Aufkommen solcher Arten ist es ein Hinweis auf eine Verdichtung im Oberboden, eine Übernutzung des Pflanzenbestandes und eine mäßig bis gute Nährstoffversorgung. (Bohner und Starz 2011)

Eigenschaften von Verdichtungszeigenden Grünlandpflanzen:

- Kriech- und/oder Rosettenpflanzen
- Niedrigwüchsig
- Reich an Bodenblättern
- Trittresistent
- Früh- und Vielschnittverträglich

(Bohner und Starz 2011)

In der Landwirtschaft sind Bodenverdichtungszeigende Pflanzen Großteils nicht erwünscht. Sie treten meist auf Mähweiden, Dauerweiden, Vielschnittwiesen und Trittrassen auf. (Bohner und Starz 2011) Im extensiv bewirtschafteten Grünland kommen die Vertreterpflanzen für Bodenverdichtung und Übernutzung kaum vor (Bohner 2010).

In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Bodenverdichtungs- und Übernutzungszeiger nach Bohner und Starz (2011) aufgelistet.

Tabelle 2-3. Bodenverdichtungs- und Übernutzungszeiger und ihre Eigenschaften (Deutsch 1997)

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	Merkmale	Vorkommen
<i>Poa annua</i>	Jährige Rispe	Süßgras, Horstgras, büscheliges Wachstum, Schienenblätter, ständig blühend,	frische Trittrasen, gut gedüngte und überanstrengte Weiden, im Unterwuchs, Lückenbüßer
<i>Poa supina</i>	Läger Rispe	ähnlich <i>poa annua</i> , bildet einzelne Rispenäste aus	in höheren Lagen anstelle von <i>poa annua</i> (bis 3000 m), auf Dauerweiden und Liegestellen
<i>Ranunculus repens</i>	Kriechender Hahnenfuß	Hahnenfußgewächs, dreiteiliges und zerschlitztes Blatt, gestielte Blätter, bildet kleine Knollen aus, kann oberirdische Ausläufer bilden,	frische bis nasse Standorte, verdichtete und nährstoffreiche Böden, auf Weiden,
<i>Plantago major</i>	Breitwegerich	Wegerichgewächs, keinen beblätterten Stängel, rosettenartige Blätter, Büschelwurzler mit feinen Wurzeln,	auf frischen bis feuchten Trittrasen, auf Triebwegen und auf überanstrengten Weiden
<i>Bellis perennis</i>	Gänseblümchen	Korbblütler, büschelige Blattrosette, vereinzelt Haare auf den leicht fleischigen Blättern	frische bis feuchte und meist nährstoffreiche Standorte, überanstrengte Weiden und intensives Grünland
<i>Leontodon autumnalis</i>	Herbstlöwenzahn	Korbblütler, lange und gezahnte Blätter die häufig unterschiedlich ausgebildet sind, unbeblätterter Stängel, gelbe Blüten	in Weiden, auf mäßig trockenen bis wechselfeuchten Dauergrünland

2.4.3 Zeigerwerte nach Ellenberg

Ellenberg et al. (2001) ordnet den Pflanzen in Mitteleuropa nach einem empirischen Verfahren, verschiedene Faktoren zu, nach denen die einzelnen Pflanzen in ihr ökologisches „Verhalten“ und nach ihren botanischen Eigenschaften eingeteilt werden.

Nach Dierschke und Briemle (2008) können den Pflanzenarten weitere Aspekte zugeordnet werden. Wie etwa die Mahd- und Trittvtruglichkeit der Grünlandpflanzen. In der nachstehenden Tabelle sind die wichtigsten Verdichtungszeigenden Grünlandpflanzen mit ihren Zeigerwerten angegeben.

Tabelle 2-4. Zeigerwerte ausgewählter, verdichtungszeigender Grünlandpflanzen (Dierschke und Briemle 2008) und (Ellenberg et al. 2001)

Name	M	TV	L	T	K	F	R	N	S	LF
<i>Poa annua</i>	9	9	7	X	5	6	X	8	1	T, H
<i>Poa supina</i>	9	9	8	3	4	5	7	7	0	H
<i>Ranunculus repens</i>	8	7	6	X	X	~7	X	7	1	H
<i>Plantago major</i>	5	9	8	X	X	5	X	6	0	H
<i>Bellis perennis</i>	9	8	8	X	2	5	X	6	0	H
<i>Leontodon autumnalis</i>	7	7	7	X	3	5	5	5	0	H

Trittvtruglichkeit: M=Mahdvtruglich (1=unvtruglich;9=überaus vtruglich), TV=Trittvtruglichkeit (1=unvtruglich;9=überaus vtruglich)

Zeigerwerte: L=Lichtzahl (1=Tiefschattentpflanze;9=Volllichtpflanze), T=Temperaturzahl (1=Kältezeiger; 9=extremer Wärmezeiger), K=Kontinentalitätszahl (1=euozeanisch; 9=eukontinental), F=Feuchtezahl (1=Starktrockniszeiger; 12=Unterwasserpflanze,~=Zeiger für starken Wechsel), R=Reaktionszahl (1=Starksäurezeiger, 9=Basen- und Kalkzeiger), N=Stickstoffzahl (1=Zeiger für stickstoffärmste Standorte, 9=Zeiger für übermäßig stickstoffreiche Standorte), S=Salzzahl (0=nicht salzertragend, 9=Zeiger für extrem hohen Salzgehalt), LF=Lebensform (H=Hemikryptophyt, T=Therophyt), x=indifferentes Verhalten

3. Material und Methoden

3.1 Das Untersuchungsgebiet

Die Bodenuntersuchungen wurden im Salzburger Pongau gemacht. Der Pongau als „Innengebirgsbezirk“ von Salzburg wird fast ausschließlich als Dauergrünland mit ausgeprägter Almstruktur bewirtschaftet. Alle Untersuchungen wurden im Großarlal, einem Seitental des Salzachtales, mit den Gemeinden Großarl und Hüttschlag durchgeführt. Mit Ausnahme von zwei Referenzflächen (S21 und S22) sind Almweiden als Untersuchungsstandorte gewählt worden. Die Seehöhen reichten von 1281 m bis 1747m über Meeresspiegel. Zwei der Referenzflächen liegen im Talboden des Großarltales auf einer Meereshöhe von ca. 900m.

Tabelle 3-1. Standortbezeichnungen, Nutzung Koordinaten und Seehöhen der Untersuchungsflächen

Standortname	Nutzung	Kürzel	Längengrad	Breitengrad	Seehöhe(m)
Hub-Sepp-Alm Almweide	AI	S1	13°14,6200´O	47° 9,4070´N	1281
Schappachalm	RE	S2	13°12,7810´O	47° 9,9700´N	1654
Aualm Dungmahd	DM	S3	13°10,0830´O	47°15,7000´N	1746
Aualm ober Hütte	AI	S4	13° 9,9240´O	47°15,7590´N	1816
Wandenalm ober Hütte	DM	S5	13°15,1390´O	47°16,9240´N	1579
Wandenalm Boden	AI	S6	13°14,9620´O	47°16,9160´N	1577
Bichlalm Dungmahd	DM	S7	13°13,5420´O	47°12,6560´N	1738
Bichlalm ober Hütte/Deun	AI	S8	13°13,6260´O	47°12,7170´N	1766
Hollereben Dungmahd Oberharbach	DM	S9	13°13,2380´O	47°12,2700´N	1514
Seitig	RE	S10	13°13,4960´O	47°11,4640´N	1542
Hollereben Hutweide Oberharbach	AE	S11	13°13,2300´O	47°12,2550´N	1507
Hollereben Dungmahd Unterharbach	DM	S12	13°13,1760´O	47°12,3230´N	1524
Ebenalm Dungmahd	DM	S13	13°11,1430´O	47°10,6510´N	1704
Ebenalm außer Hütte	AI	S14	13°11,4210´O	47°10,7970´N	1652
Heddegalm	AI	S15	13°12,2150´O	47° 8,4640´N	1710
Hub-Sepp-Alm Mahd	AE	S16	13°14,6260´O	47° 9,1950´N	1301
Hubalm Kohlanger	AE	S17	13°14,4050´O	47° 8,7280´N	1386
Hubalm Dungmahd	DM	S18	13°14,4600´O	47° 8,5340´N	1304
Hirschgrubenalm	AE	S19	13°15,6300´O	47° 9,1980´N	1549
Hinterkaser	AE	S20	13°13,6960´O	47° 8,5120´N	1747
Paulbauer Leitn/Boden	RI	S21	13°11,8670´O	47°13,1650´N	907
Schornlehen Boden	RI	S22	13°11,8960´O	47°14,1480´N	890

DM= Dungmahd; AI= Almweide Intensiv; AE= Almweide Extensiv; RI= Referenzfläche Intensiv;

RE= Referenzfläche Extensiv

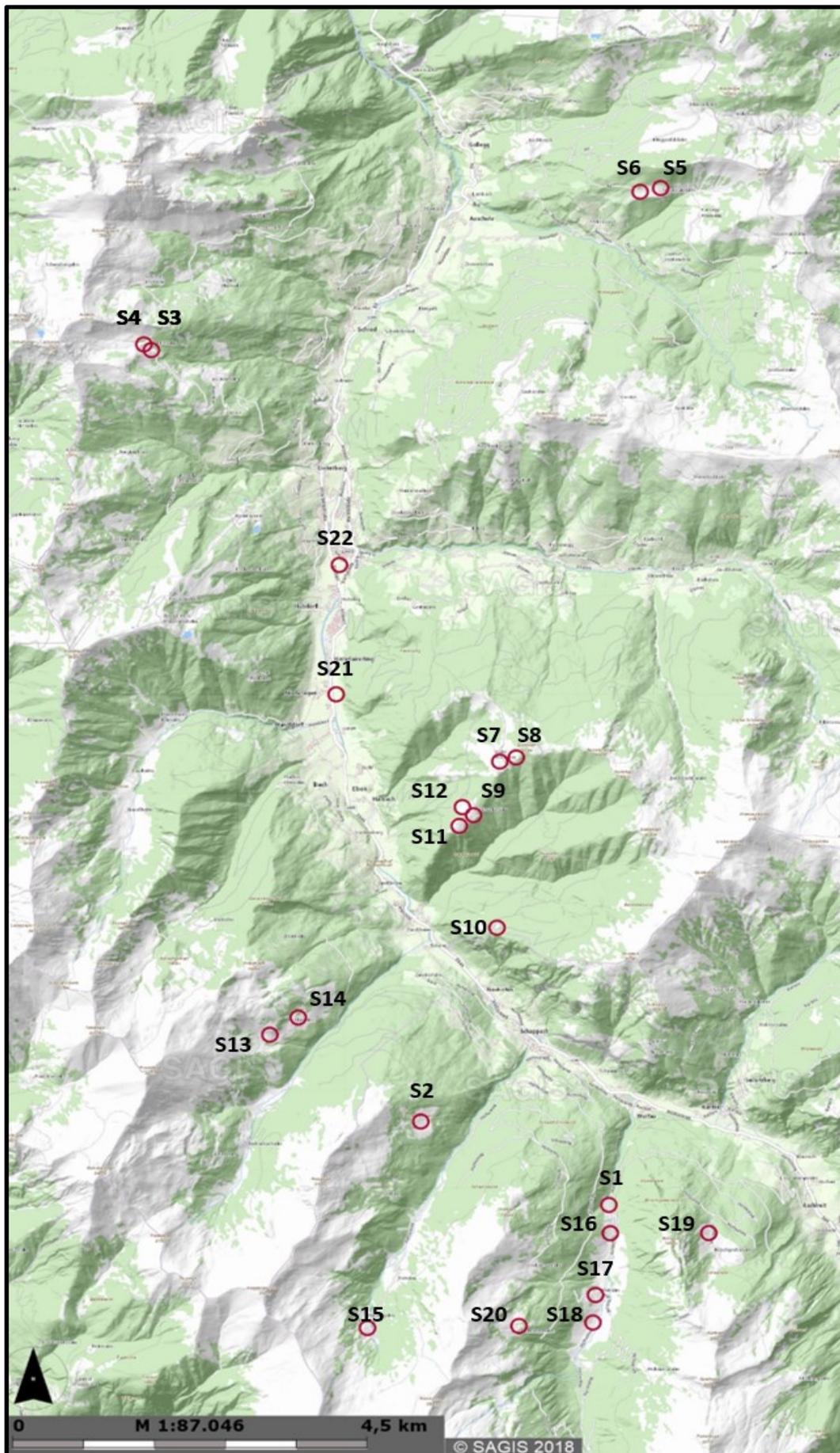


Abbildung 3-1. Standorte der Untersuchungsflächen im Großarlal, modifiziert nach SAGIS (2019)

3.2 Die Agrarstruktur

3.2.1 Das Grünland

„Unter dem Begriff Grünland versteht man eine Bodenfläche, die einen dauernden, aus mehreren bis vielen Pflanzenarten gemischten Bestand trägt, der hauptsächlich durch die Art der Nutzung (mähen und beweiden) baum- und buschfreigehalten wird. Während auf einem Acker zumindest nur eine Pflanze kultiviert wird, ist auf dem Grünland ein mehr oder weniger artenreiches Gemisch erwünscht.“ (Schneider et al. 1957)

Das Grünland stellt in Europa eine wichtige Grundlage für die Erwerbslandwirtschaft dar. So umfasst es 35 % der gesamten landwirtschaftlichen Fläche oder 8 % der gesamten Fläche in Europa (Smit et al. 2008). Fast zwei Drittel der in Österreich landwirtschaftlich genutzten Fläche ist Grünland. In den Vor- und Inneralpinen Regionen spielt es eine besondere Rolle. In Bundesländern wie Vorarlberg, Tirol oder Salzburg beträgt der Grünlandanteil sogar über 90% der landwirtschaftlichen Fläche. Für die Viehhaltung sind Wiesen und Weiden die Grundlage ihrer Existenz (Schneider et al. 1957). Generell nimmt der Grünlandanteil mit steigendem Niederschlag zu. Dabei ist anzumerken, dass je kg produzierter Trockenmasse bei Weide ca. 600 kg Wasser und bei Wiesen rund 500 kg Wasser verbraucht werden (Gessl 1985).

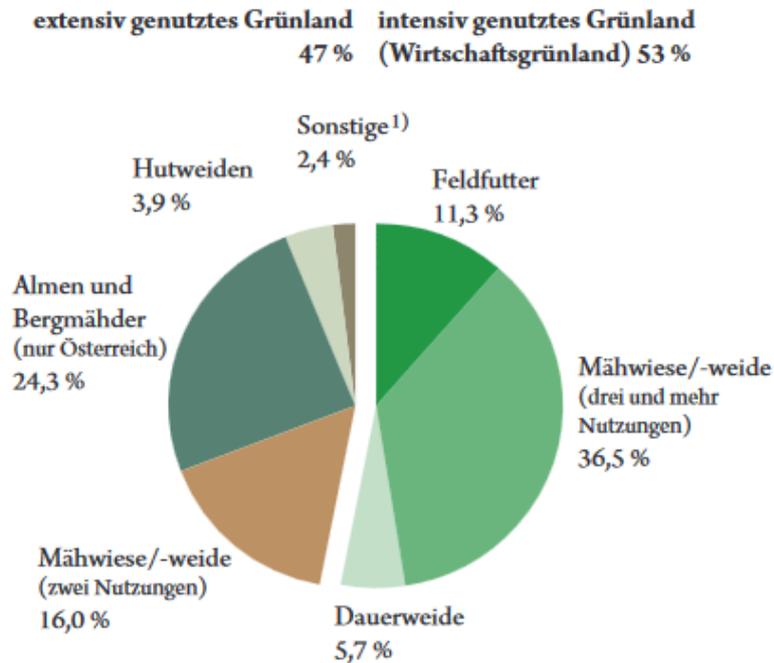
3.2.2 Grünland im Almbereich

In den Alpen und speziell in höheren Lagen ist das Grünland die überwiegende Nutzungsform. Mit Zunahme der Seehöhe steigt auch der Niederschlag und die Strahlung. Die Temperatur nimmt hingegen ab, was zu einem verzögerten Wachstumsbeginn im Frühling führt. Ist aber die Schneedecke weg, so kommt es in diesen Lagen zu einem rapiden Wachstumsschub. (Gessl 1985)

Wie man aus Abbildung 3-2. entnehmen kann, entfällt rund ein Viertel der Grünlandfläche in Österreich auf Almen und Bergmähder.

Verteilung der Grünfutterflächen 2017

insgesamt 1,35 Mio. Hektar (= 100 %)



1) Streuwiesen, einmähdige Wiesen und Grünlandbrache

Abbildung 3-2. Verteilung der Grünfutterflächen in Österreich (BMNT 2018)

3.2.3 Die Struktur der Almen

Durch die Versumpfung der Wiesen am Heimbetrieb, sind die Almflächen im Großarlal oft als wertvoller, als die Flächen am Heimbetrieb zu beurteilen gewesen (Gerhard Prähofer 1988). Durch technische Möglichkeiten wie beispielsweise Drainagierung oder Düngemöglichkeiten hat sich dieses Verhältnis im Laufe der Zeit umgekehrt. Böden im Talbereich sind durch ihre Lage ergiebiger geworden. Jedoch hat sich mit dem zunehmenden Sommertourismus für viele Almbauern ein lukratives Nebeneinkommen durch die Bewirtschaftung von Almhütten und deren Weideflächen entwickelt. Bereits im Jahr 1974 wurden 28,3 % der bestoßenen und 15,1 % der aufgelassenen Almen in Salzburg fremdenverkehrsmäßig genutzt (Penz 1978). 2009 betrug die Almfläche in Salzburg 199.707 ha. Das entspricht einem Prozentsatz von 18,8% der gesamten Salzburger Fläche. (Groier 2010)

Hinsichtlich ihrer Besitzer kann man die österreichischen Almen in drei Gruppen zusammenfassen: Almen in Einzelbesitz, Almen in Gemeinschaftsbesitz und Almen in öffentlichen Besitz. Durch den geschichtlichen Ablauf entwickelten sich im Gebiet des Salzburger Pinzgaves, den Tiroler Schieferalpen in Oberkärnten und in den Niederen Tauern der Steiermark vorwiegend Privatalmen. (Gerhard Prähofer 1988) 82.2% der bewirtschafteten Almen in Salzburg sind Einzelalmen (Privatbesitz). Die anderen 8,8% entfallen auf Gemeinschafts- oder Servitutsalmen. (Aigner op. 2003)

Hinsichtlich ihrer Höhenlage werden die Almen in Österreich als Niederalm (unter 1.300m), Mittelalm (1.300 bis 1.700m) und Hochalm (über 1.700m) eingeteilt. Die meisten Niederalmen werden heute aus fördertechnischen Gründen den Heimbetrieben zugeordnet und werden deshalb nicht mehr als Alm geführt. (Groier 2010)

Im Jahr 2017 wurden österreichweit 8.125 Almen bewirtschaftet. Auf diesen weideten 26,450 GVE auf einer Futterfläche von 322.982 ha (Bmnt 2018). Durch die Alpung von zwei Tieren in den arbeitsreichen Sommermonaten spart ein Landwirt das Winterfutter für ein Tier ein (Aigner op. 2003).

3.2.4 Tourismus und wirtschaftliche Bedeutung:

Die Almwirtschaft betrifft nicht nur die Landwirtschaft, sondern sie steht in direkter Verbindung mit dem Tourismus, der Jagd, der Forstwirtschaft und ökologischen Faktoren (Aigner op. 2003).

Das Großarlal trägt den vom Tourismus beeinflussten Beinamen „Tal der Almen“. Dies ist bereits ein Indiz für die Vielfältigkeit und die wirtschaftliche Bedeutung der Almwirtschaft in diesem Gebiet.

Almflächen stellen auch die Grundlage für verschiedenste Outdoor-Sportarten dar. So werden die Flächen für Skifahrer, Wanderer, usw. bereitgestellt. Diverse Almhütten bieten Übernachtungs.- oder Einkehrmöglichkeiten an. (Aigner op. 2003)

3.3 Klima

Für die Beschreibung des Klimas wurden die Daten der ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) herangezogen. Die Daten wurden von der Messtation in Badgastein auf einer Seehöhe von 1100m in den Jahren 1971 bis 2000 ermittelt.

Diese Station wurde gewählt, weil sie sich in der Nachbargemeinde befindet und deshalb eine repräsentative Aussage zulässt.

Die Jahresniederschlagsmenge betrug 1154,2 l/m² und die Jahresdurchschnittstemperatur 5,6°C. Die Anzahl der Tage mit Temperatur unter 0°C (Frosttage) beläuft sich auf 150 und die Zahl der Tage über 25°C (Sommertage) beträgt 18. Die durchschnittliche jährliche Neuschneemenge ist 257,1 cm.

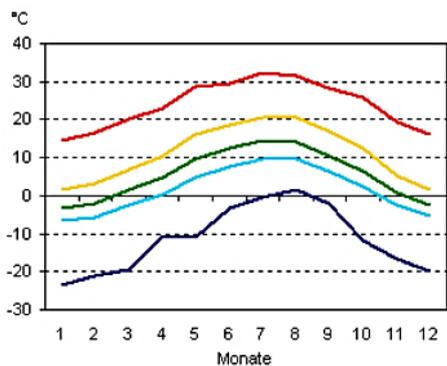


Abbildung 3-3. Lufttemperatur im Jahresverlauf (ZAMG 2018)

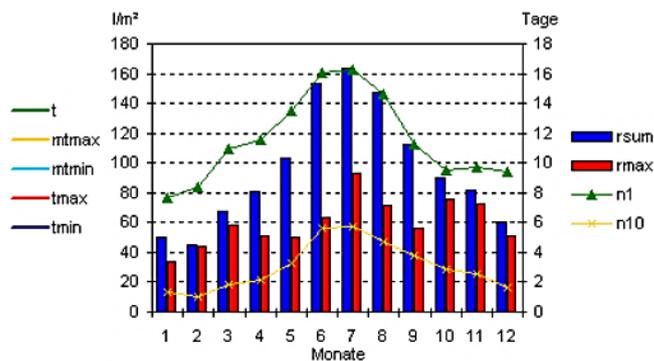


Abbildung 3-4. Niederschlag im Jahresverlauf (ZAMG 2018)

Das Großarlal befindet sich an der Grenze der beiden Klimaräume Inneralpiner Bereich West und Inneralpiner Bereich Ost, wobei es aber noch im erstgenannten liegt. Dieser Raum wird in der österreichischen Bodenschätzung in Abhängigkeit von der Höhen- und geografischen Lage in Klimastufen eingeteilt. Wobei sich das Großarlal in der c/d (1000- 1050m) Grenze im Tal und im Almbereich in der d/e (1450- 1550m) Grenze befindet. Diese Bereiche sind durch fast reiner Grünlandwirtschaft geprägt. In der Klimastufe d herrscht Grün- und Almwirtschaft und die Klimastufe e befindet sich im Bereich an und über der Baumgrenze wo landwirtschaftlich, nur mehr Almwirtschaft betrieben wird. (Harlfinger et al. 2002)

Laut Harlfinger et al. (2002) sind die Vegetationstage als Tage mit einer mittleren Tagestemperatur <5°C definiert.

3.4 Geologie

Der Pongau liegt in der Zentralzone. Diese besteht aus metamorphem Gestein jedes Metamorphosegrades. Das Großarlital bildet die Scheide zwischen den hohen und niederen Tauern. In diesem Bereich befindet sich das sogenannte Tauernfenster mit einem Zentralgneiskern und einer Schieferhülle (Schwingseschlögler 2008).

Durch den harten Klammkalk hat sich im Süden des Nord- Süd ausgerichteten Seitentales des Salzachtales eine enge Schlucht gebildet, die den einzigen befahrbaren Zugang ins Großarlital ermöglicht. Die Grenze des Klammkalk und Radstädter Tauern- Gebietes verläuft auf Höhe des Ortskernes Großarl und zieht sich im Osten auslaufend zurück. In diesem Gebiet stechen kalkhaltig,- schroffe Berggipfel wie der Draugstein (2356m) hervor. (Sagis 2019)

Der Großteil der Untersuchungsflächen liegt in der oberen Schieferhülle, die sich im Süden und Westen des Tales erstreckt. Hier überwiegt die Kalkglimmerschiefer-Grünschieferserie, die sich von der „Oflecktörung“ über die Reit und Hubalmtäler ausdehnt. (Seefeldner 1961)

In diesem Gebiet kommen sanftere Gipfel vor, die bis in große Höhen mit Gras bewachsen sein können wie der Gamskarkogel (2467m), der einer der höchsten Grasberge Europas ist. Der im Süden angrenzende Kerngneis ist für das Untersuchungsgebiet ohne Belang. (Sagis 2019)

3.5 Der Boden allgemein

3.5.1 Definition von Boden

„Boden ist eine von der Erdoberfläche bis zum Gestein reichende, in Horizonte gegliederte, mit Wasser, Luft und Lebewesen durchsetzte Lockerdecke, die durch Umwandlung anorganischer und organischer Ausgangsstoffe, unter Zufuhr von Stoffen und Energien aus der Atmosphäre neu entstanden ist und in der diese Umwandlungsprozesse weiter ablaufen (dynamisches, dreiphasiges System).“ (Blum 2012)

3.5.2 Bodenfunktion

Boden kann hinsichtlich seiner Eigenschaften und seines Ursprungs wichtige Funktionen in der Umwelt übernehmen:

Produktionsfunktion:

Eine sehr wichtige und gleich erkennbare Bodenfunktion ist die Produktionsfunktion von land- und forstwirtschaftlichen Gütern. Darunter wird die Produktion von Biomasse zur Versorgung von Menschen und Tieren verstanden.

Puffer-, Filter- und Transformationsfunktion:

Diese Funktionen werden in manchen Gegenden als die wichtigste Funktion des Bodens betrachtet. Der Boden wird hier als Element zwischen Atmosphäre, Grundwasser und Pflanze wahrgenommen. Durch das Porensystem des Bodens, ist dieser in der Lage, teils große Mengen an Niederschlag aufzunehmen und mit zeitlicher Verzögerung wieder abzugeben. Im Gebirge ist diese Eigenschaft sehr wichtig. Durch die enorme innere Oberfläche des Bodens, kann er schädliche Stoffe wie zum Beispiel Schwermetalle oder Pestizide an sich binden und schützt dadurch das Grundwasser vor Verunreinigung oder verhindert die Aufnahme dieser Stoffe durch Pflanzenwurzeln. Schädliche Stoffe können aber auch durch Bodenmikroorganismen teilweise oder gänzlich umgebaut werden.

Genschutz- und Genreservfunktion:

Im und auf dem Boden gibt es eine beachtliche Menge an Leben. Die Erhaltung und der Schutz von Arten, Organismen und deren Lebensraum ist für einen funktionierenden Kreislauf essentiell.

Infrastrukturfunktion:

Dies bedeutet die Bereitstellung von Fläche für Straßen, Gebäude, Anlagen usw. sowie für die Entsorgung von Abfällen.

Rohstofffunktion:

Der Boden dient auch der Gewinnung verschiedener Güter. Darunter versteht man beispielsweise Tone, Sande, Kiese oder auch Wasser.

Kulturfunktion:

Für die Erforschung der Geschichte und der Speicherung von zum Beispiel Pollen bietet der Boden die notwendige Kapazität. (Blum 2012)

3.5.3 Boden im Untersuchungsgebiet:

Im Zentralbereich der Alpen sind Braunerdeböden, Podsole und braune podsolige Böden die vorherrschende Bodenart. Ab der Waldgrenze befinden sich dann alpine Rasenpodsole, die nur mehr eine Zwergstrauchvegetation zulassen. In Gebieten mit Kalkphylliten und Kalkglimmerschiefer findet man im Großarlal auch vermehrt echte Braunerdeböden. Diese bilden in höheren Lagen in Form von alpinen Rasenbraunerden wertvolle Almflächen. (Seefeldner 1961)

Neben den überwiegenden Braunerdeböden im Großarlal kommen auch Gleye und vereinzelt Moorböden vor (Sagis 2019).

Für meine Referenzflächen im Talgebiet wählte ich aus umsetzbaren Gründen zwei kolluviale Gleyböden, da diese verhältnismäßig wenig Grobanteil hatten und so verwertbare Zylinderproben entnommen werden konnten.

3.5.4 Einteilung von Böden:

Die Einteilung erfolgt grob in zwei Bodenordnungen:

- Terrestrische Böden (Landböden)

Diese sind außerhalb des Grundwassereinflusses entstanden. Die Wasser- und Stoffverlagerung erfolgt für gewöhnlich von oben nach unten. Braunerden und Podsole gehören zu den terrestrischen Böden.

- Hydromorphe Böden (Stau- und Grundwasserböden)

Böden dieser Ordnung sind in ihrer Entstehung maßgeblich vom Wasser bestimmt. Diese Böden können entweder periodisch durch Schwankungen des Grundwasserspiegels oder unter dauernder Wassersättigung stehen. Zu ihnen gehört der Gleyboden.

(Rampazzo und Blum 2000)

3.5.5 Beschreibung der relevantesten Böden im Untersuchungsgebiet:

Braunerde:

Im untersuchten Gebiet ist die Braunerde der vorherrschende Bodentyp. Der B-Horizont, mit einer Mächtigkeit von mindestens 10 cm ist durch die Verwitterung von Eisenverbindungen und der Anreicherung von Eisenoxiden entstanden. Braunerden

können in allen Lagen auftreten. Ihre Eigenschaften können sehr unterschiedlich sein, so kann die Bodenart von sehr leicht bis sehr schwer schwanken. Die Gründigkeit kann von seicht bis tiefgründig reichen und jeder Carbonatgehalt ist möglich. Entstanden sind diese Böden aus festem Gestein bis lockerem Bodenmaterial sowie aus Verwitterungsdecken oder reliktem Ausgangsmaterial mit dem Einfluss eines intensiven Verwitterungsprozesses. Braunerden sind in Abhängigkeit ihrer Gründigkeit, Bodenschwere, Skelettgehalt und ihrer Trophiestufe wertvolle Grünlandböden. (Rampazzo und Blum 2000)

Gley:

Als Ausgangsmaterial ist jedes Grundgestein möglich. Gleye sind in ihrer Entstehung von Grund- bzw. Stauwasser beeinflusst. Im Aufbau ist ein Oxidationshorizont, der Rostflecken aufweist, sowie ein darunterliegender Reduktionshorizont, der durch die reduzierenden Verhältnisse fahl- grau erscheint.

Gleye kommen in Mulden, Talböden und Talbodenrandzonen vor und sind mit anderen hydromorphen oder Braunerdeböden vergesellschaftet. Bei einer Neigung von mehr als 5° spricht man von einem Hanggley. Bei diesen Böden tritt eine wasserundurchlässige Schicht in geringer Tiefe auf.

Gleyböden werden in der Landwirtschaft als Grünlandstandorte genutzt. Auf diesen Böden kommen häufig Grauerlenbestände vor, welche eine typische Vegetationsform im Untersuchungsgebiet darstellt. (Rampazzo und Blum 2000)

Podsol:

Unter Podsolierung versteht man die abwärts verlaufende Umwandlung gelöster organischer Stoffe in Verbindung mit Aluminium und Eisen von einem sogenannten Bleichhorizont in tiefere Bodenschichten. Dieser durch Sickerwasser gesteuerte Prozess findet bei stark saurer Reaktion statt. Dabei wird die mikrobielle Zersetzung durch den niedrigen pH- Wert gehemmt. Ein kühl- feuchtes Klima, wie es im Untersuchungsgebiet vorherrscht, bremst die mikrobielle Aktivität zusätzlich. (Amelung et al. 2018)

Das Ausgangsmaterial ist für gewöhnlich silikatisches, festes Gestein oder Lockermaterial in Verbindung mit organischem Material.

Podsole werden als extensives Grünland (Almgebiet) genutzt und weisen gering- bis mittelwertige Standorte auf. (Rampazzo und Blum 2000)

3.5.6 Auszug einer Bodenbewertung im Hubalmtal:

Der hier beschriebene Boden ist typisch für das Untersuchungsgebiet. Die Probe wurde auf der Hühnerkaralm auf einer Seehöhe von 1840m und einer Hangneigung von 9° entnommen. Hier handelt sich um einen vergleyte, carbonatfreie, alpine, Braunerde. Die Nutzung erfolgt extensiv mit Rinderbeweidung. Ausgangsgestein ist Glimmerschiefer und Phyllit, das als feines Lockermaterial bzw. feinplattiger Hangschutt auftritt. Der stark durchwurzelte, erdfrische AG-Horizont ist nur schwach humos und weist eine lehmig- schluffige Bodenart auf. Der darunterliegenden B- Horizont wird mit einem 15 cm starken Gley- Horizont durchzogen. Im B1 tritt als Bodenart lehmiger Schluff und im G sowie B2 schluffiger Sand auf. Der G- Horizont wird durch Hangwassereinfluss gebildet. (Sagis 2019)

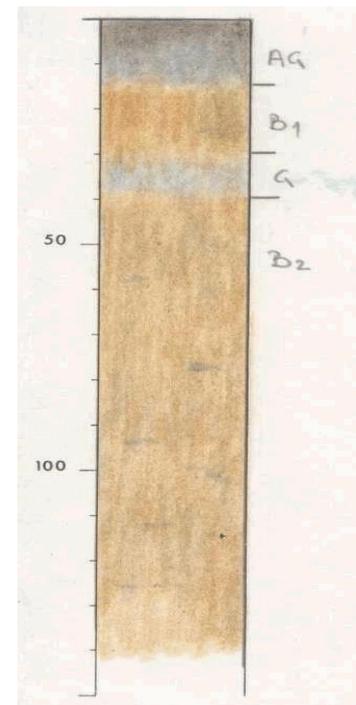


Abbildung 3-5. Bodenprofil einer Braunerde auf der Hühnerkaralm (SAGIS 2019)

Tabelle 3-2. Bodeneigenschaften in Abhängigkeit der Tiefenstufe auf der Hühnerkaralm (Sagis 2019)

Tiefenstufe	pH- Wert	Karbonate [%]	ges. N [%]	C/N	org.-C [%]	ges. S
0-10 cm	3,9	0	0,3	12,07	3,62	0,01
10-20 cm	4,3	0	0,1	15,1	1,51	0
20-30 cm	4,4	0	0,07	17,86	1,25	0
30-50 cm	4,6	0	0,07	18,43	1,29	0
50-70 cm	4,7	0	0,05	17,8	0,89	0

N= Stickstoff C= Kohlenstoff S= Schwefel

Tabelle 3-3. Fraktionsanteil [%] der Korngrößen in Abhängigkeit der Tiefenstufen (Sagis 2019)

Tiefenstufe	630-2000 μm	200-630 μm	63-200 μm	40-63 μm	20-40 μm	10-20 μm	6,3-10 μm	2-6,3 μm	1-2 μm	0-1 μm
0-10 cm	14,8	16,1	24,1	0,4	3,2	4,8	2,1	5,2	7,1	22,2
10-20 cm	15,6	17	25,2	1	7,2	9,7	4,5	5,6	1,4	12,8
20-30 cm	17,3	16,4	25,2	1	5	7,7	4,3	7,8	2,7	12,6
30-50 cm	17,4	18,3	25,6	0,9	7,4	8,6	3,9	6	1,9	10
50-70 cm	18,6	16,9	26,2	1,5	7,7	9,8	4,6	6,7	2,4	5,6

3.5.7 Bewirtschaftungsarten und Intensität:

Die Struktur der Almen im Salzburger Land und speziell in der Gegend um Großarl ist Großteiles so gekennzeichnet, dass die Almbereiche in verhältnismäßig kleine Teilbereiche unterteilt sind. Oft sind Flächen in Hüttennähe vorhanden, die gedüngt und einmal gemäht werden. In Ausnahmefällen werden diese Flächen sogar bis zu zweimal gemäht und zusätzlich beweidet. Jene Weidebereiche, die nicht gemäht, aber in Almhüttennähe sind, werden meistens intensiv als Weidefläche genutzt. Es gibt aber auch Flächen, die großflächiger und meist in höheren Lagen eingezäunt sind. Auf denen weiden Jungrinder, Galtvieh, Schafe oder Pferde. Diese Bereiche werden mangels regelmäßiger Düngung und durch ihre höhere Lage überwiegend extensiv bewirtschaftet.

Durch die Naturbelassenheit der Untersuchungsflächen ergibt sich eine oftmals unregelmäßige Topografie der Bergwiesen. Deshalb ist auch eine gleichmäßige Überfahrt, auf den Flächen, auf denen eine Überfahrt mit Spezialmaschinen möglich ist, oft nicht gewährleistet. So kann es vorkommen, dass auf einer Wiese, die maschinell bewirtschaftet wird, auf einzelnen Teilabschnitten die Überfahrten regelmäßig vorkommen und auf anderen Teilflächen keine Überfahrt stattfindet. Bei der Auswahl der Untersuchungsflächen wurde darauf geachtet, dass diese einem möglichst repräsentativen Standort wiedergeben.

Aufgrund der bergbäuerlichen Agrarstruktur werden die Almflächen hauptsächlich mit Spezialmaschinen bewirtschaftet. Meist sind dies Einachsmäher, Zweiachsmäher, Allradtransporter oder kleine Traktoren. Diese Maschinen sind durch ihre kompakte und im Vergleich, leichte Bauart gekennzeichnet.

Bei der Auswahl der Untersuchungsflächen wurde darauf Wert gelegt, dass diese zumindest in den letzten zehn Jahren immer gleich und in praxisnaher Form bewirtschaftet wurden. Dies wurde immer beim jeweiligen Grundbesitzer bzw. Bewirtschafter erfragt. Insgesamt wurden 22 verschiedene Grünlandstandorte beprobt, wobei vier als Referenzflächen dienen. Die Referenzflächen wurden zudem in intensive Dauergrünlandböden im Talbereich und sehr extensiv genutzte Almflächen unterteilt.

Unter Berücksichtigung der örtlichen Agrar.- bzw. Almstruktur wurden folgenden Unterteilungen der Untersuchungsflächen gemacht:

„Dungmahd“

Ein „Mahd“ ist eine Almwiese die gemäht wird und ein „Dungmahd“ wird zusätzlich mit Festmist oder heutzutage teilweise mit Gülle gedüngt. Diese Flächen werden auch mit Landwirtschaftlichen Fahrzeugen zum Zwecke der Heuernte und Düngung überfahren. In der Regel wird ein Dungmahd bis zum Mähen nicht beweidet und eine Mahd erfolgt nur einmal im Jahr, in Ausnahmefällen bis zu zweimal. Diese Flächen werden nach der Heugewinnung zusätzlich mit Rindern beweidet.

Almweide intensiv

Die intensiven Almweiden liegen Großteiles in unmittelbarer Nähe von bewirtschafteten Almhütten. Durch die Bewirtschaftungsform der Almen im Großarlal treten im Umfeld der Almhütten eine höhere Weide- und Tritthäufigkeit auf. Weil die Kühe zweimal täglich für den Melkvorgang zur Hütte getrieben werden und sich aus diesem Grund der Weideradius vorwiegend um das Wirtschaftsgebäude dreht, herrscht in diesem Bereich eine erhöhte Trittfrequenz vor. In der Regel werden diese Flächen nur beweidet und nur in Ausnahmefällen mit landwirtschaftlichen Geräten befahren.

Almweide extensiv

Diese Flächen werden aufgrund ihrer Lage, Exposition, Hangneigung, Fruchtbarkeit, Bewuchs, Höhenlage oder Entfernung zu den Wirtschaftsgebäuden weniger intensiv beweidet. Dies sind meist große Flächen mit vielseitiger Struktur, die dauerhaft umzäunt sind. In diesen Gebieten verbringen die Weidetiere oftmals die Sommermonate und werden nur zur Kontrolle vom Almpersonal aufgesucht. Bei der Beprobung der extensiven Almweiden wurde großen Wert auf die Ermittlung einer relevanten Teilfläche gelegt. Durch die variierende Gelände- oder Bewuchsstruktur gibt es hier häufig Teilflächen die stärker vom Weidevieh genutzt werden und andere Bereiche, die gemieden werden.

Referenzfläche intensiv

Als Vergleich wurden zwei intensiv bewirtschaftete Mähweiden im Talbereich beprobt. Diese wurden dreimal gemäht, dreimal gedüngt und zusätzlich im Herbst beweidet. Durch die Bewirtschaftung wurden diese Flächen jährlich bis zu 20-mal mit dem Traktor überfahren.

Referenzfläche extensiv

Hierfür wurden zwei Bergmäher herangezogen, die dauerhaft nur mit einem Einachsmäher oder mit der Sense gemäht wurden. Diese Vergleichsflächen wurden nicht gedüngt oder beweidet und nur einmal jährlich gemäht. Es gab also keine Überfahrten mit Maschinen und keinen Einfluss durch Weidevieh.

Tabelle 3-4. Nutzungsart und Nutzungsintensität der Untersuchungsflächen

Standort Kurzbezeichnung	Nutzung	Nutzungsintensität	Überfahrten
S7	DM	2x Maat + 2x Düngung + Beweidung	9
S3	DM	1x Maat + Düngung + Beweidung	2
S5	DM	1x Maat + Düngung + Beweidung	4
S9	DM	1x Maat + Düngung + Beweidung	2
S12	DM	1x Maat + Düngung + Beweidung	4
S13	DM	1x Maat + Düngung + Beweidung	5
S18	DM	1x Maat + Düngung + Beweidung	6
S1	AI	Beweidet	0
S4	AI	Beweidet	0
S6	AI	Beweidet	0
S8	AI	Beweidet	0
S14	AI	Beweidet	0
S15	AI	Beweidet	0
S11	AE	Beweidet	0
S16	AE	1x Maat + Beweidung	0
S17	AE	Beweidet	0
S19	AE	Beweidet	0
S20	AE	Beweidet	0
S21	RI	3x Maat + 3x Düngung + Beweidung	25
S22	RI	4x Maat + 4x Düngung	30
S2	RE	1x Maat	3
S10	RE	1x Maat	0

DM= Dungmaat

RI= Referenzfläche Intensiv

AI= Almweide Intensiv

RE= Referenzfläche Extensiv

AE= Almweide Extensiv

3.5.8 Bodenphysikalische Untersuchungen



Abbildung 3-6. Probennahme auf einem Dungmahd nach der Mahd (eigenes Foto)

Lagerungsdichte:

Die Feststellung der Lagerungsdichte erfolgte mithilfe der Stechzylindermethode. Beim Ablauf der Probennahme wurde strikt dem Verfahren von Hartge und Horn (2009) gefolgt. Die Proben wurden dann nach ÖNORM L 1068 ausgewertet.

Voraussetzung für die Wahl der Teilflächen war die Naturbelassenheit des Bodengefüges. Das heißt, es durften in der Vergangenheit keine Erdarbeiten durchgeführt worden sein.

Für die Beprobung der insgesamt 22 Teilflächen wurden folgende Arbeitsschritte befolgt:

1. Nach der groben Auswahl der Almfläche, wurde eine möglichst relevante Teilfläche, welche den Pflanzenbewuchs, die Geländeform sowie die Bodenbeschaffenheit möglichst repräsentativ vereinigt, gesucht. Bei dieser Begehung wurden mit dem Spaten immer wieder Probestiche durchgeführt.

2. Die gewählte Teilfläche wurde mit einem Maßband vermessen und mit Zaunpfählen in ein 5x5 Meter großes Quadrat abgesteckt. In diesem fand anschließend die Beprobung in 6-facher Wiederholung statt. (Abbildung 3-7. Abgesteckte Teilfläche einer intensiven Almweide



Abbildung 3-7. Abgesteckte Teilfläche einer intensiven Almweide

3. Zu Beginn der Untersuchung wurde der Deckungsgrad der verdichtungszeigenden Pflanzen mit Hilfe der BRAUN-BLANQUET Methode festgestellt. (Siehe Punkt 3.5.11 Vegetationsanalyse.

4. Auf dieser, 20 m² großen Teilfläche ist nun die Dichte des Bodens mithilfe der Stechzylindermethode beprobt worden. Hierfür kamen genormte Zylinder mit einem Volumen von 100 cm³ zum Einsatz. Zu Beginn wurde mit einem Spaten ein ca. 40 cm tiefes Loch ausgestochen. Anschließend sind die Zylinder mit einem, dafür vorgesehenen Treibstock und einem Hammer in den Boden geschlagen worden. Die einzelnen Zylinder wurden mit dem Spaten ausgestochen und mit einem Wellenschliffmesser ist die überstehende Erde und einzelne Wurzeln abgeschnitten worden. Sind Steine in der Erdprobe gefunden worden, so wurde diese verworfen und durch eine neue Wiederholung ersetzt. Dieser Vorgang wurde pro Probeloch 6-mal in eine Tiefe bis 30 cm mit den Tiefenstufen 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25 und 25-30cm wiederholt.



Abbildung 3-8. Probeloch einer Teilfläche

Um möglichst genaue Werte zu erhalten, ist dieses Verfahren pro Teilfläche 6-mal wiederholt worden. So ergaben sich insgesamt 36 Zylinderproben auf einer abgesteckten Fläche.

5. Aus Mangel an Zylindern sind die Proben mit dem genormten Volumen aus dem Zylinder in etikettierte Plastiktüten gedrückt worden. Diese wurden im Anschluss mit einer Waage (0,1% absoluter Skalenwert), gewogen.
6. Um später den pH-Wert, die Bodenstruktur, den organischen Kohlenstoff- und Gesamtstickstoff-Gehalt des Bodens ermitteln zu können ist eine Mischprobe mit 6-maliger Wiederholung auf jeder Teilfläche aus dem Oberboden (A-Horizont) und in einer Tiefe von 20cm (B-Horizont) entnommen worden. Es ergaben sich also pro Standort Mischproben aus zwei verschiedenen Tiefenstufen.
7. Nach dem Schließen der Probelöcher ist mit dem Moisture Meter HH150 und dem Sensor SM 150 die Bodenfeuchte in V% in 12-facher Wiederholung gemessen und notiert worden. Diese Werte sind später in die Berechnungen eingeflossen.
8. Um die Teilflächen später wieder zu finden, sind Markierungspfähle zurückgelassen worden.
9. Die insgesamt 792 Volumsproben sind im Labor auf eine Temperatur von 105°C und einer Dauer von 24 Stunden bis zur Gewichtskonstanz im Trockenschrank getrocknet worden und im Anschluss mit einer Waage (Skalengenauigkeit von 0,01 g) gewogen und aufgezeichnet worden.

10. Nach Abschluss der Beprobung mithilfe der Stechzylinder ist auf allen markierten Standorten der Eindringwiderstand mit dem Penetrologger gemessen worden. Mit diesem Gerät lässt sich der Eindringwiderstand mit einer Lanze bis in eine Tiefe von 80 cm ermitteln. Dies musste innerhalb kurzer Zeit geschehen, um etwaige Witterungsunterschiede so gering wie möglich zu halten. Dafür wurde der Penetrologger Eijkelkamp Agrisearch Equipment, Art. Nr. 06.15.01 verwendet. Dieses Gerät misst den Druck, der aufgebracht werden muss, um die Messlanze in den Boden zu drücken. Die Messspitze hatte einen Durchmesser von 2 cm und einen Winkel von 60°. Auf jeder Teilfläche wurden 10 Messwiederholungen durchgeführt. Die Messdaten sind direkt auf dem Gerät gespeichert worden. Mit der mitgelieferten Software (Penetroviewer Version 4.25) konnten die ermittelten Daten in numerischer und in graphischer Form auf den Computer übertragen werden. Diese Daten wurden anschließend mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel weiterverarbeitet.



Abbildung 3-9. Ermittlung des Eindringwiderstandes mit dem Penetrologger

3.5.9 Bodenchemische Untersuchungen

Die unter Punkt 3.5.8.6. entnommenen Mischproben des A und B Horizontes wurden anschließend im pflanzenbaulichen Labor der Universität für Bodenkultur am Standort Tulln untersucht.

1. Zunächst wurden die Erdproben mehrmals und schlussendlich auf eine Maschenweite von 2mm gesiebt.



Abbildung 3-10. Sieben zur späteren Weiterverarbeitung

2. Der pH-Wert wurde nach ÖNORM L 1083 ermittelt. Die luftgetrockneten und gesiebten Proben wurden mit einer 0,01 Molaren CaCl_2 -Lösung versetzt. Anschließend mit einem Laborschüttler homogenisiert und mit dem Multimessgerät WTW Multi 3420 ist der pH-Wert der einzelnen Proben ermittelt worden.



Abbildung 3-11. Messen des pH-Wertes

3. Bestimmung von organischem Kohlenstoff (C) und totalem Stickstoffgehalt (N):
Zunächst sind alle Proben mit einer Laborwaage (Mettler Toledo) auf eine Genauigkeit von 0,1 mg gewogen und die Wiegedaten in eine Liste eingetragen worden. Durch trockene Verbrennung wurde nach ÖNORM L 1080 der organische Kohlenstoff und nach ÖNORM L 1095 der totale Stickstoffgehalt eruiert.

3.5.10 Texturanalyse

Für die Ermittlung der Korngrößenverteilung und der Bodenart wurden gestörte Proben vom Oberboden (5-10 cm) und eine weitere Probe pro Untersuchungsloch in einer Tiefe von 15-25 cm entnommen. Diese wurden mehrmals bis auf eine Maschenweite von 2 mm gesiebt. Die insgesamt 44 gestörten Bodenproben sind anschließend am Bundesamt für Wasserwirtschaft, im Institut für

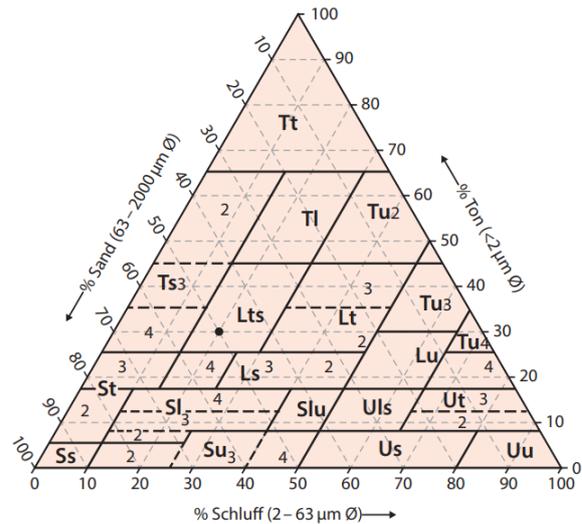


Abbildung 3-12. Bodenarten des Feinbodens im Dreieckskoordinatensystem (Amelung et al. 2018)

in 3252 Petzenkirchen zur Texturanalyse übergeben worden. Dort wurde zur Bestimmung der Korngrößenverteilung eine Humuszerstörung durchgeführt. Die Humuswerte zur Berechnung der Ergebnisse wurden durch die vorangegangenen Laboranalysen von organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff von mir zur Verfügung gestellt.

Es wurde nach ÖNORM L 1061-2 die Korngrößen und nach ÖNORM L 1050 die Textur der Proben ermittelt. Der prozentuelle Anteil von Ton, Schluff und Sand ergab anschließend die Bodenart (siehe Tabelle 4-4.).

3.5.11 Vegetationsanalyse

Die Aufnahme der Vegetation wurde mithilfe des Braun-Blanquet Systems durchgeführt. Dabei ist nach der Beschreibung nach Wilmanns (1993) vorgegangen worden.

Um die Häufigkeit von Bodenverdichtungszeiger zu eruieren wurde nach Tabelle 3-5. vorgegangen. Bei der Wahl der zu beprobenden Teilfläche ist unter anderem auch auf den Pflanzenbestand der gesamten Großfläche eingegangen worden, um bei der Teilfläche (25m²) einen möglichst präzisen Vergleichswert zu erhalten. Nach dem Abstecken der Teilfläche sind mithilfe des Bestimmungsschlüssels für Grünlandpflanzen nach Deutsch (1997), die für diese Arbeit relevanten Pflanzenarten bestimmt worden (siehe Tabelle 2-3., Pflanzenarten). Nach dem Nachweis und anschließendem Bestimmen der Zeigerpflanzen ist der Deckungsgrad nach der Tabelle 3-5 erarbeitet worden. Die Aufnahme der Bestandsanalyse geschah im September 2018.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die internationalen Aufnahme-Skalen nach der Methode von BRAUN-BLANQUET, nach der sich die Pflanzenaufnahme gerichtet hat.

Tabelle 3-5. BRAUN-BLANQUET Skala nach (Wilmanns 1993)

Schätzung der Artmächtigkeit (Menge)	
r	1 Individuum in der Aufnahmefläche, auch außerhalb im Bestand nur sehr sporadisch
+	2-5 Individuen in der Aufnahmefläche, Deckung <5%
1	6-50 Individuen in der Aufnahmefläche, Deckung <5%
2m	Mehr als 50 Individuen in der Aufnahmefläche, Deckung <5%
2a	Individuen Zahl beliebig, Deckung 5-15%
2b	Individuen Zahl beliebig, Deckung 16-25%
3	Individuen Zahl beliebig, Deckung 26-50%
4	Individuen Zahl beliebig, Deckung 51-75%
5	Individuen Zahl beliebig, Deckung 76-100%
Soziabilität (Geselligkeit, Häufungsweise)	
1	Einzel wachsend
2	Gruppen- oder horstweise wachsend
3	Truppweise wachsend (kleine Polster oder Flecken bildend)
4	In kleinen Kolonien wachsend oder größere Flecken oder Teppiche bildend
5	In großen Herden wachsend

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1 Chemische Analyse

4.1.1 Gesamtdatenvergleich

Die nachstehende Tabelle zeigt die bodenchemischen Analysedaten aller Standorte. Es wurde der Gesamtstickstoff und der Anteil an organischem Kohlenstoff vom A und B-Horizont gemessen. Der pH-Wert ist aus einer Mischprobe der beiden Bodenschichten ermittelt worden.

Tabelle 4-1 Auflistung der chemischen Ergebniswerte aller Standorte

Standort	Nutzung	Horizont	Nges[%]	Corg[%]	Corg/Nges	pH
S7	DM	A	0,83	7,26	8,8	5,1
		B	0,34	2,39	7,1	
S3	DM	A	0,56	5,30	9,5	4,9
		B	0,30	2,36	7,8	
S5	DM	A	0,75	6,87	9,2	4,8
		B	0,35	2,46	7,0	
S9	DM	A	0,62	5,66	9,1	4,0
		B	0,23	1,47	6,4	
S12	DM	A	0,74	7,18	9,7	4,1
		B	0,30	2,63	8,7	
S13	DM	A	0,61	5,38	8,9	4,1
		B	0,27	2,03	7,5	
S18	DM	A	1,23	12,18	9,9	4,5
		B	0,36	4,23	11,8	
S1	AI	A	0,50	4,79	9,6	5
		B	0,23	1,83	7,8	
S4	AI	A	0,52	5,34	10,3	3,6
		B	0,15	1,32	8,6	
S6	AI	A	0,92	9,41	10,2	5,5
		B	0,24	2,06	8,4	
S8	AI	A	1,02	9,92	9,7	4,5
		B	0,25	1,79	7,1	
S14	AI	A	0,57	5,63	9,8	4,0
		B	0,19	1,49	7,7	
S15	AI	A	0,63	6,00	9,5	4,4
		B	0,15	1,17	7,8	
S11	AE	A	0,63	5,84	9,3	3,9
		B	0,24	1,83	7,7	
S16	AE	A	1,07	12,39	11,5	5,1
		B	0,36	3,54	9,8	
S17	AE	A	0,62	5,64	9,1	4,4
		B	0,18	1,32	7,4	

S19	AE	A	0,56	5,59	9,9	4,1
		B	0,20	1,54	7,9	
S20	AE	A	0,34	3,87	11,3	4,0
		B	0,17	1,65	9,5	
S21	RI	A	0,47	4,40	9,3	4,8
		B	0,24	1,71	7,2	
S22	RI	A	0,97	9,17	9,4	5,3
		B	0,38	3,51	9,2	
S2	RE	A	0,48	4,39	9,2	4,2
		B	0,22	1,53	6,9	
S10	RE	A	0,66	6,33	9,6	4,2
		B	0,17	1,13	6,7	

Nges= Gesamtstickstoff [%], Corg= Anteil an organischem Kohlenstoff [%],

Corg/Nges= Verhältnis von Kohlenstoff und Stickstoff, pH= pH- Wert,

DM= Dungmaat, AI= Almweide Intensiv, AE= Almweide Extensiv,

RI= Referenzfläche Intensiv, RE= Referenzfläche Extensiv

Tabelle 4-2. Mittelwerte und Standardabweichung der chemischen Untersuchungen aller Standorte

Horizont	n		Nges[%]	Corg[%]	Corg/Nges	pH
A	22	Mw	0.70	6.75	9.68	4.48
B	22	Mw	0.25	2.05	8.00	
A	22	SA	0.22	2.40	0.69	0,51
B	22	SA	0.07	0.82	1.23	

Mw= Mittelwert, SA= Standardabweichung

In Tabelle 4-2 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen aller Standorte, bezogen auf Nges, Corg, das Verhältnis von Corg zu Nges und der pH-Wert abgebildet. Mit Ausnahme des pH-Wertes wurden die prozentuellen Gehälter in A und B Horizont unterteilt.

4.1.2 pH-Wert

Wie in Tabelle 4-1 nachzulesen ist, verzeichnete der Standort S6 mit 5,5 den höchsten pH-Wert. Die beiden Standorte S7 und S16 sind mit einem pH-Wert von jeweils 5,1 als zweithöchste Werte angegeben. Den niedrigsten Wert erreichte der Standort S4 mit 3,6. Nach der Einteilung von Amelung et al. (2018) sind vier Standorte mit den höchsten pH-Werten als mäßig sauer (5 - 5,9), der Großteil als stark sauer (4 - 4,9) und zwei der Standorte sind im sehr stark saurem Bereich (3 - 3,9). Das Mittel aller Standorte betrug 4,48 und ist somit im stark sauren Bereich einzuordnen.

Der Abbau von organischem Material verringert sich mit der Zunahme der Höhenlage und der damit verbundenen, sinkenden Temperatur. Dies bewirkt eine Anreicherung von Humus, der wiederum die Freisetzung von Huminsäure fördert. Dadurch kommt es zu einer ständigen Versauerung der Almböden. (Aigner op. 2003)

Der PH-Wert von Böden hat große Auswirkungen auf den Pflanzenbestand und dessen Erträge. Bei landwirtschaftlich genutzten Flächen sollte der pH-Wert mindestens >5 sein, um mögliche, toxische Reaktionen zu verhindern. Jedoch werden mit dem Steigen des pH-Wertes einige Mikronährstoffe (Mangan, Kupfer, Zinn und Bor) sowie Phosphat weniger Pflanzen verfügbar. Nimmt der pH-Wert zu, werden Bodenmikroorganismen angeregt, die Stickstoff freisetzen und somit für ein besseres Wachstum sorgen. Um im Grünland gute Futterqualität zu erreichen, ist ein pH-Wert von 5,0 bis 5,5 ausreichend und bei als Grünland genutzten Hochmooren reicht bereits ein Wert von 4,5 um ausreichende Futterqualität zu erzeugen. (Amelung et al. 2018)

Nach Bohner et al. (2003) kann der Abbau von organischer Masse durch Kalkung beschleunigt werden. Somit stehen den Pflanzen mehr Nährstoffe zur Verfügung. Jedoch ist bei stark sauren Böden die Verbesserung durch die Ausbringung von Kalk oft nicht zielführend, weil große Mengen, maschinell ausgebracht werden müssten und dies nur in gut erschlossenen Almbereichen möglich ist.

4.1.3 Stickstoff

Der Gesamtstickstoffgehalt war bei S18, einem gedüngten Bergmahd, mit einem prozentuellen Anteil von 1,23 im A-Horizont am höchsten. Den niedrigsten Stickstoffgehalt im A-Horizont verzeichnete die extensiv beweidete Almfläche S20 mit 0,34%. Im B-Horizont erreichte die intensive Referenzfläche S22 mit einem prozentuellen Wert von 0,38 den höchsten Rang und der geringste N-Gehalt im B-Horizont entfiel mit 0,15% auf S4. Der Gesamtstickstoffgehalt aller untersuchten Flächen betrug im Mittel im A-Horizont mehr als das Doppelte mit 0,70% als im B-Horizont mit 0,25%.

Nährstoffe wie Stickstoff werden in der Landwirtschaft hauptsächlich über mineralische oder organische Düngung, Ausscheidungen von Weidetieren oder durch die N-Fixierung von Leguminosen, eingetragen (Amelung et al. 2018). Auf Weiden und speziell auf extensiv genutztem Grünland, geschieht der Stickstoffeintrag oft nicht gleichmäßig, weil das Weidevieh ihre Ausscheidungen zufällig ablegt. Dadurch kann

der Stickstoffgehalt der Probestandorte nicht auf die gesamte Weidefläche übernommen werden.

4.1.4 Organischer Kohlenstoff

Der höchste Anteil an organischem Kohlenstoff im A-Horizont war im Standort S16, einer sehr feuchten Almweide mit einmaliger Mahd ohne Düngung und Überfahrten, zu verzeichnen. Diese Fläche wird nach dem Mähen extensiv mit einer Mutterkuhherde beweidet. Den niedrigsten Corg-Gehalt im A-Horizont erreichte der Standort 20 mit einem Wert von 3,87. Diese extensiv beweidete Untersuchungsfläche ist im Vergleich die Höchstgelegene. Im B-Horizont erreicht S18 mit 4,23% Corg den höchsten Wert. Dieser Standort befindet sich in einem Überflutungsgebiet eines Baches, der einmal jährlich gedüngt und gemäht und zusätzlich beweidet wird. Er ist als sehr feucht einzustufen und wird jährlich ca. 6-mal mit landwirtschaftlichen Maschinen überfahren. Den niedrigsten Corg-Gehalt im B-Horizont mit 1,13% verzeichnete die extensiv bewirtschaftete Referenzfläche S10. Dieser Standort wird nur einmal jährlich gemäht und nicht beweidet, gedüngt oder überfahren. Im Mittel wiesen die Untersuchungsflächen einen organischen Kohlenstoffgehalt von 6,75% im A-Horizont und 2,05% im B-Horizont auf.

Der Anteil an organischem Material ist im Grünland in den obersten Bodenschichten am größten. Es gibt jedoch auch Ausnahmen, wie das auf den Almen häufig vorkommende Hochmoor. Dabei wird die Zersetzung von organischer Materie durch Sauerstoffmangel gehindert. (Amelung et al. 2018) Im Grünland geschieht die Anreicherung von Kohlenstoff hauptsächlich durch Pflanzenwurzeln. Durch eine Bewurzelung der Grünlandpflanzen von bis zu 100 cm Tiefe, können sich auch tiefere Bodenschichten mit Kohlenstoff anreichern. (Bohner 2010) Im Grünland macht das Wurzelstreu etwa 40% der Gesamtkohlenstoffzufuhr aus. Böden mit einem hohen Anteil an organischer Substanz sind in der Regel strukturstabiler und somit weniger empfindlich gegenüber mechanischen Belastungen. Die Porosität steigt mit dem Anteil an organischem Material im Boden und die Lagerungsdichte sinkt. (Amelung et al. 2018)

Aufgrund der niedrigen pH-Werte und der Karbonatfreiheit der Böden, kann man davon ausgehen, dass der Gehalt von organischem Kohlenstoff gleich dem Gesamtkohlenstoff ist (Gehmacher 2016).

4.1.5 C/N Verhältnis

Das C/N-Verhältnis beschreibt die Stickstoffverfügbarkeit im Boden und somit für die Pflanzen. Je kleiner die Zahl ist, umso mehr Stickstoff kann zur Verfügung gestellt werden. (Amelung et al. 2018)

Das Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff reichte von 8,8 bis 11,5 im A-Horizont und im B-Horizont von 6,4 bis 11,8. Der Mittelwert ergab im A-Horizont 9,68 und im B-Horizont 8,00.

Mit einem C/N-Verhältnis von 11,5 im A-Horizont erreichte der Standort S16 das weiteste Verhältnis. Dieser Standort kann als Hochmoor bezeichnet werden. Er wird einmal jährlich gemäht, nicht gedüngt und nach der Mahd extensiv beweidet.

Laut Amelung et al. (2018) reicht das C/N-Verhältnis ertragreicher Grünlandböden in Mitteleuropa im A-Horizont von <10-15 und in stark sauren Waldböden oder Hochmooren kann das C/N-Verhältnis einen Wert von 40-60 erreichen. So weite Verhältnisse von Kohlenstoff und Stickstoff konnten bei den Untersuchungen auf den Almen nicht nachgewiesen werden.

4.1.6 Datenvergleich nach Nutzungsformen

Tabelle 4-3 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen, zusammengefasst in die Nutzungsformen. Diese wurden wiederum in A-Horizont (0-15cm) und B-Horizont (15-30cm) unterteilt.

Tabelle 4-3. Mittelwerte und Standardabweichungen der chemischen Analysen gegliedert nach Nutzungsformen und Horizonte.

Nutzung	Horizont	Nges-MW	Nges-SA	Corg-MW	Corg-SA	C/N-MW	C/N-SA	pH-MW	pH-SA
DM	A	0,76	0,23	7,12	2,39	9,30	0,41	4,50	0,44
	B	0,31	0,05	2,51	0,85	8,04	1,81		
AI	A	0,69	0,22	6,85	2,22	9,86	0,34	4,50	0,68
	B	0,20	0,05	1,61	0,34	7,90	0,54		
AE	A	0,64	0,27	6,67	3,30	10,22	1,12	4,30	0,48
	B	0,23	0,08	1,98	0,89	8,46	1,11		
RI	A	0,72	0,35	6,79	3,37	9,35	0,07	5,05	0,35
	B	0,31	0,10	2,61	1,27	8,20	1,41		
RE	A	0,57	0,04	5,36	0,28	9,4	0,28	4,2	0
	B	0,20	0,04	1,33	0,28	6,80	0,14		

MW= Mittelwert, SA= Standardabweichung, Corg= organischer Kohlenstoff, Nges= Gesamtstickstoff

DM= Dungmaat, AI= Almweide Intensiv, AE= Almweide Extensiv, RI= Referenzfläche Intensiv, RE= Referenzfläche Extensiv

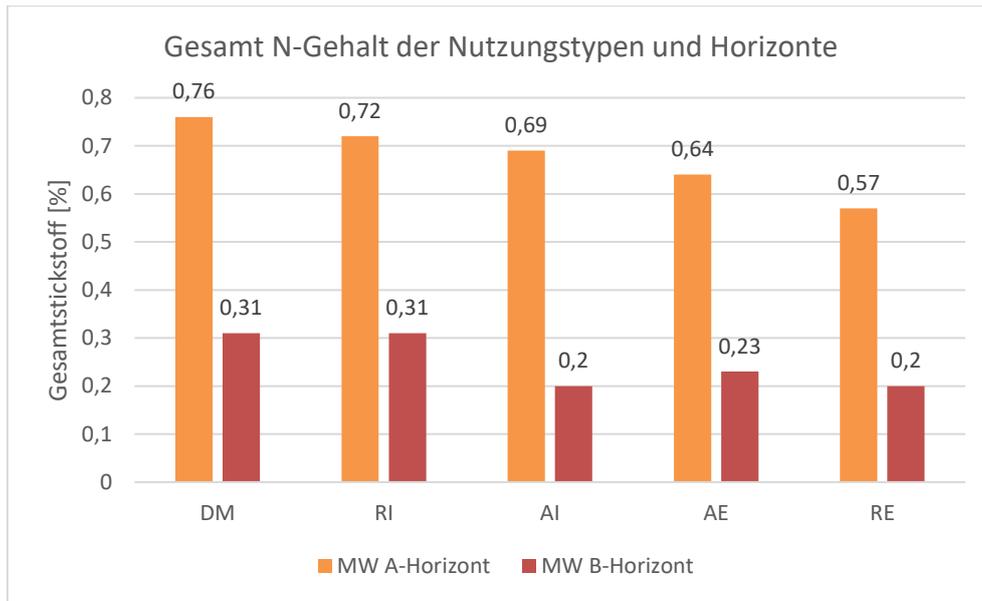


Abbildung 4-1 Vergleich des Gesamtstickstoffgehalt [%] in Abhängigkeit der Nutzungsform

In Abbildung 4-1 ist ein nutzungsbedingter Trend in Zusammenhang mit dem Gesamtstickstoffgehalt im A-Horizont zu erkennen. So nimmt der N-Gehalt mit der Extensivierung der Flächen ab. Der Mittelwert im B-Horizont der einzelnen Nutzungstypen zeigt einen ähnlichen Trend und es ist klar die Abnahme des N-Gehaltes im Vergleich zum A-Horizont um mehr als die Hälfte wahr zu nehmen.

4.2 Bodentextur

Die nachstehende Tabelle zeigt die Bodenarten der Untersuchungsstandorte. Es wurde auf jedem Standort im A-Horizont (0-10 cm) und im B-Horizont (15-25 cm) die Textur der Erde untersucht und in Ton, Schluff und Sand prozentuell eingeteilt. Daraus ergab sich die Bodenart.

An den Standorten S18, S6, S8 und S22 konnte im A-Horizont aufgrund eines zu hohen Humusgehaltes keine Analyse durchgeführt werden. Diese vier Standorte sind zur Gänze in den intensiven Nutzungsbereichen eingeordnet.

Standort	Horizont	Nutzung	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]	Bodenart [<2mm]
S7	A	DM	21,5	47,1	31,4	sL
S7	B	DM	17,4	37,8	44,7	sL
S3	A	DM	14,6	58,7	26,7	sU/IU
S3	B	DM	14,3	50,9	34,8	IS
S5	A	DM	23	50,7	26,3	sL
S5	B	DM	18,7	47,8	33,4	sL
S9	A	DM	20,2	37,6	42,2	sL
S9	B	DM	14,7	38,8	46,5	IS/sL
S12	A	DM	24,9	29,5	45,5	sL/L
S12	B	DM	16,7	31,6	51,7	sL
S13	A	DM	14,8	41	44,2	IS/sL
S13	B	DM	14,3	40,1	45,6	IS
S18	A	DM		Humusgehalt >15% der Masse		
S18	B	DM	3,5	44,6	51,9	uS
S1	A	AI	13,9	43,3	42,8	IS
S1	B	AI	7,9	44,3	47,8	IS
S4	A	AI	17,6	52,8	29,7	sL
S4	B	AI	10,1	59,9	30	sU
S6	A	AI		Humusgehalt >15% der Masse		
S6	B	AI	16,4	59,4	24,2	IU
S8	A	AI		Humusgehalt >15% der Masse		
S8	B	AI	13,6	5,7	80,6	tS
S14	A	AI	14	42,2	43,8	IS
S14	B	AI	12,5	47,5	40	IS
S15	A	AI	11,1	41,7	47,1	IS
S15	B	AI	5,3	47,6	47,1	uS/IS
S11	A	AE	21	40,7	38,3	sL
S11	B	AE	15,1	43,2	41,7	IS/sL
S16	A	AE	20,5	48,3	31,2	sL
S16	B	AE	11,7	52,8	35,6	IS
S17	A	AE	10	57,5	32,5	sU
S17	B	AE	6,9	47,5	45,7	IS
S19	A	AE	13,7	38,4	47,9	IS
S19	B	AE	4,6	47,1	48,3	uS/IS
S20	A	AE	11,7	41,7	46,6	IS
S20	B	AE	7,2	43	49,8	IS
S21	A	RI	12,6	51,7	35,7	IS
S21	B	RI	11	66,2	22,8	sU
S22	A	RI		Humusgehalt >15% der Masse		
S22	B	RI	10,7	62,2	27,1	sU
S2	A	RE	15,9	43,6	40,5	sL
S2	B	RE	10,6	43,7	45,7	IS
S10	A	RE	22,7	35,2	42,1	sL
S10	B	RE	10,7	40,7	48,5	IS/sL

T= Ton, t=tonig; U= Schluff, u= schluffig; S= Sand, s= sandig; L= Lehm, l= lehmig

DM= Dungmaat, AI= Almweide Intensiv, AE= Almweide Extensiv,
RI= Referenzfläche Intensiv, RE= Referenzfläche Extensiv

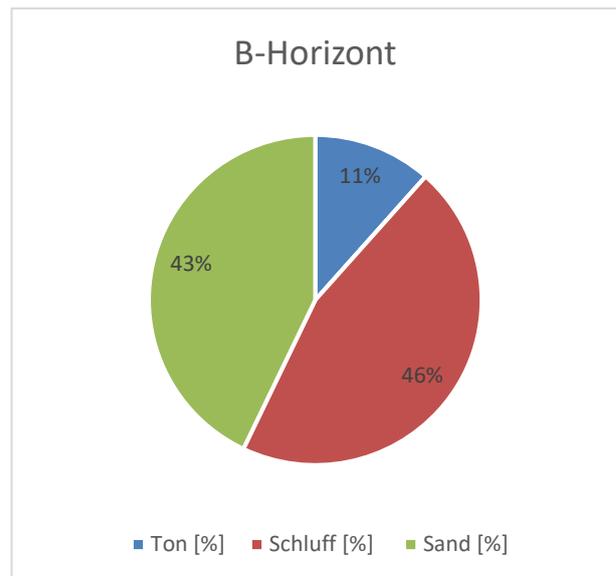
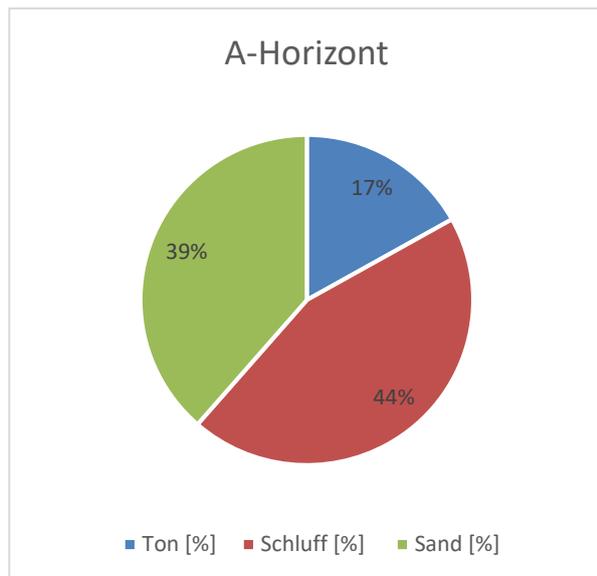


Abbildung 4-2. Korngrößenverteilung im A-Horizont Abbildung 4-3. Korngrößenverteilung im B-Horizont

Der Anteil an Ton, Schluff und Sand im Boden ist stark von seiner Entstehung und den ablaufenden Prozessen im Boden abhängig. Die Bodenart, also die Körnereigenschaften der Fraktionen Ton, Schluff und Sand, bestimmt den Charakter des Bodens. Eine Ausnahme bilden Böden mit einem hohen Anteil an organischem Material wie z.B. Moore oder Anmoore. (Amelung et al. 2018)

Bei der Unterteilung aller untersuchten Böden in A- und B-Horizont und dessen Aufspaltung in die einzelnen Bodenarten, ist zu erkennen, dass im A-Horizont der Schluffanteil mit 44% am höchsten ist. Gefolgt vom Anteil an Sandkörnern mit 39%. Der Anteil an Tonmineralen ist mit 17% im Oberboden am geringsten. Im B-Horizont zeichnet sich ein ähnliches Bild ab. Es ist lediglich noch etwas weniger Ton vorhanden der dem Schluff und Sand gleichermaßen zu Gute kommt.

4.3 Bodenwassergehalt

4.3.1 Errechnete Bodenfeuchte

Nach Amelung et al. (2018) ist das Bodenwasser, jenes Wasser, das für die Pflanzen zur Verfügung gestellt werden kann. Dieses kann dem Boden bei einer Trocknung von 16 Stunden und 105°C entzogen werden.

Die Zylinderproben zur Ermittlung der Lagerungsdichte wurden gleich nach der Entnahme, im frischen Zustand gewogen und die Daten notiert. Nach dem Trocknen

für 24 Stunden auf die Gewichtskonstante, konnte der Wassergehalt der Proben mit der Differenz errechnet werden. Da die Probennahme aber mehrere Wochen in Anspruch genommen hat, waren die Witterungsbedingungen nicht immer die gleichen. Deshalb sind Schwankungen im Bodenwasserhaushalt innerhalb der Standorte möglich.

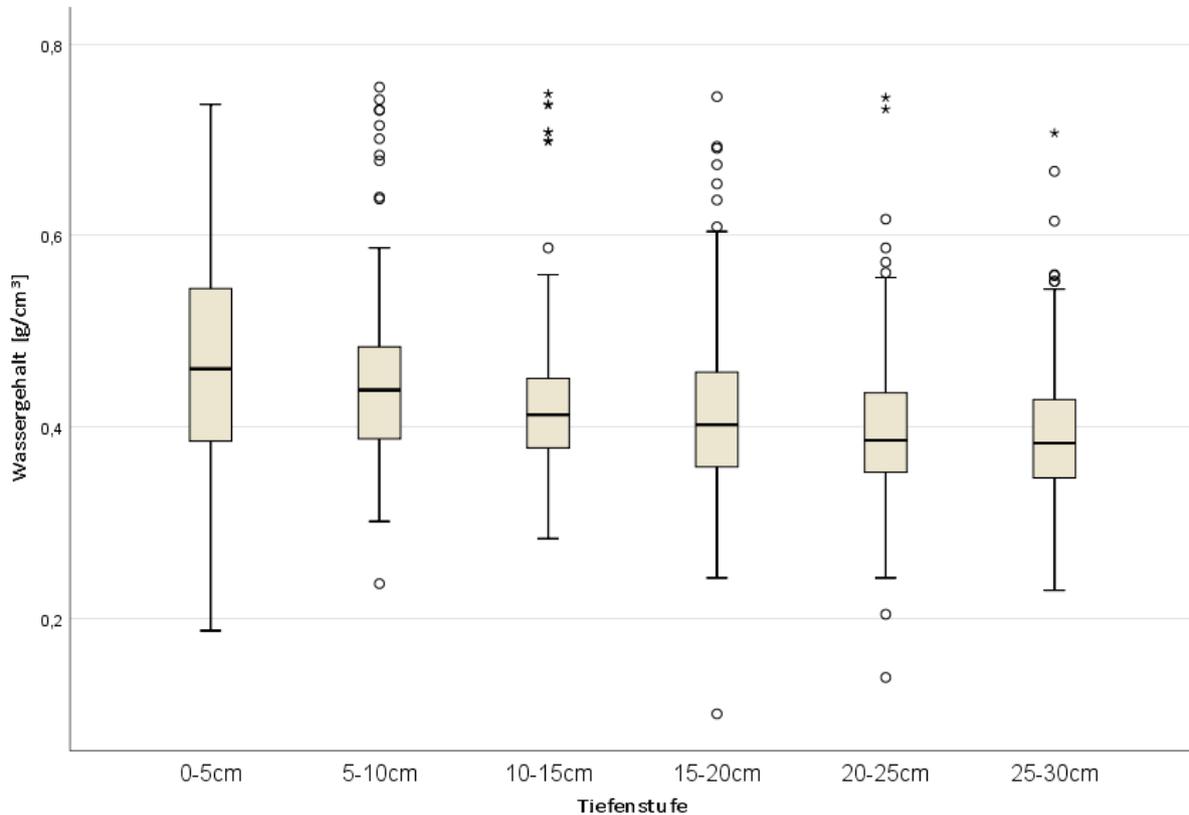


Abbildung 4-4. Wassergehalt [g/cm³] aller Standorte unterteilt in den Tiefenstufen

Tabelle 4-5. Errechnete Daten des Wassergehaltes [g/cm³]

Tiefenstufe [cm]	n	min	max	median	MW	SA
2-5	132	0,187	0,737	0,461	0,462	0,112
5-10	132	0,236	0,755	0,439	0,452	0,096
10-15	132	0,283	0,748	0,413	0,426	0,088
15-20	132	0,100	0,745	0,402	0,414	0,092
20-25	132	0,138	0,744	0,386	0,402	0,085
25-30	132	0,229	0,707	0,383	0,397	0,076

Wie bei Abbildung 4-4. und Tabelle 4-5 zu erkennen ist, sinkt der Wassergehalt mit der Zunahme der Tiefe. In den ersten 5 cm ist die Streuung sehr hoch mit einer Standardabweichung von 0,112. In den unteren Tiefenstufen ist ein, im Vergleich homogenerer Wassergehalt zu verzeichnen.

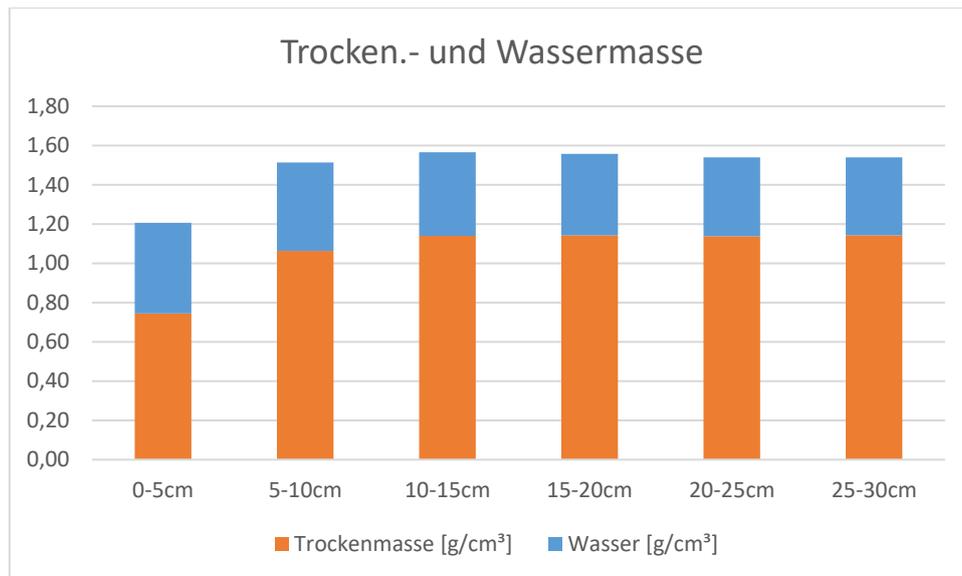


Abbildung 4-5. Trennung von Trockenmasse [g/cm³] und Wassermasse [g/cm³]

In Abbildung 4-5. sind die Gesamtmassen der Zylinderproben in einem Balkendiagramm in Abhängigkeit der gewählten Tiefenstufen dargestellt. Bei der Berechnung wurden alle Werte aller Standorte miteinbezogen. Der blaue Bereich gibt den gewogenen Wassergehalt [g/cm³] wieder und der braune Balkenabschnitt zeigt den Trockenmassegehalt [g/cm³].

4.3.2 Gemessene Bodenfeuchte

Bei den Entnahmen der Stechzylinder- Proben sowie beim Messen des Eindringwiderstandes mit dem Penetrologger wurde die Feuchtigkeit in V% mit dem Moisture Meter HH150 an allen Standorten gemessen. Die Messung erfolgte im Oberboden in einer Tiefe von ca. 7 cm. Die Wassergehaltsmessung fand pro Standort in 12-facher Ausführung statt.

Tabelle 4-6: Mittelwerte und Standardabweichungen der Volumetrische Bodenfeuchte [%]

Standort	Nutzung	V% Stechzylinder		V% Pentrologger	
		MW	SA	MW	SA
S7	DM	31.16	5.187	29.70	8.091
S3	DM	45.18	6.500	41.54	7.224
S5	DM	41.03	7.434	33.38	7.763
S9	DM	20.96	4.665	16.71	5.420
S12	DM	27.00	7.560	21.63	7.199
S13	DM	40.27	4.607	28.96	6.427
S18	DM	74.12	7.206	66.13	11.211
S1	AI	55.28	5.827	56.37	7.832
S4	AI	45.18	8.332	44.95	10.408
S6	AI	44.91	8.909	41.78	10.085
S8	AI	53.23	12.412	37.30	10.101
S14	AI	46.10	5.855	33.60	5.593
S15	AI	65.83	5.964	61.13	8.250
S11	AE	27.98	7.617	12.62	5.916
S16	AE	65.94	8.328	62.86	15.734
S17	AE	59.84	4.373	47.55	8.096
S19	AE	36.73	7.518	30.93	6.285
S20	AE	41.02	12.823	42.23	9.532
S21	RI	38.93	5.136	37.00	5.327
S22	RI	51.41	7.846	61.16	9.657
S2	RE	31.15	7.122	29.41	5.881
S10	RE	49.34	7.601	40.93	7.986

DM= Dungmaat, AI= Almweide Intensiv, AE= Almweide Extensiv,
RI= Referenzfläche Intensiv, RE= Referenzfläche Extensiv

Im Zuge der Probennahme mithilfe des Stechzylinders wurde auf jedem Standort anschließend die Bodenfeuchte gemessen. Dies geschah in einem Zeitraum von ca. drei Wochen. Das Messen des Eindringwiderstandes und der dazugehörigen Bodenfeuchte erfolgte in der Zeitspanne von drei Tagen bei gleichen Witterungsbedingungen. Die Messdaten der beiden Bodenfeuchtemessungen wurden mit dem Korrelationskoeffizienten nach Pearson verglichen und ergaben mit dem Signifikanzniveau von 0,01 einen hochsignifikanten Zusammenhang. Der Korrelationskoeffizient liegt bei 0,914.

Den geringsten mittleren Feuchtigkeitsgehalt im Oberboden mit einem Volumsprozentanteil von 12,62 erreicht die extensive Almweide S11 und die höchste Feuchtigkeit erreichte mit einer mittleren Bodenfeuchte von 74,12 V% der Standort S18.

Tabelle 4-7. Mittelwerte und Standardabweichungen der Bodenfeuchte [V%] zusammengefasst in Nutzungstypen.

Nutzung	Mittelwert	SA
DM	36,98	15,837
AI	48,80	9,237
AE	42,77	16,009
RI	47,13	9,809
RE	37,71	8,025

DM= Dungmaat,
 AI= Almweide Intensiv,
 AE= Almweide Extensiv,
 RI= Referenzfläche Intensiv,
 RE= Referenzfläche Extensiv

Tabelle 4-7. Zeigt die Bodenfeuchte in Volumsprozent reduziert auf die verschiedenen Nutzungstypen. Die intensiven Almweiden erreichten den höchsten mittleren Wert mit einem Wassergehalt von 48,80%. Dicht gefolgt von der intensiven Referenzfläche mit 47,13 V%. Die trockensten Nutzungstypen sind das Dungmahd mit einem mittleren Feuchtegehalt von 36,98 V% und die extensive Referenzfläche mit 37,71 V%.

4.4 Lagerungsdichte

4.4.1 Gesamtdatenvergleich

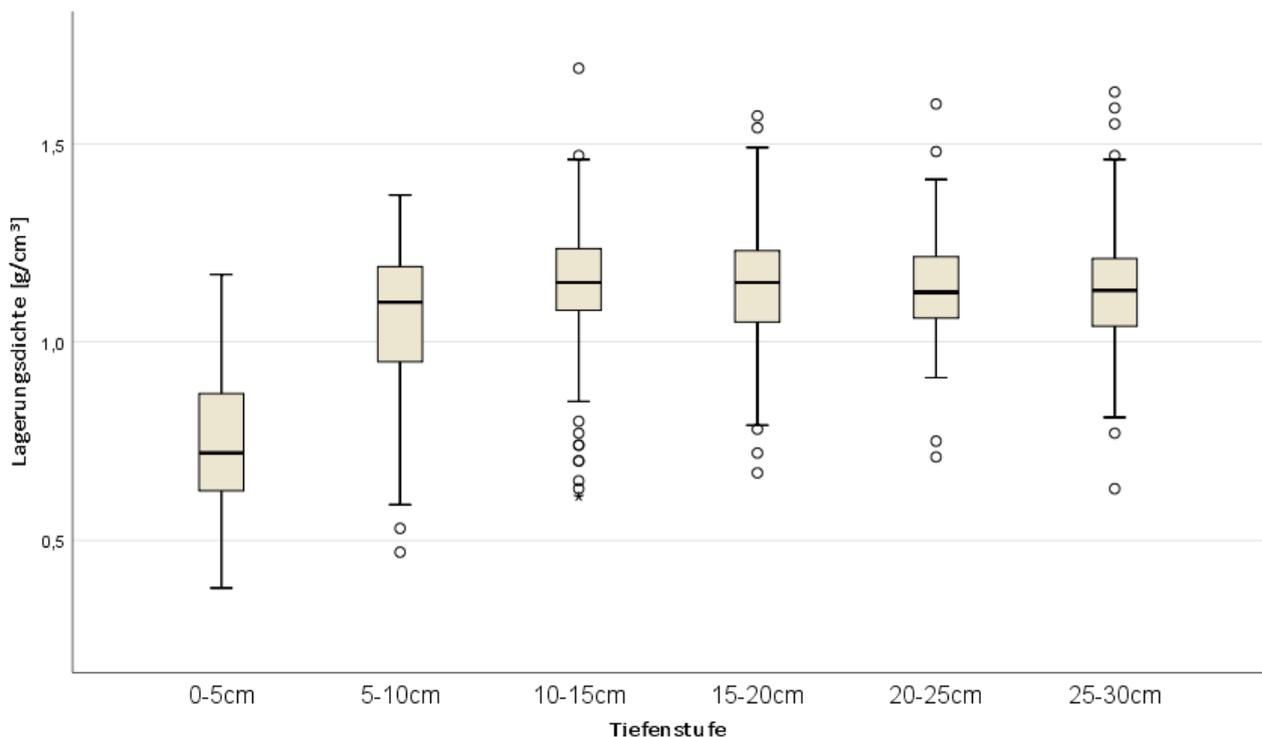


Abbildung 4-6. Vergleich der Lagerungsdichte [g/m³] aller Standorte in Abhängigkeit der Tiefenstufen

Tabelle 4-8. Bodendichte [g/m³] in Abhängigkeit der Tiefenstufen

Tiefenstufe [cm]	n	min	max	MW	median	SA
0-5	132	0.38	1.17	0,74	0.72	0.17
5-10	132	0.47	1.37	1,06	1.1	0.19
10-15	132	0.61	1.69	1,14	1.15	0.17
15-20	132	0.67	1.57	1,14	1.15	0.15
20-25	132	0.71	1.6	1,14	1.21	0.13
25-30	132	0.63	1.63	1,14	1.13	0.15

Das Boxplotdiagramm (Abbildung 4-6) zeigt die Lagerungsdichten [g/m³] aller Standorte in Abhängigkeit der Tiefenstufen. Es ist zu erkennen, dass in den ersten 5 cm die geringste Bodendichte vorliegt. Dies ist laut Amelung et al. (2018) im Grünland auf die dichte und dauernde Vegetationsdecke und auf die Bewurzelung im Oberboden zurückzuführen. Auch Bohner und Herndl (2011) beschreiben diese Tatsache. Durch den hohen Humusgehalt und dem dichten Wurzelfilz ergeben sich in den ersten 5 cm Bodentiefe durchwegs geringere Lagerungsdichten als in den darunter liegenden Tiefenstufen. Bei intensiver Beweidung oder einem nassen Bodenzustand kann das Krümelgefüge im Oberboden zusammenbrechen (Amelung et al. 2018).

Auch ist im Bereich von 5-10 cm noch eine geringere Bodenverdichtung zu verzeichnen. Die nachstehenden Lagerungsdichten bewegen sich in einem weithin einheitlichen Dichtefeld. Bei der Zusammenfassung aller Standorte und der Unterteilung in die Tiefenstufen können alle Tiefenschichten als sehr gering verdichtet eingestuft werden.

In der Tabelle 4-8 ist bei den Standardabweichungen zu erkennen, dass diese sehr hoch sind. D.h. die Unterschiede in den Lagerungsdichten der einzelnen Nutzungsformen, Probenstandorte oder Probenlöcher sind weit gestreut.

Den kleinsten Wert weist der Standort S18 in der obersten Tiefenschicht mit einer Dichte von 0,38 g/cm³ (sehr gering verdichtet) auf (Tabelle 4-9). Die höchste Verdichtung tritt wiederum bei Standort S18 mit einer Dichte von 1,69 g/cm³ (hoch verdichtet) in der Tiefenstufe 10-15 cm auf. S18 liegt im Hubalmtal und wird als „Dungmahd“ mit einmaliger Mahd und Düngung und zusätzlicher Beweidung bewirtschaftet. Der Humusgehalt beträgt im Oberboden bei diesem Standort über 15%. Der sehr nasse Standort liegt an einem Überschwemmungsgebiet eines Baches,

der in der Vergangenheit sichtlich zur Bodenbildung beigetragen hat. Dies ist durch die Bodenart (schluffiger Sand) im B-Horizont zu erkennen.

Tabelle 4-9: Mittelwerte und Standardabweichungen der Lagerungsdichte aller Standorte

Standort	Nutzung	0-5cm		5-10cm		10-15cm		15-20cm		20-25cm		25-30cm	
		MW	SA	MW	SA	MW	SA	MW	SA	MW	SA	MW	SA
S7	DM	0.68	10.57	0.93	9.87	1.05	8.98	1.18	6.46	1.12	10.44	1.08	4.00
S3	DM	0.79	22.92	1.01	4.45	1.12	11.08	1.10	8.66	1.07	6.74	1.11	8.17
S5	DM	0.82	11.31	1.03	3.19	1.11	6.66	1.10	9.67	1.06	8.91	1.03	9.10
S9	DM	0.70	9.79	1.02	3.39	1.11	18.10	1.12	7.62	1.16	8.22	1.16	5.34
S12	DM	0.75	26.30	1.03	4.23	1.10	15.27	1.06	8.75	1.05	6.91	1.08	9.54
S13	DM	0.94	11.01	1.24	7.34	1.25	9.29	1.29	14.85	1.31	11.44	1.36	7.77
S18	DM	0.58	15.82	0.71	42.36	1.13	17.67	1.18	32.65	1.28	18.13	1.11	36.64
S1	AI	1.00	11.11	1.17	10.93	1.22	9.17	1.14	8.96	1.19	10.25	1.10	8.36
S4	AI	0.71	17.67	1.09	13.59	1.31	8.07	1.24	13.87	1.08	5.82	1.06	8.77
S6	AI	0.67	10.55	0.99	8.02	1.02	10.68	1.02	11.30	1.07	8.36	1.06	9.11
S8	AI	0.65	7.03	1.19	8.36	1.20	5.04	1.15	5.75	1.15	9.46	1.17	9.91
S14	AI	0.79	14.40	1.23	12.08	1.18	7.22	1.14	10.07	1.18	7.90	1.17	13.52
S15	AI	0.85	10.93	1.21	4.62	1.25	6.21	1.22	6.68	1.19	3.33	1.19	6.59
S11	AE	0.69	15.03	1.16	9.06	1.20	6.02	1.15	6.28	1.08	10.17	1.15	14.23
S16	AE	0.52	5.93	0.64	23.54	0.79	9.09	0.88	16.63	0.95	21.27	1.19	34.58
S17	AE	0.74	8.60	1.21	3.14	1.26	7.81	1.28	20.52	1.22	13.09	1.13	17.09
S19	AE	0.83	12.01	1.22	8.38	1.20	8.21	1.10	4.50	1.08	5.68	1.08	6.87
S20	AE	0.83	5.90	1.08	5.75	1.06	10.53	1.01	4.13	1.04	6.00	1.15	7.87
S21	RI	0.90	9.70	1.15	5.43	1.17	6.57	1.22	2.93	1.20	3.27	1.23	6.92
S22	RI	0.67	18.15	0.89	16.87	0.93	16.96	1.08	21.03	1.11	8.22	1.13	14.33
S2	RE	0.64	13.49	1.17	3.74	1.19	7.66	1.19	2.25	1.18	8.38	1.15	8.52
S10	RE	0.64	7.37	1.02	10.57	1.25	7.69	1.31	13.00	1.28	12.91	1.29	17.14

DM= Dungmaat, AI= Almweide Intensiv, AE= Almweide Extensiv,
RI= Referenzfläche Intensiv, RE= Referenzfläche Extensiv

Zusammenfassend kann hier gesagt werden, dass die Lagerungsdichten im Gesamtvergleich, bis auf die oberen 5 bis 10 cm, annähernd gleich sind. Jedoch gibt es, natürliche Standortabhängige Unterschiede in der Lagerungsdichte. Ein Nutzungsabhängiger Vergleich wird unter Kapitel 4.7 ausgeführt.

Gehmacher (2016) kam bei seinen Untersuchungen der Lagerungsdichten auf ein ähnliches Ergebnis. Im direkten Vergleich fielen seine Werte aber deutlicher aus. Er verglich auch die Lagerungsdichte verschiedener Nutzungstypen im Grünland. Bei seinen Untersuchungen ist ebenfalls eine geringere Bodenverdichtung in den oberen 10 cm bei jeder Grünlandnutzung zu verzeichnen und die Lagerungsdichte steigt bei

seinen Messungen kontinuierlich mit Zunahme der Bodentiefen. Er untersuchte Dauergrünlandböden, die allesamt intensiver bewirtschaftet werden, als die Almflächen. Dies ist auch im Vergleich mit den Mittelwerten der Lagerungsdichten erkennbar.

Tabelle 4-10. Gesamtdatenvergleich der Lagerungsdichten in Abhängigkeit der Tiefenstufen von den untersuchten Alm- und Referenzflächen mit den Lagerungsdichteuntersuchungen vom Salzburger Flachgau (Gehmacher 2016)

Tiefenstufe [cm]	n	Mittelwerte [g/cm ³] Almflächen	Mittelwerte [g/cm ³] Flachgau
0-5	132	0,74	0,93
5-10	132	1,06	1,14
10-15	132	1,14	1,29
15-20	132	1,14	1,38
20-25	132	1,14	1,46
25-30	132	1,14	1,48

In sind alle Standorte der jeweiligen Versuchsorte, in tiefenbezogene Abschnitte, zusammengefasst. Beim Vergleich ist eine generell höhere Lagerungsdichte im Salzburger Flachgau ersichtlich, sowie eine Zunahme der Dichte mit der Tiefe. Die Böden der Almen im Großarlital weisen hingegen ab der Tiefe von ca. 15 bis 30 cm eine einheitliche Lagerungsdichte im Gesamtdatenvergleich auf.

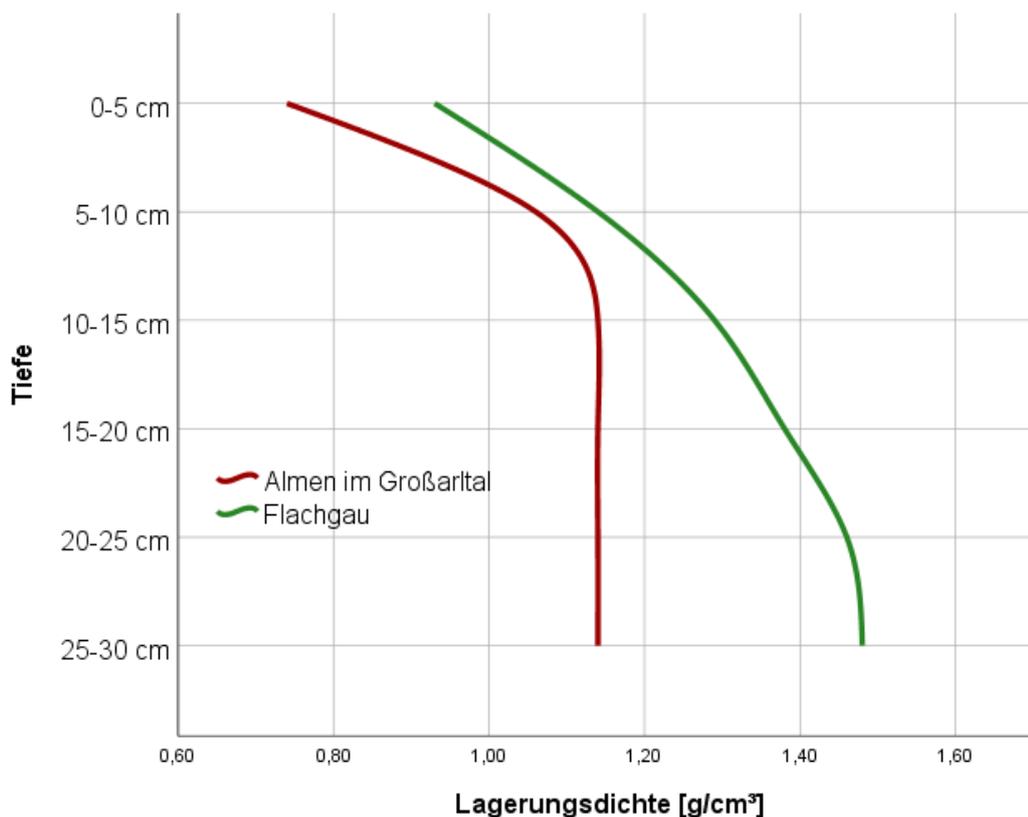


Abbildung 4-7. Vergleich der Lagerungsdichte in einem tiefenbezogenen Liniendiagramm von den Flächen der Großarltaler Almen mit jenen des Salzburger Flachgaves, modifiziert nach Gehmacher (2016). Alle Daten zusammengefasst.

4.5 Organischer Kohlenstoff und Lagerungsdichte

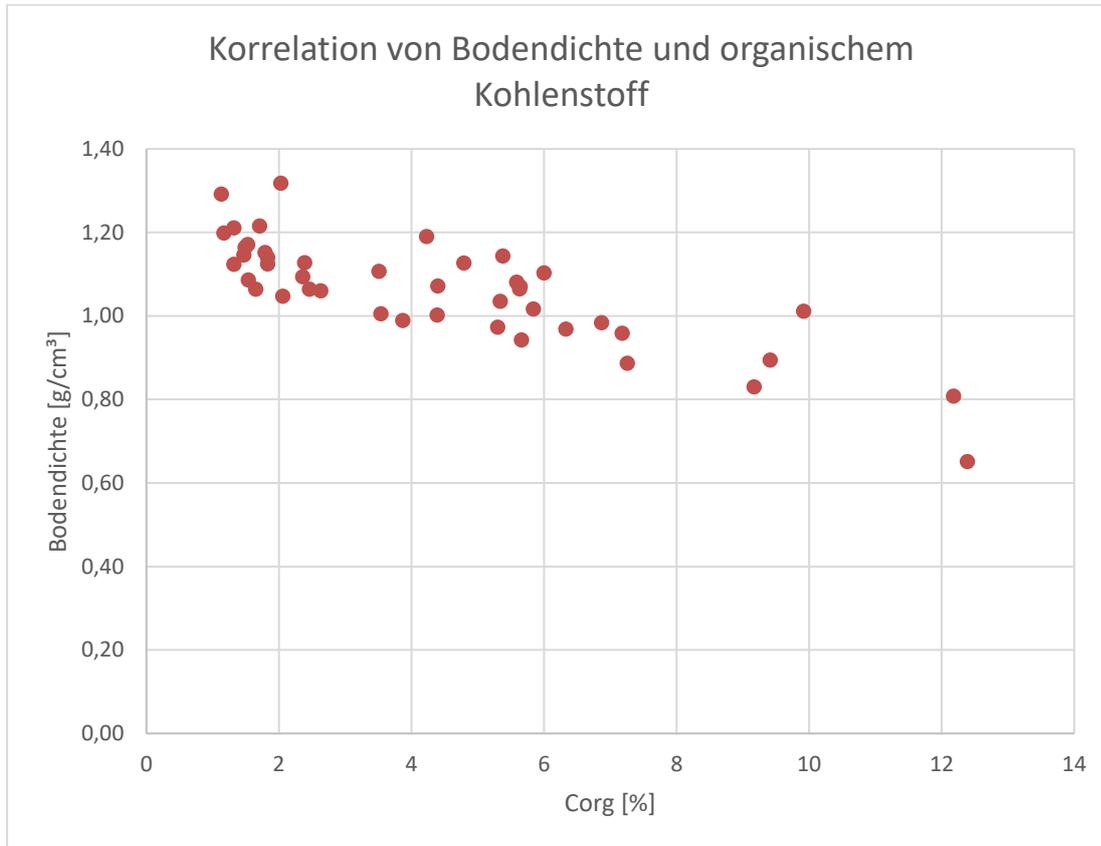


Abbildung 4-8. Korrelation von Bodendichte [g/m³] und organischem Kohlenstoffgehalt. Abgebildet in einem Scatter-Plott.

Tabelle 4-11. Ergebnis der Spearmanschen Rangkorrelationsanalyse

	MW	SA	Spearmanscher Rangkorrelationskoeffizient	p	n
Lagerungsdichte [g/m ³]	1.12	0.16	-0.7847628	<0.0001	44
Corg [%]	4.39	0.03			44

Der Spearmanscher Rangkorrelationskoeffizient zeigt in Tabelle 4-11 eine stark negative Korrelation von -0,7847628. Das bedeutet, dass ein signifikanter, negativer Zusammenhang ($p < 0,0001$) von der Lagerungsdichte und dem organischen Kohlenstoffgehalt besteht. In Abbildung 4-8 ist die Korrelation grafisch dargestellt. Je höher die Lagerungsdichte des Bodens, desto geringer der Anteil an organischem Kohlenstoff.

Dieser Zusammenhang ist wenig überraschend, denn durch einen erhöhten Humusgehalt wird das Krümelgefüge positiv beeinflusst. Dadurch entstehen durch

verschiedene tierische oder pflanzliche Aktivitäten mehr Bodenporen. In unteren Bodenschichten, wo der Humusgehalt niedriger ist, ist auch die Lagerungsdichte höher. Nicht alle Pflanzenwurzeln reichen in tiefere Schichten und auch die tierische Aktivität ist dort begrenzt.

4.6 Bodenart und Lagerungsdichte

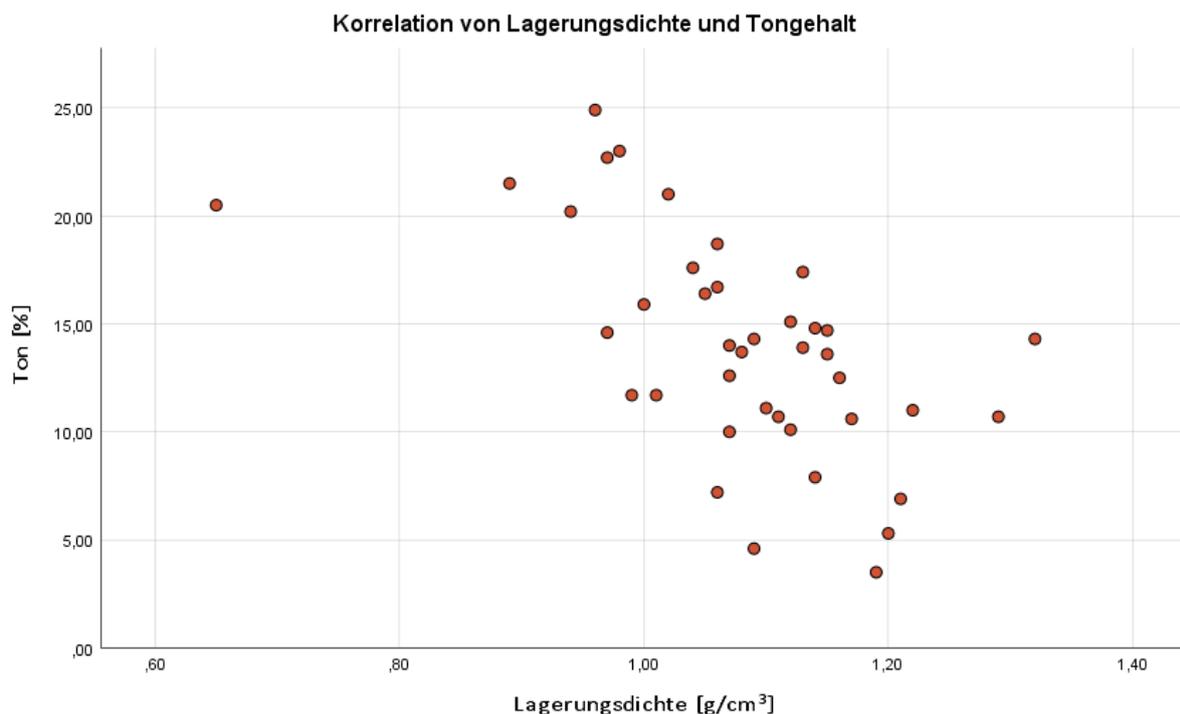


Abbildung 4-9. Korrelation von Tongehalt [%] und Lagerungsdichte [g/cm³]

Tabelle 4-12. Ergebnis der Spearmanschen Rangkorrelationsanalyse von Lagerungsdichte [g/cm³] und Ton [%]

	MW	SA	Spearmanscher Rangkorrelationskoeffizient	p	n
Lagerungsdichte [g/m ³]	1,06	0,13	-0,635263	<0,01	44
Ton [%]	13,94	5,15			40

Abbildung 4-9. Zeigt in einem Streudiagramm den Zusammenhang von der Lagerungsdichte [g/cm³] und dem Tongehalt [%]. Verglichen wurde auf jedem Standort der A- und B-Horizont. Mit einem stark negativen Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten von -0,635263 ($p < 0,0001$) ergab sich eine

hochsignifikante, negative Korrelation der beiden Parameter. D. h. Je höher der Tongehalt der Proben, desto geringer die Lagerungsdichte.

Durch die plättchenartige Struktur der Tonminerale können diese laut Amelung et al. (2018) einen höheren Porenvolumensanteil als Schluffe oder Sande erreichen. Dadurch ist die Lagerungsdichte im Vergleich mit der Bodenart, geringer.

Die beiden nachstehenden Tabellen zeigen die Korrelationsergebnisse von Schluff und Sand mit der Lagerungsdichte. Es zeigt sich, dass es keinen signifikanten Zusammenhang der Lagerungsdichte und dem Schluffanteil gibt. Im Vergleich von Sand und Lagerungsdichte ergab sich eine positiv signifikante Korrelation mit einem Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten von 0,398892. Die Lagerungsdichte steigt mit dem Sandanteil.

Tabelle 4-13. Ergebnis der Spearmanschen Rangkorrelationsanalyse von Lagerungsdichte [g/cm³] und Schluff [%]

	MW	SA	Spearmanscher Rangkorrelationskoeffizient	p	n
Lagerungsdichte [g/m ³]	1.06	0.13	-0,021267		44
Schluff [%]	45,10	10,34			40

Tabelle 4-14. Ergebnis der Spearmanschen Rangkorrelationsanalyse von Lagerungsdichte [g/cm³] und Sand [%]

	MW	SA	Spearmanscher Rangkorrelationskoeffizient	p	n
Lagerungsdichte [g/m ³]	1.06	0.13	0,398892	<0,05	44
Sand [%]	40,95	10,43			40

Bei dem Vergleich von Lagerungsdichte und Bodenart kann gesagt werden, dass der Tonanteil der Böden einen starken Einfluss auf die Bodendichte nehmen kann. Je höher der Tonanteil desto höher der Porenanteil und desto geringer ist die Masse pro Volumseinheit- Boden. Im Vergleich mit dem Sandanteil konnte nur ein geringer Zusammenhang festgestellt werden und beim Schluff konnte rechnerisch kein Einfluss auf die Bodendichte erkannt werden.

4.6.1 Lagerungsdichte und errechneter Wassergehalt

Tabelle 4-15. Vergleich von Trockenmasse und errechnetem Wassergehalt der Tiefenstufen mit dem Korrelationskoeffizienten nach Spearman

		MW	SA	Korrelation	α	n
0-5cm	Wasser [g/cm ³]	0,462	0,113	-0,164144		132
	Trockenmasse [g/cm ³]	0,744	0,169			132
5-10cm	Wasser [g/cm ³]	0,452	0,096	-0,400814	0,01	132
	Trockenmasse [g/cm ³]	1,063	0,185			132
10-15cm	Wasser [g/cm ³]	0,426	0,089	-0,320384	0,01	132
	Trockenmasse [g/cm ³]	1,14	0,167			132
15-20cm	Wasser [g/cm ³]	0,414	0,092	-0,332603	0,01	132
	Trockenmasse [g/cm ³]	1,143	0,153			132
20-25cm	Wasser [g/cm ³]	0,402	0,085	-0,285019	0,01	132
	Trockenmasse [g/cm ³]	1,138	0,129			132
25-30cm	Wasser [g/cm ³]	0,407	0,076	-0,364864	0,01	132
	Trockenmasse [g/cm ³]	1,142	0,153			132

 =signifikant $\alpha \leq 0,01$

 =nicht signifikant $\alpha \geq 0,01$

In Tabelle 4-15. sind die Ergebnisdaten der Korrelation von errechnetem Wassergehalt und der Lagerungsdichte dargestellt. Dabei wurde der Wassergehalt in Gramm und der Trockenmassegehalt in Gramm der einzelnen Zylinderproben auf ihre Wechselbeziehung überprüft. In den ersten 5 cm ist, wie auch bei anderen Berechnungen mit der ersten Tiefenstufe, keine Gemeinsamkeit von Wassergehalt und Trockenmasse fest zu stellen. Dies kommt von den heterogenen Bedingungen in der Obersten Schicht. So treffen dort unberechenbare Faktoren wie Evapotranspiration, ein Wurzelfilz oder eine Streuschicht auf, die den Wasserhaushalt in dieser Zone beeinflussen können. Weitere Einflüsse auf das Oberflächenwasser nehmen laut Amelung et al. (2018) die Neigung der Bodenoberfläche, die Bodenart, der Verdichtungsgrad des Bodens und die Benetzungsbedingungen sowie der Sättigungsgrad.

In den unteren Bodenschichten ist mit einem Alpha von 0,01 in jeder Tiefenstufe eine hochsignifikante, negative Korrelation nach Spearman ersichtlich. So sinkt der Trockenmassegehalt mit dem Steigen des Wassergehaltes in den genormten Zylinder-Volums-Proben. Dies dürfte damit zu erklären sein, dass Bodenporen meist mit Wasser gefüllt sind. Je mehr Poren im Boden vorhanden sind, desto mehr Wasser kann auch gehalten werden. Eine Bodenverdichtung geht immer auf Kosten der Bodenporen. Wird also ein Boden verdichtet, sinkt der Porenanteil oder dessen Größe und das Wasser wird verdrängt.

4.7 Nutzungsabhängige Lagerungsdichte

Das untenstehende Balkendiagramm zeigt die Lagerungsdichten der einzelnen Tiefenstufen. Zusammengefasst in den Nutzungsarten.

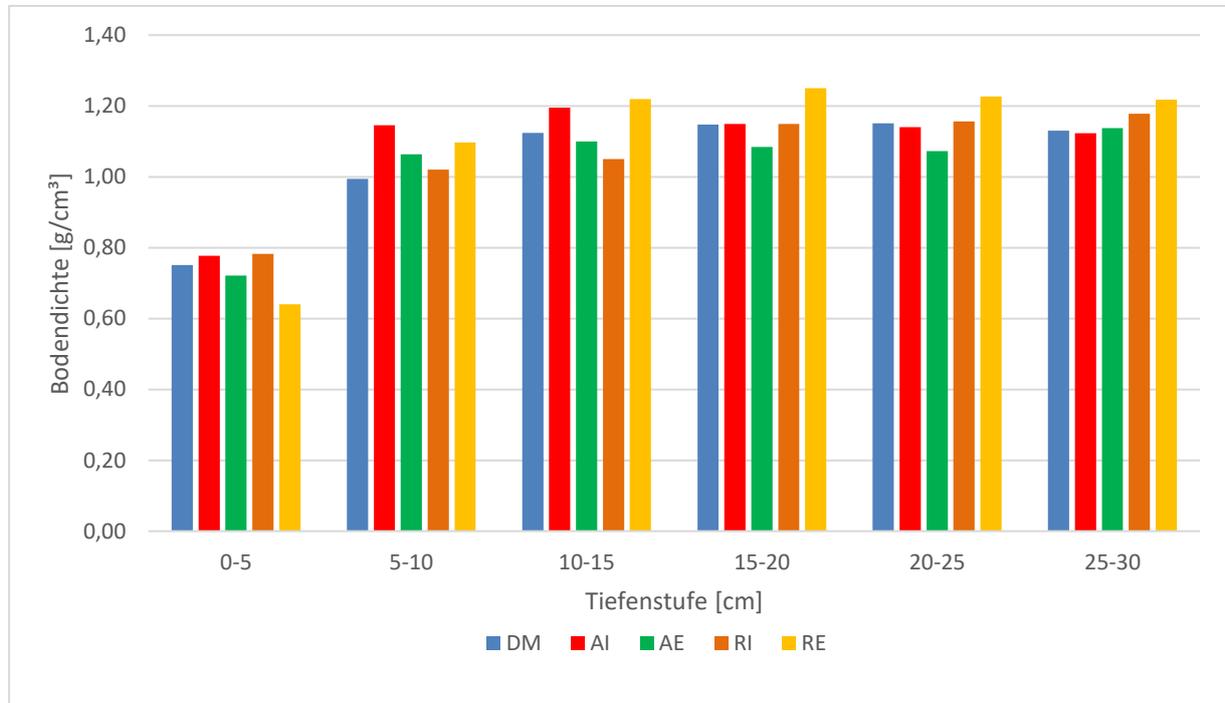


Abbildung 4-10. Vergleich der Lagerungsdichten in Abhängigkeit der Nutzung und der Tiefenstufen.

DM= Dungmaat, AI= Almweide Intensiv, AE= Almweide Extensiv,
RI= Referenzfläche Intensiv, RE= Referenzfläche Extensiv

Im nutzungsspezifischen Vergleich weist die extensive Referenzfläche im Oberboden (0-10cm) die geringste Bodendichte und im Unterboden (10-30cm) die Höchste auf. Bei der extensiven Almweide ist zu erkennen, dass diese, wie auch jede andere Vergleichskategorie in der obersten Bodenschicht (0-5cm) die geringste Bodendichte zu verzeichnen hat. In den Tiefen von 5-15cm steigt bei dieser Bewirtschaftungsform die Bodendichte und in den unteren Tiefen (15-30cm) fällt die Lagerungsdichte wieder leicht. Dieser Verlaufstrend ist auch bei der intensiven Almweide (AI) gut ausgeprägt sowie leicht beim Dungmahd (DM). Die Intensive Referenzfläche (RI) zeigt im nutzungsabhängigen Tiefenstufenverlauf einen stetigen Anstieg. Je tiefer der Boden, desto höher die Lagerungsdichte.

In den Tiefenstufen von 10 bis 30 cm zeigt die extensive Referenzfläche, entgegen den Erwartungen die höchste Lagerungsdichte. Diese Flächen werden nie beweidet, gedüngt oder mit Maschinen befahren. Im Vergleich mit den Nutzungsspezifischen

Eindringwiderständen (Kapitel 4.9) zeigt sich jedoch ein gegenteiliges Verlaufsbild. Bei diesem Nutzungsabhängigen Vergleich ist der gemessene Eindringwiderstand in jeder Tiefenstufe bei den extensiven Referenzflächen am geringsten. Um die Lagerungsdichten an diesen Flächen klären zu können wären wohl noch weitere Untersuchungen notwendig, aber es lässt vermuten, dass es Zusammenhänge mit der Bodenart und dem Anteil an organischem bzw. mineralischem Material gibt.

Anders verhält sich die intensiv beweidete Almfläche. Diese weist, im Vergleich mit den übrigen Nutzungstypen, wie angenommen, in den oberen Bodenschichten (bis 20 cm) die höchste Lagerungsdichte auf. Durch die intensive Beweidung verdichtet sich der Oberboden am stärksten. Die extensiven Almweideflächen haben größtenteils die geringste Dichte. Die „Dungmäher“ befinden sich, wie erwartet, im Mittelfeld. Diese werden mit leichten, landwirtschaftlichen Maschinen überfahren und zwar oft intensiv beweidet, aber nur über eine kurze Dauer.

Nach (Boden 1994) haben alle Nutzungstypen und Tiefenstufen eine sehr geringe ($< 1,25 \text{ g/cm}^3$) bis geringe ($1,25 - 1,45 \text{ g/cm}^3$) Lagerungsdichte, weshalb keine der Nutzungstypen als schadverdichtet angesehen werden kann.

Folgende Lagerungsdichten wurden in Abhängigkeit der Nutzungsintensität beobachtet. In den Tabellen ist der Mittelwert, Standardabweichung, Median, der minimale und maximale Wert sowie die Anzahl der Probelöcher gegeben.

Tabelle 4-16. Lagerungsdichte [g/cm^3] vom Dungmahd

Dungmahd [DM]	0-5cm	5-10cm	10-15cm	15-20cm	20-25cm	25-30cm
MW	0.75	0.99	1.12	1.15	1.15	1.13
SA	0.19	0.19	0.17	0.16	0.14	0.17
MED	0.7	1.0	1.1	1.2	1.1	1.1
MIN	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	0.6
MAX	1.1	1.4	1.7	1.6	1.6	1.5
n	42	42	42	42	42	42

MW= Mittelwert, SA= Standardabweichung, MED= Median, MIN= Minimalwert der beprobten Versuchslöcher, MAX= Maximalwert der beprobten Versuchslöcher, n= Anzahl der Stichproben

Tabelle 4-17. Lagerungsdichte [g/cm³] der intensiven Almweide

Almweide Intensiv [AI]	0-5cm	5-10cm	10-15cm	15-20cm	20-25cm	25-30cm
MW	0.78	1.15	1.20	1.15	1.14	1.12
SA	0.17	0.11	0.13	0.12	0.09	0.11
MED	0.7	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1
MIN	0.5	0.9	0.9	0.9	1.0	0.9
MAX	1.2	1.3	1.5	1.4	1.3	1.4
n	36	36	36	36	36	36

Tabelle 4-18. Lagerungsdichte [g/cm³] der extensiven Almweide

Almweide Extensiv [AE]	0-5cm	5-10cm	10-15cm	15-20cm	20-25cm	25-30cm
MW	0.72	1.06	1.10	1.08	1.07	1.14
SA	0.15	0.23	0.20	0.18	0.15	0.18
MED	0.8	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1
MIN	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8
MAX	0.9	1.3	1.3	1.5	1.4	1.6
n	30	30	30	30	30	30

Tabelle 4-19. Lagerungsdichte [g/cm³] der intensiven Reverenzfläche

Referenzfläche Intensiv [RI]	0-5cm	5-10cm	10-15cm	15-20cm	20-25cm	25-30cm
MW	0.78	1.02	1.05	1.15	1.16	1.18
SA	0.18	0.18	0.17	0.16	0.08	0.12
MED	0.8	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2
MIN	0.4	0.6	0.7	0.8	1.0	1.0
MAX	1.0	1.2	1.2	1.3	1.2	1.3
n	12	12	12	12	12	12

Tabelle 4-20. Lagerungsdichte [g/cm³] der extensiven Reverenzfläche

Referenzfläche extensiv [RE]	0-5cm	5-10cm	10-15cm	15-20cm	20-25cm	25-30cm
MW	0.64	1.10	1.22	1.25	1.23	1.22
SA	0.10	0.11	0.08	0.11	0.12	0.15
MED	0.6	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2
MIN	0.5	0.9	1.1	1.2	1.1	1.1
MAX	0.9	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6
n	12	12	12	12	12	12

Tabelle 4-21. zeigt die Zusammenfassung der Ergebnisse der tiefen- und nutzungsabhängigen Vergleiche mithilfe des Kruskal-Wallis-Tests. Das Signifikanzniveau liegt bei 0,05. Die gelb hinterlegten Felder zeigen die Ergebnisse, bei denen die Nullhypothese abgelehnt wird. Die grünen Flächen weisen auf ein Signifikanzniveau von größer 0,05 hin und zeigen somit keinen signifikanten Unterschied an.

Tabelle 4-21. Chi-Quadrat, Freiheitsgrade und Signifikanz der Tiefenstufen

	0-5cm	5-10cm	10-15cm	15-20cm	20-25cm	25-30cm
Chi-Quadrat [χ^2]	6.88	18.00	13.46	12.98	14.51	5.10
Freiheitsgrade [df]	4	4	4	4	4	4
Asymptotische Signifikanz	0.142	0.001	0.009	0.011	0.006	0.277

 =signifikant $\alpha \leq 0,05$

 =nicht signifikant $\alpha \geq 0,05$

Die Tiefenstufen 0-5cm und 25-30cm zeigten im Vergleich keinen signifikanten Unterschied und werden deshalb in Tabelle 4-22. nicht aufgezeigt. Die 4 mittleren Tiefen sind in Abhängigkeit der Nutzung paarweise miteinander verglichen und tabellarisch dargestellt. Das Signifikanzniveau liegt bei $\alpha \leq 0,05$.

Tabelle 4-22. Signifikanzen der Lagerungsdichte im paarweisen Nutzungstyp- Vergleich

Nutzungsvergleich	Signifikanz [$\alpha \leq 0,05$]			
	5-10cm	10-15cm	15-20cm	20-25cm
DM-RI	0.683	0,516	0,352	0,425
DM-RE	0.144	0,009	0,022	0,029
DM-AE	0.011	0,369	0,087	0,038
DM-AI	0.000	0,011	0,796	0,765
RI-RE	0.399	0,009	0,274	0,267
RI-AE	0.168	0,211	0,037	0,026
RI-AI	0.020	0,018	0,461	0,561
RE-AE	0.710	0,062	0,001	0,000
RE-AI	0.196	0,412	0,038	0,052
AE-AI	0.219	0,140	0,059	0,022

 = signifikant $\alpha \leq 0,05$

 = nicht signifikant $\alpha \geq 0,05$

DM= Dungmaat, AI= Almweide Intensiv, AE= Almweide Extensiv,
RI= Referenzfläche Intensiv, RE= Referenzfläche Extensiv

Die Tiefenstufen 0-5cm und 25-30cm zeigten im Vergleich mit dem Kruskal-Wallis-Test keine signifikanten Unterschiede ($\alpha \leq 0,05$). D.h. rechnerisch konnten keine Unterschiede in der Lagerungsdichte zwischen den obersten und untersten Tiefenstufen im Vergleich mit den gewählten Nutzungstypen festgestellt werden.

Wie in Tabelle 4-21. zu erkennen ist, weisen die mittleren 4 Tiefenstufen nutzungsspezifische, signifikante Unterschiede auf. Diese wurden dann in Tabelle 4-22. paarweise miteinander verglichen und auf einen signifikanten Unterschied geprüft.

Bis auf das Paar DM-RI (Dungmahd-Referenzfläche Intensiv) wiesen alle Paare im Vergleich zumindest in einer Tiefenstufe einen signifikanten Unterschied auf. Diese beiden nutzungsspezifischen Standorttypen werden beide verhältnismäßig intensiv bewirtschaftet und werden auch regelmäßig mit Maschinen befahren. Es gibt also rechnerisch in der Lagerungsdichte keinen Unterschied zwischen DM und RI.

Der größte Unterschied in der Lagerungsdichte im paarweisen Vergleich zeigte sich bei DM-RE (Dungmahd-Referenzfläche Extensiv) mit einem signifikanten Unterschied in den unteren Tiefen 10-15cm, 15-20cm und 25-30cm. Hier wurden Intensive (DM) mit sehr extensiven (RE) Almflächen verglichen.

Die meisten Vergleichspaare aus Tabelle 4-22. belegen in zwei von 6 Tiefenstufen einen signifikanten Unterschied. So zeigt sich in der Studie von DM-AE (Dungmahd-Almweide Extensiv) ein signifikanter Unterschied in den Tiefenstufen von 5-10cm und 20-25 cm. Die Nutzungsstandorte DM-AI (Dungmahd-Almweide Intensiv) und RI-AI (Referenzfläche Intensiv und Almweide Intensiv) zeigen in den beiden Tiefenstufen 5-10cm und 10-15cm erkennbare Differenzen und die Paare RI-AE und RE-AE wiesen in den Tiefen 15-20cm und 20-25cm signifikante Unterschiede auf.

Die Nutzungsflächenpaare RI-RE, RI-AI und AE-AI zeigten nur in jeweils einer Tiefenstufe eine repräsentative Divergenz.

4.8 Eindringwiderstand

4.8.1 Gesamtdatenvergleich der untersuchten Flächen (Eindringwiderstand)

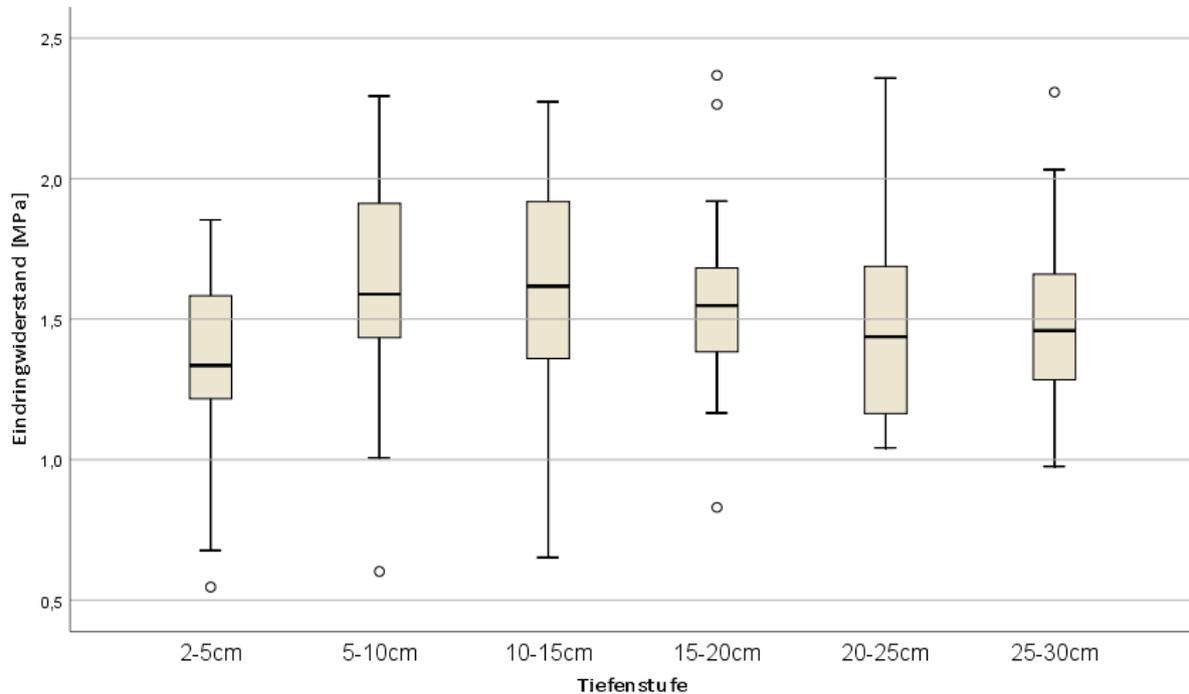


Abbildung 4-11. Vergleich des Eindringwiderstands [MPa] aller Standorte [n=22] im Tiefenverlauf

Tabelle 4-23. Tabellarische Auflistung des Eindringwiderstandvergleichs

Tiefenstufe [cm]	n	min	max	median	SA
2-5	22	0,55	1,85	1,34	0,327
5-10	22	0,60	2,29	1,59	0,387
10-15	22	0,65	2,27	1,62	0,378
15-20	22	0,83	2,37	1,55	0,338
20-25	22	1,04	2,36	1,44	0,342
25-30	22	0,98	2,31	1,46	0,339

In Abbildung 4-11. Ist der Verlauf des Eindringwiderstandes, gemessen mit dem Penetrologger, in Abhängigkeit der Tiefenstufen 2-5cm, 5-10cm, 10-15cm, 15-20cm, 20-25cm und 25-30cm abgebildet. Zum Zweck der Übersicht wurde mit dem Mittelwert der einzelnen Messungen gerechnet und das Boxplot-Diagramm erstellt. Weil an der Oberfläche der Eindringwiderstand sehr stark in Abhängigkeit der Abtrocknung und Vegetationsdecke variierte, wurden zur Berechnung anstatt der Tiefenstufe 0-5cm, 2-5cm herangezogen.

Im Gesamttiefenverlauf ist eine wellenförmige Linie zu erkennen. D.h. der Eindringwiderstand ist in den obersten Bodenschichten am geringsten, erreicht bei der Tiefenstufe 10-15cm seinen Höchstwert und nimmt bis zur Tiefe 20-25cm wieder ab und steigt anschließend wieder.

Gehmacher (2016) untersuchte seine Probeflächen im Salzburger Flachgau ebenfalls auf dessen Eindringwiderstand. Im direkten Vergleich mit seinen Gesamtdaten, unterteilt in 6 Tiefenstufen, konnte ein ähnlicher Eindringwiderstandsverlauf festgestellt werden (Tabelle 4-24) Im oberen Bereich (bis 15 cm) haben die Almflächen, welche vor allem beweidet werden, einen höheren Eindringwiderstand. Ab einer Tiefe von 15 bis 30 cm weisen die intensiveren Flächen des Flachgaves einen höheren Eindringwiderstand auf. Dieses Verlaufsbild spiegelt die Tatsache wider, dass beweidete Flächen im Oberboden eine eher höhere Verdichtung aufweisen.

Tabelle 4-24. Direktvergleich der Eindringwiderstände in Abhängigkeit der Tiefenstufen von den Almflächen im Großarlal und den Flächen des Salzburger Flachgaves nach (Gehmacher 2016) modifiziert.

Tiefenstufe [cm]	Mittelwerte [MPa] Almflächen	Mittelwerte [MPa] Flachgau
2-5	1,35	1,25
5-10	1,61	1,43
10-15	1,64	1,55
15-20	1,55	1,60
20-25	1,48	1,59
25-30	1,49	1,56

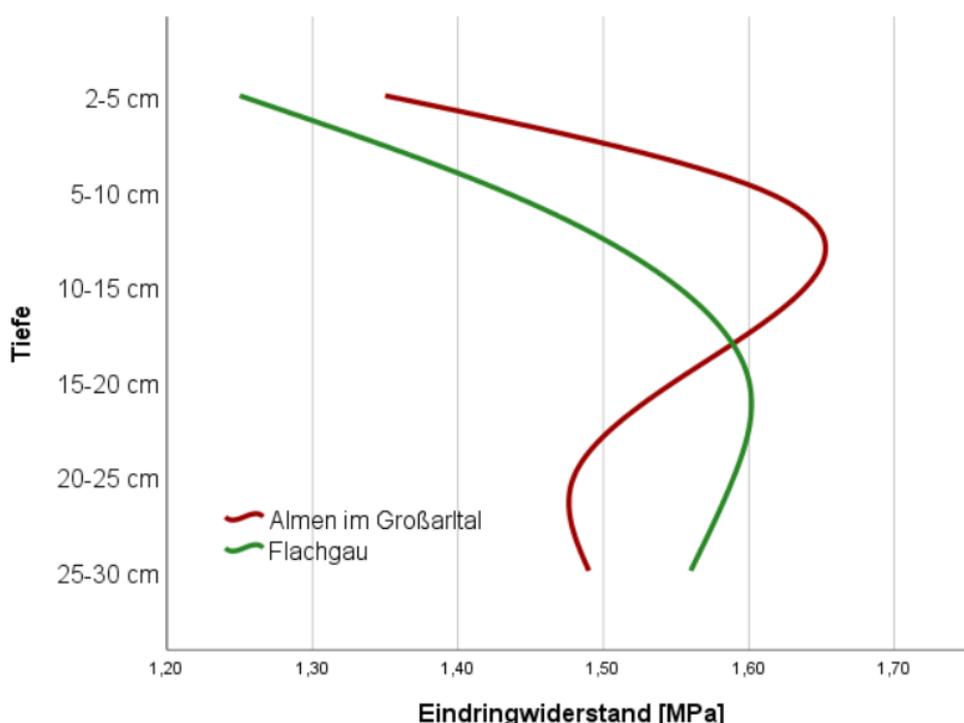


Abbildung 4-12. Graphischer Vergleich des Eindringwiderstandes von den Almböden im Großarlal und der Flächen im Flachgau im Tiefenverlauf. Modifiziert nach (Gehmacher 2016)

Bei den Berechnungen der Kurven in Abbildung 4-12. wurden jeweils alle Daten der Eindringwiderstände zusammengefasst. D. h. die Kurve der „Almen im Großarlital“ beinhaltet die gesamten Untersuchungsflächen und die Kurve vom „Flachgau“ ebenso. Interessant ist hier die Überschneidung genau in der Mitte der beprobten 30 cm. Der Eindringwiderstand ist im Almbereich in der oberen Hälfte höher als im Flachgau und in der unteren Hälfte verhält er sich genau umgekehrt.

4.8.2 Vergleich Eindringwiderstand und errechneten Wassergehalt

Tabelle 4-25. Korrelationsvergleich des errechneten Wassergehaltes und dem Eindringwiderstand

		MW	SA	Korrelation	α	n
2-5cm	Wasser [g/cm ³]	0,462	0,113	0,156568		132
	Eindringwiderstand [MPa]	1,351	0,656			660
5-10cm	Wasser [g/cm ³]	0,452	0,096	0,112708		132
	Eindringwiderstand [MPa]	1,612	0,627			1100
10-15cm	Wasser [g/cm ³]	0,426	0,088	0,169821		132
	Eindringwiderstand [MPa]	1,639	0,620			1100
15-20cm	Wasser [g/cm ³]	0,414	0,092	0,288984	0,01	132
	Eindringwiderstand [MPa]	1,554	0,599			1100
20-25cm	Wasser [g/cm ³]	0,402	0,085	0,278776	0,01	132
	Eindringwiderstand [MPa]	1,476	0,635			1100
25-30cm	Wasser [g/cm ³]	0,397	0,076	0,192714	0,05	132
	Eindringwiderstand [MPa]	1,493	0,679			1100

 =signifikant

 =nicht signifikant

Tabelle 4-25. sind die Werte der Korrelationsberechnung nach Spearman dargestellt. In den ersten drei Tiefenstufen ist kein signifikanter Zusammenhang vom errechneten Wassergehalt und dem Eindringwiderstand fest zu stellen. In den unteren Tiefen ergab sich rechnerisch ein hoch signifikanter Zusammenhang bei 15-25 cm und eine signifikante Korrelation von Wassergehalt und Eindringwiderstand in der untersten, gemessenen Tiefenstufe (25-30 cm).

Dass in der oberen Hälfte der Untersuchungstiefe kein signifikanter Zusammenhang vom Wassergehalt und dem Eindringwiderstand besteht, ist wahrscheinlich auf die Heterogenität des Wassergehaltes der Proben zurück zu führen. Der Eindringwiderstand wird auch von anderen Faktoren beeinflusst. Diese sind in der

Tabelle 2-2. ersichtlich. In der unteren Hälfte (15 bis 30 cm) ist in jeder Tiefenstufe ein zumindest signifikanter Zusammenhang vom Wassergehalt und dem Eindringwiderstand gegeben. In diesen Tiefen verhält sich das Wasser generell weniger wechselhaft, weshalb rechnerisch ein Zusammenhang zwischen Eindringwiderstand und dem Wassergehalt besteht. Es lässt sich annehmen, dass die Lanze leichter eindringt, je höher der Wassergehalt ist.

4.8.3 Vergleich Eindringwiderstand und gemessenen Wassergehalt

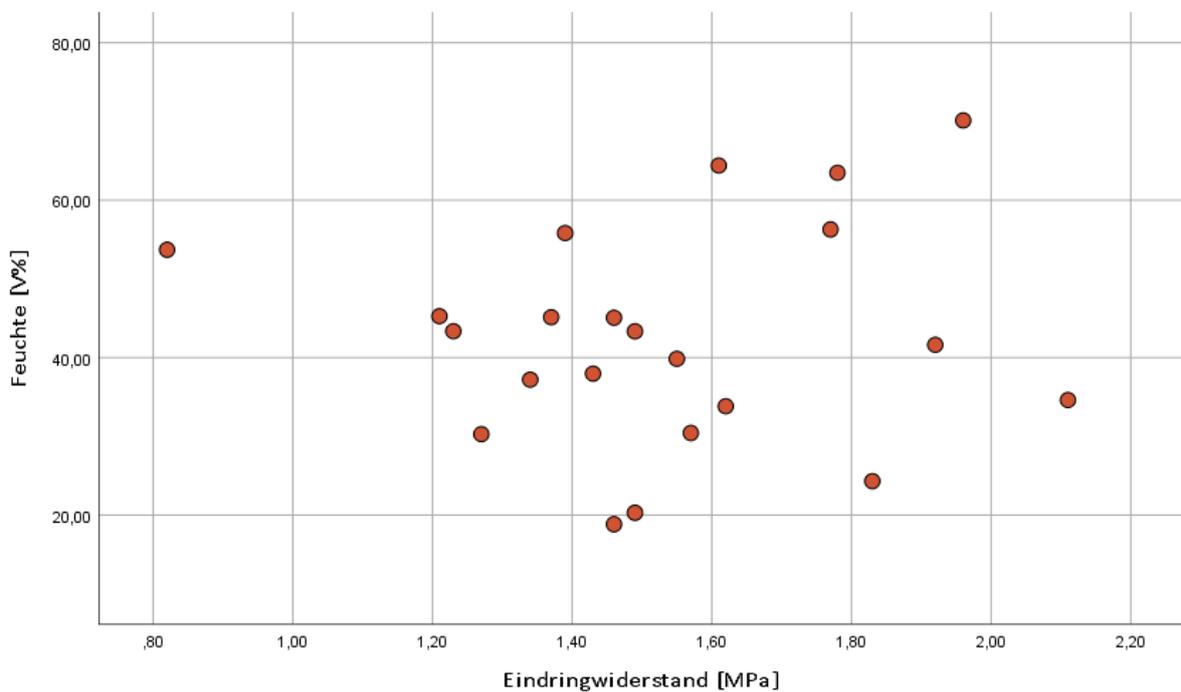


Abbildung 4-13. Graphische Darstellung der Korrelation von der gemessenen Bodenfeuchte [V%] und dem Eindringwiderstand [MPa]

Tabelle 4-26. Werte der Berechnung des Spearman Rangsummenkoeffizienten von der gemessenen Bodenfeuchte und Eindringwiderstand

	MW	SA	Spearmanischer Rangkorrelationskoeffizient	p	n
Feuchte [V%]	42,51	13,923	0,014689	0,425	22
Eindringwiderstand [MPa]	1,53	0,290			22

Wie in Abbildung 4-13. in einem Streudiagramm dargestellt, konnte kein Zusammenhang zwischen dem Eindringwiderstand [MPa] und dem gemessenen Feuchtegehalt des Bodens [V%] festgestellt werden. Der Spearmanische

Rangkorrelationskoeffizient liegt bei 0,014689 und schließt somit eine Korrelation ($p=0,425$) aus. Durch die einfachen Messungen im Oberboden gibt der gemessene Wassergehalt ein ähnliches Ergebnis wie der errechnete Wassergehalt wieder.

4.8.4 Vergleich Eindringwiderstand und Bodentextur

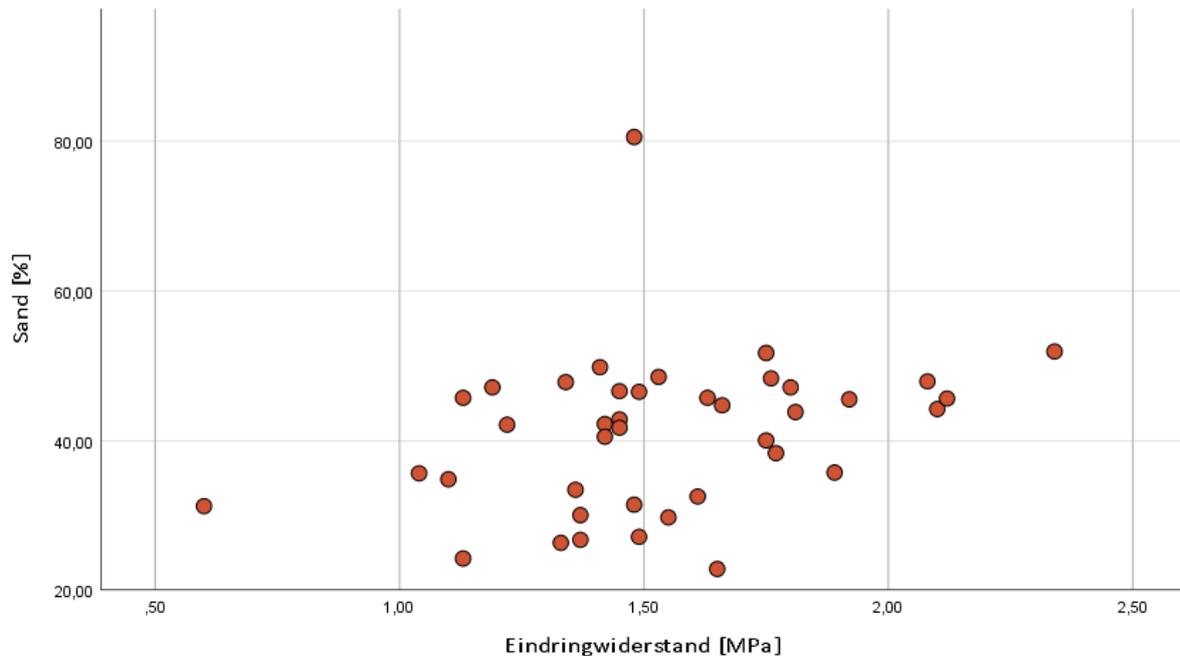


Abbildung 4-14. Graphische Darstellung der Korrelation des Eindringwiderstandes mit dem Sandanteil

Abbildung 4-14 zeigt den Zusammenhang zwischen dem gemessenen Eindringwiderstand und dem prozentuellen Anteil an Sand in den Proben. Mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,342923 und einem Alpha-Niveau von 0,05 ist der Zusammenhang positiv signifikant. Je höher der Sandanteil desto höher der Eindringwiderstand.

Wie in Tabelle 4-28. ersichtlich ist, korreliert der Eindringwiderstand mit dem Schluffanteil signifikant negativ. Der Korrelationskoeffizient liegt bei -0,359634 ($\alpha \leq 0,05$). Der Eindringwiderstand sinkt bei steigendem Schluffanteil.

Mit einem Korrelationskoeffizienten von -0,089407, beim Vergleich von Eindringwiderstand und Ton konnte rechnerisch kein Zusammenhang festgestellt werden.

Für die Berechnungen wurden die Mittelwerte des Eindringwiderstandes des A- und B-Horizontes herangezogen.

Tabelle 4-27. Ergebnis der Spearmanschen Rangkorrelationsanalyse vom Eindringwiderstand [g/cm³] und Ton [%]

	MW	SA	Spearmanscher Rangkorrelationskoeffizient	α	n
Ton [%]	13,94	5,15	-0,089407	0,05	40
Eindringwiderstand [MPa]	1,52	0,33			44

Tabelle 4-28. Ergebnis der Spearmanschen Rangkorrelationsanalyse vom Eindringwiderstand [g/cm³] und Schluff [%]

	MW	SA	Spearmanscher Rangkorrelationskoeffizient	α	n
Schluff [%]	45,10	10,34	-0,359634	0,05	40
Eindringwiderstand [MPa]	1,52	0,33			44

Tabelle 4-29. Ergebnis der Spearmanschen Rangkorrelationsanalyse vom Eindringwiderstand [g/cm³] und Sand [%]

	MW	SA	Spearmanscher Rangkorrelationskoeffizient	α	n
Sand [%]	40,95	10,43	0,342923	0,05	40
Eindringwiderstand [MPa]	1,52	0,33			44

Wie bereits beim Vergleich mit dem Eindringwiderstand und dem errechneten Wassergehalt erläutert, können verschiedene Faktoren den Eindringwiderstand beeinflussen (Tabelle 2-2.). So spielt auch die Bodenart maßgeblich mit ein. Es ist also nach den Messungen und Berechnungen ersichtlich, dass mit steigendem Körnerdurchmesser und deren Oberflächeneigenschaften auch der Eindringwiderstand steigt.

4.9 Nutzungsabhängige Eindringwiderstände

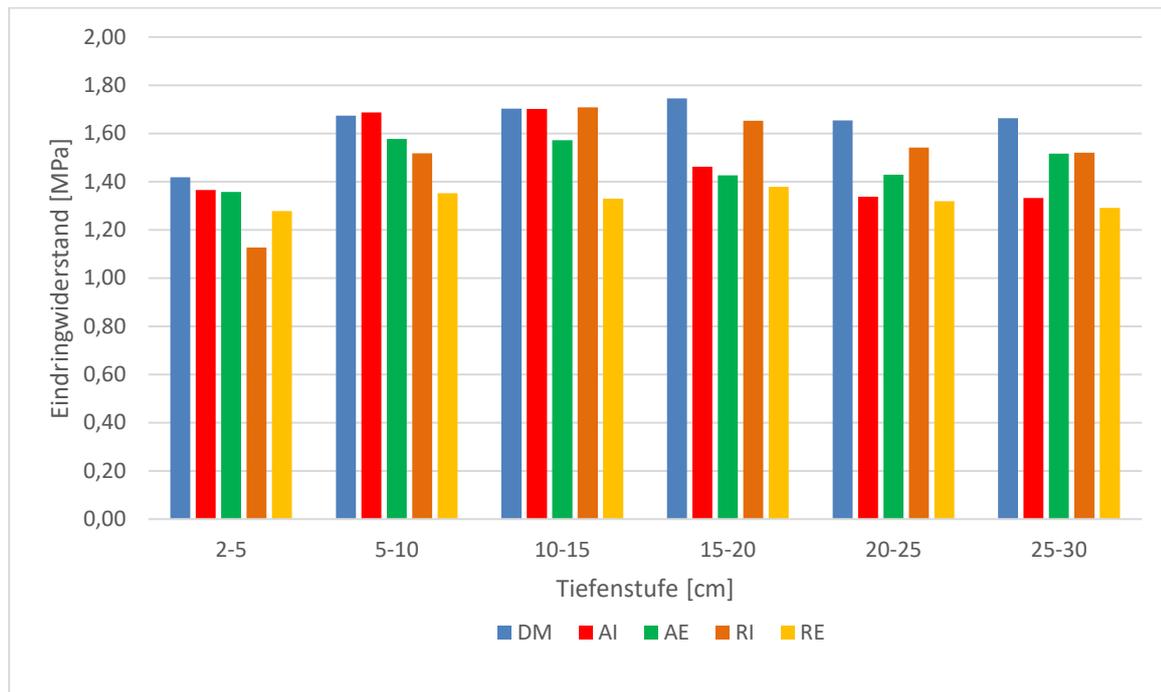


Abbildung 4-15. Vergleich der Eindringwiderstände in Abhängigkeit der Nutzung und der Tiefenstufen.

DM= Dungmahd, AI= Almweide Intensiv, AE= Almweide Extensiv, RI= Referenzfläche Intensiv, RE= Referenzfläche Extensiv

Das Balkendiagramm Abbildung 4-15. Vergleich der Eindringwiderstände in Abhängigkeit der Nutzung und der Tiefenstufen. zeigt die Gegenüberstellung der Eindringwiderstände [MPa] gemessen mit dem Penetrologger. Verglichen wurden hier die Nutzungstypen und Tiefenstufen.

Das **Dungmahd** hat in fast allen Tiefen den höchsten durchschnittlichen Eindringwiderstand. Den Maximalwert verzeichnet es in deiner Tiefe von 20-25cm mit 4,8 Mega Pascal. Der Mittelwert liegt in dieser Tiefe bei 1,65 MPa. Das Dungmahd weist also durch seine, verhältnismäßig intensive Almbewirtschaftung und durch das Befahren mit landwirtschaftlichen Maschinen, wie erwartet, einen höheren Eindringwiderstand, vor allem in tieferen Bereichen, auf.

Die **intensive Almweide** zeigt in der Tiefe von 5-10cm den höchsten Eindringwiderstand mit einem Maximalwert von 3,5 MPa und einem Mittelwert von 1,69 MPa. In der nächsten Tiefenstufe (10-15cm) ist der Eindringwiderstand ähnlich hoch mit einem Mittelwert von 1,7 MPa. In den unteren Tiefen sinkt der Widerstand auf einen Mittelwert von 1,33 MPa bei 25-30cm. Auch hier ist ein Zusammenhang von der Bewirtschaftungsweise und dem Eindringwiderstand klar ersichtlich. Durch die

intensive Beweidung wird der Oberboden stärker punktuell verdichtet als die unteren Bodenschichten.

Die **extensive Almweide** verläuft von oben nach unten wellenförmig. Der Eindringwiderstand erreicht in der zweiten und dritten Tiefenstufe ihren Höchstwert mit einem Mittelwert von 1,58 bzw. 1,57 MPa. In den nächsten beiden Tiefenstufen fällt der Widerstand und bei 25-30 cm steigt er wieder leicht an. Beim Vergleich mit der Lagerungsdichte (Abbildung 4-10) ist hier ein korrelativer Verlauf zu erkennen. Der Eindringwiderstand verhält sich ähnlich der Lagerungsdichte in den einzelnen Tiefenstufen und generell ist die extensive Almweide in den am wenigsten verdichteten Nutzungstypen einzuordnen.

Die **intensive Referenzfläche** zeigt einen ähnlichen Trend wie die extensive Almweide aber um eine Tiefenstufe nach unten verschoben. Sie erreicht in der Tiefe von 10-15cm und einem Mittelwert von 1,71 MPa den größten Widerstand. Auch hier ist der erhöhte Eindringwiderstand im Unterboden, verglichen mit den übrigen Nutzungstypen, deutlich ersichtlich. Dies lässt wieder den Schluss zu, dass durch das Befahren mit Maschinen, der Unterboden stärkeren Belastungen ausgesetzt ist.

Die **Referenzfläche Extensiv** zeigt eine relativ flache Trendkurve im Verlauf der Tiefenstufen. Im Vergleich zu den übrigen Nutzungstypen weist die extensive Referenzfläche in allen Tiefen mit Ausnahme von 2-5 cm den geringsten Eindringwiderstand auf, obwohl es sich bei den Messungen mit der Lagerungsdichte gegenteilig verhält (Abbildung 4-10). Bei diesem Vergleich ist gut zu erkennen, dass ein geringer, gemessener Eindringwiderstand nicht gleich mit einer geringen Lagerungsdichte des Bodens gleichzusetzen ist.

Generell kann hier ein Nutzungsspezifischer Unterschied des Eindringwiderstandes in fast allen Kategorien und Tiefenstufen festgestellt werden. Am Eindringwiderstand ist bei den Flächen, die befahren werden, ein erhöhter Widerstand in der unteren Bodenschicht zu verzeichnen (15 bis 30 cm). Je intensiver die Flächen beweidet werden, desto höher ist der Eindringwiderstand im Oberboden (bis 15 cm).

Tabelle 4-30. Eindringwiderstände [MPa] vom Dungmahd

DM	2-5cm	5-10cm	10-15cm	15-20cm	20-25cm	25-30cm
MW	1,42	1,67	1,70	1,75	1,65	1,66
SA	0,69	0,63	0,70	0,72	0,77	0,80
Median	1,4	1,6	1,6	1,6	1,5	1,6
MIN	0,2	0,2	0,2	0,5	0,1	0,1
Max	2,9	3,6	4,6	4,6	4,8	4,3
n	210,0	350,0	350,0	350,0	350,0	350,0

MW= Mittelwert, SA= Standardabweichung, MED= Median, MIN= Minimalwert der beprobten Versuchslöcher, MAX= Maximalwert der beprobten Versuchslöcher, n= Anzahl der Stichproben

Tabelle 4-31. Eindringwiderstände [MPa] der intensiven Almweiden

AI	2-5cm	5-10cm	10-15cm	15-20cm	20-25cm	25-30cm
MW	1,37	1,69	1,70	1,46	1,34	1,33
SA	0,59	0,59	0,61	0,59	0,63	0,63
Median	1,4	1,7	1,7	1,4	1,2	1,3
MIN	0,2	0,2	0,2	-1,0	-1,0	-1,0
Max	3,7	3,5	3,8	3,1	3,3	3,3
n	180,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0

Tabelle 4-32. Eindringwiderstände [MPa] der extensiven Almweiden

AE	2-5cm	5-10cm	10-15cm	15-20cm	20-25cm	25-30cm
MW	1,36	1,58	1,57	1,43	1,43	1,52
SA	0,66	0,67	0,60	0,49	0,55	0,64
Median	1,4	1,7	1,7	1,5	1,3	1,4
MIN	0,0	0,0	0,3	0,4	0,6	0,5
Max	2,6	3,3	2,8	2,8	3,4	3,5
n	150,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0

Tabelle 4-33. Eindringwiderstände [MPa] der intensiven Referenzflächen

RI	2-5cm	5-10cm	10-15cm	15-20cm	20-25cm	25-30cm
MW	1,13	1,52	1,71	1,65	1,54	1,52
SA	0,74	0,65	0,51	0,31	0,29	0,45
Median	0,9	1,5	1,6	1,6	1,5	1,5
MIN	0,2	0,2	0,7	0,9	1,0	0,8
Max	2,8	2,9	3,0	2,8	2,8	3,3
n	60,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabelle 4-34. Eindringwiderstände [MPa] der extensiven Referenzflächen

RE	2-5cm	5-10cm	10-15cm	15-20cm	20-25cm	25-30cm
MW	1,28	1,35	1,33	1,38	1,32	1,29
SA	0,55	0,47	0,34	0,38	0,35	0,44
Median	1,3	1,3	1,3	1,4	1,3	1,2
MIN	0,3	0,6	0,8	0,8	0,8	0,7
Max	2,4	2,4	2,1	2,3	2,1	2,7
n	60,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Die Tiefenstufe 2-5cm zeigt im Vergleich keinen signifikanten Unterschied und wurde deshalb in Tabelle 4-22. nicht aufgezeigt. Die 5 Tiefen 5-10cm, 10-15cm, 15-20cm, 20-25cm und 25-30cm wurden in Abhängigkeit der Nutzung mit dem Kruskal- Wallis- Test paarweise miteinander verglichen und tabellarisch dargestellt. Das Signifikanzniveau liegt bei $\alpha \leq 0,05$.

Tabelle 4-35. Chi-Quadrat, Freiheitsgrade und Signifikanz der gewählten Tiefenstufen

	2-5cm	5-10cm	10-15cm	15-20cm	20-25cm	25-30cm
Chi-Quadrat [χ^2]	8,05	29,12	35,29	36,15	42,56	43,37
Freiheitsgrade [df]	4	4	4	4	4	4
Asymptotische Signifikanz	0.090	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

=signifikant $\alpha \leq 0,05$

=nicht signifikant $\alpha \geq 0,05$

Tabelle 4-36. Signifikanzen des Eindringwiderstandes im paarweisen Nutzungstyp- Vergleich

Nutzungsvergleich	Signifikanz [$\alpha \leq 0,05$]				
	5-10cm	10-15cm	15-20cm	20-25cm	25-30cm
DM-RI	0,075	0,408	0,230	0,299	0,778
DM-RE	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
DM-AE	0,284	0,432	0,000	0,001	0,093
DM-AI	0,811	0,489	0,000	0,000	0,000
RI-RE	0,017	0,000	0,000	0,001	0,001
RI-AE	0,340	0,179	0,000	0,001	0,366
RI-AI	0,056	0,732	0,000	0,000	0,001
RE-AE	0,000	0,000	0,116	0,206	0,004
RE-AI	0,000	0,000	0,110	0,941	0,479
AE-AI	0,209	0,163	0,987	0,065	0,002

= signifikant $\alpha \leq 0,05$

= nicht signifikant $\alpha \geq 0,$

DM= Dungmaat, AI= Almweide Intensiv, AE= Almweide Extensiv,
RI= Referenzfläche Intensiv, RE= Referenzfläche Extensiv

Tabelle 4-36 zeigt den paarweisen Vergleich des Eindringwiderstandes, zusammengefasst in den Nutzungstypen und gerechnet nach dem Test von Kruskal Wallis. So ergibt sich bei einem Signifikanzniveau von $\alpha \leq 0,05$ im Vergleich der beiden Typen Dungmahd und intensive Referenzfläche in allen Tiefenstufen kein erkennbarer Unterschied. Diese beiden Typen sind im Vergleich die am stärksten bewirtschafteten Flächentypen und werden regelmäßig mit landwirtschaftlichen Maschinen befahren.

Almweide extensiv und Almweide intensiv zeigen nur bei 25-30 cm einen signifikanten Unterschied (0,002). Die oberen Tiefenstufen weisen rechnerisch keine Diskrepanz auf.

Im paarweisen Vergleich zeigen die Nutzungstypen Almweide Extensiv und Referenzfläche Intensiv, Referenzfläche Extensiv und Almweide Intensiv sowie Dungmahd und Almweide Extensiv jeweils in nur zwei Tiefenstufen einen signifikanten Unterschied.

Eine erkennbare Differenz der Nutzungstypen in drei Tiefenstufen zeigen Dungmahd und Almweide Intensiv sowie Referenzfläche Intensiv und Almweide Intensiv. Diese beiden Vergleichspaare unterscheiden sich jeweils in den unteren drei Tiefenstufen. Hier wird wieder klar ersichtlich, dass befahrene Flächen im Unterboden einen höheren Eindringwiderstand haben als Flächen, die ausschließlich beweidet werden.

Einen signifikanten Unterschied des Eindringwiderstandes in allen Tiefenstufen (mit Ausnahme von 2-5cm) zeigen die Paare Dungmahd und extensive Referenzfläche sowie die beiden Referenzflächen Extensiv und Intensiv. Diese Nutzungstypen unterscheiden sich auch in Ihrer Bewirtschaftungsintensität am stärksten. Hier ist mit dem Eindringwiderstandsmessungen eine offensichtliche Divergenz in der Bewirtschaftungsform fest zu stellen. Die beiden extensivsten Bewirtschaftungsformen (AE und RE) weisen jeweils die größten Unterschiede mit den beiden intensiven Bewirtschaftungsformen (RI und DM) auf. Dies lässt den Schluss zu, dass mit der Intensivierung der Flächen der Eindringwiderstand steigt und somit auch die Dichte des Bodens.

4.10 Eindringwiderstände und Lagerungsdichten

4.10.1 Korrelation von Eindringwiderstand und Lagerungsdichte

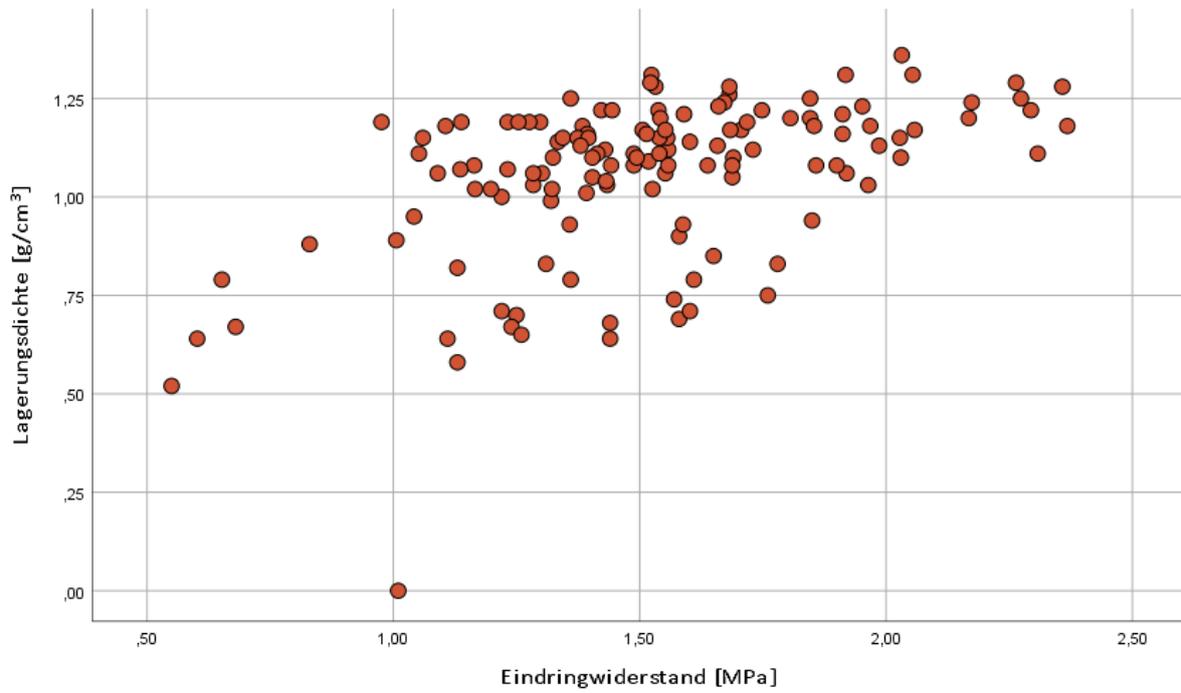


Abbildung 4-16. Streudiagramm der beiden Parameter: Eindringwiderstand [MPa] und Lagerungsdichte [g/cm³]

Um die Bodendichte bestmöglichst ermitteln zu können, wurden der Eindringwiderstand und die Lagerungsdichte der einzelnen Probefläche gemessen. Diese beiden Parameter wurden mit der Spearman Rangkorrelationsanalyse miteinander verglichen und es ergab eine hochgradig signifikante Beziehung der Messwerte mit einem Rangkorrelationskoeffizienten von 0,467827 ($p \leq 0,0001$).

Tabelle 4-37. Ergebnis der Spearman'schen Rangkorrelationsanalyse

	MW	SA	Spearman'scher Rangkorrelationskoeffizient	p	n
Lagerungsdichte [g/cm ³]	1,06	0,206	0,467827	<0,0001	132
Eindringwiderstand [MPa]	1,52	0,359			132

Dieses Ergebnis bestätigt die grundsätzliche Annahme, dass der Eindringwiderstand mit der Lagerungsdichte steigt. Jedoch wurde bei manchen Vergleichen festgestellt, dass diese Aussage keine allgemeine Gültigkeit hat. Dies ist im Beispiel mit der

extensiven Referenzfläche sehr gut ersichtlich. Im nutzungsabhängigen Vergleich weist dieser Nutzungstyp durchwegs die höchste Lagerungsdichte auf. Der nutzungsabhängige Vergleich mit dem Eindringwiderstand zeigt hingegen, dass dieser am geringsten bei der extensiven Referenzfläche ist. Die Begründung dafür liegt an den verschiedenen Faktoren, welche eine solche Eindringwiderstandsmessung beeinflussen können (siehe Tabelle 2-2.).

4.10.2 Graphischer Vergleich von Eindringwiderstand und Lagerungsdichte

In den beiden nachstehenden Liniendiagrammen (Abbildung 4-17. und Abbildung 4-18.) werden die gewählten Nutzungstypen tiefenlinear vergleichend dargestellt. So ist bei der Lagerungsdichte die zunehmende Dichte in den ersten 10 cm bei allen Nutzungsgruppen gut zu erkennen.

Der Eindringwiderstand erweist sich im nutzungsabhängigen Tiefenvergleich als sehr variabel. Dabei fällt die extensive Referenzfläche (gelbe Kurve) auf. Diese hat ab ca. 10 cm Bodentiefe die höchste Lagerungsdichte [g/cm³] jedoch den geringsten Eindringwiderstand im Vergleich mit den Nutzungstypen.

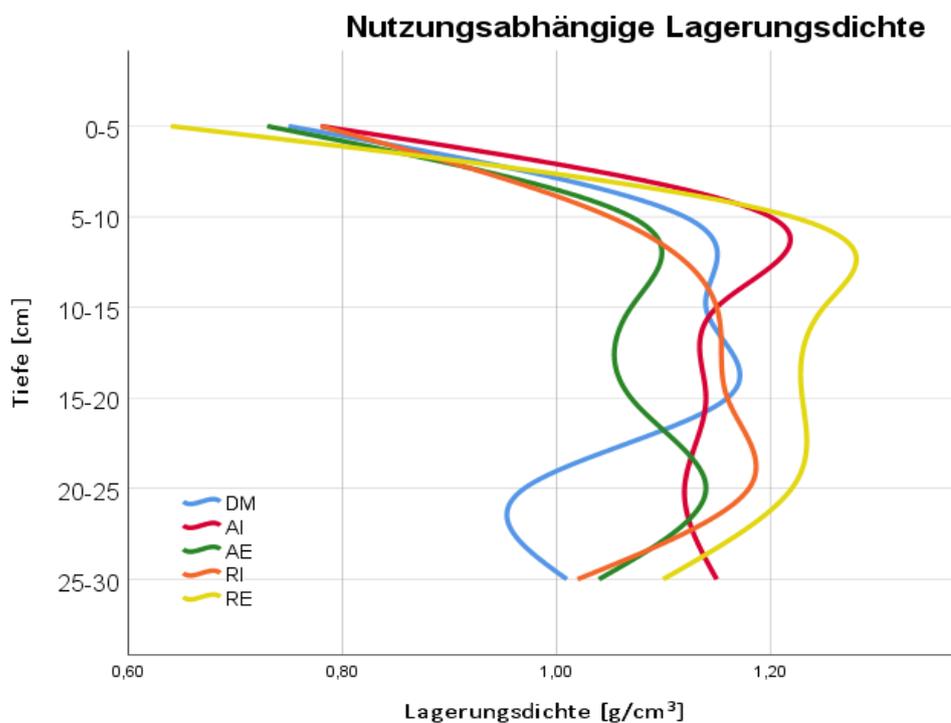


Abbildung 4-17. Linearer Vergleich der Lagerungsdichte, unterteilt in den Nutzungstypen.

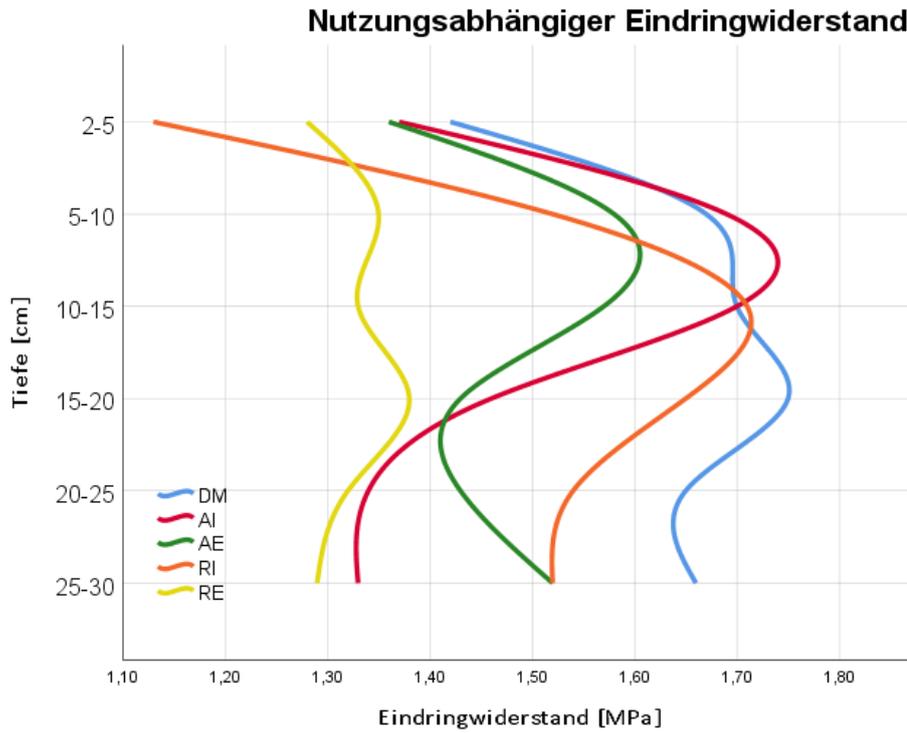


Abbildung 4-18. Linearer Vergleich des Eindringwiderstandes, unterteilt in den Nutzungstypen.

In den folgenden Diagrammen (Abbildung 4-19. bis Abbildung 4-23.) sind der Eindringwiderstand sowie die Lagerungsdichte der einzelnen Nutzungstypen gegenübergestellt.

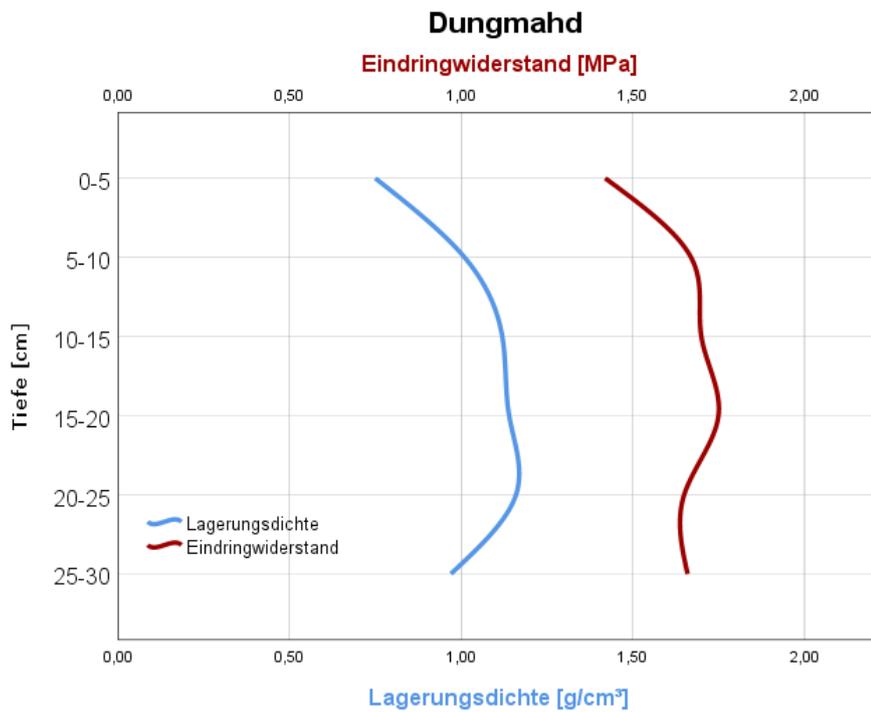


Abbildung 4-19. Eindringwiderstand und Lagerungsdichte vom Dungmahd

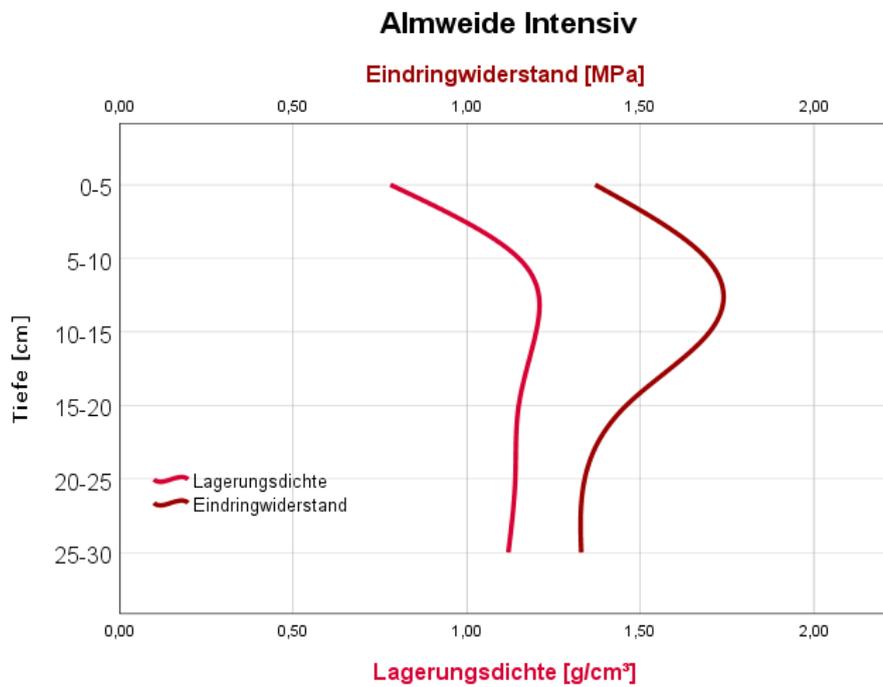


Abbildung 4-20. Eindringwiderstand und Lagerungsdichte der intensiven Almweide

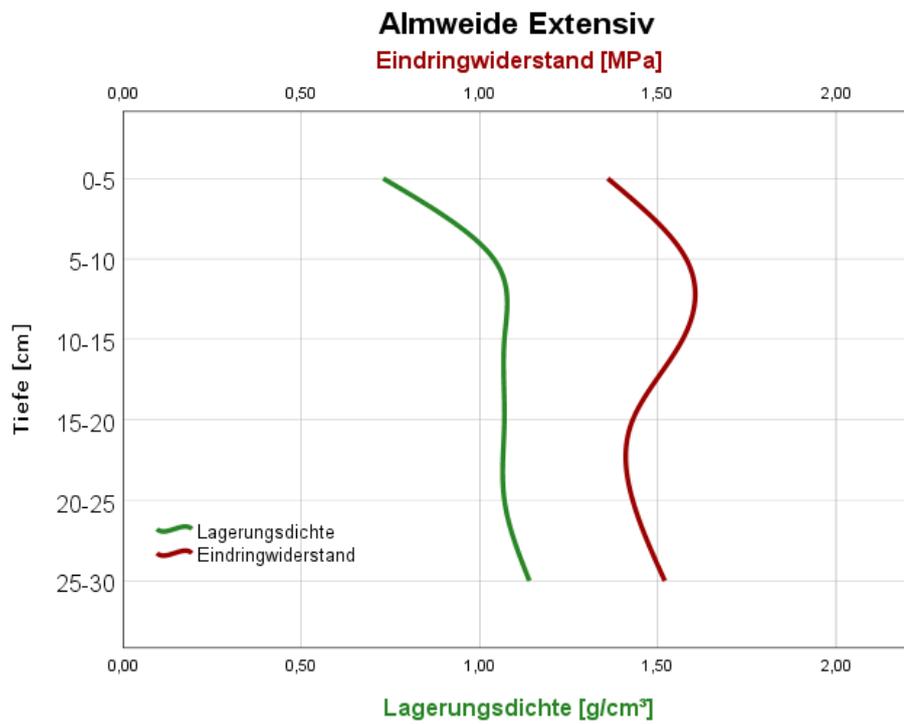


Abbildung 4-21. Eindringwiderstand und Lagerungsdichte der extensiven Almweide

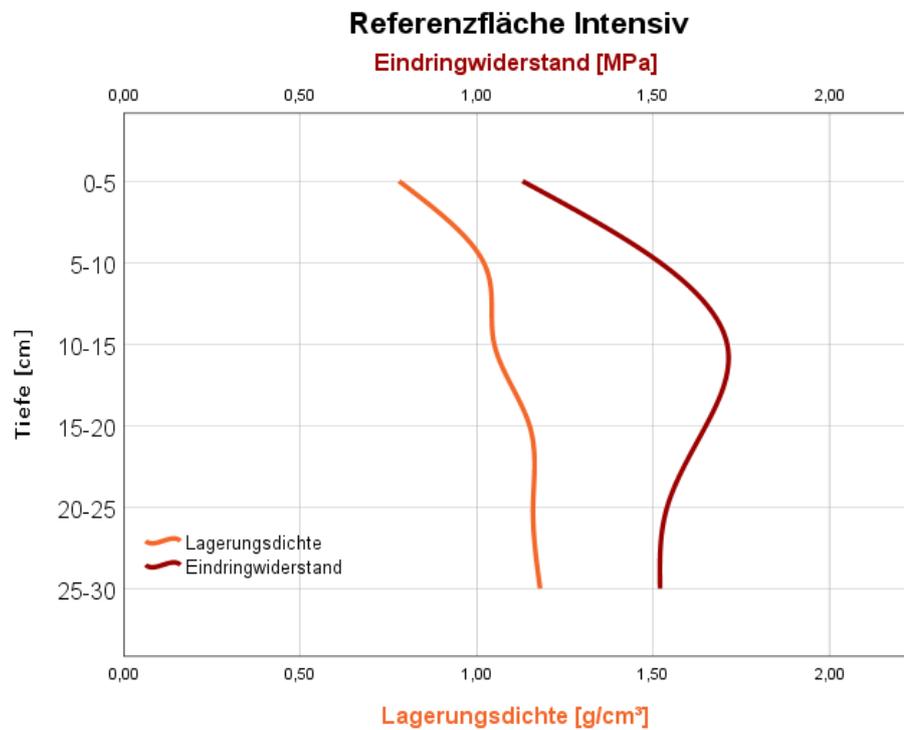


Abbildung 4-22. Eindringwiderstand und Lagerungsdichte der intensiven Referenzfläche

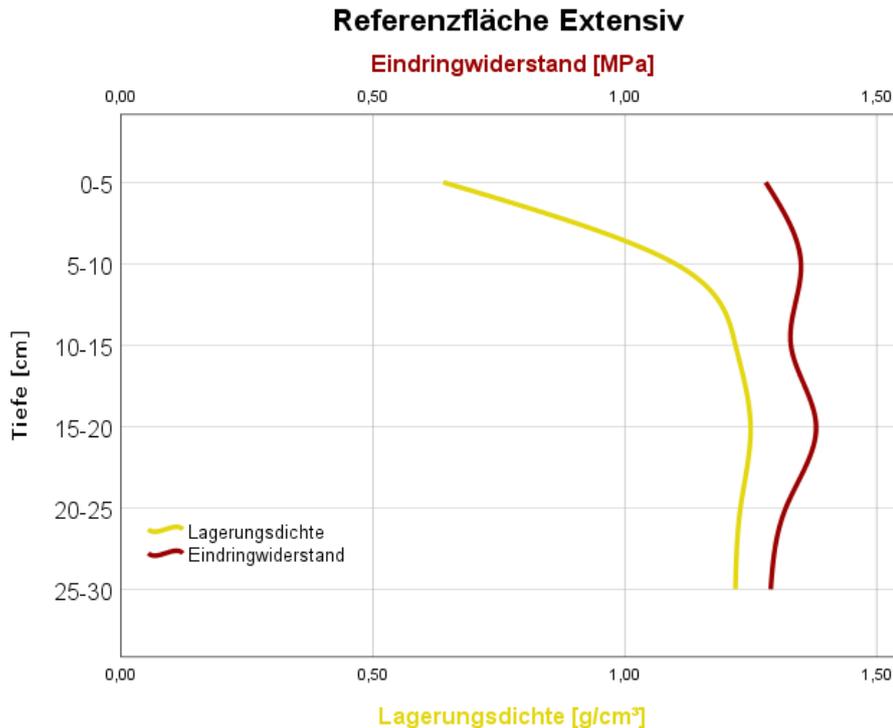


Abbildung 4-23. Eindringwiderstand und Lagerungsdichte der extensiven Referenzfläche

Im graphischen Tiefenverlaufvergleich vom Eindringwiderstand und der Lagerungsdichte ist beim **Dungmahd** eine annähernd parallele Linienführung zu erkennen. Das bedeutet, dass sich der Eindringwiderstand ähnlich wie die Lagerungsdichte verhält. So steigen beide Parameter in den oberen 10 cm an und im weiteren Tiefenverlauf sinken die beiden Kurven gleichmäßig ab.

Dieser Trend ist auch bei der **intensiven Almweide** zu erkennen. Grob gesehen verlaufen auch hier die beiden verglichenen Invariablen in einer parallelen Linienführung nach unten.

Die **extensive Almweide** weist im direkten Vergleich wieder einen ähnlichen Trend, wie die oben genannten Nutzungstypen, auf.

Die **intensive Referenzfläche** hat im Tiefenverlauf eine eher flache Eindringwiderstandskurve. Im Vergleich dazu macht die Lagerungsdichte einen starken Bogen, der seinen Spitzenwert bei ca. 15 cm Bodentiefe erreicht. Hier ist also der Eindringwiderstand deutlich höher als die gemessene Lagerungsdichte. Dies ist wieder auf die bereits beschriebenen Faktoren zurückzuführen, welche den Eindringwiderstand beeinflussen können.

Die Lagerungsdichte steigt bei der **extensiven Referenzfläche** bis in eine Tiefe von ca. 10 cm rasch und verläuft danach fast geradlinig nach unten. Die dazugehörige Eindringwiderstandskurve verläuft von oben nach unten in Schlangenlinie aber gleichmäßig.

Die Interpretation der Kurven (Abbildung 4-19 bis Abbildung 4-23) wurde bereits in den vorigen Kapiteln durchgeführt.

4.11 Vegetationsanalyse

Tabelle 4-38. Auflistung der verdichtungszeigenden Pflanzen auf den Untersuchungsstandorten nach der Einteilung von BRAUN- BLANQUET

Standort	Nutzung	<i>Poa supina/Poa annua</i>			<i>Ranunculus repens</i>			<i>Plantago major</i>			<i>Bellis perennis</i>			<i>Leontodon autumnalis</i>			Σ D [%]
		D[%]	M	S	D[%]	M	S	D[%]	M	S	D[%]	M	S	D[%]	M	S	
S7	DM				3	+	1										3
S3	DM	5	1	1	1	+	1						3	+	1		9
S5	DM				3	+	1	2	+	1	1	+	1	2	+	1	8
S9	DM																0
S12	DM	3	1	1	2	+	1										5
S13	DM	5	1	1													5
S18	DM	3	+	1	20	2b	3										23
S1	AI	2	1	1	20	2b	3	5	2a	1			10	2a	2		37
S4	AI	20	2b	2													20
S6	AI	10	2a	2	1	r	1	15	2a	2	1	r	1	20	2b	3	47
S8	AI				2	1	1							3	1	1	5
S14	AI																0
S15	AI	30	3	2							10	2a	1	20	2b	3	60
S11	AE	2	+	1										40	4	3	42
S16	AE	2	+	1													2
S17	AE	5	1	1							2	+	1	2	+	1	9
S19	AE																0
S20	AE	5	1	1													5
S21	RI				20	2b	2				3	1	1				23
S22	RI										5	1	1				5
S2	RE	5	1	1										2	1	1	7
S10	RE	3	1	1										3	1	1	6

D= Deckung, M= Menge, S= Soziabilität

DM= Dungmaat, AI= Almweide Intensiv, AE= Almweide Extensiv,

RI= Referenzfläche Intensiv, RE= Referenzfläche Extensiv

In Tabelle 4-38. Auflistung der verdichtungszeigenden Pflanzen auf den Untersuchungsstandorten nach der Einteilung von BRAUN- BLANQUET wird der Deckungsgrad [%], die Menge und die Soziabilität, der auf den Untersuchungsstandorten aufgefundenen Verdichtungszeiger, dargestellt.

Es wurde das Vorkommen von 9 verdichtungszeigenden Pflanzen nach der Vegetationsanalyse von BRAUN- BLANQUET aufgezeichnet. In Tabelle 4-38. sind jedoch nur die Arten *Poa supina* (Läger Rispe), *Poa annua* (Jährige Rispe), *Ranunculus repens* (Kriechender Hahnenfuß), *Plantago major* (Breitwegerich), *Bellis perennis* (Gänseblümchen) und *Leontodon autumnalis* (Herbstlöwenzahn) aufgeführt. Die Arten *Agrostis stolonifera* (Flechtstraußgras), *Matricaria discoidea* (Strahlenlose Kamille) und *Polygonum aviculare* (Vogelknöterich) wurden auf den Untersuchungsstandorten ebenfalls gesucht. Diese drei Arten wurden jedoch auf keinen der Standorte aufgefunden. Weil sie in den Gebirgsregionen zu vernachlässigen sind, sind diese Arten in obiger Tabelle nicht angeführt.

Die beiden Gräser *Poa supina* und *Poa annua* wurden Aufgrund von gemeinsamen Vorkommen und nicht eindeutiger, flächiger Unterscheidbarkeit gemeinsam erfasst.

Bodenverdichtungszeigende Pflanzen kamen auf allen Nutzungstypen vor. Im Nutzungstyp Dungmahd traten bis auf den Standort S9 auf jedem Standort Verdichtungszeiger auf, jedoch mit einem durchwegs geringen Gesamtdeckungsgrad. Die höchste Dichte der Zeigerpflanzen beim Nutzungstyp Dungmahd mit gesamt 23% ist bei S18 aufgetreten. *Ranunculus repens* kam bei diesem Nutzungstyp am häufigsten vor, gefolgt von *Poa supina* und *Poa annua*.

Bei der intensiven Almweide war die Deckung mit verdichtungszeigenden Pflanzen am höchsten. Eine Ausnahme bildet S14, auf der keine der genannten Arten vorkam. Eine Gesamtdeckung von Verdichtungszeigern von 60% verzeichnete S15, eine intensiv beweidete Almfläche. Auf diesem Standort wurden ca. 20% *Leontodon autumnalis* und ca. 30% *Poa supina* bzw. *Poa annua* aufgefunden. Der Standort 6 ist der einzige, auf denen alle gesuchten, verdichtungszeigenden Arten auftraten. *Leontodon autumnalis* erreichte mit 20% die höchste Deckung. Mit einer Gesamtdeckung von 47% an verdichtungszeigenden Pflanzen ist S6 an zweiter Stelle der Vergleichsstandorte.

An den extensiv genutzten Flächen traten nur drei verdichtungszeigende Arten auf: *Poa supina/Poa annua*, *bellis perennis* und *Leontodon autumnalis*. Der Standort 19

wies keine dieser Arten auf und S11 verzeichnete mit 40% *Leontodon autumnalis* den zahlreichsten Bewuchs dieser Art.

Auf der intensiv genutzten Referenzfläche S21 kam ca. 20% *Ranunculus repens* und ca. 3% *Bellis perennis* vor.

Die extensiv bewirtschafteten Referenzflächen weisen beide *Poa supina* bzw. *Poa annua* sowie *Leontodon autumnalis* in einer geringen Gesamtdeckung auf.

Betrachtet man alle Standorte, so war die Art *Leontodon autumnalis* am häufigsten aufzufinden. Dicht gefolgt von den Gräsern *Poa supina* und *Poa annua*.

Auf Grünlandstandorten ist die räumliche Variabilität von Bodenkennwerten gelegentlich sehr groß. Die Gründe hierfür sind vielfältig. So spielen Indikatoren wie der Bodentyp, der Humusgehalt, die Bodenart, das Substrat für die Bodenbildung, die Gründigkeit oder der Grobsteingehalt in kleinräumiger Struktur mit ein (Beckett und Webster. R. 1971). Somit ist es schwierig eine allgemeingültige Aussage über eine größere Fläche zu treffen, zumal die Probestandorte auf eine Fläche von 5 x 5 m begrenzt sind. Auch können nach Bohner (2010) verdichtungszeigende Pflanzen auf extensiv genutztem Grünland gänzlich fehlen. Diese Aussage kann im Zuge dieser Arbeit nicht bestätigt werden. Es ist lediglich eine leichte Tendenz erkennbar, dass extensivere Flächenabschnitte weniger bodenverdichtungszeigende Pflanzen aufweisen. Obwohl die meisten untersuchten Almflächen als extensive Nutzungsformen einzustufen sind, sind auf fast jedem Standort Verdichtungszeiger nachgewiesen worden. Ein Grund dafür kann nach Bohner (2010) die Tatsache sein, dass Zeigerarten Indikatorfunktionen für mehrere Standortfaktoren haben können und deshalb das Auftreten bestimmter Zeigerpflanzen nicht zwingend eine starke Verdichtung im Boden anzeigen muss. So zeigt zum Beispiel *Ranunculus repens* auch einen nassen, luftarmen Standort an (Licht 2015). Im Untersuchungsgebiet gab es bei allen Nutzungstypen vergleyte oder pseudovergleyte Standorte, die stark durch Stau- oder Tagwasser beeinflusst sind. Dies beeinflusst wiederum den Pflanzenbestand. Im Nutzungstypenvergleich trat *Ranunculus repens* auf den intensiver genutzten Flächen (DM, AI und RI) deutlich öfter auf als auf den extensiveren Standorten (AE und RE) und im Vergleich mit den Feuchtemessungen (Kapitel 4.3.2) ist wiederum zu erkennen, dass hohe Deckungsgrade von *Ranunculus repens* mit einer hohen Bodenfeuchte

einhergeht. Nach Deutsch (1997) ist der kriechende Hahnenfuß auf frischen bis nassen Standorten zu finden, die etwas verdichtet sein können.

Leontodon autumnalis war auf verstärkt beweideten Flächen häufiger aufzufinden. Auch hier ist eine Übereinstimmung mit den Zeigerwerten festzustellen. Der Herbstlöwenzahn tritt vor allem im trockenen bis wechselfeuchtem und beweidetem Grünland auf (Deutsch 1997).

Auf den verschiedenen Standorten wurden die zusammengefassten Gräser *Poa annua* und *Poa supina* am öftesten vorgefunden. Diese wurden zwar auch auf den extensiven Flächen lokalisiert, aber nur in einem geringen Deckungsgrad. Es ist aber ersichtlich, dass diese Arten auf den intensiven Flächen und dort vor allem auf den intensiv beweideten Standorten in großer Zahl zu finden sind. Nach Bohner (2010) zeigen diese Gräser nicht nur eine Bodenverdichtung an, sie sind auch Lückenbüßer und treten daher gehäuft auf mäßig bis gut mit Nährstoffen versorgten Grünlandböden auf. Lückenbüßer sind Bioindikatoren für lückige Pflanzenbestände. Lücken treten vor allem durch Beweidung auf. Sie können aber auch durch andere Störfaktoren wie Trockenheit, Überflutung oder Schneereichtum vermehrt vorkommen (Bohner 2010). Auf die Untersuchungsstandorte treffen in unterschiedlichem Ausmaß einige dieser Störfaktoren zu. Die Standorte (S4, S6 und S15), an denen Deckungsgrade über 10% von *Poa annua* und *Poa supina* verzeichnet wurden, wurden alle in die Nutzungsart Almweide intensiv eingeteilt.

Es ist aber anzumerken, dass Zeigerpflanzen nach Bohner (2010) nur Auskunft über den Bewurzelungsraum liefern. D. h., dass tiefergelegene Bodenverdichtungen (unter 10 cm), nicht durch verdichtungszeigende Pflanzen angezeigt werden.

Für eine ausführliche Beurteilung der Pflanzenbestände wäre eine umfangreichere Untersuchung durchzuführen, denn im Jahresverlauf verändern sich die Pflanzengesellschaften und deren Zusammensetzung (Bohner 2010).

5. Schlussfolgerungen und Ausblick

Zweck dieser Arbeit war es nicht, Flächen oder Flächenabschnitte mit schadhafter Bodenverdichtung zu ermitteln und Lösungen dafür zu finden. Das Ziel war, einen Ist-Zustand der Dichte der Böden im Grünland und speziell im Almgebiet festzuhalten und zu beurteilen.

Generell wiesen die Flächen der Großarler Almen eine geringe Bodenverdichtung auf. Speziell der Oberboden (bis 10 cm Bodentiefe) hatte im Vergleich zu den übrigen Bodenschichten eine sehr verringerte Lagerungsdichte. Die Gründe hierfür sind vor allem an dem erhöhten Humusgehalt und der filzigen Wurzel- bzw. Pflanzendecke zu finden.

Im Unterboden ist die Lagerungsdichte, bei weiter Betrachtung und Zusammenfassung aller Untersuchungsstandorte, sehr homogen und verläuft im Tiefenverlauf gleichmäßig. Jedoch sind bei der Aufspaltung der Flächen nach ihrer Nutzungsintensität Differenzen erkennbar. So wurde festgestellt, dass Flächen, welche befahren werden (Dungmahd und intensive Referenzflächen), im Vergleich zu den übrigen Untersuchungsstandorten, ab einer Tiefe von ca. 15 cm stärker verdichtet sind als jene, die nur beweidet werden. Diese Erkenntnis ist interessant, weil es sich bei den eingesetzten landwirtschaftlichen Maschinen hauptsächlich um leichte und kompakte Spezialmaschinen handelt. Trotz ihres, im Vergleich, leichten Einsatzgewichtes konnten auf diesen Flächen erhöhte Lagerungsdichten bzw. Eindringwiderstände im unteren Untersuchungshorizont festgestellt werden. Im Gegensatz dazu ist bei rein beweideten und vor allem auf den intensiv beweideten Almflächen eine erhöhte Bodendichte in den oberen Bodenschichten (bis ca. 15 cm) gemessen worden. Durch die geringe Auflagefläche der Hufe von Weidetieren wird generell der Oberboden stärker verdichtet (Blume 1992).

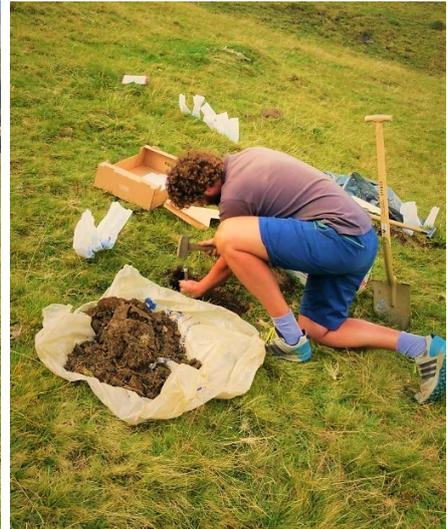
Es handelt sich aber bei den Flächen mit Maschineneinsatz noch bei Weideflächen um schadhafte Bodenverdichtungen. Diese können natürlich kleinräumig auftreten, aber im Gesamtvergleich ist keine Schadverdichtung nachzuweisen.

Gehmacher (2016) machte einen ähnlichen Versuch, wie er in dieser Arbeit vorgenommen wurde. Er beschränkte sich aber auf Grünlandflächen im Salzburger Flachgau. Diese Standorte werden intensiver genutzt, als jene im Großarlalmer Almgebiet. Im Gesamtdatenvergleich der Lagerungsdichte, ist auf den Almflächen eine

geringere Bodendichte im gesamten Tiefenverlauf, als im Flachgau ersichtlich. Beim Vergleich mit den Gesamtdaten des Eindringwiderstandes ist ein höherer Widerstand in der oberen Untersuchungstiefe im Almbereich ersichtlich und in der unteren Hälfte (15 bis 30 cm) ist der Eindringwiderstand im Salzburger Flachgau höher. Hier ist wieder zu erkennen, dass durch Beweidung und grundsätzlich extensivere Nutzung, wie es in den Almregionen praktiziert wird, der Boden zwar in den oberen Regionen stärker verdichtet ist, aber im Gesamtvergleich eine geringere Lagerungsdichte im gesamten Tiefenverlauf zu verzeichnen ist.

Grundsätzlich sind Böden auf den Almen durch viele verschiedene Faktoren beeinflusst. So können sie z. B. durch Bewirtschaftungsweisen, Bewirtschaftungsintensitäten, verkürzte Vegetationszeiten, Überflutungen, Tiefgründigkeit der Böden, Exposition, Steilheit, Höhenlage, Pflanzenbestand, und vieles mehr, stark variieren, besonders im kleinräumigem Bereich. Deshalb wäre es notwendig, um ein umfassendes Bodenzustandsbild der Almregionen zu erheben, diesen Versuch auf weitere Alm- bzw. Grünlandflächen auszubreiten.

Schlussfolgerungen und Ausblick



Quelle: Eigene Bilder

6. Literaturverzeichnis

Aigner, S (2003): Almen Bewirtschaften. Pflege und Management von Almweiden. Graz, Stuttgart: L. Stocker Verlag.

Amelung, W.; Blume, H.; Fleige, H.; Horn, R.; Kandeler, E.; Kögel-Knaber, I. et al. (2018): Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. 17. Aufl. 2018. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Bassler, G.; Lichtenegger, A.; Karrer, G. (2000): Gliederung der extensiven Grünlandtypen im Transekt von Oppenberg bis Tauplitz.

Beckett, P.; Webster, R. (1971): A review. Soils and Fertilizers. In: Soil and Fertilizers (34). s.l.

Bittermann, W. (1990): Rinderrassenreduktion von 1880-1985 unter dem Aspekt der genetischen Verarmung, S. 289–299. www.zobodat.at (14.02.2020).

Blum, W. (2012): Bodenkunde in Stichworten. 7. Aufl. Stuttgart: Borntraeger (Hirt's Stichwortbücher).

Blume, H. (1992): Handbuch des Bodenschutzes–Bodenökologie und Belastung, vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. s.l.

Bmnt (Hg.) (2018): Grüner Bericht 2018. Bericht über die Situation der Österreichischen Land- und Forstwirtschaft im Jahr 2017. Bmnt. 59. Aufl. Wien. www.gruenerbericht.at, (16.12.2019).

Boden, A.G. (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung: Hannover Germany.

Bohner, A. (2010): Zeigerpflanzen für die Beurteilung des Bodenzustandes im Wirtschaftsgrünland: s.l.

Bohner, A. (2015): Bedeutung und Aktualität von Zeigerpflanzen im Grünland, S. 39–44. s.l.

Bohner, A.; Buchgraber, K.; Froschauer, J.; Galler, J.; Holzner, H.; Humer, J. et al. (2003): Kalk, wichtig für Acker und Grünland. In: Der fortschrittliche Landwirt, Sonderbeilage „Kalkdüngung“ Landeskommission für Land- und Forstwirtschaft Steiermark. s.l.

Bohner, A.; Herndl, M. (2011): Einfluss einer Nutzungsintensivierung auf Wurzelmasse und Wurzelverteilung im Grünlandboden. s.l.

Bohner, A.; Starz, W. (2011): Zeigerpflanzen im Wirtschaftsgrünland. In: Sonderbeilage Der fortschrittliche Landwirt. ÖAG Grünland und Futterbau. s.l.

Boxberger, J.; Moitzi, G. (2007): Vermeidung von Bodenschadverdichtungen beim Einsatz von schweren Landmaschinen – eine aktuelle Herausforderung. https://www.bmnt.gv.at/land/laendl_entwicklung/zukunftsraum_land_masterplan/Online-Fachzeitschrift-Laendlicher-Raum/archiv/2007/Moitzi.html, (03.10.2019).

Brandhuber, R.; Demmel, M.; Wild, M. (2010): Bodenverdichtung: Wenig Druck dem Boden zuliebe. Themenblatt. LfL. https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ilt/dateien/ilt1_bodenfruchtbarkeit_themenblatt_bodenverdichtung.pdf, (04.12.2019).

Buchgraber, K.; Gindl, G. (2004): Zeitgemässe Grünlandbewirtschaftung. 2. Aufl. Graz: Stocker.

Deutsch, A. (1997): Bestimmungsschlüssel. Ein Führer zur einfachen und raschen Bestimmung sowie zum Kennenlernen wichtiger Grünlandpflanzen während der ganzen Vegetationszeit. 10. Aufl. Klosterneuburg: Österr. Agrarverl.

Dierschke, H.; Briemle, G. (2002): Kulturgrasland. Ökosysteme Mitteleuropas aus geobotanischer Sicht. Stuttgart: Eugen Ulmer

Dierschke, H.; Briemle, G. (2008): Kulturgrasland. Wiesen, Weiden und verwandte Staudenfluren ; 20 Tabellen. Stuttgart: Ulmer.

Eijkelkamp (2013). Penetrologger Gebrauchsanweisung. <http://www.birs-hydromet.ch/pdf/produktflyer/eijkelkamp/P1-52d.pdf>, (14.10.2019).

Ellenberg, H.; Weber, H.; Düll, R.; Wirth, V.; Werner, W. (2001): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. 3. Aufl. Göttingen: Erich Goltze Verlag GmbH & Co KG

Ellmayer, T. (1995): Nachweis und Variabilität einiger Wiesen- und Weidegesellschaften in Österreich. In: Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich 132, S. 13–60. s.l.

Gehmacher, P (2016): Einfluss der Bewirtschaftung auf die Lagerungsdichte und den Eindringwiderstand von Dauergrünlandböden des Salzburger Flachgaaes. Diplomarbeit. Universität für Bodenkultur, Wien.

- Prähofer, G. (1988): Die Entwicklung von Almen mit unterschiedlichen Eigentumsverhältnissen in Großarl / Hüttschlag, Salzburg. Diplomarbeit. Universität für Bodenkultur, Wien.
- Gerowitt, B.; Schröder, S.; Dempfle, L.; Engels, E. M.; Engels, J.; Feindt, P.H. (2013): Biodiversität im Grünland– unverzichtbar für Landwirtschaft und Gesellschaft. In: Agrobiodiversität im Grünland–nutzen und schützen, S. 21. s.l.
- Gessl, E. (1985): Das Grünland. Graz: Stocker (Praxisbuch Pflanzenbau).
- Groier, M. (2010): Almstatistik 2009. Zahlen und Fakten zur österreichischen Almwirtschaft. Wien: Bundesanst. für Bergbauernfragen (Facts & feature, 43).
- Harlfinger, O.; Knees, G.; Koch, E. (2002): Klimahandbuch der Österreichischen Bodenschätzung. Klimatographie. Innsbruck: Universitätsverlag Wagner.
- Hartge, K.H.; Horn, R. (2009): Die physikalische Untersuchung von Böden. Praxis, Messmethoden, Auswertung. 4. Aufl. Stuttgart: Schweizerbart.
- Lebert, M.; Brunotte, J.; Sommer, C. (2004): schädlichen Bodenveränderung, entstanden Ableitung von Kriterien zur Charakterisierung durch nutzungsbedingte Verdichtung von Böden/Regelungen zur Gefahrenabweh. Hg. v. Umweltbundesamt. Berlin.
- Licht, W. (2015): Zeigerpflanzen. Erkennen und Bewerten. 2. Aufl. Wiebelsheim, Hunsrück: Quelle & Meyer Verlag.
- Nieder, R. (2011): Bodenchemische Versuche. Im Rahmen der Veranstaltung „Labormethoden“ für Studierende der Geoökologie. Braunschweig.
- N.N. (s.a.): Humusbestimmung. Baden-Württemberg.
- Penz, H. (1978): Die Almwirtschaft in Österreich. Wirtschafts- und sozialgeographische Studien mit 49 Tabellen, 18 Abbildungen und 6 Karten. Kallmünz, Regensburg: Michael Lasselben.
- Pötsch, E.M. (1996): Zerstörung der Grasnarbe durch tierische Schädlinge: s.l.
- Rampazzo, N.; Blum, W. (2000): Ausgewählte Bodenprofile. Bildvorlagen und Erläuterungen zur Vorlesung "Allgemeine Bodenkunde" (für KTWW). BOKU Wien. Manuskript.
- Sagis (2019): SAGISonline: SAGIS. www.sagis.gv.at, (17.12.2019).

Schley, L.; Leytem, M. (2004): Extensive Beweidung mit Rindern im Naturschutz: eine kurze Literaturlauswertung hinsichtlich der Einflüsse auf die Biodiversität. In: Bull. Soc. Nat. luxemb 105, S. 65–85. s.l.

Schneider; Baier; Hula (1957): Acker-, Grünland- und Almwirtschaft. 9. Aufl. Wien und München: Georg Fromme & Co.

Schwab, P.; Dietrich, M.; Gubler, P. (2017): Messung des Eindringwiderstands und des Bodenwasserzustandes. Methodenvergleich verschiedener Geräte und Verfahren. Hg. v. Nationale Bodenbeobachtung (NABO). Zürich-Reckenholz. www.nabo.admin.ch, (14.10.2019).

Schwingeschlögel, R. (2008): Allgemeine Geologie. Skriptum zur Vorlesung für KT & FW. BOKU Wien. Manuskript.

Seefeldner, E. (1961): Salzburg und seine Landschaften. Eine geographische Landeskunde. Salzburg/Stuttgart: Das Bergland-Buch.

Sheath, G.W.; Carlson, W.T. (1998): Impact of cattle treading on hill land: 1. Soil damage patterns and pasture status. In: New Zealand Journal of Agricultural Research 41 (2), S. 271–278.

Smit, H.J.; Metzger, M.J.; Ewert, F. (2008): Spatial distribution of grassland productivity and land use in Europe. In: Agricultural Systems 98 (3), S. 208–219.

Soussana, J.F.; Allard, V.; Pilegaard, K.; Ambus, P.; Amman, C.; Campbell, C. et al. (2007): Full accounting of the greenhouse gas (CO₂, N₂O, CH₄) budget of nine European grassland sites. In: Agriculture, Ecosystems & Environment 121 (1-2), S. 121–134.

Spatz, G. (1975): Die Almen in ihrer Bedeutung als bewirtschaftete Ökosysteme. In: IIC 111, 3A.

Vleeshouwers, L.M.; Verhagen, A. (2002): Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe. In: Global change biology 8 (6), S. 519–530.

Voigtländer (1977): Nährstoffauswaschung aus dem Grünland und Gewässerbelastung. TU München, Freising-Weihenstephan.

Weissbach, M. (2003): Landtechnische Untersuchungen zur Wirkung bodenschonender Fahrwerke an Schleppern und Arbeitsmaschinen mit verschiedenen Radlasten. Berlin: Logos.

Wilmanns, O. (1993): Oekologische Pflanzensoziologie. Eine Einführung in die Vegetation Mitteleuropas. 5. Aufl. Heidelberg, Wiesbaden: Quelle & Meyer (Uni-Taschenbücher, 269).

Wohlfahrt, G.; Hörtnagl, L.; Hammerle, A. (2009): Grünland–Senke oder Quelle für Kohlendioxid: empirische Befunde und Modellanalysen: s.l.