

Auswirkung der Umbruchsintensität auf bodenphysikalische Eigenschaften von Fahrgassen im Weinbau

Masterarbeit

Eingereicht von: **Stiper Katrin**

Betreut von: **Ao.Univ.Prof. DI Dr. Nicola Rampazzo**

DI Dr. Peter Strauss



Der Wein ist ein Geschenk der Götter, sie haben den Wein dem
Menschen aus Erbarmen gegeben

(Platon, 427 - 348 od. 347 v. Chr.)

Danksagung

Zuerst möchte ich mich bei meinen Eltern Josef und Evelyn Stiper für die Möglichkeit eine akademische Ausbildung zu absolvieren, bedanken. Ohne ihre finanzielle und mentale Unterstützung während meines gesamten Studiums wäre es mir nicht möglich gewesen dieses abzuschließen. Bei meinem Vater möchte ich mich für die vielen philosophischen Gespräche bei Wanderungen, Spaziergängen sowie während Sommerabenden auf der Terrasse bedanken. Diese haben mir immer wieder Kraft und Motivation gegeben. Bei meiner Mutter möchte ich mich für ihre Fürsorge, Wärme und zugleich ihre unermüdliche Aufmunterung bedanken.

Einen besonderen Dank möchte ich meiner Schwester Carola Stiper-Dunkl und meinem Schwager Ing. Martin Dunkl für die guten Ratschläge und das immer für mich da Sein aussprechen. Meiner Nichte Jessica-Lara Dunkl möchte ich für die Freude, die sie in mein Leben bringt, danken. Weiters möchte ich mich bei allen Kollegen und Kolleginnen, die mich während meines Studiums begleitet haben, für die schöne Zeit bedanken.

Bei meiner Schamanin Sylvia Graf (Nitya Sahachari), meinem Schamanen DI Andreas Graf (Nitya Mohan Das) sowie allen Kollegen und Kolleginnen im Spirituellen Zentrum möchte ich mich dafür bedanken, dass sie mich, gerade in schwierigen Zeiten, getragen und gestützt haben. Zusätzlich möchte ich mich noch bei meinen engsten Freunden und Freundinnen für ihre langjährige Freundschaft und Begleitung in meinem Leben bedanken.

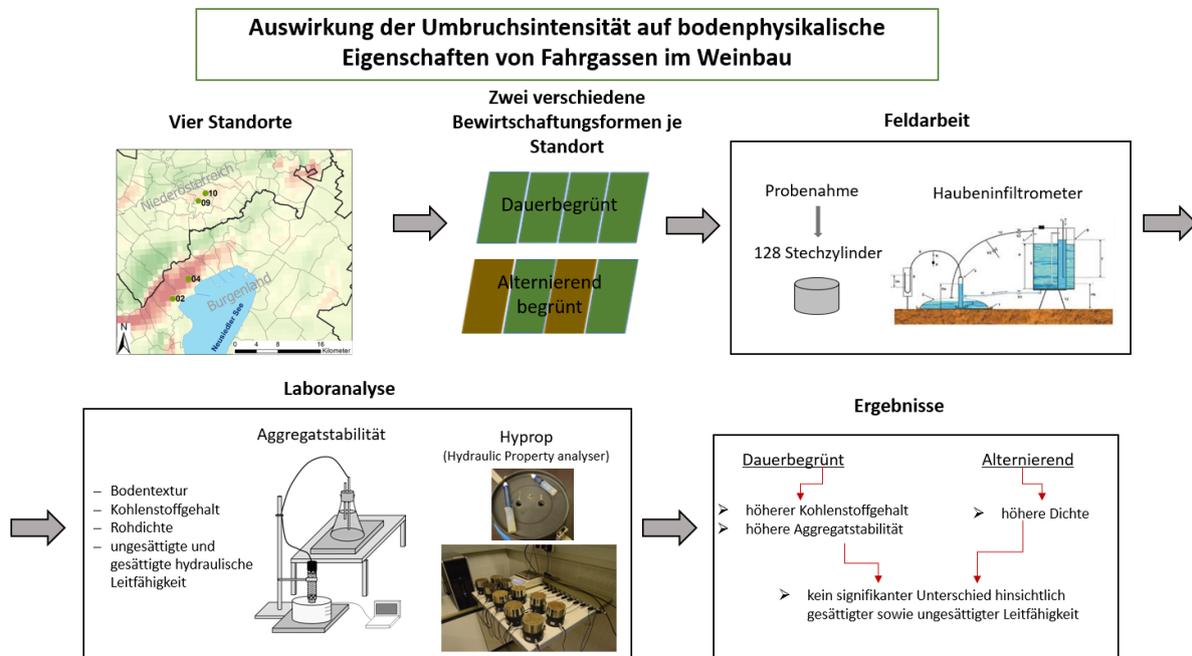
In Hinblick auf meine Masterarbeit möchte ich mich zuerst beim FWF Fonds für die Finanzierung des Projekts Vine Divers (FWF Projektnummer I 2043-B-25) bedanken. Bei meinem Betreuer beim Bundesamt für Wasserwirtschaft, DI Dr. Peter Strauss, möchte ich mich für die Möglichkeit bedanken, Einblicke in das wissenschaftliche Arbeiten zu erlangen, sowie für das Vertrauen in mein Können, die permanente Aufmunterung, motivierende Worte und guten Zuspruch. Bei meinem Betreuer an der Universität für Bodenkultur, Ao.Univ.Prof. DI Dr. Nicola Rampazzo, möchte ich mich für die Unterstützung und ebenso für die Möglichkeit einen Einblick in die Welt der Wissenschaft zu bekommen, sowie während des Semesters als Tutorin mitzuarbeiten, bedanken. Mag. Dr. Thomas Bauer möchte ich für die unermüdliche Unterstützung, sowohl bei der schriftlichen als auch bei der praktischen Arbeit am Feld danken. Weiters möchte ich mich beim ganzen Team des Instituts für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt Petzenkirchen bedanken. Einen speziellen Dank möchte ich hier an Ing. Monika Kumpan für ihre Geduld mir alle Details genau zu erklären sowie Ing. Franz Aigner für die Unterstützung bei der Feldarbeit aussprechen.

1	Kurzfassung / Abstract.....	5
1.1	Grafische Kurzfassung.....	5
1.2	Kurzfassung	5
1.3	Abstract	6
2	Einleitung	7
2.1	Systeme der Bodenbearbeitung	9
2.1.1	Dauerbegrünte Bewirtschaftungsweise.....	10
2.1.2	Alternierende Bewirtschaftungsweise	11
3	Zielsetzung und Hypothese	13
4	Methoden	14
4.1	Standorte.....	14
4.1.1	Klima.....	15
4.1.2	Standortblätter	17
4.2	Probenahme.....	22
4.3	Bodenchemische Untersuchungen.....	26
4.3.1	pH-Wert	26
4.3.2	Karbonatgehalt	26
4.3.3	Organischer Kohlenstoffgehalt.....	28
4.4	Bodenphysikalische Methoden	29
4.4.1	Korngrößenverteilung.....	29
4.4.2	Rohdichte trocken.....	30
4.4.3	Perkulationsstabilität.....	31
4.4.4	pF-Kurve	34
4.4.5	Gesättigte hydraulische Leitfähigkeit (KSAT).....	36
4.4.6	Ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit (Hyprop)	38
4.4.7	Haubeninfiltrrometer	40
4.5	Statistik.....	43
5	Ergebnisse und Diskussion	44
5.1	Ergebnisse und Diskussion der bodenchemischen Untersuchungen.....	44
5.1.1	pH-Wert	44

5.1.2	Karbonatgehalt	46
5.1.3	Organischer Kohlenstoffgehalt	48
5.2	Ergebnisse und Diskussion der bodenphysikalischen Methoden	50
5.2.1	Korngrößenverteilung	50
5.2.2	Rohdichte trocken.....	51
5.2.3	Perkulationsstabilität.....	53
5.2.4	pF-Kurve	63
5.2.5	Gesättigte hydraulische Leitfähigkeit (KSAT).....	66
5.2.6	Ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit (Hyprop)	71
5.2.7	Haubeninfiltrometer	74
5.3	Korrelationen zwischen gemessenen bodenphysikalischen Eigenschaften	78
5.3.1	Korrelation Rohdichte trocken vs. organischer Kohlenstoffgehalt	78
5.3.2	Korrelation Perkulationsstabilität vs. organischem Kohlenstoffgehalt	82
6	Zusammenfassung mit Zukunftsausblick	86
7	Abbildungsverzeichnis	88
8	Tabellenverzeichnis	90
9	Literaturverzeichnis.....	91

1 Kurzfassung / Abstract

1.1 Grafische Kurzfassung



1.2 Kurzfassung

Um den Boden der Weingärten vor Erosion zu schützen, wird dieser in österreichischen Weingärten meist begrünt. Die Art und Weise der Begrünung hängt dabei vom individuellen Management des Winzers/der Winzerin ab und ist von Betrieb zu Betrieb unterschiedlich. Um die Auswirkungen verschiedener Begrünungsintensitäten von Fahrgassen auf bodenphysikalische Eigenschaften im Weinbau zu untersuchen, wurden jeweils benachbarte Parzellen mit langjährig unterschiedlichen Bewirtschaftungsintensitäten in den Weinbauregionen Carnuntum und Leithaberg beprobt.

Die Ergebnisse zeigen einen höheren organischen Kohlenstoffgehalt sowie eine geringere Rohdichte an dauerbegrüntem Fahrgassen. Zusätzlich wurde an dauerbegrüntem Flächen, im Vergleich zu alternierend begrüntem, eine höhere Perkolationsstabilität festgestellt. Ein Einfluss der Bewirtschaftungsintensitäten auf Parameter der Wasserleitfähigkeit (gesättigt und ungesättigt) konnte nicht nachgewiesen werden. Das Potenzial einer Dauerbegrünung ist die natürliche Akkumulation von organischem Kohlenstoff, eine Verringerung der Rohdichte sowie eine erhöhte Stabilität der Bodenaggregate.

1.3 Abstract

To prevent soil erosion many Austrian winegrowers keep the inter-row zones of their vineyards green in some way. However, the intensity of these greening strategies differs varies and depends mainly on the personal experience of the respective winegrower. To measure possible effects of inter-row management on soil physical parameters we selected paired vineyards with different inter-row management in two winegrowing regions of Austria, Carnuntum and Leithaberg.

The results indicate that total organic carbon is higher and bulk densities are lower under permanently grassed inter-rows. In addition, percolation stabilities were increased for permanently grassed inter-rows compared to temporarily tilled inter-rows. However, no significant difference regarding hydraulic conductivities (saturated and unsaturated) was observed. The potential of no tillage or less frequent tillage lies in the accumulation of organic carbon, lower bulk densities and higher stability of soil aggregates.

2 Einleitung

Die Bewirtschaftung des Bodens kann den Charakter sowie die Qualität des Weins maßgeblich beeinflussen. Um eine optimale Qualität und gute Erträge im Weinbau sicherstellen zu können, sollten die jeweiligen Standortfaktoren (Klima, Geologie, Boden, Topografie) als auch alle Pflegemaßnahmen ein Gesamtsystem mit gegenseitigen Wechselwirkungen darstellen (Bauer et al., 2013). Die Bewirtschaftungsart der Fahrgassen kann unterschiedlich erfolgen und ist meist von den Standortbedingungen sowie der persönlichen Einstellung des Winzers/der Winzerin abhängig. Es besteht die Möglichkeit die Fahrgassen ganzjährig offen zu halten sowie ganzjährig zu begrünen als auch einen jährlichen Wechsel zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen einzuführen.

Die Vorteile einer Dauerbegrünung sind unter anderem Erosionsschutz, ganzjährige Befahrbarkeit, Nährstoffspeicherung, Humusaufbau, Förderung der Bodenfruchtbarkeit sowie eine Erhöhung des Wasserspeichervermögens. Als wesentlicher Nachteil wird die Wasser- und Nährstoffkonkurrenz gesehen, wodurch es zu möglichen Einbußen hinsichtlich des Ertrages kommen kann. Eine alternierend begrünte Bewirtschaftungsweise hat hingegen den Vorteil einer guten Anpassungsmöglichkeit an die Boden- und Witterungsgegebenheiten, fördert die Artenvielfalt und durch den jährlichen Umbruch kommt es zu einer Stickstoffmobilisierung. Die Nachteile dieser Bewirtschaftungsweise sind teilweise verminderter Erosionsschutz, Einschränkung der Befahrbarkeit, zusätzliche Saatgutkosten sowie ein höherer Arbeitsaufwand für die Pflege (Bauer et al., 2004). Aktuelle wissenschaftliche Arbeiten verdeutlichen dies, und zeigen, dass es durch eine Begrünung der Fahrgassen zu einer Verringerung von Erosion, aber jedoch zu einem höheren Wasserverbrauch kommen kann. Biddoccu et al. (2016) kommen in einem 14-jährigen Monitoring Projekt in Piedmont (Italien) zu dem Schluss, dass die Bodenbearbeitung an den Hängen der Weingärten einen relevanten Einfluss auf die bodenphysikalischen Eigenschaften hat und dadurch in weiterer Folge auf die Wasserinfiltration, den Abfluss des Wassers sowie die Bodenerosion. Weitere Untersuchungen hinsichtlich Abfluss und Bodenerosion beweisen, dass eine Begrünung dazu beiträgt, übermäßigen Abfluss zu verhindern, so wie Ruiz-Colmenero et al. (2013) in ihren Untersuchungen, welche in Weinbaugebieten südöstlich von Madrid durchgeführt wurden, zeigen. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass durch eine Bepflanzung der Fahrgassen Erosion verringert und die Infiltration von Wasser verbessert wird. Auch Novara et al. (2011) zeigen in ihrer Forschungsarbeit in Weingärten im Südwesten Siziliens, dass sich durch eine Begrünung der Fahrgassen, sowohl der Abfluss, als auch die Erosion signifikant reduzieren. Dennoch kann es durch eine Dauerbegrünung, besonders in klimatisch wärmeren Gebieten, zur Konkurrenz mit anderen Ressourcen kommen. Das zeigen Celette et al. (2008) in ihrer Studie, welche im Süden Frankreichs durchgeführt wurde. Monteiro und Lopes (2007) beschäftigen sich in ihren Untersuchungen mit dem Wasserverbrauch von Fahrgassen bei verschiedenen Bewirtschaftungsformen in der Estremadura Region Portugals. Sie zeigen, dass die beiden begrünten Fahrgassen, im Vergleich zu jenen mit Bodenbearbeitung, einen höheren

Wasserverbrauch aufweisen. Dies trifft vor allem im Frühling zu. Der gesamte Wasserverbrauch, auf die gesamte Saison bezogen, ergab jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen den drei Bewirtschaftungsformen. Es zeigte sich aber zusätzlich, dass bei einer Begrünung kein Wasser durch Abfluss verloren geht. Auch Biddoccu et al. (2013) zeigen in ihren Untersuchungen in Weingärten Italiens, dass Bodenproben der dauerbegrünten Fahrgassen mehr Wassergehalt aufweisen, als jene mit Bodenbearbeitung. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Bodenstruktur der dauerbegrünten Fahrgassen in der Lage ist, mehr Wasser aufzunehmen. Weltweite Untersuchungen bezüglich des organischen Kohlenstoffgehaltes in Fahrgassen von Weingärten zeigen, dass dieser bei einer Dauerbegrünung der Fahrgassen ansteigt (Whitelawweckert et al., 2007; Ruiz-Colmenero et al., 2013; Blavet et al., 2009). Weiters können durch eine Erhöhung der organischen Substanz die Lebensbedingungen für das Bodenleben, insbesondere für die Bodenmikroorganismen, welche den gebundenen Stickstoff aus der organischen Masse freisetzen, verbessert werden (BMLFUW, 2014). Durch häufige oder intensive Bodenbearbeitung nimmt die organische Substanz jedoch ab (Scheffer und Schachtschnabel, 2010).

Weitere Gründe für eine Dauerbegrünung sind, der Schutz der Fahrgassen gegen Bodenabtrag bei Extremwettersituation, sowie die Möglichkeit die Weingärten jederzeit mit schweren Maschinen befahren zu können. Aufgrund ihrer Vorteile gewinnt die Dauerbegrünung im Weinbau immer mehr an Bedeutung. Zusätzlich zeigen Untersuchungen, dass es durch eine Dauerbegrünung der Fahrgassen zu einem positiven Biodiversitätseffekt kommen kann. Puig-Montserrat et al. (2017) untersuchten die Vorkommnisse von vaskulären Pflanzen (Gefäßpflanzen), Schmetterlingen, Motten sowie Vögel zwischen biologisch und konventionell bewirtschafteten Weingärten in Katalonien, Spanien. Sie zeigen, dass die Artenvielfalt hinsichtlich Pflanzenzusammensetzung sowie Schmetterlingen bei einer biologischen Bewirtschaftungsweise signifikant höher ist. Auch bei Motten wurde dieser Unterschied festgestellt, wobei die Signifikanz geringer war. Bei den Vögeln wurde kein Unterschied zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen festgestellt. Bruggisser et al. (2010) untersuchten die Auswirkungen von biologischen und konventionellen Bewirtschaftungsweisen auf die Vorkommnisse von Heuschrecken und Spinnen sowie die Pflanzenvielfalt in Schweizer Weingärten. Sie kommen zu einem gegenteiligen Ergebnis. Ihre Ergebnisse zeigen, dass sich die Anzahl der Heuschrecken und Spinnen sowie die Zusammensetzung der Pflanzenartenvielfalt der Begrünung nicht signifikant zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen unterscheiden. Sie erklären ihre Ergebnisse mit dem Umstand, dass an den konventionell bewirtschafteten Flächen die Verwendung von Pestiziden minimal ist.

2.1 Systeme der Bodenbearbeitung

Eine angemessene Bewirtschaftung der Fahrgassen spielt im Weinbau eine tragende Rolle. Die Aufgaben des Bodens sind dabei vielfältig. Zum einen ist er ein Teil des gesamten Ökosystems und stellt somit den Lebensraum für eine vielfältige Pflanzen- und Tierwelt dar. Zum anderen dient er als Produktionsgrundlage für die Rebanlage (Maier, 2005). Für die Bewirtschaftung der Fahrgassen gibt es dabei grundsätzlich die Möglichkeiten diese zu Begrünen, oder den Boden offen zu halten, wobei beide Bewirtschaftungsformen Vor- und Nachteile aufweisen.

Besonders in trockenen Gebieten werden die Böden der Fahrgassen nach dem Umbrechen oft offengehalten. Der Vorteil dabei liegt darin, dass es zu keinem Wasserstress zwischen der Begrünung und den Reben kommt. Mögliche Folgen, die vor allem bei nicht sachgemäßer Bewirtschaftung auftreten können, sind: verstärkter Humusabbau, ein Rückgang des Grobporenvolumens, was zu einer Verschlechterung des Gasaustausches im Boden führt, sowie eine erhöhte Erosionsgefahr. Ein weiterer Nachteil für den Winzer/die Winzerin ist, dass die Befahrbarkeit eingeschränkt ist. Dies kann vor allem in Nässeperioden zu Problemen führen (Bauer et al., 2004). Die Begrünung der Fahrgassen hat den Vorteil, dass sie als Erosionsschutz wirkt und zusätzlich für eine bessere Befahrbarkeit der Fahrgassen sorgt. Sie wirkt auch als Gründüngung, stabilisiert den Humusgehalt, verbessert bzw. erhält die Bodenstruktur und trägt zur Aktivierung des Bodenlebens bei. Es kann jedoch bei falscher Bewirtschaftung zu einer Wasser- und Nährstoffkonkurrenz mit den Weinreben kommen (BMLFUW, 2014). Zusätzlich können die Grasmischungen in den dauerbegrünten Fahrgassen durch tiefes und häufiges Mulchen einseitig werden, dadurch kann es zu einer Vergrasung kommen (Landwirtschaftskammer Burgenland, 2011).

Inwieweit die verschiedenen Bewirtschaftungsformen zu einer Verbesserung der Bodeneigenschaften beitragen können, hängt sehr von den einzelnen Standortfaktoren, als auch dem Zeitpunkt der Durchführung der jeweiligen Maßnahmen ab. Dabei sind die Dauer der Begrünung, des offen Haltens oder der Zeitpunkt des Umbruchs, nicht festgelegt. Dies hängt von der individuellen Arbeitsweise bzw. Erfahrung des einzelnen Winzers/der Winzerin ab. Grundsätzlich können fünf verschiedene Bewirtschaftungsformen der Fahrgassen unterschieden werden (BMLFUW, 2014):

- Teilzeitbegrünung
- Dauerhaft offener Boden
- Alternierend begrünt (Rotationsbegrünung)
- Dauerbegrünung
- Naturbegrünung

In dieser Arbeit werden die Bewirtschaftungsformen Dauerbegrünt und Alternierend begrünt gegenübergestellt, welche im Folgenden näher beschrieben werden.

2.1.1 Dauerbegrünte Bewirtschaftungsweise

Als dauerbegrünt werden Fahrgassen mit einer permanenten Begrünung ohne Umbruch bezeichnet. In den Fahrgassen und eventuell auch im Unterstockbereich befindet sich ein langjähriger Pflanzenbewuchs. Der Aufwuchs wird regelmäßig gekürzt und das anfallende Schnittgut auf der Pflanzendecke belassen. Diese Pflegemaßnahme wird als Mulchen bezeichnet. Vorteile einer Dauerbegrünung sind unter anderem: gute Befahrbarkeit, Erosionsschutz und eine Verminderung der Bodenverdichtung sowie Nitratauswaschung (Bauer et al., 2004). Jedoch kann es durch eine permanente Begrünung mit den Jahren zu einer Vergrasung kommen, einzelne Pflanzenarten setzen sich durch, wodurch sich die Artenvielfalt verringert. Zusätzlich kann es zu einem Hochwandern der Wurzeln in die oberen Schichten kommen. Dadurch steigt die Gefahr der Wasserkonkurrenz zwischen Begrünung und Reben. Deshalb sollte eine Dauerbegrünung nur in Gebieten mit hohen Niederschlägen und an Steillagen in Betracht gezogen werden. Grundsätzlich besteht jedoch die Möglichkeit, die Begrünung zu Unterschneiden oder alle fünf Jahre umzubringen und eine Neueinsaat durchzuführen (Maier, 2005).

Die folgenden Aufzählungen beschreiben die Vor- und Nachteile einer Dauerbegrünung nach (Bauer et al., 2013)

Vorteile:

- Bietet günstige Bedingungen für den Einsatz der Technik
- Erosionsschutz
- Strukturstabilisierung, Bodenerschließung
- Fördert die Bodenfruchtbarkeit und das Speichervermögen
- Fördert das Bodenleben
- Fördert die Artenvielfalt – Nützlinge
- Humusproduktion vor Ort
- Legt überschüssige Nährstoffe fest
- Mindert die Nitratfracht in das Grundwasser
- Reguliert den Rebwuchs, spart Zeit bei Laubarbeit und Rebschnitt
- Vermindert Probleme mit Chlorose, Stiellähme und Botrytis

Nachteile:

- Ist eine Wasser- und Nährstoffkonkurrenz in der Hauptbedarfsphase der Rebe
- Die Stickstoffmineralisation wird stark reduziert – besonders bei Trockenheit und geringem Humusgehalt

- Nachlassende Wuchsleistung
- Frühzeitige Laubvergilbung
- Geringere Menge und Qualität auf ungeeigneten Standorten
- Geringere Extraktwerte im Wein
- Mangelnde Einlagerung von Stickstoffverbindungen in die Beere – Gärstörungen – weniger Reserven im Holz
- In Extremfällen dünne, kurze Weine (untypischer Alterungston)
- Erhöhte Spätfrostgefahr
- Tiefreichende Komprimierung des Bodens durch natürliche Setzung
- Notwendigkeit einer Bewässerungsanlage (abhängig von der Begrünungsintensität)

2.1.2 Alternierende Bewirtschaftungsweise

Bei der Rotationsbegrünung oder alternierenden Begrünung wird jede zweite Fahrgasse über den Sommer offen gehalten. Die Einsaat erfolgt erst im Spätsommer. Im darauffolgenden Jahr werden die anderen Fahrgassen umgebrochen. Dieses System ist durch die mögliche Pflanzenvielfalt ökologisch sehr interessant. Zusätzlich kann es zu einer verbesserten Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit der Reben kommen (Bauer et al., 2004). Ein weiterer Vorteil ist eine bessere Erwärmung des Bodens, wodurch es zu einer stärkeren Wuchskraft beim Austrieb der Reben kommen kann. Mögliche Nachteile sind eine starke Austrocknung des Bodens, wodurch sich Krusten bilden können, sowie ein vermehrter Abbau des organischen Kohlenstoffes, was zur einer erhöhten Freisetzung von Stickstoff führen kann. Dies sollte bei der Planung der Bodenbearbeitung berücksichtigt werden (Maier, 2005). Ein Vorteil dieser Bewirtschaftungsform ist, dass alle Bodenbearbeitungsmaßnahmen nur auf einer Teilfläche stattfinden und somit einen geringeren Einfluss auf das Gesamtsystem haben. Dadurch sind die Eingriffe schonender (Hofmann, 2014).

Die folgenden Aufzählungen beschreiben die Vor- und Nachteile einer alternierenden Begrünung nach (Bauer et al., 2013)

Vorteile:

- Bietet zu bestimmten Zeiten gute Bedingungen für den Einsatz der Technik
- Teilweiser Erosionsschutz
- Strukturstabilisierung, Bodenerschließung
- Fördert die Bodenfruchtbarkeit und das Speichervermögen
- Fördert das Bodenleben
- Fördert die Artenvielfalt – Nützlinge
- Humusproduktion vor Ort
- Legt während der Entwicklung überschüssige Nährstoffe fest
- Mindert die Nitratfracht in das Grundwasser

- Gute Anpassungsmöglichkeit an die Boden- und Witterungsgegebenheiten
- Durch Störung bzw. Einbringung wird die Stickstoffmineralisation gefördert
- Bei günstiger Wasser- und Nährstoffversorgung ist keine Konkurrenz vorhanden

Nachteile:

- Nur bei unsachgemäßer Anpassung an den Standort können die Nachteile, wie bei der Dauerbegrünung angeführt, wirksam werden (geringe Extraktwerte im Wein, mangelnde Einlagerung von Stickstoffverbindungen in die Beere – Gärstörungen – weniger Reserven im Holz, im Extremfällen dünne, kurze Weine)
- Zusätzliche Saatgutkosten
- Höhere Arbeitszeitbedarf für die Pflege
- Erosionsschutz teilweise ungenügend
- Über Sommer offener Boden nicht immer befahrbar (nach Niederschlägen)

3 Zielsetzung und Hypothese

Das Ziel dieser Masterarbeit ist es, bodenphysikalische Untersuchungen an vier weinbaulichen Standorten in den Gebieten Leithaberg und Carnuntum durchzuführen. Diese Analysen finden im Rahmen des EU Projektes Vine Divers (FWF-Projekt I 2043-B-25) statt und umfassen einen Teil der bodenkundlichen Untersuchungen in Österreich. Die Ergebnisse sollen zeigen, ob ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen dauerbegrünt und alternierend begrünt hinsichtlich der Parameter organischer Kohlenstoffgehalt, Rohdichte, Perkolationsstabilität, pH-Wert, Karbonatgehalt sowie gesättigte und ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit erkennbar ist.

Die dieser Arbeit zugrundeliegenden Hypothesen lauten:

- der organische Kohlenstoffgehalt ist bei einer dauerbegrüntem Fahrgasse höher als bei einer alternierend begrüntem
- die Rohdichte ist bei einer alternierend begrüntem Fahrgasse höher als bei einer dauerbegrüntem
- die Bodenaggregate der dauerbegrüntem Fahrgasse sind stabiler als jene der alternierend begrüntem Fahrgassen
- die gesättigte und ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit ist bei den dauerbegrüntem Fahrgassen höher als bei alternierend begrüntem

Zur Überprüfung dieser Hypothesen wurden im Jahr 2015 an allen Untersuchungsstandorten gestörte und ungestörte Bodenproben entnommen und die Parameter pH-Wert, Karbonatgehalt, organischer Kohlenstoffgehalt, Rohdichte trocken, Perkolationsstabilität, gesättigte sowie ungesättigte Leitfähigkeit im Vergleich der Bewirtschaftungsformen dauerbegrünt und alternierend begrünt verglichen. Zusätzlich wurden Feldmessungen hinsichtlich der hydraulischen Leitfähigkeit im nahe gesättigten Bereich durchgeführt.

Die Ergebnisse sollen eine Bewertung der unterschiedlichen Bewirtschaftungsformen dauerbegrünt und alternierend begrünt hinsichtlich der Bodeneigenschaften der Fahrgassen ermöglichen.

4 Methoden

4.1 Standorte

Diese Masterarbeit umfasst bodenphysikalische Ergebnisse von vier weinbaulichen Standorten in Österreich. Ein Standort beinhaltet je zwei Parzellen mit unterschiedlichen Bewirtschaftungsformen, eine wird dabei dauerbegrünt, die andere alternierend begrünt bewirtschaftet. Um möglichst homogene Bodeneigenschaften zu erhalten, wurde die Lage der Parzellen so gewählt, dass zwei Parzellen mit unterschiedlicher Bewirtschaftungsweise dabei unmittelbar aneinandergrenzten. Die Beprobungen fanden an jedem Standort in einer dauerbegrüntes sowie einer alternierend begrüntes Fahrgasse statt. Die Standorte 2 und 4 befinden sich in der Region Leithaberg in Burgenland, Standort 9 und 10 in der Carnuntum Region in Niederösterreich. In Abbildung 1 ist die geographische Lage aller vier Standorte dargestellt. Die Nummerierung der Standorte ergab sich aus dem Umstand, dass im Rahmen des Gesamtprojektes VineDivers noch andere Standorte untersucht worden waren. Aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit wurden die Standortnummern beibehalten.

Bei der Auswahl der Standort wurde darauf geachtet, dass sich die beiden Parzellen des jeweiligen Standortes hinsichtlich der topographischen und bodenkundlichen Faktoren nicht signifikant unterscheiden. Um einen ersten Überblick bezüglich Bodentextur zu bekommen, wurden bei der Erstbesichtigung der Standorte Beprobungen mittels Pürckhauerbohrer durchgeführt. Zusätzlich wurde die Bodenart sowie die Bodentextur anhand der Fingerprobe ermittelt.

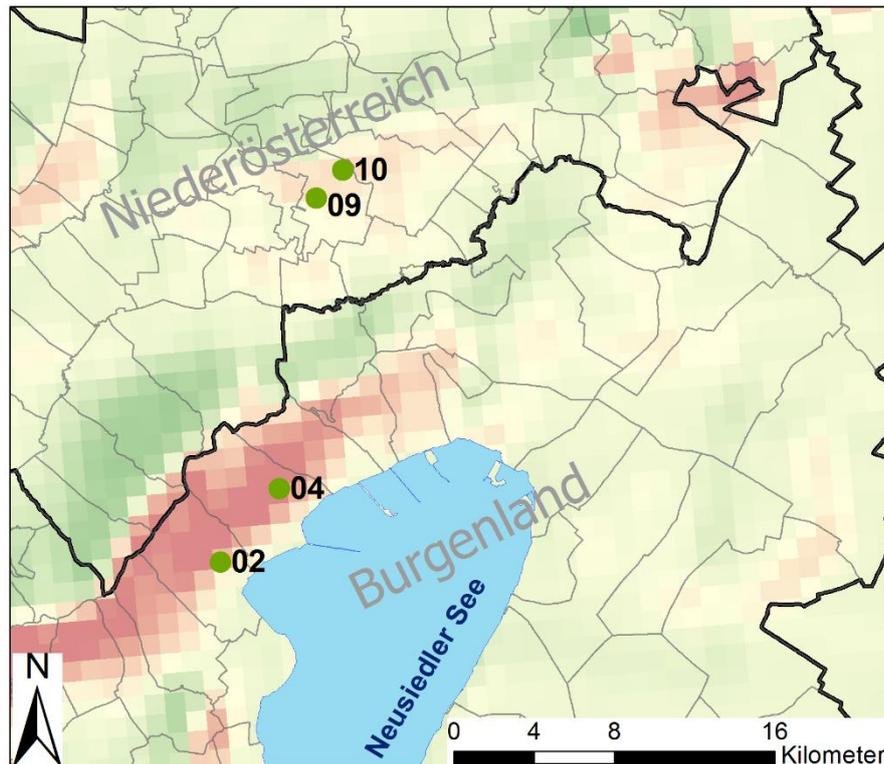


Abbildung 1: Geographische Lage der vier Standorte

4.1.1 Klima

Klimatisch werden diese Regionen Carnuntum und Leithaberg dem pannonischen Klima zugeordnet. Dieses Klima ist charakterisiert durch heiße niederschlagsarme Sommer und kalte schneearme Winter. Der Grund dafür ist eine Strömung vom Inneren des eurasischen Kontinents welche im Sommer heiße, trockene und im Winter kühle Luft mit sich bringt. Dies kann zu Hitzeperioden und Dürreschäden im Sommer, sowie Frostschäden im Winter führen. Die durchschnittliche Jahresmitteltemperatur liegt in dieser Region bei 10 °C. Die Jahresniederschlagssummen für das pannonische Gebiet liegen unter 600 mm. Höhere Niederschlagswerte von 800 bis 900 mm zeigen sich in den Gebirgen Leithagebirge sowie Güns-er Gebirge (Fally und Fischer, 2015).

Die Beprobungen wurden im Frühjahr 2015 durchgeführt. Dieses Jahr war das zweitwärmste in Österreich seit dem Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1768. Es war ein besonders warmes, trockenes und sonniges Wetter mit einer Temperaturabweichung von +1,5 °C sowie 11% weniger Niederschlag in Österreich im Vergleich zum vieljährigen Mittel von 1981-2010. Die Temperaturabweichung in Niederösterreich betrug +1,7 °C, die Niederschlagsabweichung -22 %. Das betrifft die Standorte 9 und 10, welche beide in der Gemeinde Göttlesbrunn liegen. Für das Bundesland Burgenland betrug die Temperaturabweichung +1,6 °C und die Niederschlagsabweichung -18 %. Das betrifft den Standort 2 in der Gemeinde Donnerskirchen sowie Standort 4 in Purbach (ZAMG, 2015).

Die folgenden Abbildungen 2 und 3 zeigen Klimadiagramme der Messwerte der Wetterstation der Zentralen Anstalt für Meteorologie und Geologie. Die Messstation befindet sich in Neusiedl am See (Breite: 47,9508; Länge: 16,8417) auf einer Höhe von 148 m und liegt auf einem Südwesthang. Das Klimadiagramm Neusiedl am See 2011-2015 (Abbildung 2) zeigt die durchschnittliche Lufttemperatur sowie den durchschnittlichen Niederschlag der Jahre 2011-2015. Es handelt sich dabei um gemittelte Monatswert der Jahre. Abbildung 3 zeigt die durchschnittliche Lufttemperatur und den durchschnittlichen Niederschlag für das Jahr 2015, in dem die Probenahme stattfand. Die Datenquelle der einzelnen Messdaten für die Abbildungen 2 und 3 ist die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG, 2016).

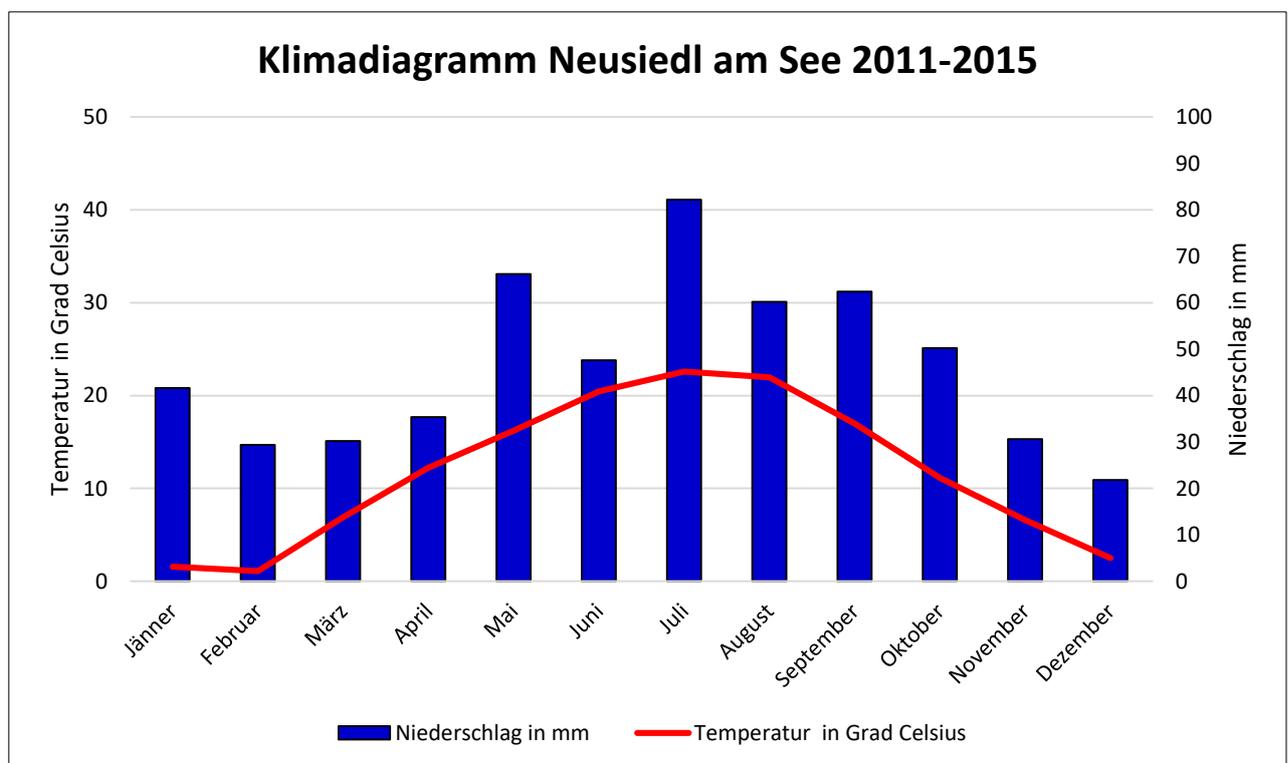


Abbildung 2: Klimadiagramm Neusiedl am See 2011-2015 (eigene Darstellung)

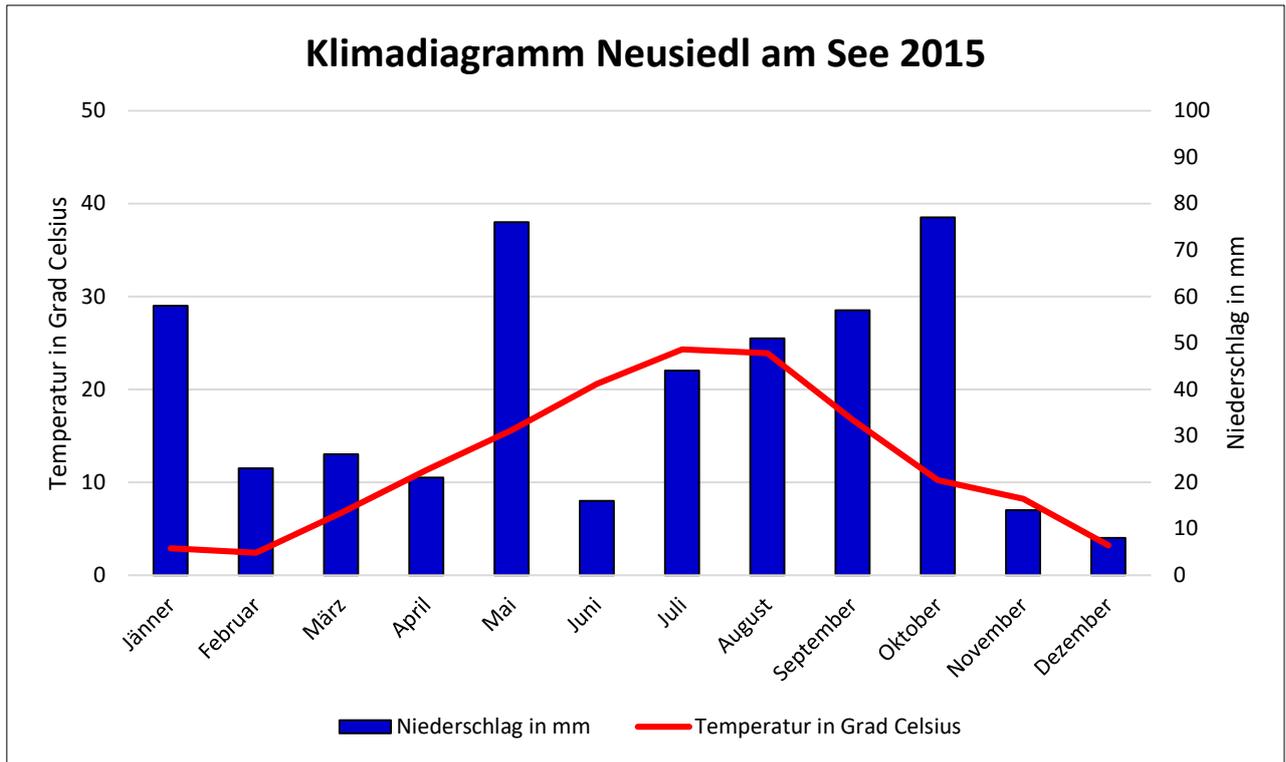


Abbildung 3: Klimadiagramm Neusiedl am See 2015 (eigene Darstellung)

4.1.2 Standortblätter

Um detaillierte Informationen jedes Standortes bzw. jeder Fahrgasse hinsichtlich der individuellen Pflege- und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu erhalten, wurden Interviews mit den einzelnen Winzern/den Winzerinnen durchgeführt. Die Befragungen umfassten unter anderem die Anzahl, zeitliche Abfolge sowie Vorgehensweise aller Bewirtschaftungsmaßnahmen. Die Informationen wurden in den folgenden Standortblättern zusammengetragen. Die darin enthaltenen Informationen sind aufgeteilt in allgemeine Information, organische Düngung, anorganische Düngung.

Standort 2 in Donnerskirchen

Standort	Bewirtschaftungsform	Jahr der Bepflanzung	Sorte	Letzte Bodenbearbeitung bevor Beprobung	Jahre seit der letzten Bodenbearbeitung
2	Dauerbegrünt	1987	Zweigelt	2013	2
2	Alternierend begrünt	1990	Grüner Veltliner	2014	1

Tabelle 1: Standortübersicht - Standort 2

Standort 2 Dauerbegrünt



Vorherige Nutzung: Weingarten
Bodentextur: sandiger Lehm

Dieser Standort wurde 1986 einmal in einer Tiefe von 60 cm gepflügt. 1990 wurde dieser Standort gegrubbert und im Jahr 2013 wurde jede Fahrgasse mit einem Schlitzschneider bearbeitet.

Als **organische Düngung** wird der Rebschnitt jährlich auf den Fahrgassen belassen.

Es wurde keine **anorganische Düngung** ausgebracht.



Abbildung 4: Standort 2, dauerbegrünte Fahrgasse, Juli 2015

Standort 2 Alternierend begrünt



Vorherige Nutzung: Weingarten
Bodentextur: sandiger Lehm

Dieser Standort wurde 1989 einmal gepflügt. Seit 2010 wird die Fahrgasse 2-4x jährlich in einer Tiefe von 5-10 cm mit einer Scheibenegge bearbeitet. Zusätzlich wird sie jährlich einmal geschlitzt. Dies wurde im Jahr 2014 das letzte Mal durchgeführt.

Als **organische Düngung** wird der Rebschnitt einmal pro Jahr in der Fahrgasse ausgebracht. Zusätzlich wurde jede zweite Fahrgasse bis 2010 gemulcht.



Abbildung 5: Standort 2, alternierend begrünte Fahrgasse, Juni 2015

Anorganische Düngung:

Jedes zweite Jahr wird 25 kg Stickstoff- sowie Phosphordünger pro Fahrgasse mit einem Tiefenlockerer ausgebracht, das letzte Mal 2014. Kaliumdünger wird ebenfalls jedes zweite Jahr mit einem Tiefenlockerer ausgebracht. Die Menge beträgt dabei 15 kg pro Fahrgasse und die letzte Ausbringung war 2014.

Standort 4 in Purbach

Standort	Bewirtschaftungsform	Jahr der Bepflanzung	Sorte	Letzte Bodenbearbeitung bevor Beprobung	Jahre seit der letzten Bodenbearbeitung
4	Dauerbegrünt	1970	Goldburger	1969	46
4	Alternierend begrünt	1983	Weißburgunder	2015	0

Tabelle 2: Standortübersicht - Standort 4

Standort 4 Dauerbegrünt



Vorherige Nutzung: Weingarten
Bodentextur: lehmiger Sand

An diesem Standort wurde die letzte Bodenbearbeitung im Jahr 1969 durchgeführt. Danach wurde der Boden nicht mehr bearbeitet.

Der Rebschnitt wird jedes Jahr als **organischer Dünger** in jeder Fahrgasse ausgebracht.

Anorganischer Dünger in Form von Stickstoffdünger wird jedes Jahr in jeder zweiten Fahrgasse, seit 1987 in jeder Fahrgasse ausgebracht.



Abbildung 6: Standort 4, dauerbegrünte Fahrgasse, Juli 2015

Standort 4 Alternierend begrünt



Vorherige Nutzung: Weingarten
Bodentextur: lehmiger Sand

Dieser Standort wurde 1982 einmal in einer Tiefe von 80 cm gepflügt. Seit 2007 wird alle zwei bis drei Jahre jede zweite Fahrgasse in einer Tiefe von 15 cm gegrubbert. Im Jahr 2012 wurde die Fahrgasse in einer Tiefe von 60 cm mit einem Tiefenlockerer bearbeitet. Jedes 2-3 Jahr wurde die Fahrgasse mit der Scheibenegge in einer Tiefe von 5 cm bearbeitet, das letzte Mal 2015.

Als **organischer Dünger** wird seit 2007 in jeder Fahrgasse zweidreimal jährlich Gründüngung mechanisch mit einem Sichelmäher ausgebracht. Kompost wird seit 2009 jedes Jahr einmal mechanisch mit einem Düngerstreuer in jeder Fahrgasse ausgebracht. Das letzte Mal wurde 2013 Kompost ausgebracht. Die Menge betrug 5-7 t/ha.



Abbildung 7: Standort 4, alternierend begrünte Fahrgasse, Juni 2015

Als **anorganische Düngung** wurde Kalium im Frühjahr 2007 einmal im Jahr mit einem Tiefenlockerer mit Düngegefäß in den Unterboden (Tiefe 40-50 cm) mechanisch eingebracht.

Standort 9 in Göttlesbrunn

Standort	Bewirtschaftungsform	Jahr der Bepflanzung	Sorte	Letzte Bodenbearbeitung bevor Beprobung	Jahre seit der letzten Bodenbearbeitung
9	Dauerbegrünt	2003	Zweigelt	2003	12
9	Alternierend begrünt	2002	Zweigelt	2003	2

Tabelle 3: Standortübersicht - Standort 9

Standort 9 Dauerbegrünt



Vorherige Nutzung: Weingarten
Bodentextur: lehmiger Schluff

Dieser Standort wurde 2003 in einer Tiefe von 35 cm gepflügt. Sonst wurde keine Bodenbearbeitung durchgeführt.

Als **organischer Dünger** wird der Rebschnitt einmal im Jahr in den Fahrgassen ausgebracht.

Als **anorganische Düngung** wird Stickstoffdünger seit 2002 einmal jährlich in jeder zweiten Fahrgasse ausgebracht.



Abbildung 8: Standort 9, dauerbegrünte Fahrgasse, Mai 2015

Standort 9 Alternierend begrünt



Vorherige Nutzung: Weingarten
Bodentextur: lehmiger Schluff

Dieser Standort wurde 2001 einmal in einer Tiefe von 40 cm gepflügt. Einmal jährlich wird jede Fahrgasse mit einer Kreiselegge bearbeitet. Zusätzlich wird in einem vier Jahreszyklus jede zweite Fahrgasse mit einer Scheibenegge bearbeitet. Dies wurde an der Fahrgasse welche beprobt wurde 2013 das letzte Mal durchgeführt.

Als **organische Düngung** wird der Rebschnitt jedes Jahr ausgebracht.

Als **anorganische Düngung** wird DC 44 spez. (chloridreduzierter Kalianteil) 0/10/30+3%MgO+0,1%B+9%S ausgebracht.



Abbildung 9: Standort 9, alternierend begrünte Fahrgasse, Mai 2015

Standort 10 in Göttlesbrunn

Standort	Bewirtschaftungsform	Jahr der Bepflanzung	Sorte	Letzte Bodenbearbeitung bevor Beprobung	Jahre seit der letzten Bodenbearbeitung
10	Dauerbegrünt	1999	Zweigelt	1999	16
10	Alternierend begrünt	2010	Zweigelt	2014	1

Tabelle 4: Standortübersicht - Standort 10

Standort 10 Dauerbegrünt



Vorherige Nutzung: Weingarten
Bodentextur: sandiger Schluff

Dieser Standort wurde 1999 einmal in einer Tiefe von 30-35 cm gepflügt. Er ist seit 1999 dauerbegrünt.

Als **organische Düngung** wurde der Rebschnitt jedes Jahr ausgebracht.

An diesem Standort wurde keine **anorganische Düngung** ausgebracht.



Abbildung 10: Standort 10, dauerbegrünte Fahrgasse, Mai 2015

Standort 10 Alternierend begrünt



Vorige Nutzung: Weingarten
Bodentextur: lehmiger Schluff

An diesem Standort wurde 2009 jede Fahrgasse in einer Tiefe von 50 cm gepflügt. Es wird jede zweite Fahrgasse in einem drei Jahreszyklus mit einer Scheibenegge sowie einer Kreiselegge bearbeitet. Die beprobte Fahrgasse wurde in dieser Weise das letzte Mal 2014 bearbeitet.

Als **organischer Dünger** wird der Rebschnitt jedes Jahr ausgebracht. Zusätzlich wird seit 2008 jede zweite Fahrgasse in zwei von drei Jahren einmal jährlich gemulcht. Weiters wurden 2009 20t/ha Kompost ausgebracht. Und einmal pro Jahr wird eine Menge von 2t/ha Fruchtmasse ausgebracht.

Als **anorganischer Dünger** wird jedes dritte Jahr Kaliumdünger ausgebracht. Dies wurde 2014 das letzte Mal angewendet. Zusätzlich wurde 2014 Magnesium ausgebracht.



Abbildung 11: Standort 10, alternierend begrünte Fahrgasse, Mai 2015

4.2 Probenahme

Die Probenahme erfolgte mittels Stechzylinder (Höhe 5 cm, Volumen 250 cm³) der Firma UMS. Wie zuvor beschrieben, besteht jeder Standort aus zwei Parzellen, je eine mit dauerbegrünter sowie mit alternierend begrünter Bewirtschaftungsform. Je Parzelle wurde eine Fahrgasse beprobt. Dabei wurden pro Fahrgasse insgesamt 16 Stechzylinder entnommen (siehe Abbildung 12). Pro Fahrgasse wurden an vier Stellen je vier Stechzylinder entnommen - insgesamt wurden pro Standort 32 Stechzylinderproben entnommen, das entspricht einer Anzahl von 128 Stechzylinder an den 4 Standorten, welche für diese Masterarbeit beprobt wurden. Zusätzlich wurden an allen Standorten gestörte Bodenproben (Säckchenproben) entnommen.

Die folgende Abbildung 12 zeigt das allgemein gültige Design der Probenahme für das Projekt VineDivers. Daraus ist ersichtlich, wie und in welchen Abstand die Aufteilung der verschiedenen Beprobungen eingeteilt wurde.

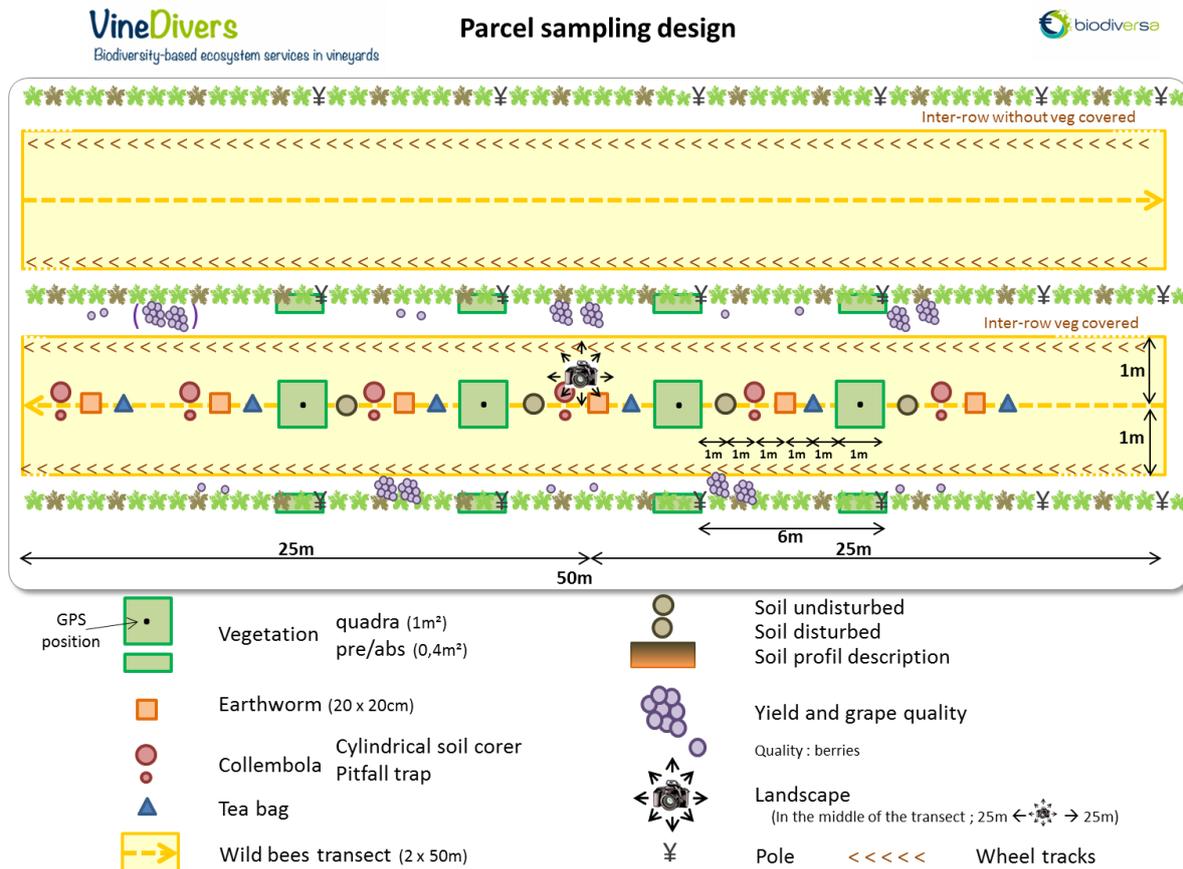


Abbildung 12: Design der Probenahme des Projektes VineDivers

Um mögliche Probenahmefehler zu minimieren, gibt es eine protokollierte Vorgangsweise für die Probenahme der ungestörten Stechzylinder. Diese wird im Folgenden beschrieben:

1. Zuerst wird die Vegetation auf 1-3 cm gekürzt
2. Danach werden die GPS Daten der Probestelle aufgenommen
3. Dann werden weitere Daten wie Probenahmedatum, Stechzylinderanordnung, Horizontbezeichnung sowie Probenahmetiefe und Zylindernummer notiert
4. Im nächsten Schritt wird ein Loch neben der Probenahmestelle gegraben



5. Für die richtige Probenahmetiefe wird ein 3 cm hoher Metallring in den Einschlagadaptor gegeben, gefolgt von dem Stechzylinder
6. Der Einschlagadaptor wird mit Hilfe eines Gummihammers in den Boden geschlagen



7. Der Stechzylinder ist korrekt eingeschlagen, wenn der Boden den Stechzylinder für ungefähr 1 cm überlappt
8. Danach werden der Einschlagadaptor und der Metallring entfernt und die weiteren Stechzylinder mit der gleichen Vorgangsweise eingeschlagen



9. Nachdem alle Zylinder eingeschlagen wurden, wird der Boden von allen Seite vorsichtig entfernt
10. Die untere Seite des Zylinders wird mit einem scharfen Messer durchgeschnitten
11. Danach wird der Stechzylinder vorsichtig ausgegraben



12. Die beiden Seiten des Zylinders werden mit einem scharfen Messer bis zur Kante des Zylinders getrimmt.
13. Dann werden die Zylinder an beiden Enden mit den dazugehörigen Deckeln versehen



14. Um den Stechzylinder optimal zu schützen, wird er mit Klebeband umwickelt



4.3 Bodenchemische Untersuchungen

4.3.1 pH-Wert

Die Messungen des pH-Wertes der Bodenproben wurden im Labor nach Standardarbeitsanweisung SAA – IKT – 15 – 03 mit einem pH-Meter durchgeführt. Die entnommenen Bodenproben werden dazu zunächst luftgetrocknet und auf < 2 mm gesiebt. Der Feinboden < 2 mm wird zur pH-Messung verwendet (Bundesamt für Wasserwirtschaft, SAA - IKT - 15 - 03). Im ersten Schritt wird Feinboden mit einem Volumenlöffel entnommen und mit dem 5-fachen Volumen an Calciumchlorid-Lösung, Kaliumchlorid-Lösung oder Wasser versetzt und gut gemischt und für mindestens 2 Stunden bis maximal 24 Stunden zugedeckt stehen gelassen. Nach neuerlichem Durchmischen der Suspension erfolgt unmittelbar darauf die elektrochemische Messung des pH-Wertes (ÖNORM L 1083, 2006). Vor Durchführung der eigentlichen Messung ist eine Kalibrierung des pH-Meters mittels Standardpufferlösungen vorzunehmen. Die Suspension ist vor der Beprobung neuerlich gut zu durchmischen und der Boden sollte kurz Zeit haben um abzusetzen. Danach wird die pH-Elektrode mit dem Temperaturfühler in die Probe getaucht. Es beginnt die Messung des pH-Wertes der Probe. Wenn sich der Messwert nach fünf eingeschriebenen Messungen nicht mehr ändert, ist die Messung abgeschlossen und der am Display angezeigte pH-Wert ist der pH-Wert der Probe (Bundesamt für Wasserwirtschaft, SAA - IKT - 15 - 03).

4.3.2 Karbonatgehalt

Der Mineralkörper des Bodens lässt sich in vier bodenkundlich wichtige Gruppen einteilen: Tonminerale, Karbonate, Eisenoxide sowie pyrogene Silicate und Quarz (Blume et al., 2011). Die vorherrschende Form der Karbonate in Böden ist in Form von Calciumcarbonat CaCO_3 (Bundesamt für Wasserwirtschaft, SAA - IKT - 13 - 04). Carbonate können in den Boden eingetragene Säuren neutralisieren und wirken somit als Puffersystem indem sie den pH-Wert stabilisieren und mögliche Änderungen des pH-Wertes vorbeugen (Scheffer und Schachtschnabel, 2010). Der Karbonatgehalt ist in erster Linie abhängig vom Ausgangsgestein. Er kann sich jedoch auch durch Pflegemaßnahmen wie Aufkalkung sowie durch bodenbildende Prozesse wie Karbonatverwitterung, Entkalkung, Auswaschung verändern (Redl, 2009-2013).

Der Karbonatgehalt der österreichischen Weingärten liegt meist im Bereich von 15-40%. Die folgende Tabelle 5 zeigt eine Einteilung des Gesamtkalkgehaltes für Weingärten (Bauer et al., 2013).

0-2	2-15	15-30	30-40	über 40
kalkfrei/kalkarm	niedrig	mittel	hoch	sehr hoch

Tabelle 5: Gesamtkalkgehalt (%) (Bauer et al., 2013)

An Standorten mit einem sehr hohen Kalkgehalt kann es zur Chlorose kommen. Dann ist es den Reben nicht mehr möglich genügend Eisen aufzunehmen und es kommt zu einer Blattvergilbung (BMLFUW, 2014). Zur Bestimmung des Karbongehalts wurde das Verfahren nach Scheibler, welches in der ÖNORM L 1084 (2006) beschrieben wird, eingesetzt. Bei diesem Verfahren werden durch Zugabe von Salzsäure alle Karbonate zerstört und das dabei entstehende Kohlenstoffdioxid wird nach Scheibler gasvolumetrisch bestimmt.

Zuerst muss anhand einer Vorprobe festgestellt werden, wie viel Boden eingewogen werden muss. Dabei werden 5 bis 10 g Feinboden mit einigen Tropfen Salzsäure versetzt und anhand der Reaktion – starke oder schwache Schaumbildung – wird die Probemenge eruiert. Eine starke Reaktion entspricht einem hohen Karbonatgehalt, eine schwache Reaktion, also wenig bis gar keine Schaumbildung, entspricht einem geringen Karbonatgehalt. Die optimale Menge an luftgetrockneten Feinboden, welche in der Vorprobe festgestellt wurde, wird danach in das Reaktionsgefäß eingewogen und mittels einer Spritzflasche mit Wasser angefeuchtet, damit die darin enthaltene Luft entweichen kann. Danach werden ca. 10 ml HCl-Lösung in den dafür vorgesehenen Einsatz im Reaktionsgefäß vorsichtig einpipettiert und das Reaktionsgefäß kann an die Scheiblerapparatur angehängt werden. Dabei ist zu beachten, dass der Feinboden und die HCl-Lösung nicht vor dem Anhängen miteinander reagieren. Danach wird die HCl-Lösung über das eingewogene Bodenmaterial gegossen. Die Salzsäure zerstört die Karbonate, das dabei entstehende CO_2 verdrängt die Säulenflüssigkeit, welche mittels der Ausgleichshähne laufend angepasst werden muss. Nachdem alle Karbonate aufgelöst sind, wird die Menge der verdrängten Flüssigkeit (Scheiblergrad) abgelesen. In Kombination mit der Temperatur und dem Luftdruck der Umgebung kann anhand der Scheiblergrade die Masse an Karbonat, als CaCO_3 angegeben, berechnet werden. Abbildung 13 zeigt den Aufbau einer Apparatur zur Schnellbestimmung des Kalkgehalts nach Scheibler, Abbildung 14 zeigt die Scheiblerapparatur am Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt in Petzenkirchen.

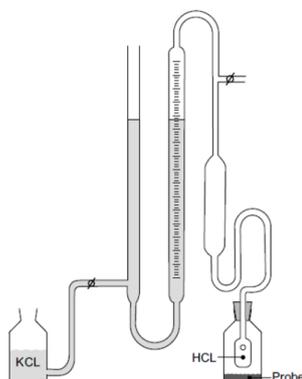


Abbildung 13: Apparatur zur Schnellbestimmung des Kalkgehaltes nach Scheibler (Blume et al., 2011)



Abbildung 14: Scheiblerapparatur

4.3.3 Organischer Kohlenstoffgehalt

Die Bestimmung des Gesamtkohlenstoffs erfolgte nach Standardarbeitsanweisung SAA – IKT – 42 – 01 durch vollständige Oxidation auf trockenem Weg mit Sauerstoffüberschuss und durch Dissoziation der Carbonate bei 900 °C. Als Katalysator zur vollständigen Oxidation wird Vanadium(V)-oxid verwendet. Anschließend wird das gebildete Kohlenstoffdioxid mittels NDIR-Detektion bestimmt. Für die Berechnung von organischem Kohlenstoff ist der anorganische Kohlenstoff vom Gesamtkohlenstoff abzuziehen (Bundesamt für Wasserwirtschaft, SAA - IKT - 42 - 01).

4.4 Bodenphysikalische Methoden

4.4.1 Korngrößenverteilung

Die Korngrößenverteilung des Bodens ist die wichtigste Kennzahl hinsichtlich Schätzungen der Austauschkapazität sowie des Nährstoffgehaltes, weiters können dadurch Näherungswerte für Wasser- und Lufthaushalt, plastische Eigenschaften und die Quellbarkeit ermittelt werden (Bundesamt für Wasserwirtschaft, SAA - IKT - 22 - 04).

Laut ÖNORM L 1061-2 (2002) wird zwischen Grob- und Feinboden unterschieden. Der Grobboden ist dabei der Masseanteil von Teilchen mit Korngrößen ≥ 2 mm. Teilchen mit einer Korngröße von < 2 mm bilden den Feinboden. Die im Feinboden enthaltenen Masseanteile setzen sich aus Sand, Schluff und Ton zusammen. Die Korngrößeneinteilung für Sand ist von 0,063 mm bis unter 2 mm. Teilchen mit einer Korngröße von 0,002 mm bis unter 0,0063 mm bilden den Schluffanteil und jene Teilchen die eine Korngröße von $< 0,002$ mm aufweisen ergeben den Tonanteil.

Mit Hilfe eines Körnungsdreiecks, wie in Abbildung 15 dargestellt, kann aus der ermittelten Körnungsverteilung die Bodenart bestimmt werden. Diese Anwendung findet vor allem direkt am Feld statt wo anhand der Fingerprobe die Bodenzusammensetzung geschätzt werden kann.

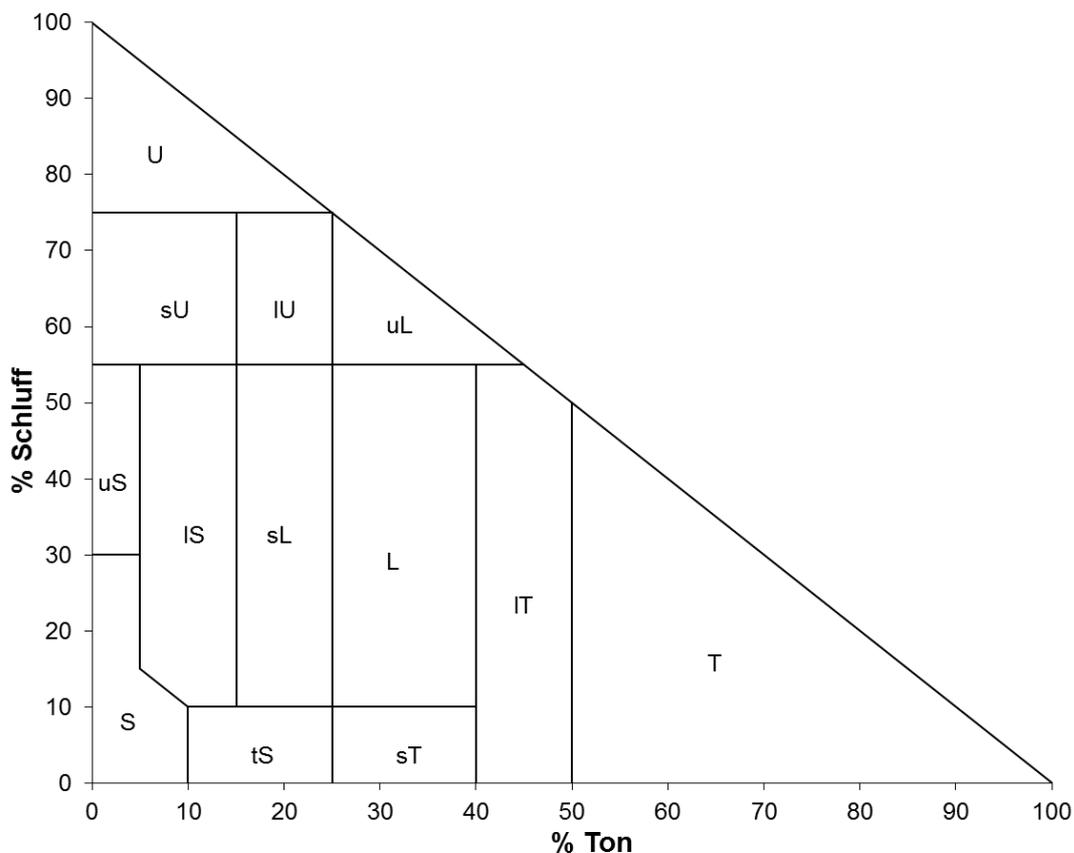


Abbildung 15: Texturdreieck (Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft Institut für Bodenwirtschaft, 2001)

Die Korngrößenbestimmung wurde im Labor in zwei Schritten bestimmt. Zuerst erfolgt die Bestimmung der Korngrößen ≥ 2 mm und danach wird die Analyse des Feinbodens < 2 mm durchgeführt. Die Korngrößenbestimmung für Teilchen ≥ 2 mm wird nach der Standardanweisung SAA - IKT - 22 – 04 Korngrößenbestimmung ≥ 2 mm durch Trockensiebung bestimmt. Dazu wird der Boden zuerst bei max. 40°C luftgetrocknet, danach kann die Masse des Bodens ermittelt werden. Die Trennung der Fraktionen < 2 mm und ≥ 2 mm erfolgt durch Siebung. Anschließend werden beide Fraktionen gewogen (Bundesamt für Wasserwirtschaft, SAA - IKT - 22 - 04). Zur Bestimmung des Feinbodens < 2 mm wurde die Standardanweisung SAA – IKT – 21 – 05 Korngrößenbestimmung < 2 mm – komb. Nasssieb- und Sedimentationsverfahren herangezogen. Dabei werden die Fraktionen von 0,063 mm – 2 mm mittels Siebung, und die Fraktionen $< 0,063$ mm mittels Pipetteverfahren ermittelt. Bei diesem Verfahren kann aufgrund der unterschiedlichen Absinkzeiten der verschieden großen Bodenteilchen durch Pipettierung zu definierten Zeiten und Eintauchtiefe ihre prozentuelle Menge bestimmt werden. Die Fraktion von 0,02 mm – 0,063 mm wird danach als Differenzmenge zur Bodeneinwaage ermittelt (Bundesamt für Wasserwirtschaft, SAA - IKT - 21 - 05).

4.4.2 Rohdichte trocken

Grundsätzlich gibt es verschiedene Kennziffern um den Lagerungszustand des Bodens zu beschreiben. Dazu zählen z.B. die Porosität, das Porenvolumen, die Dichte oder die Rohdichte (Scheffer und Schachtschnabel, 2010). Im Zuge dieser Arbeit wurde die Rohdichte trocken bestimmt.

Die Dichte des trockenen Bodens gibt an, wie viel Festsubstanz in einer Volumeneinheit enthalten ist, allerdings gibt dieser Wert keinen Aufschluss darauf, wie die Masse in dem gegebenen Volumen verteilt ist. Deshalb sollte bei der Verwendung des Wertes darauf geachtet werden, dass keine Schlüsse hinsichtlich Wasser- oder Gasflüsse gezogen werden. Weiters wird der Anteil der Luft im Boden vernachlässigt sowie der Einfluss von Druck und Temperatur (Hartge und Horn, 2014). Der erste Schritt zur Ermittlung der Rohdichte trocken ist die ordnungsgemäße Probeentnahme mittels Stechzylinder. Die folgende Beschreibung der Vorgehensweise entspricht der ÖNORM L 1068 (2005) für Physikalische Bodenuntersuchungen Bestimmung der Dichte von Mineralböden. Im Labor wird der Stechzylinderinhalt bis zur Massekonstanz bei $105 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$ getrocknet und nach dem Abkühlen im Exsikkator gewogen. Danach erfolgt die Berechnung mit Hilfe der unten angeführten Formel für Rohdichte trocken.

Die Rohdichte trocken ergibt sich aus der Masse der ofentrockenen Probe und dem Volumen des Bodens:

$$\rho_d = \frac{m_d}{V} \text{ [g.cm}^{-3}\text{]}$$

- ρ_d = Rohdichte trocken in g.cm^{-3}
- m_d = Masse der bei $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ getrockneten Stechzylinderprobe in g
- V = Volumen des Stechzylinders in cm^3

Dabei ist zu beachten, dass sich das Volumen des Bodens aus dem Volumen der Feststoffe und dem des Porenraumes zusammensetzt. Dies entspricht dem Volumen des bei der Probenahme eingesetzten Stechzylinders.

4.4.3 Perkulationsstabilität

Um die Stabilität der Bodenaggregate sowie die Erosionsanfälligkeit der Standorte zu eruieren, wurden Versuche hinsichtlich Aggregatstabilität durchgeführt. Grundsätzlich gibt es mehrere Methoden um diese zu untersuchen. In dieser Masterarbeit wird zur Bestimmung der Aggregatstabilität die von Becher und Kainz 1988 beschriebene Perkulationsstabilität verwendet.

Dabei wird entionisiertes Wasser in einem geschlossenen System aus einer hydraulischen Druckhöhe von 20 hPa durch ein Reagenzglas, welches mit 10 g luftgetrockneten Bodenaggregaten befüllt ist, perkoliert. Anhand der Ausflussmenge ist erkennbar, wie stabil die Bodenaggregate sind. Brechen die Bodenaggregate, entstehen Mikroaggregate welche die Poren verstopfen und somit die Infiltration reduzieren (Auerswald, 1995). Die Perkulationsstabilität testet damit die Zerteilung der Aggregate in Mikroaggregate und nicht die Dispergierung. Ein wesentlicher Prozess dabei ist die Luftsprengung. Darunter versteht man den Druck, welcher auf die eingeschlossene Luft in den Aggregaten bei rascher Befeuchtung ausgeübt wird. Lockerere Aggregate können mehr Wasser aufnehmen, ohne zu zerbrechen, da der Druck im Inneren nicht so groß wird (Auerswald und Hofmann, 1994). Um eine Untersuchung der Aggregatstabilität mit dieser Methode durchzuführen zu können, müssen im ersten Schritt Bodenproben im Feld genommen werden, welche in weiterer Folge im Labor luftgetrocknet werden. Bei der Probevorbereitung wird der getrocknete Boden durch ein Sieb mit einer Maschenweite von 1-2 mm gesiebt. Mit den dabei zurückbleibenden 1-2 mm großen Bodenaggregaten wird die Messung der Perkulationsstabilität durchgeführt. Der für diese Methode benötigte Sand hat eine Korngröße von 1-2 mm. Dies kann durch Siebung mit einer Maschenweite von 1-2 mm sichergestellt werden. Abbildung 16 zeigt die Siebung der 1-2mm großen Bodenaggregate.



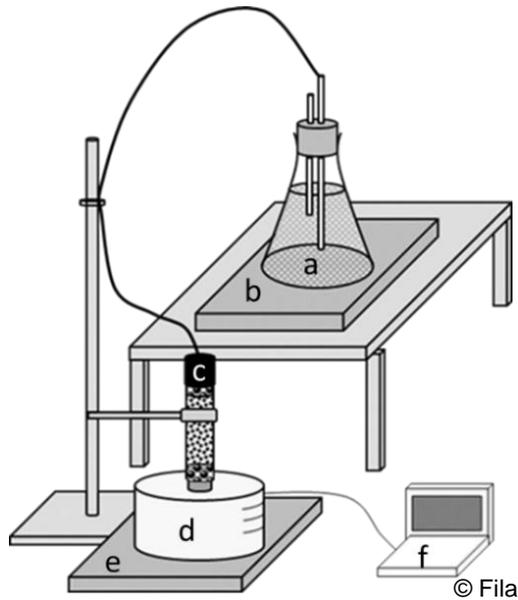
Abbildung 16: Siebung der Bodenaggregate

Die Durchführung der Messung umfasst folgende Schritte:

Zuerst wird das, unten mit einem Plastik und einem dementsprechenden Gitter verschlossene Reagenzglas (c), bis zu einer Höhe von einem Zentimeter mit Sand (Korngröße 1-2 mm) befüllt. Danach werden 10 g luftgetrocknete und auf 1-2mm gesiebte Bodenaggregate hinzugefügt. Um eine Homogenisierung der Bodenaggregate zu gewährleisten, wird das Glas 10-mal aus einer Höhe von einem Zentimeter auf eine harte Unterlage fallen gelassen. Danach wird das Glas bis oben hin mit Sand aufgefüllt, die Menge entspricht dabei 1,5 g. Im nächsten Schritt wird das Reagenzglas (c) an den Kunststoffschlauch angeschlossen, welcher mit einer Mariotteschen Flasche (a) verbunden ist. Diese steht auf einer Waage (b) und der Höhenunterschied zwischen Reagenzglas (c) und Mariottesche Flasche (a) beträgt exakt 20 cm, das entspricht einem hydrostatischen Druck von 20 hPa. Der Verbindungsschlauch zwischen Mariottesche Flasche (a) und Reagenzglas (c) muss mit Wasser gefüllt sein und darf keine Luftblasen enthalten, sodass es sich um ein geschlossenes System handelt und der Wasserfluss uneingeschränkt stattfinden kann.

Sind alle Verbindungen dicht, wird entionisiertes Wasser mit 20 hPa durch das Reagenzglas (c) perkoliert. Das durch das Reagenzglas (c) fließende Wasser wird in einem Glasgefäß (d) gesammelt. Dieses Gefäß (d) befindet sich auf einer Waage (e), welche mit einem Computer (f) verbunden ist. Das verwendete Computerprogramm zeichnet die Ausflussmenge kontinuierlich auf. Die Zeitintervalle können flexibel eingestellt werden. Bei unseren Messungen wurde die Ausflussmenge jede Sekunde über einen Zeitraum von 10 Minuten gemessen. Zusätzlich wird durch die Differenz der oberen Waage (b) und unteren Waage (e) die Menge an Wasser, welche im Reagenzglas (c) verbleibt ermittelt. Durch dieses verbleibende Retentionswasser kann festgestellt werden, ob die Bodenaggregate durch den Druck der eingeschlossenen Luft zerbrechen, oder ob sie in der Lage sind das Wasser zu absorbieren (Auerswald, 1995).

Die folgende Abbildung 17 zeigt den schematischen Versuchsaufbau der Perkulationsstabilität, Abbildung 18 zeigt die Versuchsanlage im Labor.



- (a) Mariott'sche Flasche
- (b) obere Waage
- (c) Reagenzglas
- (d) Glasgefäß
- (e) untere Waage
- (f) Computer

Abbildung 17: Versuchsaufbau Perkulationsstabilität

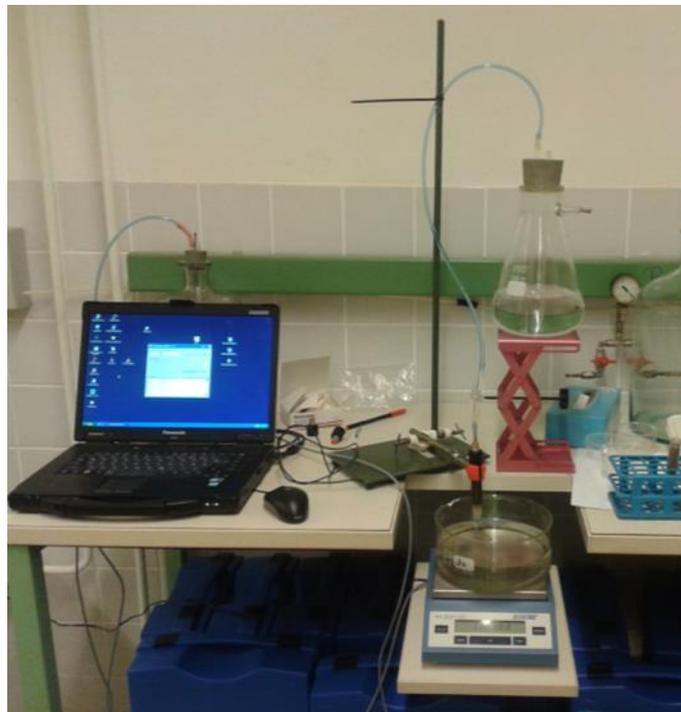


Abbildung 18: Versuchsanlage im Labor

Da hohe Sandgehalte die Perkolation fördern und eine hohe Stabilität vortäuschen können, ist es mit folgender Formel möglich, die Werte um den Sandeinfluss zu bereinigen (Auerswald und Hofmann, 1994).

$$PS(korrigiert) = \frac{PS(unkorrigiert) \cdot (100 - \%Sand)}{100}$$

(Mbagwu, 1999)

Die Perkulationsstabilität wurde bei allen vier Standorten durchgeführt. Um die Streuung der Daten zu verringern, wurden pro Fahrgasse vier Versuche mit je drei Wiederholungen durchgeführt. Das Ergebnis einer Messung sind die per Computer aufgezeichnete Ausflussmenge in Milliliter pro Sekunde über einen Zeitraum von 10 Minuten. Zur Auswertung der Daten wurden der Mittelwert und die Standardabweichung der drei Wiederholungen und in weiterer Folge der vier Versuche gebildet. Zusätzlich wurde das Retentionswasser durch die Differenz der oberen und unteren Waage bei jeder Messung ermittelt und gemittelt. Weiters wurden die Daten, mit der oben beschriebenen Formel, um den Sandgehalt bereinigt. Diese Ergebnisse wurden grafisch dargestellt.

4.4.4 pF-Kurve

Die Retentionskurve, Wasserspannungskurve oder pF-Kurve stellt den Zusammenhang zwischen Wassergehalt und Matrixpotential dar. Anhand dieser Kurve ist abzulesen, wie viel Wasser der Boden, bei einem bestimmten Matrixpotential, in der Lage zu speichern ist (Stahr et al., 2012). Das Matrixpotential beschreibt die Bindungsenergie mit der Wassermoleküle kapillar in Poren oder adhäsiv an Bodenteilchen gebunden sind. Der pF-Wert ist dabei der dekadische Logarithmus der Druckhöhe einer Wassersäule in Zentimeter (UMS, 2015).

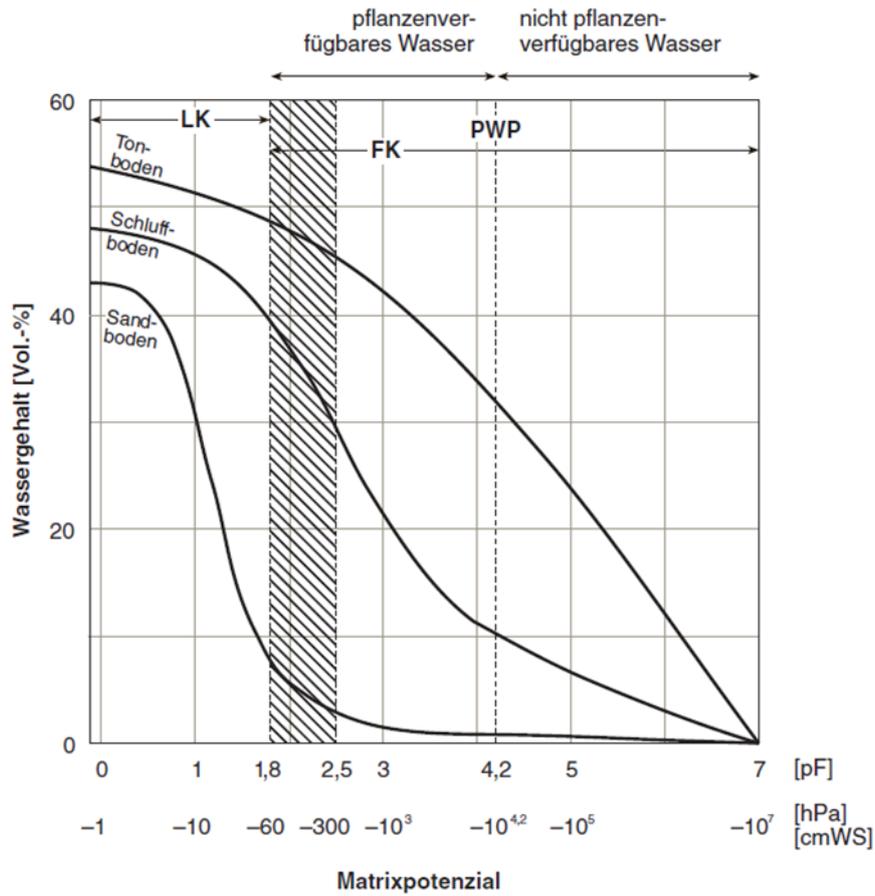


Abbildung 19: pF-Kurve (Scheffer und Schachtschnabel, 2010)

Abbildung 19 zeigt verschiedene pF-Kurven für verschiedene Arten von Böden. Durch die unterschiedliche Porenverteilung der jeweiligen Böden, ergeben sich unterschiedliche Verläufe der Kurven (Scheffer und Schachtschnabel, 2010). Die Leitfähigkeit ist am höchsten, wenn der Boden wassergesättigt ist. Dies ist bei einem Matrixpotential von null der Fall (Stahr et al., 2012). Die Bezeichnung LK in Abbildung 19 bedeutet Luftkapazität und beschreibt den Volumenanteil der weiten Grobporen am gesamten Bodenvolumen. Das Wasser in diesen Poren ist sehr schwach gebunden. FK bezeichnet die Feldkapazität und PWP den permanenten Welkepunkt. Das pflanzenverfügbare Bodenwasser liegt im Bereich zwischen der Feldkapazität und dem permanenten Welkepunkt, das entspricht den pF-Werten von 1,8 (2,5) bis 4,2. Dieser Bereich wird auch als nutzbare Feldkapazität bezeichnet, da hier das pflanzenverfügbare Wasser im Boden gebunden ist. Bei einem pF-Wert von 4,2 ist der permanente Welkepunkt erreicht. Das bedeutet, dass das Wasser nur noch in den Feinporen gebunden ist, und somit für die Pflanzen nicht mehr verfügbar ist (Scheffer und Schachtschnabel, 2010).

Für diese Masterarbeit wurden die pF-Werte mittels Hyprop (Hydraulic Property Analyser) der Firma UMS ermittelt. Dieses Messsystem misst direkt im Stechzylinder, auf zwei verschiedenen Ebenen, mit Tensiometern den zeitlichen Verlauf der Wasserspannung. Die dabei verwendete

Methode ist das Verdunstungsverfahren. Zusätzlich wird über regelmäßige Wägung der Proben die Masseveränderung der Bodenproben dokumentiert. Um die pF-Kurve zu ermitteln wird aus den beiden Werten der Tensiometer ein mittlerer pF-Wert und aus den Wägungen der Bodenproben der mittlere Wassergehalt berechnet (UMS, 2015).

4.4.5 Gesättigte hydraulische Leitfähigkeit (KSAT)

Die gesättigte Wasserleitfähigkeit beschreibt die Leitfähigkeit des Bodens im wassergesättigten Zustand. Bei diesem Zustand sind alle Poren mit Wasser gefüllt. Dies tritt jedoch in der Natur nur sehr selten, etwa nach langanhaltenden intensiven Niederschlägen, auf (Hartge und Horn, 2014). Die Leitfähigkeit ist dabei unter anderem von der Form und Kontinuität der einzelnen Porendurchlässe, von der Porenverteilung, sowie Durchmesser der Poren des Bodens abhängig (Scheffer und Schachtschnabel, 2010). Änderungen der Leitfähigkeit können auch durch Änderungen der Lagerungs- bzw. des Gefügestandes entstehen (Hartge und Horn, 2014). Die Beschreibung der Leitfähigkeit erfolgt durch den Wasserleitfähigkeits- oder Durchlässigkeitskoeffizienten k . Er ist ein substrat- bzw. gesteinspezifischer Proportionalitätskoeffizient (Scheffer und Schachtschnabel, 2010).

Die Messungen der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit (K_s) wurden in dieser Masterarbeit mit dem Messgerät KSAT der Firma Meter Environment durchgeführt. Das KSAT erfasst über einen Sensor die an der Bodenprobe (Stechzylinder) anstehende Wassersäule in sekundengenauer Auflösung. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Messungen direkt im ungestörten Stechzylinder stattfinden können (Meter Environment, 2017).

Die Berechnung des K_s Wertes erfolgt mit Hilfe der Darcy Gleichung bei laminaren Fluss:

$$q = \frac{V}{A t} = -K_s \frac{H}{L} \quad \text{und somit} \quad K_s = -\frac{LV}{HA t}$$

- q = Flussdichte
- V = perkoliertes Wasservolumen
- A = Fließquerschnitt
- t = Zeit
- K_s = Wasserdurchlässigkeitswert
- H = Höhe der hydraulischen Druckhöhendifferenz
- L = Länge der Bodensäule

(Meter Environment, 2017)

Die Probenvorbereitung wird nach der ÖNORM L 1065 (2006) für Physikalische Bodenuntersuchungen – Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit in gesättigten Stechzylinderproben durchgeführt. Zuerst wird überstehendes Probematerial an den beiden Enden der Stechzylinder entfernt, sodass die Kante der Stechzylinder mit dem Probematerial abschließen. Dabei ist darauf zu achten, dass es zu keine Verschmierungen oder Verstopfungen der Poren kommt. Danach wird an der Unterseite der Stechzylinder ein Sieb (zB aus Polyamid-(Nylon-)Gaze, Metall) angebracht, dessen Wasserdurchlässigkeit größer als die der Bodenprobe ist. Nun wird die Probe von unten kapillar mit Wasser gesättigt bis ein dünner Wasserfilm an der Oberseite des Stechzylinders zu erkennen ist. Dieser Vorgang kann, je nach Bodentyp der Bodenprobe, mehrere Tage bis Wochen dauern. Wichtig dabei ist, dass die Aufsättigung mit Wasser nur kapillar stattfinden darf. Nach vollständiger Aufsättigung der Stechzylinder kann mit den Messungen der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit mittels KSAT begonnen werden. Im ersten Schritt wird die jeweilige Stechzylinderprobe auf die Wasserlinse gesetzt und mit der Schraubkappe festgeschraubt. Die Messung beginnt indem man den „Start“ Button des Programms am PC drückt und den Bürettenhahn öffnet. Der Beginn wird von dem Programm aufgrund des Drucksprungs automatisch erkannt. Die Messung läuft automatisch ab und endet, wenn der Wasserstand in der Zulaufbürette zu niedrig ist. Die flächennormierte momentane Durchflussrate durch die Bodenprobe ergibt sich aus der Veränderung des Wasserstandes in der Bürette mit Hilfe des Darcy-Gesetzes (UMS, 2013). Abbildung 20 zeigt die verwendete Messeinrichtung.

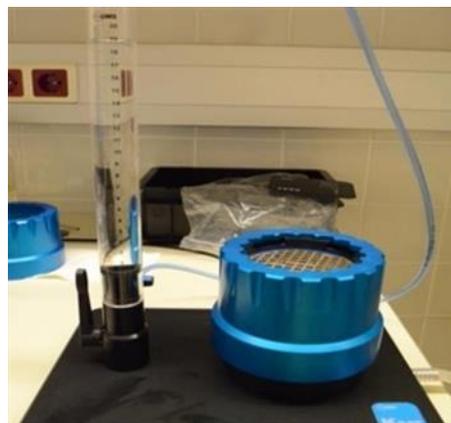


Abbildung 20: KSAT Messeinheit

4.4.6 Ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit (Hyprop)

Die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit beschreibt den Verlauf der Änderung der Wasserleitfähigkeit, und somit die Entwässerung der Poren, bei unterschiedlichen Matrixpotenzialen. Die folgende Abbildung 21 zeigt den Verlauf der ungesättigten Leitfähigkeit anhand verschiedener Böden.

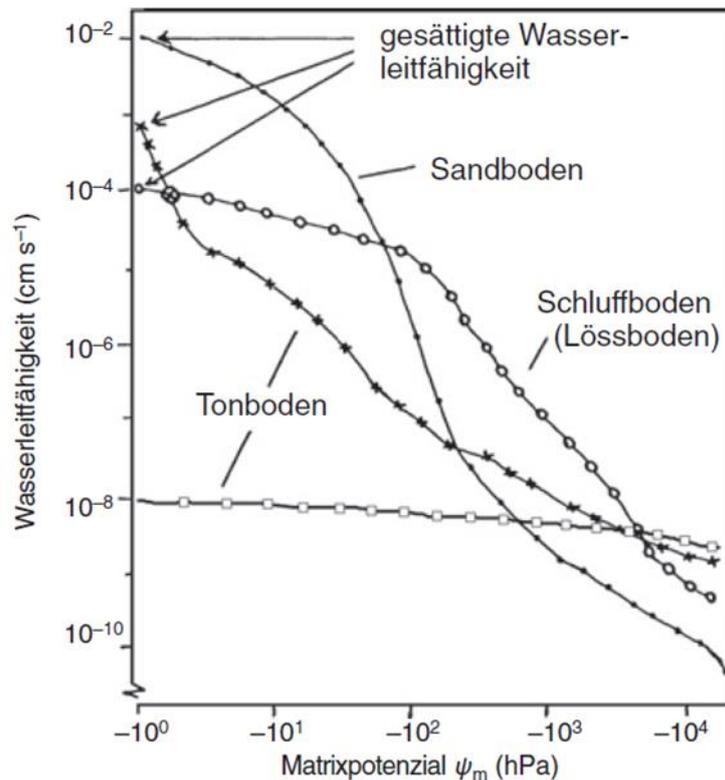


Abbildung 21: Wasserleitfähigkeit (gesättigte und ungesättigte) in Abhängigkeit von dem Matrixpotenzial von Sand-, Schluff- und Tonböden (Scheffer und Schachtschnabel, 2010)

Es ist zu erkennen, dass der Sandboden eine sehr hohe gesättigte Leitfähigkeit hat, diese jedoch schon bei einem niedrigen Matrixpotential stark sinkt, da die Grobporen entwässern. Bei Ton-, Lehm- oder Schluffböden kann die Wasserleitfähigkeit grundsätzlich sehr stark variieren, da die Ausprägung der Bodenstruktur stärker variiert als die Textur. Dadurch ist es durchaus möglich, dass ein Ton-, Lehm- oder Schluffboden die Wasserleitfähigkeit eines Grobsandes erreicht (Hartge und Horn, 2014). Anhand der unteren Tonbodenkurve der Abbildung 21 ist ersichtlich, dass sie eine wesentlich geringere Wasserleitfähigkeit hat, diese jedoch auch bei sehr negativen Matrixpotenzialen nahezu konstant bleibt. Es ist auch zu erkennen, dass die Leitfähigkeit für den Schluffboden (Lössboden) im Bereich von -10^2 bis -10^4 hPa, wie sie unter Feldbedingungen in terrestrischen Böden häufig auftritt, am höchsten ist. Aufgrund dieser optimalen Bedingungen werden diese Böden in der Landwirtschaft sehr geschätzt (Scheffer und Schachtschnabel, 2010).

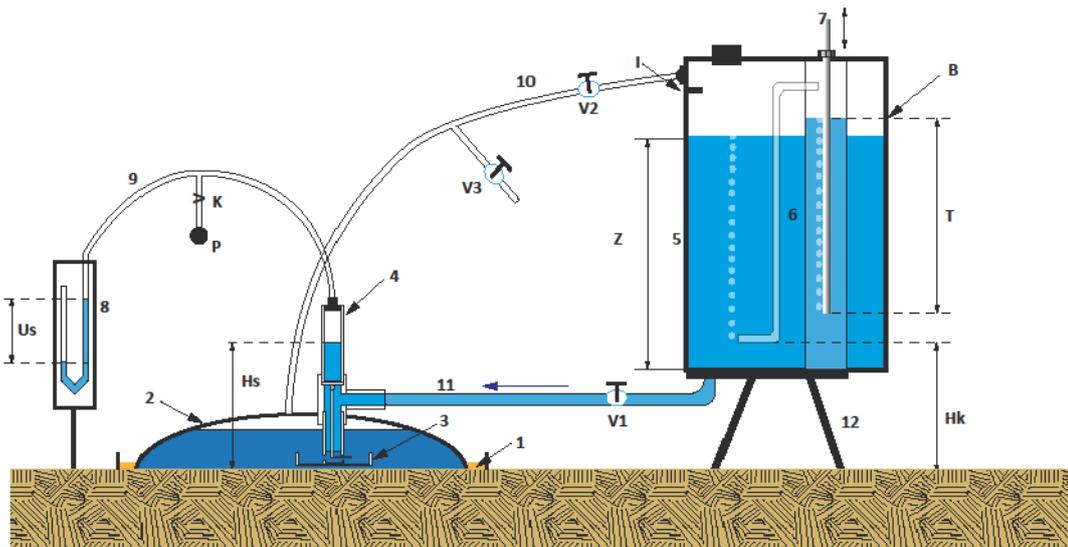
Die Ermittlung der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit (K_u) wurde in dieser Masterarbeit mit dem Messgerät Hyprop (Hydraulic Property Analyser) der Firma UMS durchgeführt. Hyprop misst auf zwei Ebenen in der ungestörten Bodenprobe die Wasserspannung mit Tensiometern im Verdunstungsverfahren (UMS, 2015). Zusätzlich wird die Masseänderung der Probe ermittelt. Somit ist es möglich mit Hyprop gleichzeitig die pF-Kurve sowie den K_u -Wert zu ermitteln. Diese Methode geht auf die Arbeit von Wind 1966 zurück. Er führte erstmals ein Verdunstungsexperiment durch, indem er ein Tensiometer in eine Bodenprobe einbaute und gleichzeitig die Änderung der Spannung sowie die Gewichtsänderung der Probe regelmäßig aufzeichnete. Daraus konnte er die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit sowie die Retentionskurve bzw. pF Kurve ermitteln. Diese Funktionsweise wurde oft modifiziert und dient als Grundlage der Funktionsweise für Hyprop (Schindler et al., 2010). Der erste Schritt der Versuchsdurchführung ist die vollständige kapillare Aufsättigung der Stechzylinder. Um die Tensiometer optimal platzieren, und somit eine fehlerfreie Messung gewährleisten zu können, werden exakte Bohrlöcher mit entsprechender Breite und Tiefe der Kerzen gebohrt. Danach wird die Sensoreinheit und die aufgesättigte Bodenprobe ordnungsgemäß verbunden und mit den Klammern der Sensoreinheit fixiert. Abbildung 22 zeigt eine solche Sensoreinheit von Hyprop mit zwei Tensiometer auf unterschiedlichem Niveau. Anschließend kann mit der Messung begonnen werden. Um die Massenveränderung im zeitlichen Verlauf aufzuzeichnen, wird jeder Zylinder zweimal täglich gewogen, die Änderungen der Wasserspannungen werden automatisch gemessen und von der zugehörigen Datenerfassungssoftware (HYPROP-VIEW) gespeichert. Die weitere Auswertung der Daten kann mit der Datenauswertungssoftware HYPROP-FIT durchgeführt werden (UMS, 2015). Nach der Messung wird zusätzlich das Trockenvolumen jedes einzelnen Zylinders bestimmt.



Abbildung 22: Hyprop: Sensoreinheit mit den zwei Kerzen der Tensiometer

4.4.7 Haubeninfiltrometer

Um Messungen der hydraulischen Leitfähigkeit im nahe gesättigten Bereich durchzuführen, wurde das Haubeninfiltrometer der Firma Umwelt-Geräte-Technik GmbH eingesetzt (Umwelt-Geräte-Technik, 2012). Die Messungen können direkt im Feldversuch durchgeführt werden und dienen als Komplementierung der Messungen der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit. Ein Vorteil gegenüber anderen Infiltrometern ist, dass beim Haubeninfiltrometer kein Kontaktmaterial benötigt wird. Stattdessen wird eine Haube mit der Öffnung nach unten auf den Boden gesetzt und mit Wasser befüllt, somit bleibt das Porensystem komplett intakt. Es kommt zu keinen Verstopfungen oder Verschmierungen der Poren (Schwärzel und Punzel, 2007). Durch die Haube, welche mit Wasser gefüllt ist, entsteht eine Quellfläche für den Infiltrationsfluss. Die wirksame Druckhöhe an der Bodenoberfläche kann zwischen Null und einem Unterdruck bis zum Luftdurchtrittspunkt des Bodens frei gewählt werden (Umwelt-Geräte-Technik, 2012). Die Messeinheit setzt sich aus drei Hauptkomponenten zusammen: eine Haube, eine Mariottesche Wasserversorgung und einem U-Rohrmanometer (Schwärzel und Punzel, 2007). Die folgende Abbildung 23 zeigt den detaillierten schematischen Aufbau des Haubeninfiltrometers.



1	Feinsandabdichtung	B	Füllhöhe des Blasenturmes
2	Kunststoffhaube	Hk	Abstand zwischen Bodenoberfläche und Luftauslass
3	Puffergefäß	Hs	Wasserspiegellhöhe im Steigröhrchen
4	Steigröhrchen	I	Maximale Füllhöhe des Infiltrationsgefäßes
5	Infiltrationsgefäß	K	Hahn zur Absperrung des Pipettierballs
6	Blasenturm	P	Pipettierball
7	Belüftungsröhrchen	T	Eintauchtiefe des Belüftungsröhrchens
8	U-Rohr Manometer	Us	Höhenunterschied in U-Rohr Manometer
9	Verbindungsschlauch 1	V1	Hahn zum Trennen der Wasservolumina
10	Entlüftungsleitung	V2	Hahn zum Trennen der Luftvolumina
11	Verbindungsschlauch 2	V3	Hahn für Druckanpassung
12	Standfüße	Z	Füllhöhe

Abbildung 23: Schematischer Aufbau des Haubeninfiltrometers (Umwelt-Geräte-Technik, 2012)

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte der Messdurchführung beschrieben:

Zuerst muss der Messplatz gewählt werden. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass dieser möglichst waagrecht ist. Danach wird das Haubeninfiltrometer aufgestellt, und der Blasenturm (6) mit Wasser befüllt. Dann werden die drei Komponenten (Haube, Mariotte'sche Wasserzuführung, U-Rohrmanometer) sachgemäß mit den Verbindungsschläuchen verbunden. Anschließend wird die Messfläche unter der Haube für den Messvorgang vorbereitet indem die Vegetation auf 5 Millimeter gekürzt wird. Danach wird der Begrenzungsring auf den Boden gesetzt und vorsichtig eingedrückt. Die Haube wird in der Mitte platziert und der Spalt zwischen Haube und Begrenzungsring wird mit Feinsand gefüllt und mit einer Spritzflasche angefeuchtet. Der wassergesättigte Feinsand dient bei Unterdruck als Abdichtung.

Sind alle Komponenten ordnungsgemäß verbunden, die Mariottesche Wasserzuführung mit Wasser befüllt und die Haube waagrecht auf den Boden platziert, kann die Aufsättigung der Messfläche beginnen. Dazu wird der Hahn „V1“ langsam geöffnet und die Befüllung des Puffergefäßes (3) beginnt. Wenn das System dicht ist läuft das Puffergefäß (3) nicht über, und das System gerät unter Unterdruck. Danach muss Hahn „K“ geöffnet werden und über den Verbindungsschlauch (9) mit dem Pipettierball Luft ansaugen werden bis der Wasserspiegel im Standrohr (4) etwa auf Skalenmitte steht. Danach muss der Hahn „K“ wieder geschlossen werden. Um die Haube mit Wasser zu füllen muss als nächster Schritt das Entlüftungsventil „V2“ langsam geöffnet werden. Dadurch beginnt die Füllung der Haube mit Wasser über das Puffergefäß (3). Die Haube wird dadurch unter Unterdruck gesetzt. Anschließend beginnt der Infiltrationsfluss über die Haube. Nach einer Aufsättigungszeit von ca. 15-30 Minuten, je nach Gegebenheiten, kann mit dem Messen der hydraulischen Leitfähigkeit im nahe gesättigten Bereich begonnen werden. Anhand der Eintauchtiefe „T“ des Belüftungsröhrchens (7) kann die hydraulische Druckhöhe unter der Haube gesteuert werden. Die exakte Druckhöhe kann über das U-Rohrmanometer gemessen werden. Die wirksame Wasserspannung auf der Bodenoberfläche wird aus der Wasserspiegelhöhe „Hs“ am Standrohr (Steigröhrchen 4) und dem Unterdruck „Us“ am U-Rohrmanometer (8) mit folgender Formel ermittelt:

$$H = H_s - U_s$$

- Hs = Skalenwert an der Haube
- Us = Skalenwert der beiden Schenkel des U-Rohrmanometers (Us)

Diese beiden Werte werden protokolliert und in folgender Form aufgezeichnet:

Infiltrationsgefäß			U – Rohr ¹⁾		Haube	
Zeit	Z (Scala)	$\Delta Z / \Delta t$	Us(li)	Us(re)	Hs	h
min:s	cm	cm/s	cm	cm	cm	cm

Abbildung 24: Tabellenkopf zur Datenaufzeichnung

Durch diese Protokollierung kann die Auslaufrate „ $\Delta Z/\Delta t$ “ (cm/s) bei einer bestimmten Wasserspannung ermittelt werden. Z gibt dabei die Scala in Zentimeter (cm) des Infiltrationsgefäßes, und t die Zeit in Sekunden an.

Messungen wurden an jedem Standort, in jeder Fahrgasse, an zwei zuvor definierten Stellen, mit je mindestens drei verschiedenen Tensionen durchgeführt. Die Aufstellung des Messgerätes erfolgte dabei in der Mitte der Fahrgasse, da in der Traktorspur mögliche Verdichtungen vorhanden sein könnten, wodurch es zu Verfälschungen der Messwerte kommen kann. Die folgende Abbildung 25 zeigt den Aufbau, Abbildung 26 die Platzierung des Haubeninfiltrometers bei Feldmessungen.



Abbildung 25: Aufbau des Haubeninfiltrometers bei Feldmessungen



Abbildung 26: Platzierung des Haubeninfiltrometers in der Fahrgasse

4.5 Statistik

Die statistische Auswertung wurde mit SPSS Version 15 durchgeführt. Die Auswertung der Daten erfolgte mit einem T-Test für unabhängige Stichproben. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde mit 5% angegeben. Um die Streuung der Werte zu zeigen werden in den einzelnen Tabellen zusätzlich die Standardabweichungen der Werte hinzugefügt. Die Abbildungen zeigen Boxplots, welche ebenso mit SPSS erstellt wurden. Die Box stellt dabei 50% aller Werte dar, die Trennlinie in der Box ist der Median, die Whiskers markieren das 95%-Konfidenzintervall, die Ausreiser werden aus ästhetischen Gründen ausgeblendet. Die Korrelationen wurden mit SPSS nach Pearson berechnet. Die Interpretation des Korrelationskoeffizienten wird in dieser Masterarbeit nach Bühl (2008) eingeteilt. Diese Einteilung ist in Tabelle 6 ersichtlich.

Wert	Interpretation
bis 0,2	sehr geringe Korrelation
bis 0,5	geringe Korrelation
bis 0,7	mittlere Korrelation
bis 0,9	hohe Korrelation
über 0,9	sehr hohe Korrelation

Tabelle 6: Interpretation Korrelationskoeffizient (Bühl, 2008)

Wie in Punkt 4.2 beschrieben, wurden insgesamt vier Standorte mit je zwei Fahrgassen beprobt. In jeder Fahrgasse wurden an vier Positionen je vier Stechzylinder entnommen. Das ergibt insgesamt 16 Wiederholungen pro Fahrgasse sowie 32 pro Standort. Die Anzahl der Werte für die statistische Auswertung ergibt sich aus den Laboranalysen und sieht pro Fahrgasse wie folgt aus: 16 Werte bezüglich Rohdichte sowie der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit, 8 Werte hinsichtlich Calciumcarbonat sowie für den organischen Kohlenstoffgehalt und die Bodentextur. Um die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit mit Hyprop zu bestimmen wurden pro Fahrgasse vier Zylinder herangezogen. Für die Bestimmung der Perkulationsstabilität wurden vier unabhängige Bodenproben pro Fahrgasse verwendet, dabei wurden je 3 Wiederholungen durchgeführt. Um auf die Signifikanz von Daten in den Tabellen hinzuweisen, werden signifikante Werte mit einem * gekennzeichnet.

5 Ergebnisse und Diskussion

5.1 Ergebnisse und Diskussion der bodenchemischen Untersuchungen

5.1.1 pH-Wert

Folgende Tabelle 7 zeigt die durchschnittlichen pH-Werte für alle Standorte. Da der Messbereich bezüglich des pH-Wertes jedoch sehr eng ist, sollten die Ergebnisse nicht überbewertet werden. An Standort 2 wurde kein signifikanter Unterschied ermittelt. Bei den Standorten 4, 9 und 10 gibt es einen signifikanten Unterschied zwischen dauerbegrünt und alternierend begrünter Bewirtschaftungsweise, wobei an Standort 4 der pH-Wert bei einer dauerbegrünter Bewirtschaftungsform signifikant höher ist, und an den Standorten 9 und 10 bei einer alternierend begrünter Bewirtschaftung.

Standort	Bewirtschaftungsform	pH-Wert	Standardabweichung
2	Dauerbegrünt	7,2	0,08
2	Alternierend begrünt	7,25	0,03
4	Dauerbegrünt	7,3*	0,05
4	Alternierend begrünt	7,0*	0,12
9	Dauerbegrünt	7,3*	0,04
9	Alternierend begrünt	7,4*	0,04
10	Dauerbegrünt	7,3*	0,07
10	Alternierend begrünt	7,5*	0,07

Tabelle 7: pH-Wert

Abbildung 27 zeigt die pH-Werte aller Standorte in Form von Boxplots.

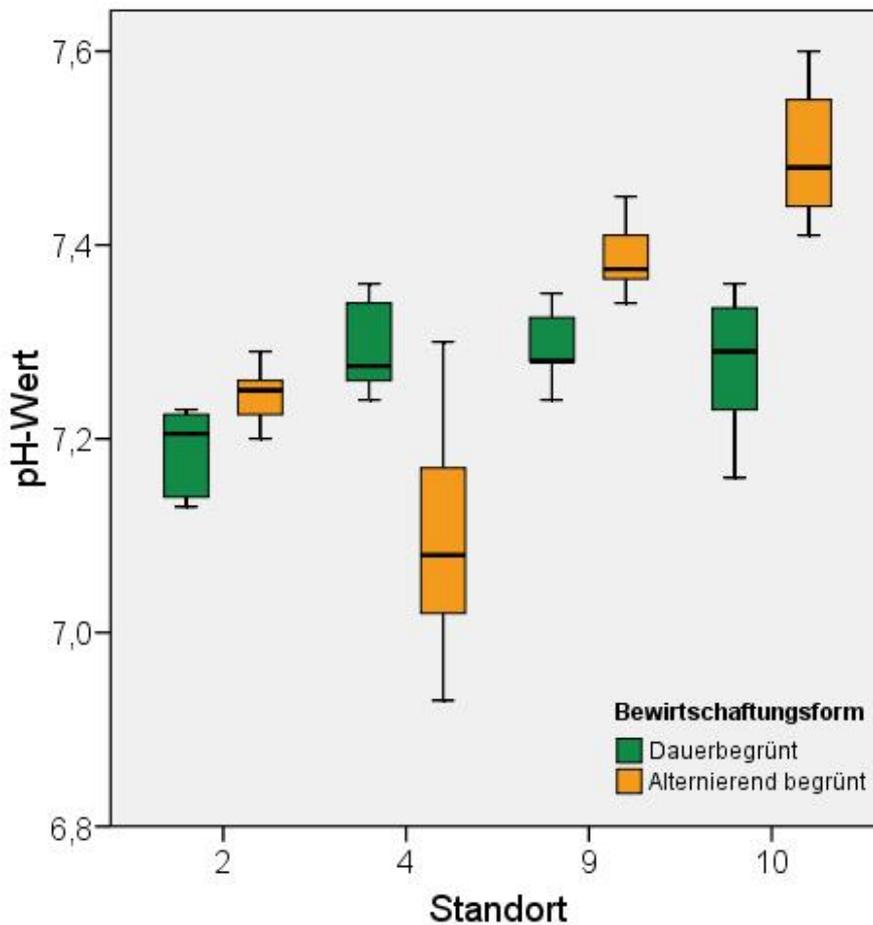


Abbildung 27: pH-Wert

Für Standort 2 wurde kein signifikanter Unterschied ermittelt. Ein plausibler Grund für dieses Verhalten liegt im Umstand, dass dieser Standort erst seit einem Jahr unterschiedlich bewirtschaftet worden war. An Standort 4 ist der pH-Wert bei einer alternierend begrünter Bewirtschaftung niedriger als bei einer Dauerbegrünung. Das kann daran liegen, dass in dieser Fahrgasse von 2009 – 2013 jährlich 5-7 t/ha Kompost ausgebracht wurden und diese organische Substanz zu einer Senkung des pH-Wertes geführt hat. Zusätzlich ist die dauerbegrünte Fahrgasse an diesem Standort bereits 46 Jahre ohne Bodenbearbeitung und der Karbonatgehalt sehr niedrig, dadurch gibt es eine eingeschränkte Pufferkapazität. An den Standorten 9 und 10 ist der pH-Wert jeweils signifikant höher bei alternierender Bewirtschaftung. Daraus ist zu erkennen, dass eine Dauerbegrünung eine senkende Wirkung hinsichtlich des pH-Wertes hat. Zu diesem Ergebnis kommt auch Koller (2011) in ihrer Masterarbeit in Weiden am See/Burgenland. Ihre Ergebnisse zeigen, dass der pH-Wert bei der Variante offener Boden höher ist als bei einer Dauerbegrünung. Laut Hofmann (2014) können hohe pH-Werte, wie sie zum Beispiel im Gebirge mit kalkhaltigen

Böden vorkommen, durch eine Begrünung gesenkt werden. Dies wird durch Pflanzenausscheidungen, welche den pH-Wert in Wurzelumgebung korrigieren um Nährstoffe zu mobilisieren, verursacht.

5.1.2 Karbonatgehalt

Tabelle 9 zeigt den Karbonatgehalt für die einzelnen Standorte und Bewirtschaftungsformen. Anhand der Ergebnisse lässt sich kein allgemeiner Trend erkennen. An den Standorten 2 und 4 ist der Karbonatgehalt bei einer dauerbegrüntem Bewirtschaftungsweise signifikant höher. Der signifikante Unterschied an Standort 2 zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen sollte aufgrund der Genauigkeit der Messung angezweifelt werden. An den Standorten 9 und 10 ist der Karbonatgehalt hingegen bei einer alternierend begrüntem Bewirtschaftung etwas höher, es handelt sich jedoch um keinen signifikanten Unterschied.

Standort	Bewirtschaftungsform	Karbonatgehalt [%]	Standardabweichung
2	Dauerbegrünt	2,1*	0,44
2	Alternierend begrünt	1,3*	0,38
4	Dauerbegrünt	8,9*	1,71
4	Alternierend begrünt	0,9*	0
9	Dauerbegrünt	15	0,76
9	Alternierend begrünt	15,7	0,42
10	Dauerbegrünt	13,1	2,59
10	Alternierend begrünt	14,5	2,12

Tabelle 8: Karbonatgehalt

Abbildung 28 zeigt eine Darstellung des Karbonatgehalts. Es ist ersichtlich, dass an den Standorten 2 und 4 der Karbonatgehalt bei einer dauerbegrüntem Bewirtschaftungsform höher ist. An den Standorten 9 und 10 zeigt sich ein umgekehrtes Bild. Hier ist der Karbonatgehalt bei alternierender Bewirtschaftung etwas höher.

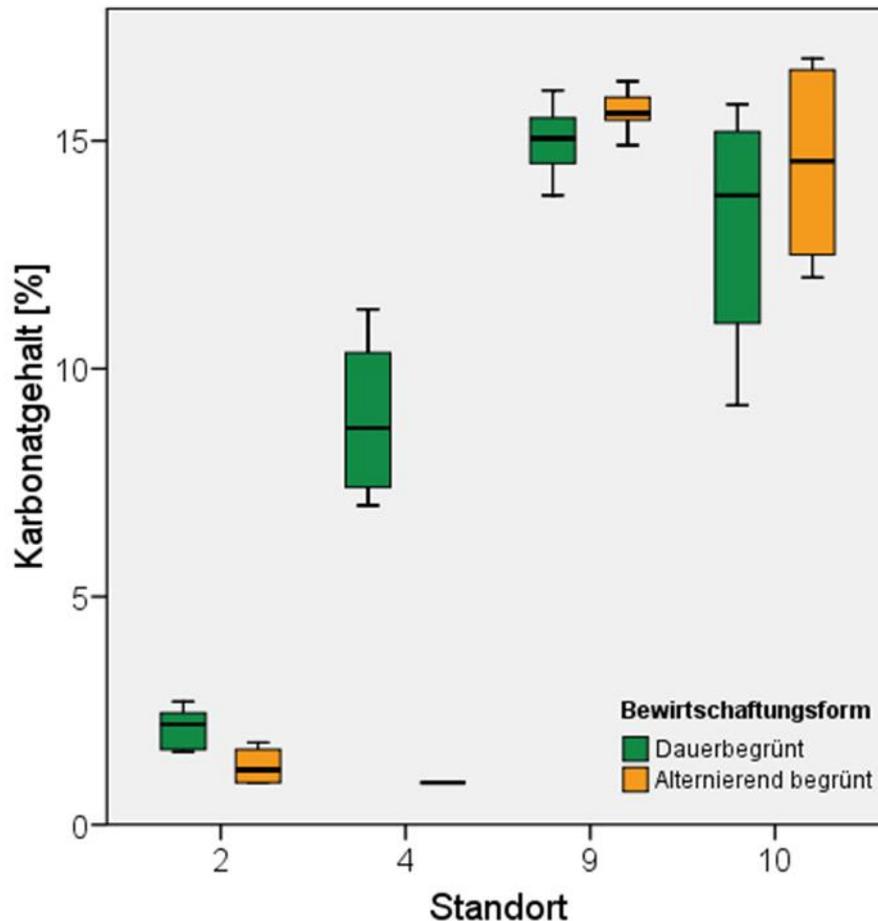


Abbildung 28: Karbonatgehalt

Der folgende Absatz beschreibt die grundsätzliche Einteilung des Karbonatgehaltes der Standorte nach Bauer et al. (2013). An Standort 2 ist der Karbonatgehalt in der dauerbegrünter Fahrgasse niedrig und bei einer alternierend begrünter Bewirtschaftungsform kalkarm. Es ergibt sich dabei ein signifikanter Unterschied. An Standort 4 ist der Karbonatgehalt der dauerbegrünter Fahrgasse niedrig, die alternierend begrünter Fahrgasse ist nahezu kalkfrei. An diesem Standort ist der Karbonatgehalt eindeutig höher bei einer dauerbegrünter Bewirtschaftung, welche an diesen Standort schon seit 46 Jahren praktiziert wird. Dennoch ist anhand der Pflegemaßnahmen leider nicht ersichtlich, warum es zu einem so enormen Unterschied zwischen diesen beiden Bewirtschaftungsformen kommt. Ein umgekehrtes Ergebnis ergab sich für die Standorte 9 und 10. An diesen beiden Standorten kann der Karbonatgehalt generell zwischen niedrig-mittel eingestuft werden, wobei der Karbonatgehalt bei alternierend begrünter Bewirtschaftung an beiden Standorten etwas höher ist als bei einer Dauerbegrünung, die Unterschiede sind jedoch signifikant. Auch Ergebnisse anderer Masterarbeit zeigen keinen einheitlichen Trend hinsichtlich des Karbonatgehaltes bei verschiedenen Bewirtschaftungsformen im Weinbau. Maurowitsch (2013) kommt in ihrer Masterarbeit zu dem Ergebnis, dass die Variante offener Boden den höchsten Kalkgehalt aufweist. Die Forschungsergebnisse von Koller (2011) zeigen hingegen, dass die Variante Dauerbegrünt den höchsten Karbonatgehalt aufweist.

5.1.3 Organischer Kohlenstoffgehalt

Die Ergebnisse in Tabelle 10 zeigen den organischen Kohlenstoffgehalt für jeden Standort und jede Bewirtschaftungsform. Es zeigt sich, dass der organische Kohlenstoffgehalt an drei der vier Standorte bei einer dauerbegrüntem Bewirtschaftungsweise signifikant höher ist als bei einer alternierend begrüntem. An Standort 9 ist der organische Kohlenstoffgehalt an der alternierend begrüntem Fahrgasse etwas höher, es konnte jedoch kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden.

Standort	Bewirtschaftungsform	organischer Kohlenstoffgehalt [%]	Standardabweichung
2	Dauerbegrünt	1,70*	0,11
2	Alternierend begrünt	1,45*	0,15
4	Dauerbegrünt	3,06*	0,8
4	Alternierend begrünt	2,01*	0,2
9	Dauerbegrünt	1,7	0,16
9	Alternierend begrünt	1,8	0,17
10	Dauerbegrünt	1,73*	0,17
10	Alternierend begrünt	1,15*	0,18

Tabelle 9: organischer Kohlenstoffgehalt

Die folgende Abbildung 29 veranschaulicht die Werte aller vier Standorte hinsichtlich des organischen Kohlenstoffgehaltes.

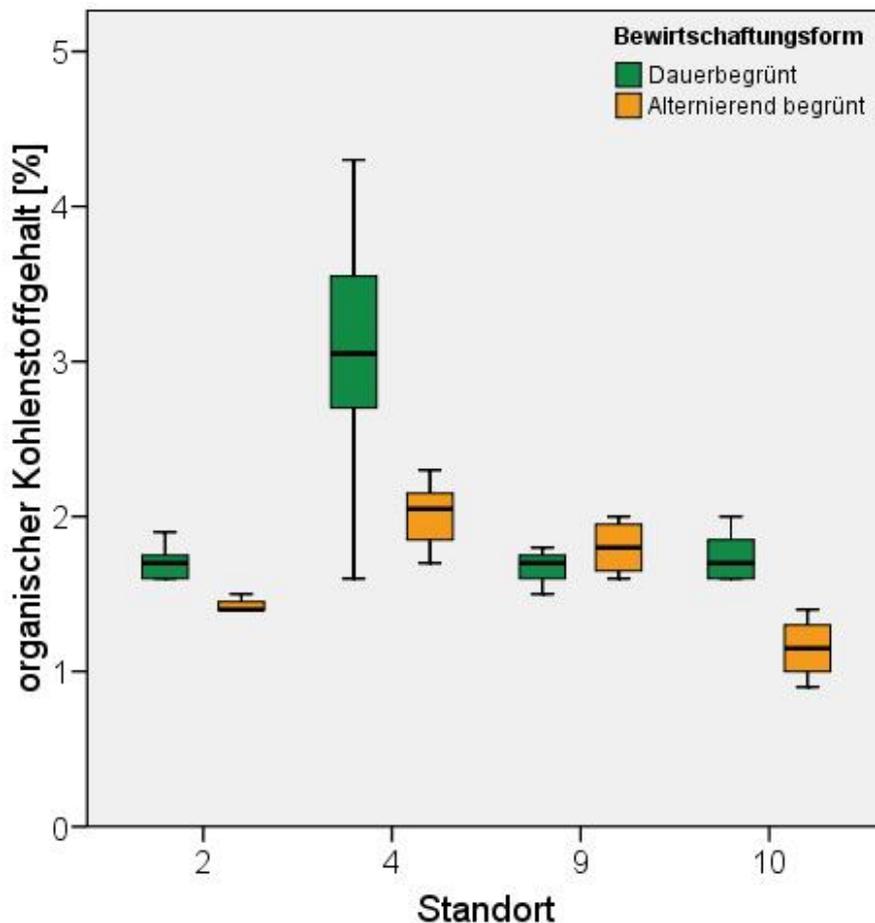


Abbildung 29: organischer Kohlenstoffgehalt

Der größte Unterschied zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen wurde an Standort 4 festgestellt. Bei diesem Standort wurde an der dauerbegrüntem Fahrgasse seit 46 Jahren keine Bodenbearbeitung durchgeführt. Es ist hier also gut erkennbar, dass die Bildung von Kohlenstoff im Boden bei einer Dauerbegrünung mit den Jahren ansteigt. Das zeigen auch Whitelaw-weckert et al. (2007), welche einen signifikanten Anstieg von organischem Kohlenstoff nach drei Jahren Dauerbegrünung in australischen Weingärten feststellen konnten. Auch Ruiz-Colmenero et al. (2013) kamen in ihren Untersuchungen zu dem Ergebnis, dass der organische Kohlenstoffgehalt bei einer Begrünung der Fahrgassen 1,4 mal höher ist, als bei Fahrgassen an denen Bodenbearbeitungen durchgeführt werden, ebenso wie Blavet et al. (2009), die in ihrer Studie im französischen mediterranen Weinbaugebiet Untersuchungen hinsichtlich Wassererosion in Weingärten, an Wiesen sowie an offenen Böden durchführten. Sie stellten fest, dass es vier Jahre nach der Etablierung einer Dauerbegrünung in den Fahrgassen zu einem signifikanten Anstieg des organischen Kohlenstoffgehaltes sowie der Aggregatstabilität kam. Agnelli et al. (2014) führten Untersuchungen hinsichtlich des Kohlenstoffgehaltes in Weingärten Zentralitaliens durch. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass es im oberen Bodenhorizont, in einer Tiefe von 0-50 cm, bei einer

Begrünung der Fahrgassen, zu einer höheren Kohlenstoffanreicherung sowie Speicherung kommt, als bei Fahrgassen mit Bodenbearbeitung. An Standort 9 zeigt sich ein umgekehrtes Bild. Hier ist der organische Kohlenstoffgehalt in der alternierend begrüneten Fahrgasse etwas höher, es handelt sich jedoch um keinen signifikanten Unterschied. Welche möglichen Bewirtschaftungsmaßnahmen zu einer Erhöhung des organischen Kohlenstoffes in der alternierend begrüneten Fahrgasse geführt haben, ist nicht ersichtlich.

5.2 Ergebnisse und Diskussion der bodenphysikalischen Methoden

5.2.1 Korngrößenverteilung

Die folgende Tabelle 10 listet die Mittelwerte der Bodentexturanalysen für alle vier Standorte auf. Sie umfasst den Ton-, Schluff- sowie Sandgehalt jeder Fahrgasse. Es lässt sich erkennen, dass der Sandgehalt an den Standorten 2 und 4 wesentlich höher ist als an den Standorten 9 und 10.

Standort	Bewirtschaftungsform	Tongehalt [%]	Schluffgehalt [%]	Sandgehalt [%]
2	Dauerbegrünt	16,3	39,6	44,1
2	Alternierend begrünt	15,6	40,2	44,2
4	Dauerbegrünt	10,1	36,5	53,4
4	Alternierend begrünt	9,3	36,6	54,1
9	Dauerbegrünt	17,9	60,9	21,2
9	Alternierend begrünt	17,9	60,4	21,6
10	Dauerbegrünt	13,7*	59,9*	26,4
10	Alternierend begrünt	16,1*	58,1*	25,8

Tabelle 10: Bodentextur

Tabelle 11 zeigt die jeweiligen Standardabweichungen für jeden Standort sowie Bewirtschaftungsform.

Standort	Bewirtschaftungsform	Tongehalt [%] Standardabweichung	Schluffgehalt [%] Standardabweichung	Sandgehalt [%] Standardabweichung
2	Dauerbegrünt	0,81	0,97	1,60
2	Alternierend begrünt	1,05	1,58	2,28
4	Dauerbegrünt	0,96	2,63	3,17
4	Alternierend begrünt	0,8	1,58	2,04
9	Dauerbegrünt	1,2	2,26	1,54
9	Alternierend begrünt	1,1	2,59	1,96
10	Dauerbegrünt	1,33*	1,46*	2,22
10	Alternierend begrünt	2,19*	1,44*	1,70

Tabelle 11: Bodentextur Standardabweichung

Tabelle 10 zeigt, dass sich die Bodentextur der beiden Fahrgassen an den Standorten 2, 4 und 9 nicht signifikant unterscheiden. An Standort 10 ergibt sich hinsichtlich des Ton- und Schluffgehaltes ein Unterschied. Bei diesen Werten ist jedoch ein möglicher Messfehler von 1% nicht miteinbezogen, welcher den Unterschied verringern würde. Die Übereinstimmung der Bodentextur innerhalb eines Standortes ist notwendig, da Abweichungen einen Einfluss auf die Messwerte der einzelnen Parameter haben können, und dadurch den Vergleich zwischen dauerbegrünter und alternierend begrünter Fahrgasse verfälschen könnten. So hängt laut Gisi et al. (1997) die Verdichtbarkeit eines Bodens vor allem von der Textur und dem Wassergehalt ab. Dabei sind feinkörnige, tonreiche Böden im plastischen Zustand am stärksten verdichtungsgefährdet. Weiters beschreiben Lal & Shukla (2004), dass es durch eine Erhöhung des Tongehaltes zu einem Anstieg der spezifischen Oberfläche kommt, wodurch es zu einem Anstieg der Absorptionsfähigkeit von Wasser, des Wasserrückhaltevermögens, der Plastizität sowie der Gesamtporosität kommen kann. Auf der anderen Seite führt eine Erhöhung des Tongehaltes zu einer Verringerung der Wasserinfiltration und Bodendichte. Zusätzlich spielen der Kohlenstoff- sowie Tongehalt des Bodens auch hinsichtlich der Aggregatbildung eine wichtige Rolle (Frey et al., 2015). Große Unterschiede könnten die Ergebnisse bezüglich Perkolationsstabilität sowie Wasserinfiltration beeinflussen.

5.2.2 Rohdichte trocken

Tabelle 12 beinhaltet die durchschnittlichen Werte der Rohdichte für alle vier Standorte sowie die ermittelten Standardabweichungen. An Standort 10 ist der Unterschied der Rohdichte trocken zwischen den Bewirtschaftungsformen dauerbegrünt und alternierend begrünt signifikant. Die Werte der Standorte 2 und 4 sind nicht signifikant, zeigen jedoch trotzdem, dass die Rohdichte bei alternierend begrünter Bewirtschaftung höher ist als bei einer dauerbegrünter Bewirtschaftung. Bei Standort 9 ist kein Unterschied zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen zu erkennen.

Standort	Bewirtschaftungsform	Rohdichte trocken [g/cm ³]	Standardabweichung
2	Dauerbegrünt	1,35	0,06
2	Alternierend begrünt	1,39	0,07
4	Dauerbegrünt	1,29	0,12
4	Alternierend begrünt	1,36	0,09
9	Dauerbegrünt	1,26	0,05
9	Alternierend begrünt	1,25	0,05
10	Dauerbegrünt	1,26*	0,07
10	Alternierend begrünt	1,33*	0,06

Tabelle 12: Rohdichte

Abbildung 30 stellt die Werte aller vier Standorte bezüglich Rohdichte graphisch dar.

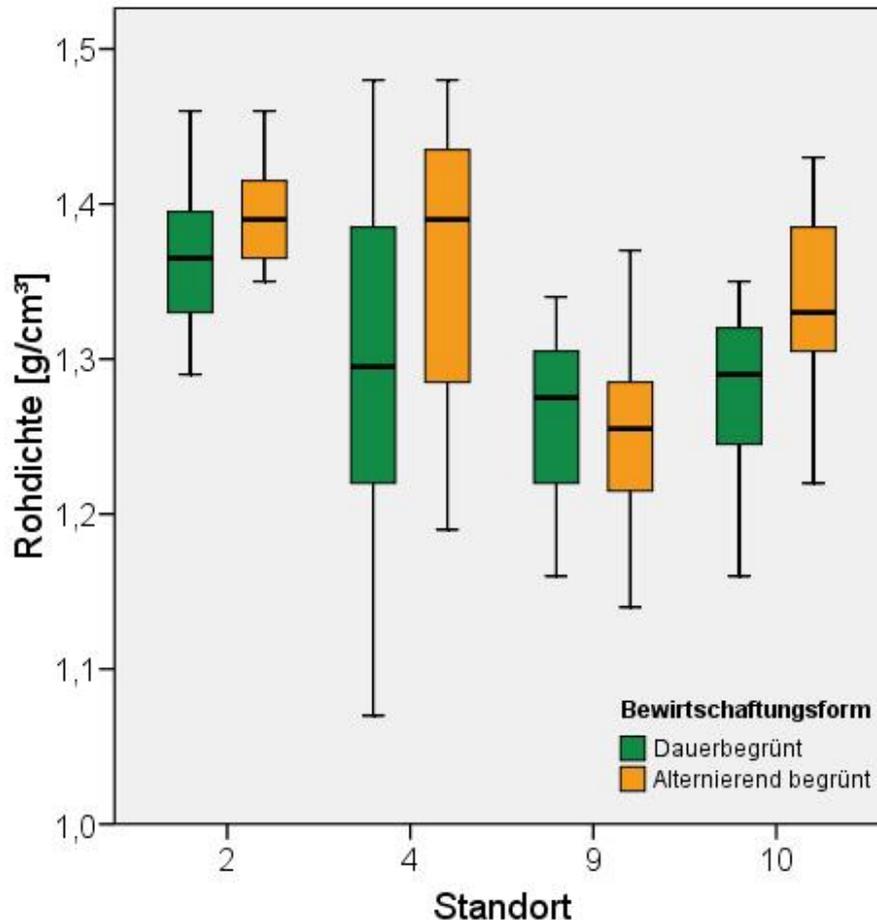


Abbildung 30: Rohdichte trocken

Die Ergebnisse zeigen, dass bei drei der vier Standorte die Rohdichte bei einer alternierend begrüntem Bewirtschaftungsweise höher ist als bei einer dauerbegrüntem. Ein signifikanter Unterschied wurde dabei lediglich an Standort 10 ermittelt. Whitelaw-Weckert et al. (2007) zeigen, dass die Rohdichte in Tumbarumba, Australien, in der Fahrgasse mit offenen Boden signifikant höher (1.17 mg cm^{-3}) ist als in jener mit Begrünung (1.10 mg cm^{-3}). Zehetner et al. (2015) kamen bei ihren Forschungen in österreichischen Weingärten (Traisen) zu einem gegenteiligen Ergebnis. Es wurden Untersuchungen in drei Weingärten, welche eine fast identische Textur aufweisen, durchgeführt. Bei ihren Untersuchungen der obersten 10 Zentimeter des Bodens, stellten sie fest, dass die Rohdichte bei zunehmender Intensität der Bodenbearbeitung abnimmt. In einer Tiefe von 25-50 cm Tiefe dreht sich der Trend jedoch um und es kommt zu einer Erhöhung der Verdichtung bei intensiverer Bodenbearbeitung. Ein Paarvergleich der Bewirtschaftungsformen mit gleicher Textur der beprobten Standorte, fand jedoch nicht statt. An allen alternierend begrüntem Standorten

wurden in den letzten 3 Jahren mindestens einmal Bodenbearbeitungen mit einer Kreiselegge oder Scheibenegge durchgeführt. Diese Pflegemaßnahmen dienen unter anderem der oberflächlichen Lockerung des Bodens. Trotzdem ist aus den Ergebnissen ersichtlich, dass die Rohdichte bei drei von vier Standorten bei einer alternierend begrünten Bewirtschaftung höher ist als bei einer Dauerbegrünung. Mudgal et al., (2010) untersuchten in ihrer Arbeit eine Ackerfläche sowie eine über 100 Jahre dauerbegrünte Fläche hinsichtlich Rohdichte. Es zeigte sich, dass die Bodendichte in einer Tiefe von 0-10 cm auf der unbearbeiteten begrünten Fläche $0,81 \text{ g cm}^{-3}$ und bei der Ackerfläche $1,44 \text{ g cm}^{-3}$ betrug. Diese Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Rohdichte mit den Jahren der Begrünung abnimmt. Die längste dauerbegrünte Fläche in dieser Masterarbeit befindet sich an Standort 4. Die hier untersuchte dauerbegrünte Fahrgasse ist seit 46 Jahren permanent begrünt. Bei diesem Standort wurde aber kein signifikanter Unterschied zwischen den Fahrgassen festgestellt. Jedoch ist die Rohdichte in der alternierend begrünten Fahrgasse deutlich höher als unter der Dauerbegrünung. Die zweitlängste zeitliche Differenz zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen weist Standort 10 mit 16 Jahren auf. An diesen Standort wurde ein signifikanter Unterschied festgestellt.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass eine mechanische Bodenbearbeitung nicht zu einer dauerhaften Lockerung des Bodens führt. Zusätzlich können die jährlichen Überfahrten und die damit verbundenen Verdichtungen sowie die vorherrschende Bodentextur einen Einfluss auf die Rohdichte haben.

5.2.3 Perkulationsstabilität

Folgende Tabelle 13 zeigt die durchschnittlichen Ausflusswerte nach zehn Minuten Perkolation für jeden Standort sowie Bewirtschaftungsform und wird als Perkulationsstabilität in ml/10 min angegeben. Es ist ersichtlich, dass sich diese an drei der vier Standorten signifikant zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen unterscheidet. Die Ausflussmenge ist an den Standorten 2, 9 und 10 bei einer dauerbegrünten Bewirtschaftungsweise signifikant höher als bei einer alternierend begrünten. Die Werte der Messungen des Standortes 4 ergaben keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen. Dennoch ist ersichtlich, dass der Wert bei einer dauerbegrünten Bewirtschaftung höher ist.

Standort	Bewirtschaftungsform	Perkolationsstabilität [ml]	Standardabweichung
2	Dauerbegrünt	595*	196
2	Alternierend begrünt	246*	49
4	Dauerbegrünt	1099	142
4	Alternierend begrünt	991	184
9	Dauerbegrünt	744*	253
9	Alternierend begrünt	428*	172
10	Dauerbegrünt	542*	42
10	Alternierend begrünt	139*	34

Tabelle 13: Perkolationsstabilität

Abbildung 31 visualisiert die Ergebnisse der Perkolationsstabilität.

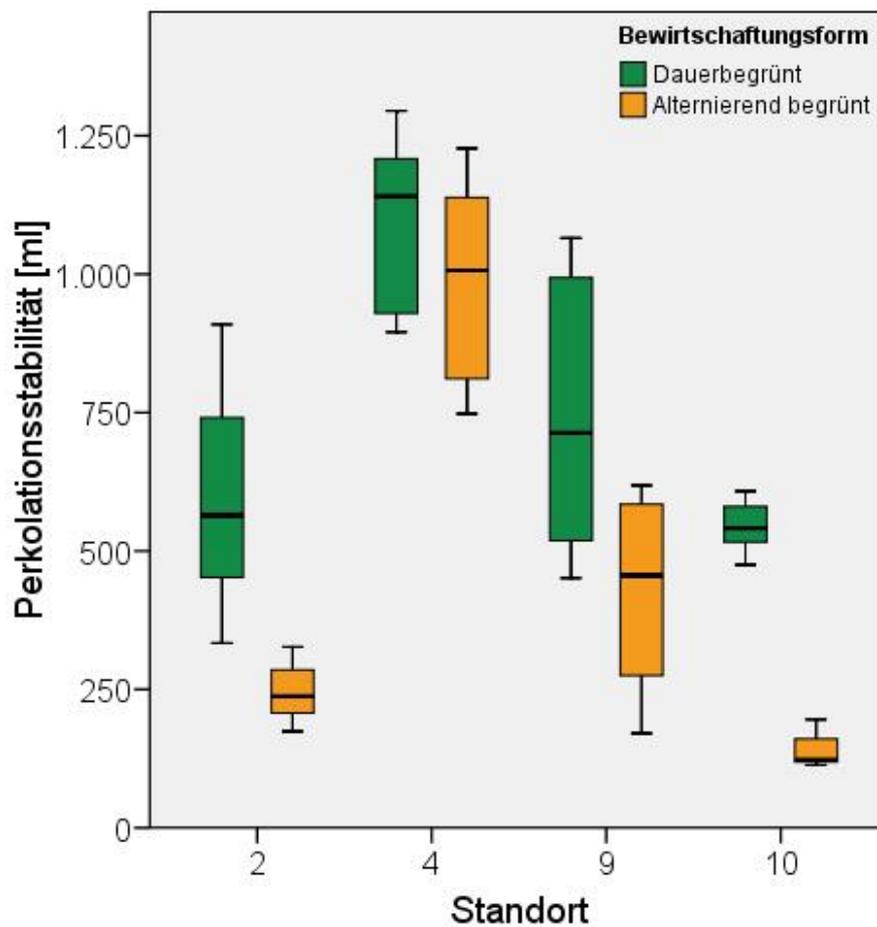


Abbildung 31: Perkolationsstabilität

Wie in den Methoden beschrieben, kann es nach Auerswald und Hofmann (1994) durch einen hohen Sandgehalt der Böden zu einer Vortäuschung von hoher Stabilität kommen. Tabelle 14 zeigt die Werte der Perkulationsstabilität um den jeweiligen Sandgehalt des Standortes bereinigt. Es zeigt sich eine Verringerung der Werte sowie eine geringere Standardabweichung. Abbildung 32 stellt die Werte der Perkulationsstabilität korrigiert für jeden Standort dar. Bei genauer Betrachtung ist zu erkennen, dass sich die Boxplots in Abbildung 31 und 32 nur geringfügig unterscheiden. Jene Boxplots für Standort 2 (Sandgehalt 44%) sowie für Standort 4 (Sandgehalt 53%) weisen eine deutlichere Verringerung der Streuung der Werte auf.

Standort	Bewirtschaftungsform	Perkulationsstabilität korrigiert [ml]	Standardabweichung
2	Dauerbegrünt	332*	109
2	Alternierend begrünt	137*	28
4	Dauerbegrünt	512	66
4	Alternierend begrünt	455	84
9	Dauerbegrünt	586*	199
9	Alternierend begrünt	336*	135
10	Dauerbegrünt	397*	31
10	Alternierend begrünt	103*	25

Tabelle 14: Perkulationsstabilität korrigiert

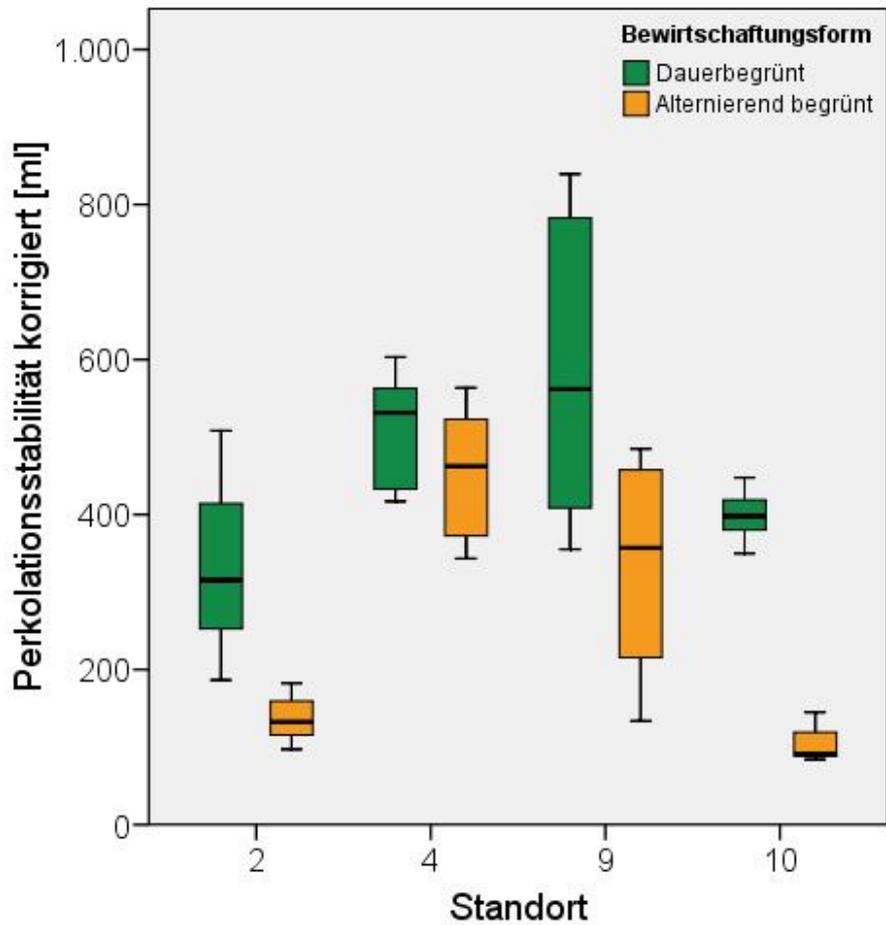


Abbildung 32: Perkolationsstabilität korrigiert

Abbildung 33 zeigt die Bereinigung der Werte um den Sandgehalt, exemplarisch für Standort 4. Dieser Standort weist mit über 50% den höchsten Sandgehalt der Standorte auf. Es ist daher eine große Differenz zwischen den Werten der Perkolationsstabilität, Perkolationsstabilität korrigiert und den dazugehörigen Standardabweichungen erkennbar.

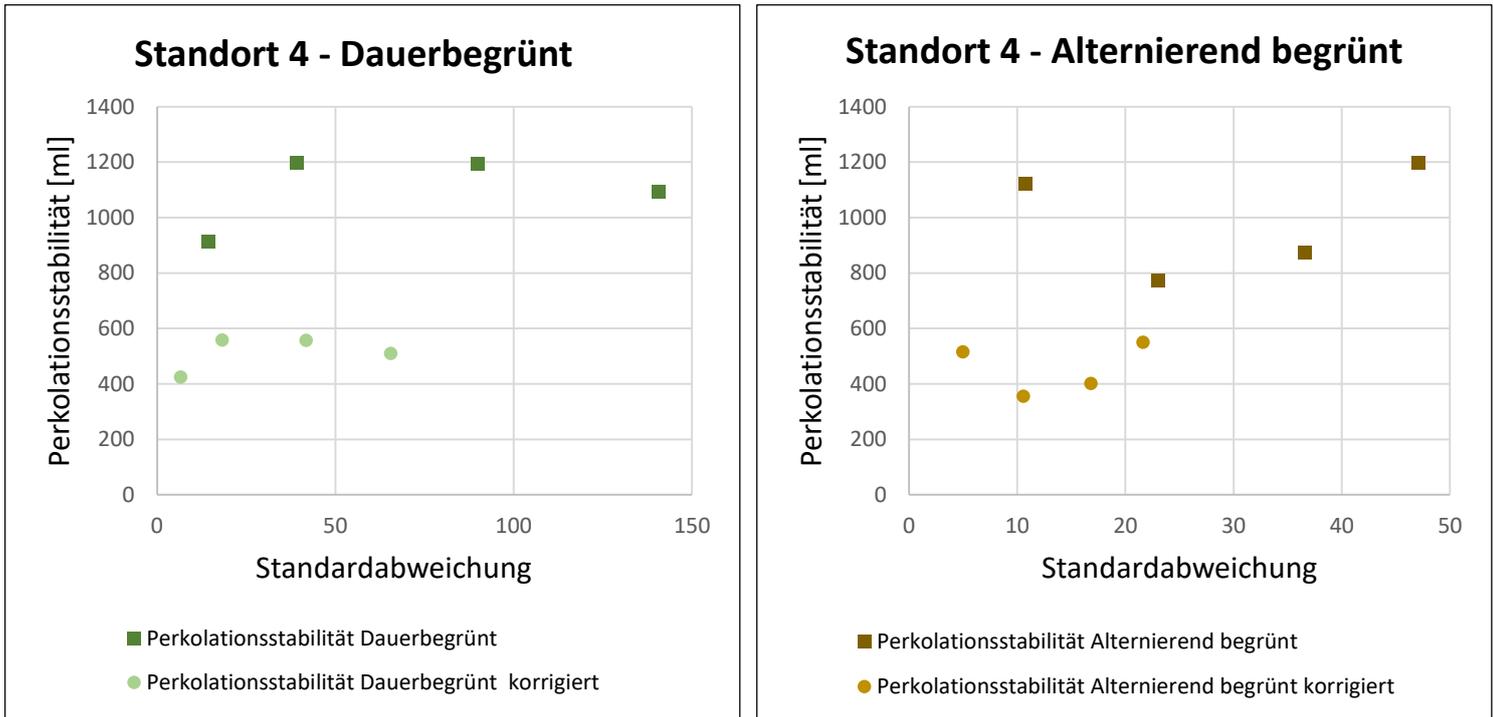


Abbildung 33: Perkolationsstabilität korrigiert Standort 4

Die folgenden Abbildungen 34-37 zeigen die Zuflußmenge in ml/s für jeden Standort über einen Zeitverlauf von 10 Minuten. An Standort 2 (Abbildung 34) ist zu erkennen, dass die Zuflußmenge bei einer dauerbegrüntem Bewirtschaftungsweise höher ist als bei einer alternierend begrüntem. Daraus lässt sich schließen, dass an diesen Standort die Bodenaggregate bei einer dauerbegrüntem Bewirtschaftungsweise deutlich stabiler sind als bei einer alternierend begrüntem. Abbildung 35 zeigt die Zuflußmenge in ml/s für Standort 4. Es lässt sich kein Unterschied zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen erkennen. Abbildung 36 zeigt den Infiltrationsverlauf für Standort 9. Für diesen Standort ist ein Trend zu erkennen. Zwei Datenlinien der dauerbegrüntem Bewirtschaftungsweise zeigen, dass die Bodenaggregate stabiler sind, die unteren zwei Datenlinien der alternierend begrüntem Bewirtschaftungsweise zeigen, dass die Zuflußmenge bei dieser Art der Bewirtschaftungsweise geringer ist. Anhand der weiteren vier Datenlinien lässt sich kein Trend erkennen. An Standort 10 (Abbildung 37) zeigt sich, dass die Zuflußmenge bei einer dauerbegrüntem Bewirtschaftungsweise deutlich höher ist als bei einer alternierend begrüntem. Dieser deutliche Unterschied ist auch anhand der Werte der Statistik (Tabelle 13) sowie der Boxplots (Abbildung 31) ersichtlich.

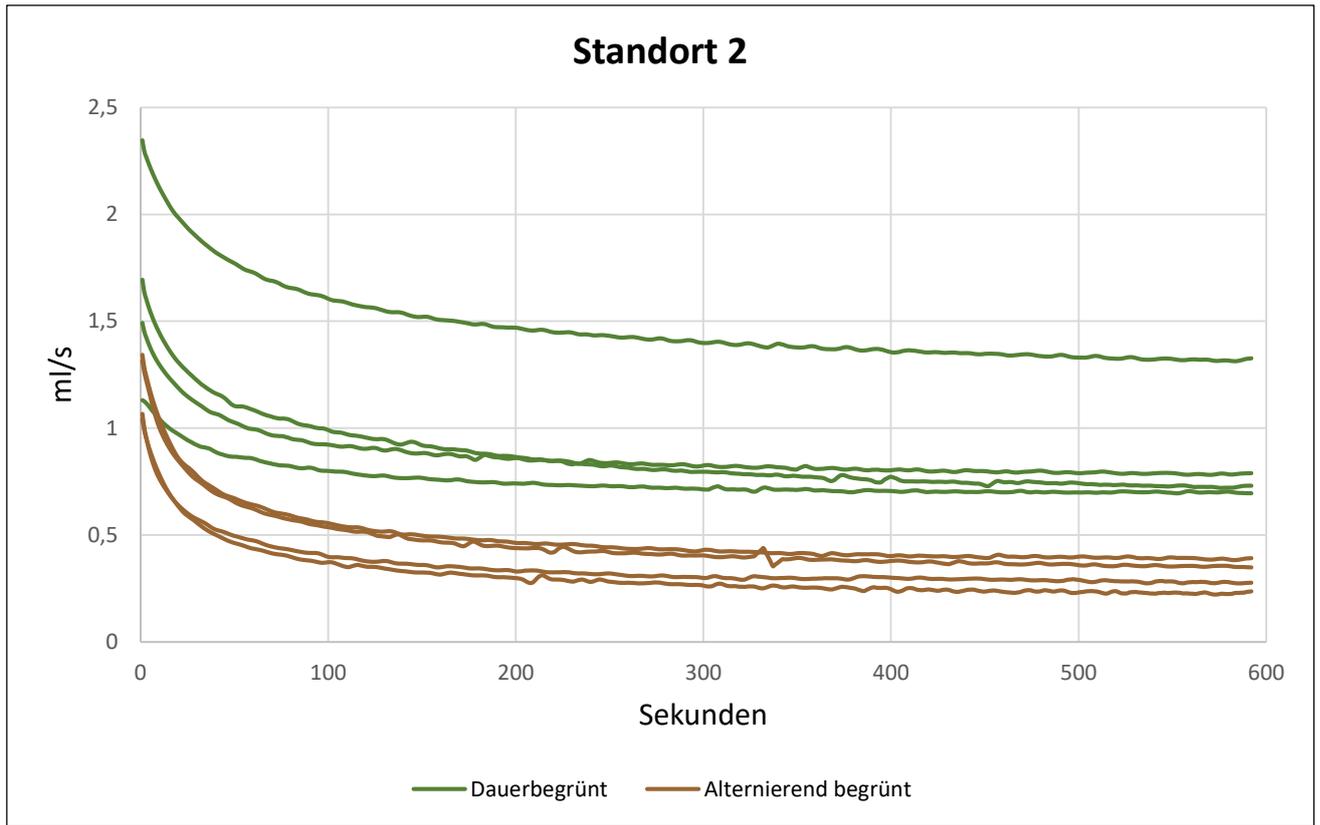


Abbildung 34: Perkolationsstabilität - Zuflußmenge in ml/s - Standort 2

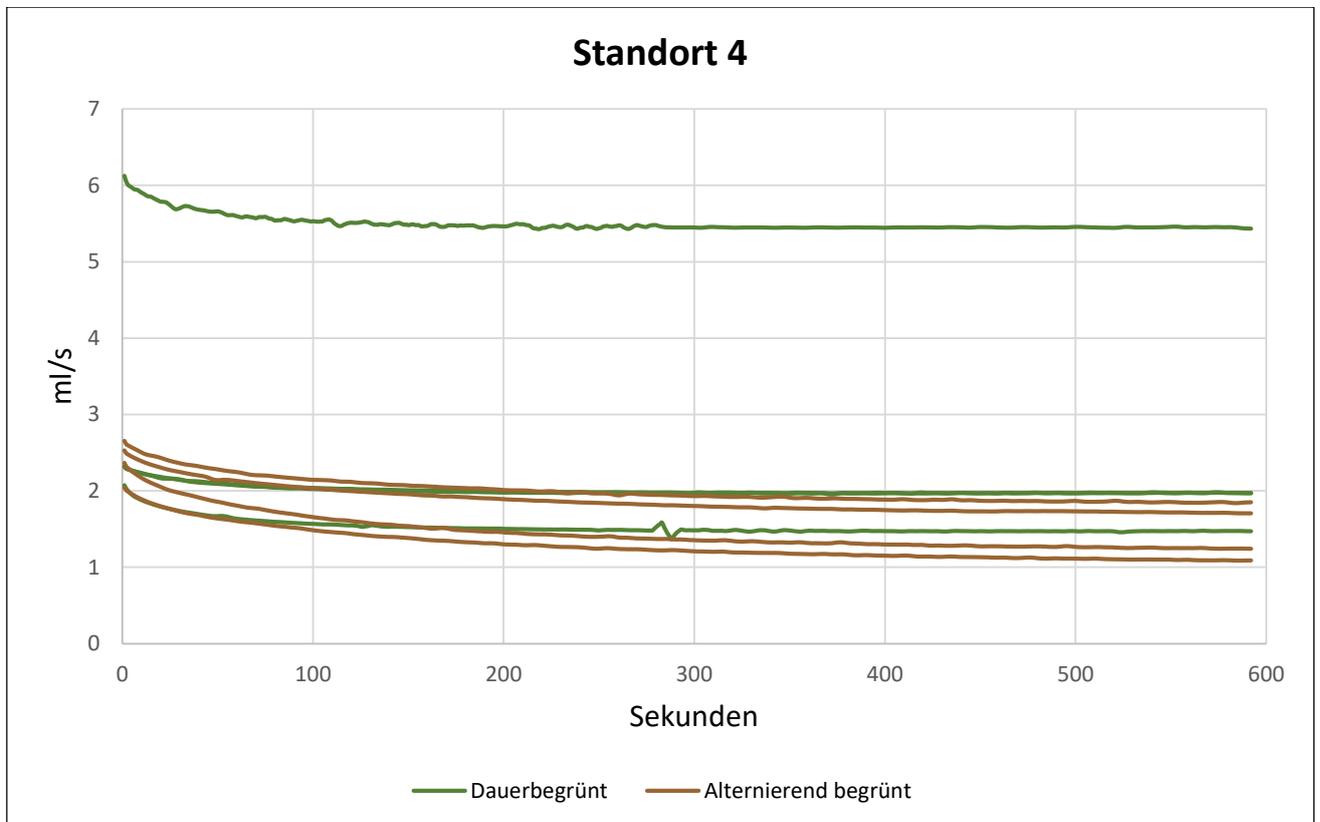


Abbildung 35: Perkolationsstabilität - Zuflußmenge in ml/s - Standort 4

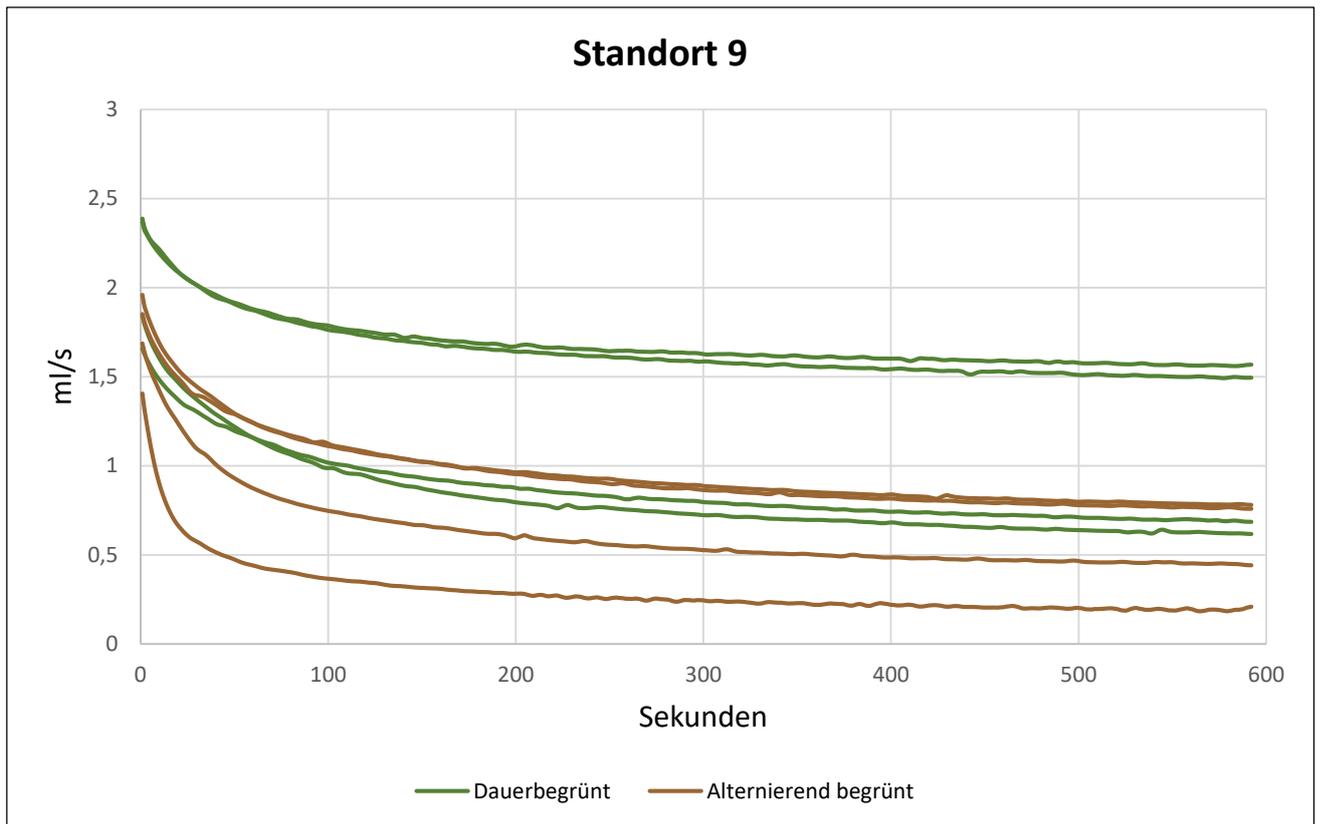


Abbildung 36: Perkolationsstabilität - Zuflußmenge in ml/s - Standort 9

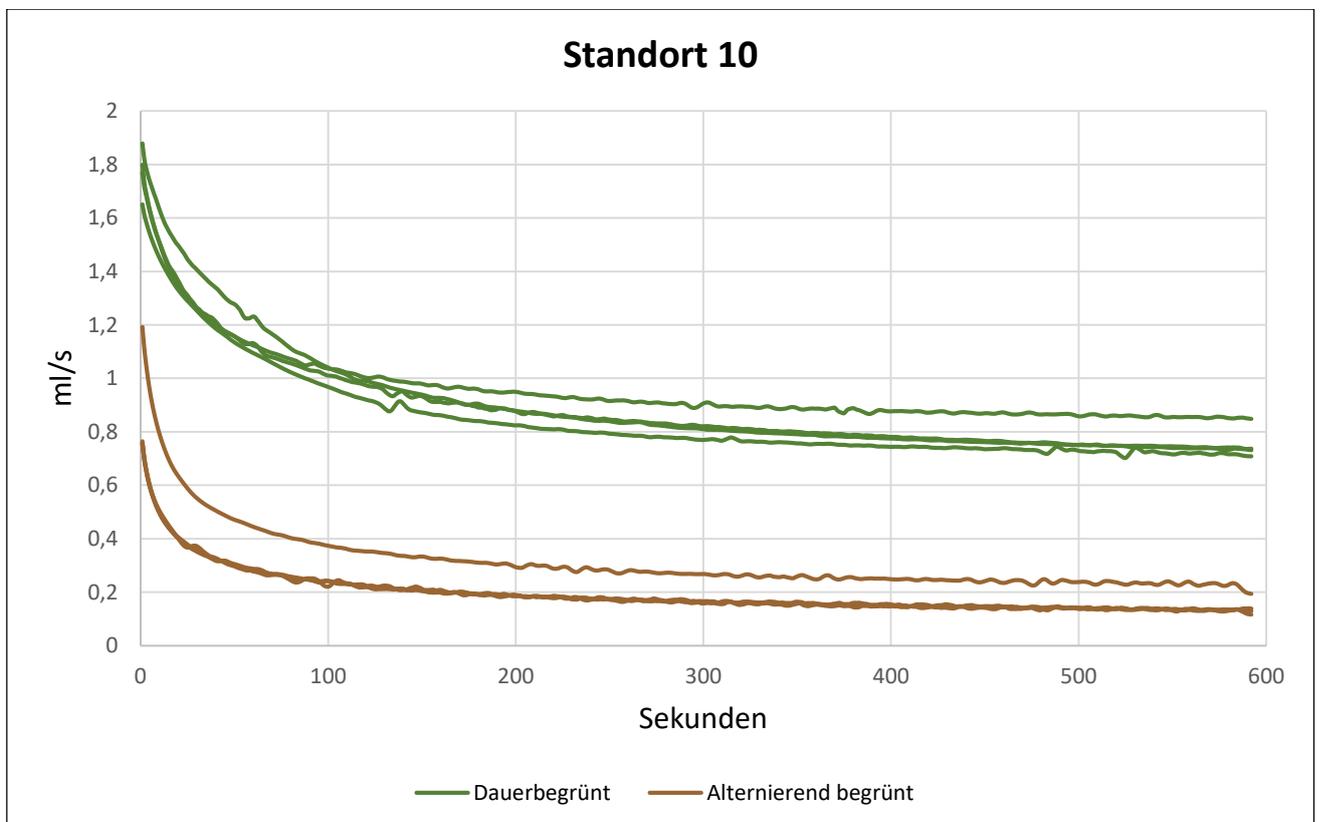


Abbildung 37: Perkolationsstabilität - Zuflußmenge in ml/s - Standort 10

Tabelle 15 zeigt die Menge an Wasser, die nach 10 Minuten Perkolatation vom Versuchsboden zurückgehalten wird. Die Werte des Retentionswassers wurden aus der Differenz zwischen Zufluss- und Ausflussmenge ermittelt. Es ist zu erkennen, dass bei allen Standort eine dauerbegrünte Bewirtschaftungsweise dazu führt, dass mehr Wasser im Reagenzglas gehalten werden kann. An den Standorten 2, 9 und 10 gibt es dabei einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen.

Standort	Bewirtschaftungsform	Retentionswasser [ml]	Standardabweichung
2	Dauerbegrünt	11,0*	0,56
2	Alternierend begrünt	10,0*	0,48
4	Dauerbegrünt	13	0,57
4	Alternierend begrünt	12,5	0,63
9	Dauerbegrünt	11,9*	0,92
9	Alternierend begrünt	11,1*	0,48
10	Dauerbegrünt	11,7*	0,74
10	Alternierend begrünt	10,3*	0,27

Tabelle 15: verbleibendes Retentionswasser des Versuchsbodens nach 10 min Perkolatation

Abbildung 38 veranschaulicht die Werte des verbleibenden Retentionswassers. Es ist zu erkennen, dass an den Standorten 2,4 und 10 deutlich mehr Wasser bei einer dauerbegrünten Bewirtschaftungsweise im Reagenzglas gehalten werden kann.

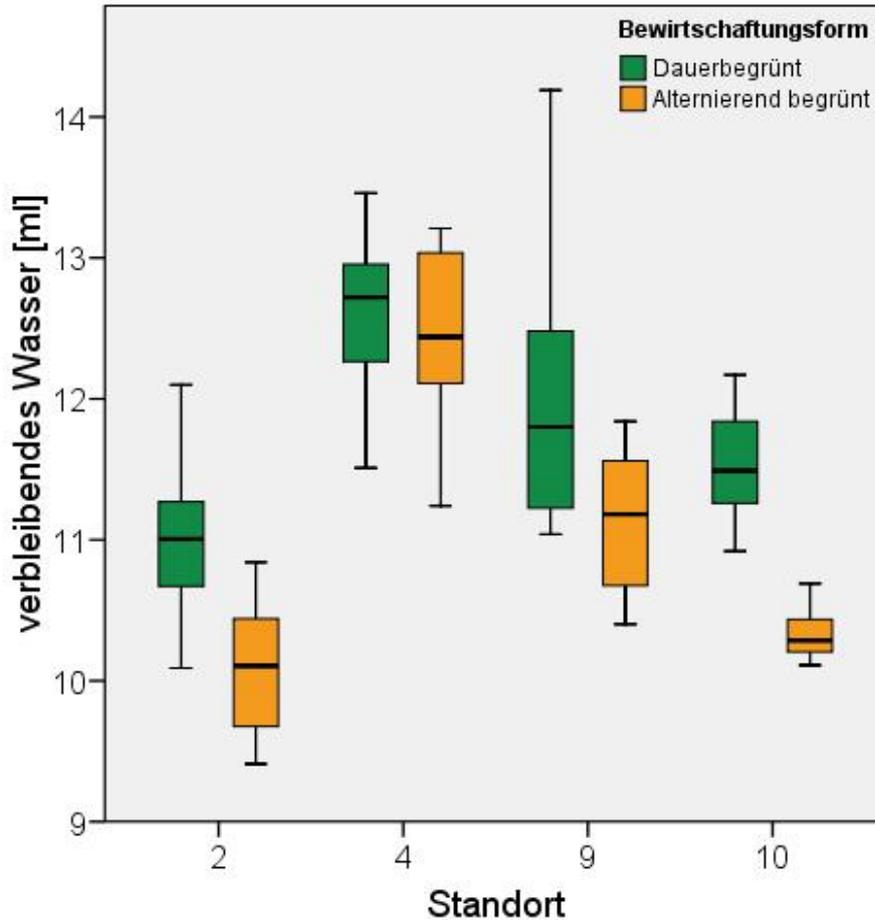


Abbildung 38: verbleibendes Retentionswasser des Versuchsbodens nach 10 min Perkolation

Anhand der Messungen können mehrere Teilergebnisse beschrieben werden. Das erste Ergebnis (Abbildung 31) zeigt wie viel Wasser in 10 Minuten durch das Reagenzglas perkoliert wurden. Die Abbildungen 34-37 zeigen dabei die Infiltrationsrate. Da es sich um ein geschlossenes System handelt, ist anhand dieser Grafiken ersichtlich, wann die Bodenaggregate in Mikroaggregate zerbrechen und somit das perkolierende Wasser behindern und den Zufluss reduzieren. Das dabei verbleibende Wasser (Abbildung 38) im jeweiligen Reagenzglas zeigt, wie viel Wasser die Bodenaggregate in der Lage zu speichern sind. Abbildung 32 und 33 beschreiben die Perkulationsstabilität korrigiert.

Die Ergebnisse der Perkulationsstabilität zeigen deutlich, dass die Bodenaggregate der dauerbegrüntem Bewirtschaftungsweise bei drei von vier Standorten signifikant stabiler sind als jene der alternierend begrüntem Bewirtschaftung. Die größte Differenz zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen ergibt sich dabei an Standort 10, hier ist die dauerbegrünte Fahrgasse seit 16 Jahren ohne Bodenbearbeitung. Der zweithöchste signifikante Unterschied wurde an Standort 2 ermittelt. Hier liegt der Sandgehalt bei 44%, die jährliche Differenz zwischen den beiden Bewirtschaftungsweisen beträgt allerdings nur ein Jahr. An Standort 4 wurde kein signifikanter

Unterschied der Perkulationsstabilität zwischen den beiden Fahrgasse ermittelt wobei die Differenz zwischen den beiden Fahrgassen hinsichtlich der unterschiedlichen Bewirtschaftungsform 46 Jahre beträgt. Dieser Standort 4 weist einen Sandgehalt von über 50% auf. Laut Auerswald und Hofmann (1994) kann ein hoher Sandgehalt eine hohe Stabilität vortäuschen. Es ist auch anhand der Boxplot Darstellung (Abbildung 31) erkennbar, dass die Werte für Standort 4 sehr weit gestreut sind. Auch hinsichtlich des Retentionswassers ist für diesen Standort kein signifikanter Wert eruiert worden. Zusätzlich ist zu erkennen, dass es durch den hohen Sandgehalt zu einem großen Unterschied zwischen den Werten der Perkulationsstabilität und der Perkulationsstabilität korrigiert kommt. Daraus lässt sich schließen, dass der Sandgehalt eine mögliche Ursache dafür ist, dass es trotz einer 46 Jahre langen Dauerbegrünung zu keinem signifikanten Unterschied zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen kommt.

Anhand des Retentionswassers konnte untersucht werden, wie viel Wasser die Bodenaggregate in der Lage zu speichern sind. Auerswald und Hofmann (1994) beschreiben in ihrer Arbeit, dass bei Ackerstandorten in den Alpen die Lockerheit der Aggregate dafür verantwortlich ist, dass die Luftsprengung bei rascher Befeuchtung weniger auftritt, da die Luft durch die vielen Poren weniger leicht eingeschlossen wird und mit zunehmenden Porendurchmesser weniger Druck aufbaut. Dies ist auch bei den vier Standorten dieser Arbeit zu erkennen. Die Aggregate einer dauerbegrünten Bewirtschaftung sind lockerer und können somit mehr Wasser aufnehmen ohne durch den Druck in Mikroaggregate zu zerbrechen. Dieser Wert ist dabei an drei von vier Standorten signifikant. Auch Biddoccu et al. (2017) kamen bei ihren zweijährigen Untersuchungen in italienischen Weingärten zu den Ergebnis, dass Proben der Fahrgasse mit dauerbegrünten Bewirtschaftung immer einen höheren Wassergehalt aufwiesen als jene Fahrgasse mit Bodenbearbeitung. Grundsätzlich ist ersichtlich, dass die Bodenaggregate bei einer dauerbegrünten Bewirtschaftungsform schwerer zerbrechen und stabiler sind, im Gegensatz zu einer alternierend begrünten Bewirtschaftungsweise. Zu diesem Ergebnis kamen auch Buchgraber und Gindl (2004). Sie stellten fest, dass die Aggregatstabilität bei Ackerkulturen mit jährlichem Umbruch, im Vergleich zu mehrjährigen Kulturen (Wiese, Grünbrache, Klee gras), auf 20% bis 30% abfällt. Siegrist et al. (1998) untersuchten in einem Langzeit Feldversuch in der nordwestlichen Schweiz die Effekte von biologischer, biodynamischer und konventionellen Landnutzungsmanagement auf Bodenerosion. Die Aggregatstabilität wurde dabei im Labor mittels Regenfallsimulation sowie Perkulationsstabilität untersucht. Die gemessene Aggregatstabilität war bei der biodynamischen als auch bei der biologischen Bewirtschaftungsweise signifikant höher als bei der konventionellen. Sie schließen weiter daraus, dass jene Flächen, welche konventionell Bewirtschaftet werden erosionsanfälliger sind.

5.2.4 pF-Kurve

Die folgenden Abbildungen 39-42 zeigen die mittleren pF-Kurven für jeden Standort sowie jede Bewirtschaftungsform. Es ist zu erkennen, dass der Wassergehalt bei den Standorten 2 (Abbildung 39), 4 (Abbildung 40) und 10 (Abbildung 42) bei einem pF-Wert von 0, also im vollständig gesättigten Zustand, bei einer dauerbegrüntem Bewirtschaftungsweise etwas höher ist als bei alternierend begrüntem. An Standort 9 (Abbildung 41) ist nahezu kein Unterschied zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen zu erkennen.

Die Kurven für Standort 2 (Abbildung 39) und 4 (Abbildung 40) zeigen grundsätzlich ein ähnliches Bild. Bei den pF-Kurven der dauerbegrüntem Fahrgassen ist der Wassergehalt über alle Spannungen etwas höher als bei einer alternierend begrüntem Bewirtschaftung. An Standort 2 (Abbildung 39) vergrößert sich der Unterschied zwischen dauerbegrüntem und alternierend begrüntem zwischen einem pF-Wert von 1,8 bis 4,2. Daraus lässt sich schließen, dass die nutzbare Feldkapazität der dauerbegrüntem Fahrgasse etwas höher ist als jene der alternierend begrüntem. Anhand der Kurven für Standort 4 (Abbildung 40) ist zu erkennen, dass die Luftkapazität, welche im Bereich von 0 bis 1,8 pF liegt und den Volumenanteil der weiten Grobporen angibt, bei der dauerbegrüntem Fahrgasse deutlich höher ist als bei einer alternierend begrüntem Bewirtschaftungsweise. Ein möglicher Grund dafür ist der hohe Sandgehalt an diesen Standort (über 50%). An Standort 9 (Abbildung 41) ist kein Unterschied zwischen den beiden Kurven zu erkennen. Die Kurven für Standort 10 (Abbildung 42) zeigen, dass an diesen Standort bei einer dauerbegrüntem Bewirtschaftung die nutzbare Feldkapazität deutlich höher ist.

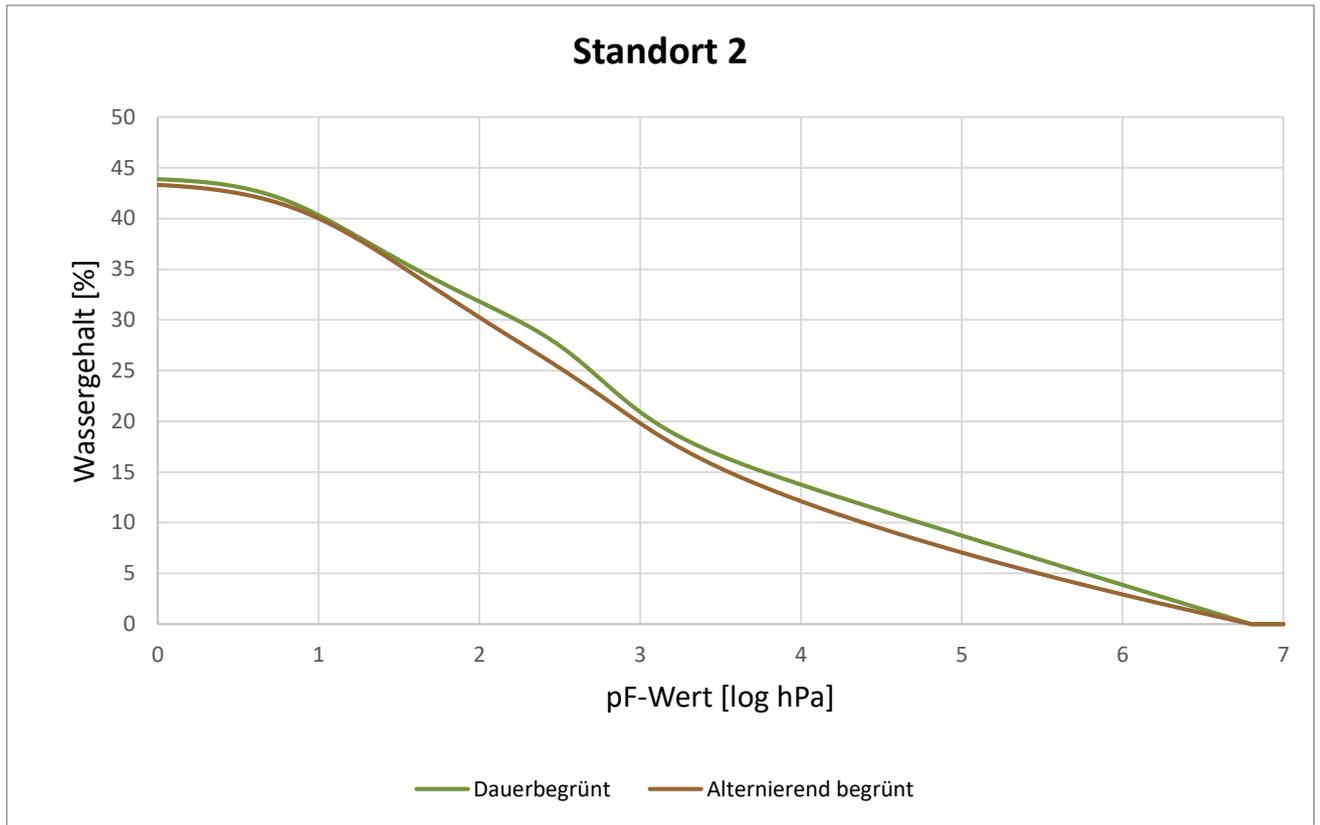


Abbildung 39: pF-Kurve - Standort 2

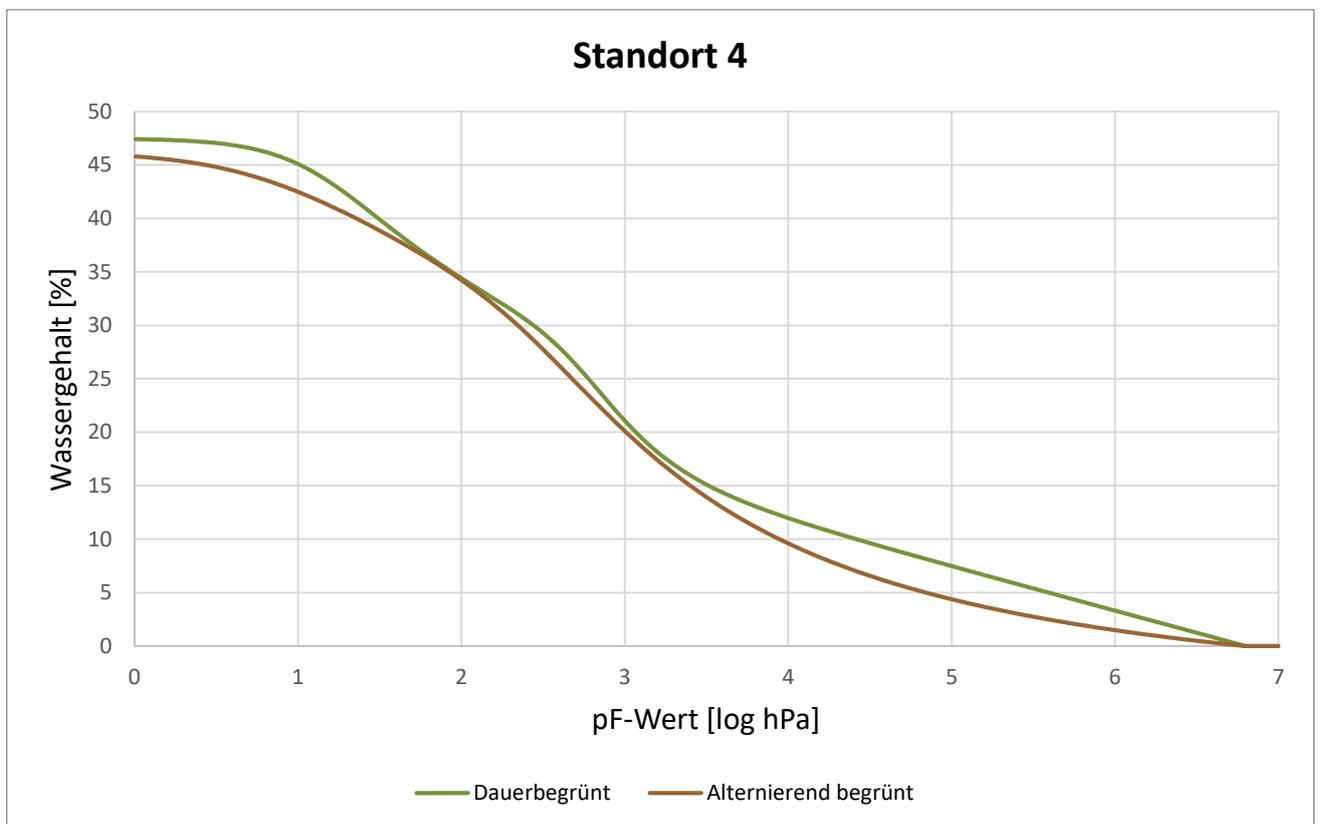


Abbildung 40: pF-Kurve - Standort 4

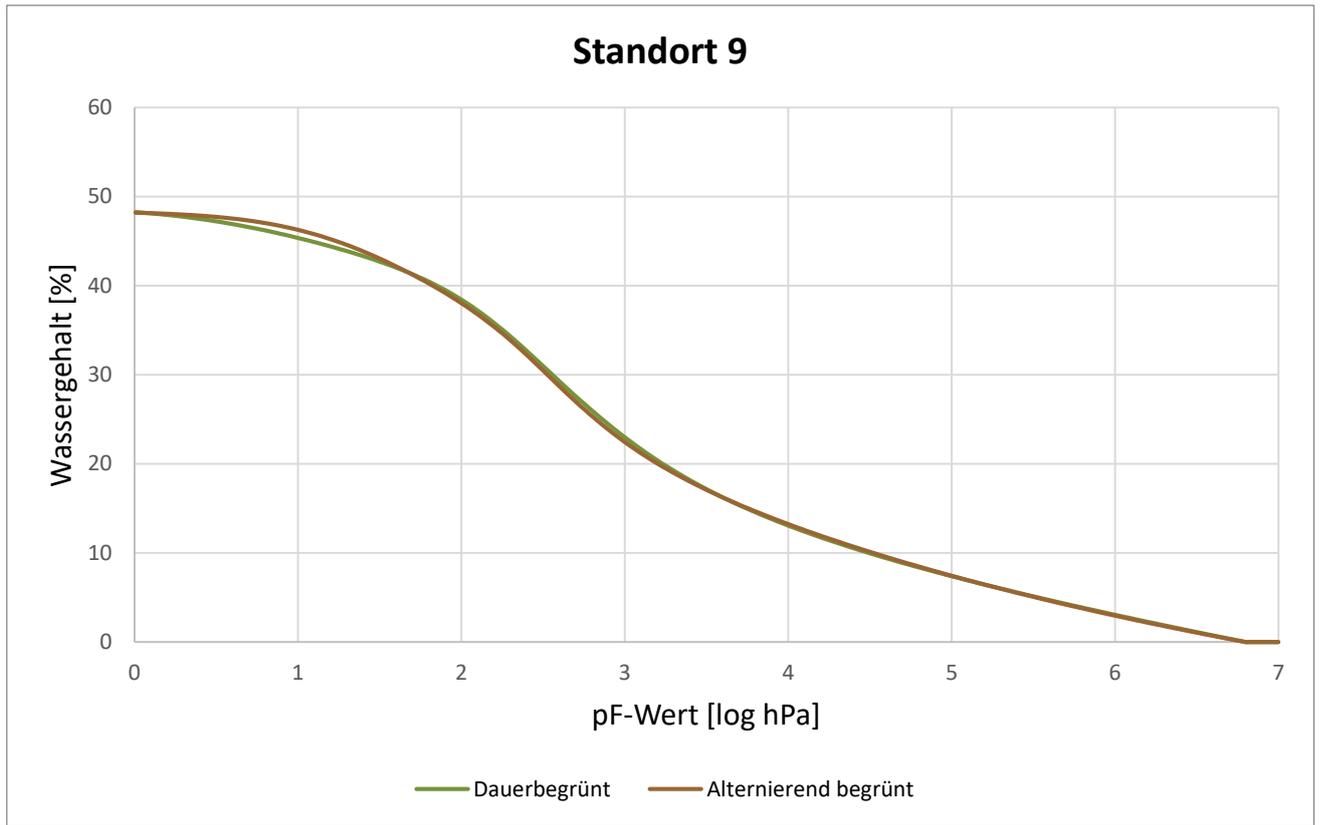


Abbildung 41: pF-Kurve - Standort 9

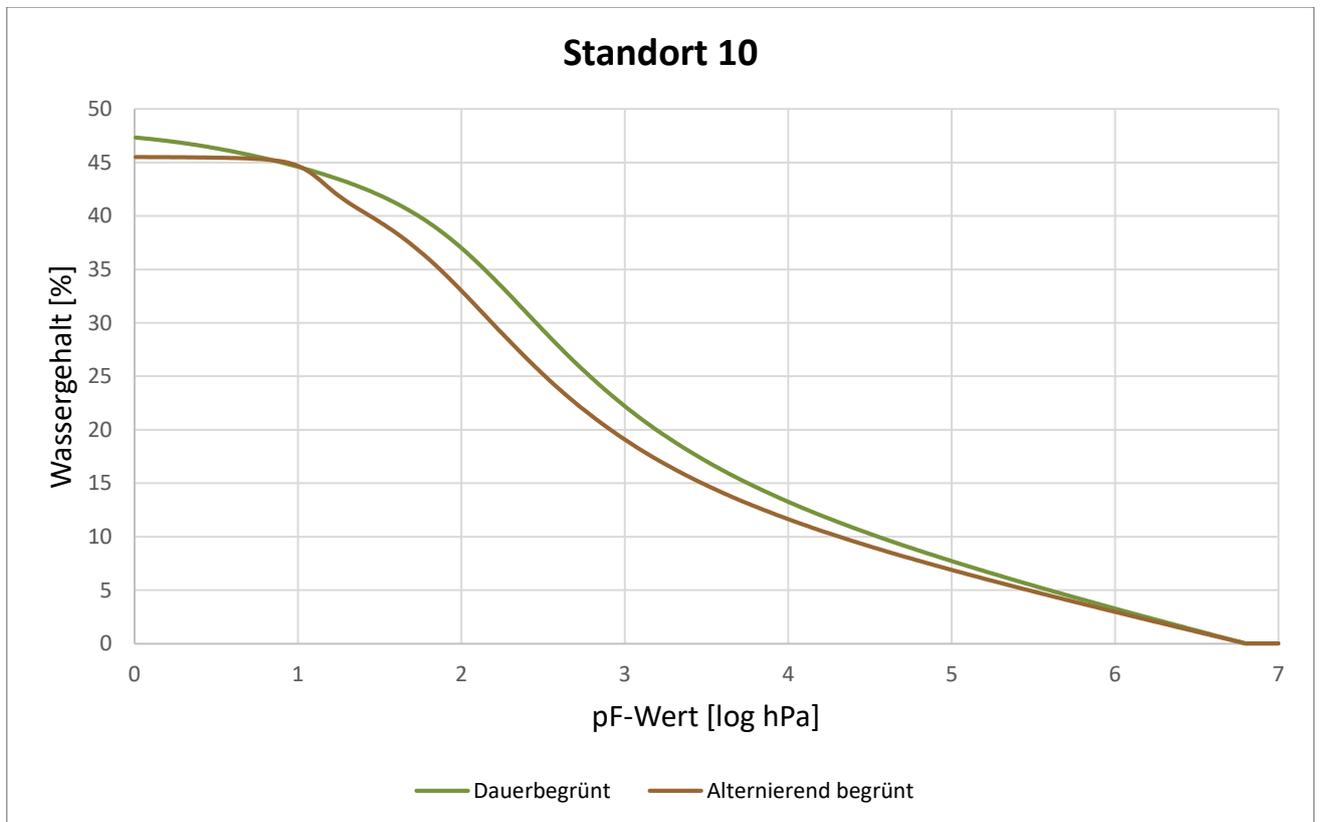


Abbildung 42: pF-Kurve - Standort 10

An Standort 9 (Abbildung 41) ist kein Unterschied, und an Standort 2 (Abbildung 39) nur ein sehr geringer Unterschied zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen zu erkennen. Die zeitliche Differenz zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen liegt an Standort 2 bei nur einem Jahr und an Standort 9 bei zehn Jahren. Die zeitliche Differenz zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen ist an den Standorten 4 und 10 etwas höher. Die dauerbegrünte Fahrgasse an Standort 4 ist seit 46 Jahren ohne Bodenbearbeitung, jene an Standort 10 seit 16 Jahren. Diese Tatsache ist auch in den jeweiligen pF-Kurven der beiden Standorte zu erkennen. An diesen beiden Standorten weisen die Kurven der dauerbegrünten Bewirtschaftung mehr Poren sowie eine höhere Wasserspeicherkapazität auf als jene der alternierend begrünter Fahrgassen. Auch Raczkowski et al. (2012), welche Untersuchungen in Goldsboro, North Carolina hinsichtlich der Auswirkungen von verschiedenen Agrarmanagementsystem (mit und ohne Bodenbearbeitung) auf bodenphysikalische Eigenschaften durchführten, kommen zu dem Ergebnis, dass die Feldkapazität bei Flächen mit Bodenbearbeitung geringer ist. Dies liegt an der Tatsache, dass jene Fläche mit Bodenbearbeitung eine geringere Mikroporosität aufweisen und somit weniger Bodenwasser gegen die Schwerkraft halten können. Es wurde dabei jedoch kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt. Reichert et al. (2017) zeigen bei ihren Untersuchungen an 11-13 Jahren dauerbegrünten sowie Flächen mit Bodenbearbeitung, dass das Befahren mit Maschinen auf dauerbegrünten Flächen die Anzahl der Grobporen reduziert und es zu einer Erhöhung der Mittel- und Feinporen kommt. Dadurch reduziert sich das leicht entwässerbare Wasser und das wasserverfügbare Wasser steigt, wodurch sich die Feldkapazität bei den dauerbegrünten Flächen erhöht. Dies ist an Standort 4 deutlich zu erkennen. Hier zeigt sich, dass die nutzbare Feldkapazität unter einer Dauerbegrünung deutlich höher ist und somit mehr pflanzenverfügbares Wasser im Boden vorhanden ist. Zu dem Ergebnis kamen auch Ruiz-Colmenero et al. (2013) in ihren Untersuchungen, die zeigen, dass sich bei einer dauerbegrünten Bewirtschaftung der Fahrgassen Mittelporen bilden als bei konventioneller Bodenbearbeitung.

5.2.5 Gesättigte hydraulische Leitfähigkeit (KSAT)

Die folgende Tabelle 14 zeigt die durchschnittlichen Werte der vier Standorte hinsichtlich der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit. Jene Werte, welche bei der Durchführung der Untersuchung den Wert größer 50 Meter pro Tag aufwiesen, wurden in die Auswertung mit dem Wert 50 berücksichtigt. Anhand der Werte ist zu erkennen, dass es an den Standorten 2, 4 und 9 keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen gibt. Die Werte für Standort 10 weisen einen signifikanten Unterschied auf. Hier ist die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit bei einer dauerbegrünten Bewirtschaftung signifikant höher.

Standort	Bewirtschaftungsform	gesättigte hydraulische Leitfähigkeit [m/d]	Standardabweichung
2	Dauerbegrünt	29	19
2	Alternierend begrünt	32	19
4	Dauerbegrünt	16	12
4	Alternierend begrünt	18	12
9	Dauerbegrünt	15	17
9	Alternierend begrünt	15	12
10	Dauerbegrünt	24*	19
10	Alternierend begrünt	10*	13

Tabelle 16: gesättigte hydraulische Leitfähigkeit

Abbildung 43 beschreibt die Werte der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit in Form von Boxplots. Es ist zu erkennen, dass an den Standorten 2, 4 und 9 kein großer Unterschied zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen ersichtlich ist. Die Boxplots für Standort 10 zeigen, dass die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit bei einer dauerbegrüntem Bewirtschaftungsweise höher ist als bei einer alternierend begrüntem.

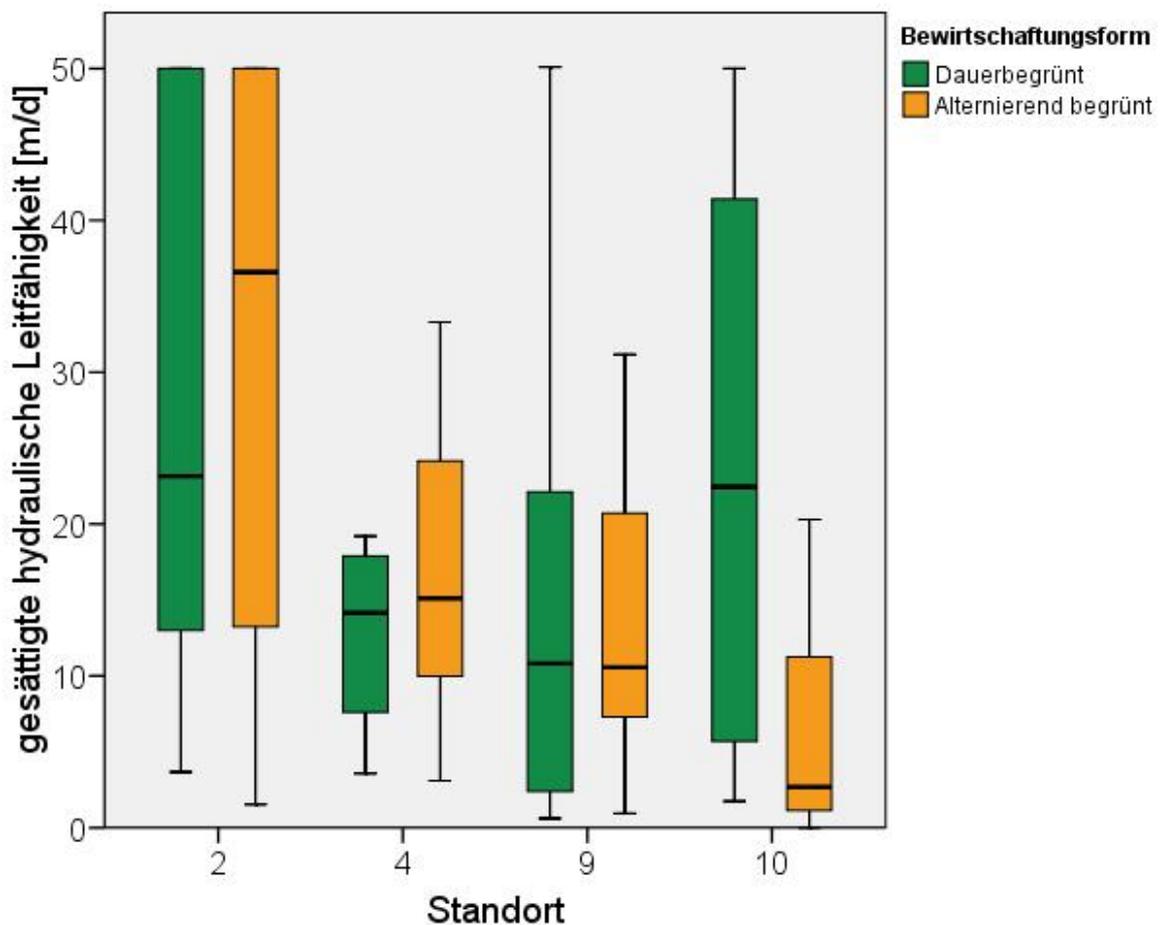


Abbildung 43: gesättigte hydraulische Leitfähigkeit

Die folgenden Abbildungen 44-47 zeigen für jeden Standort eine kumulierte Häufigkeitsverteilung der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit. Es ist erkennbar, dass sich bei den Standorten 2, 4 und 9 kein Trend zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen, dauerbegrünt und alternierend begrünt, hinsichtlich gesättigter hydraulischer Leitfähigkeit abzeichnet. Die kumulierte Häufigkeitsverteilung für Standort 10 (Abbildung 47) zeigt jedoch, dass bei 50 % der Werte die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit bei einer dauerbegrüntem Bewirtschaftung bei 20 m/d, bei einer alternierend begrüntem bei nur 5 m/d, liegt.

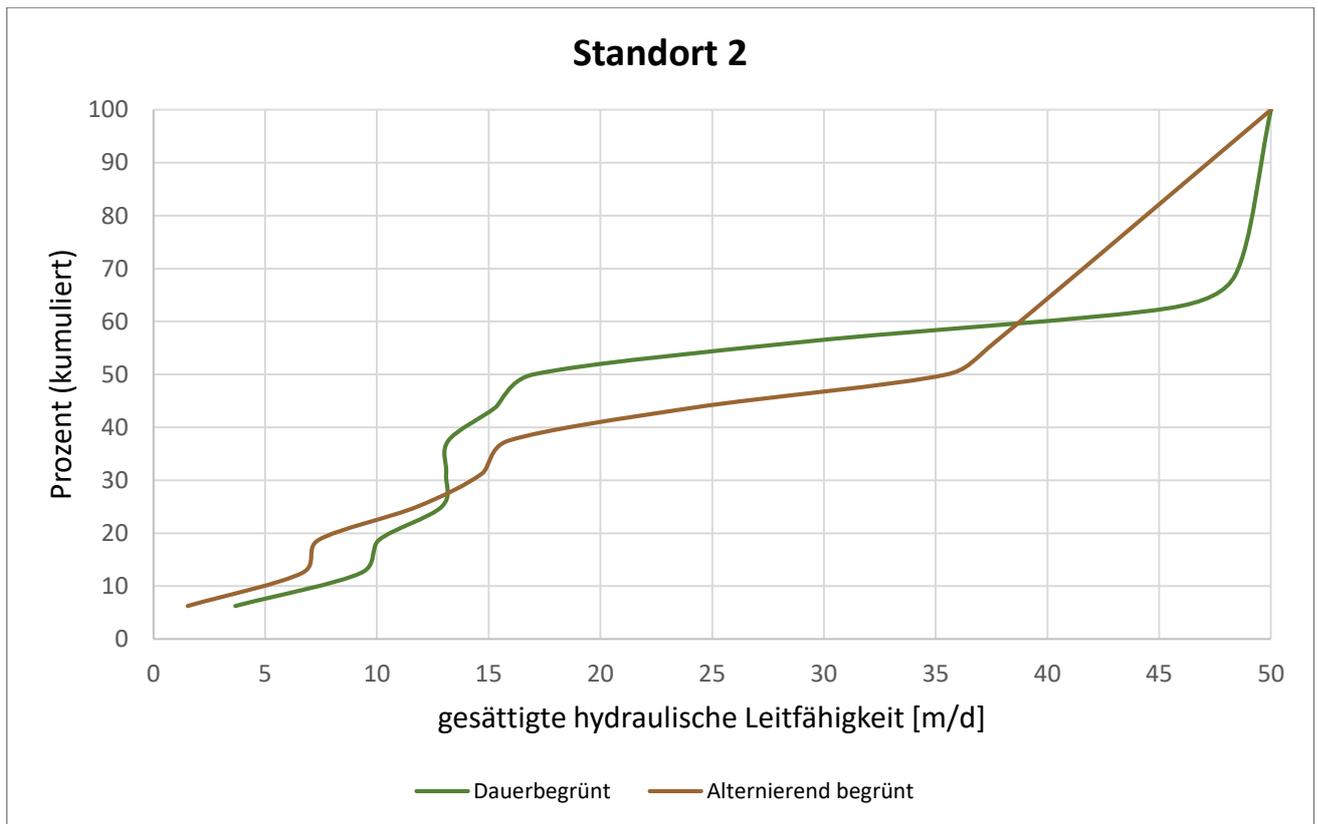


Abbildung 44: Kumulierte Häufigkeitsverteilung der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit - Standort 2

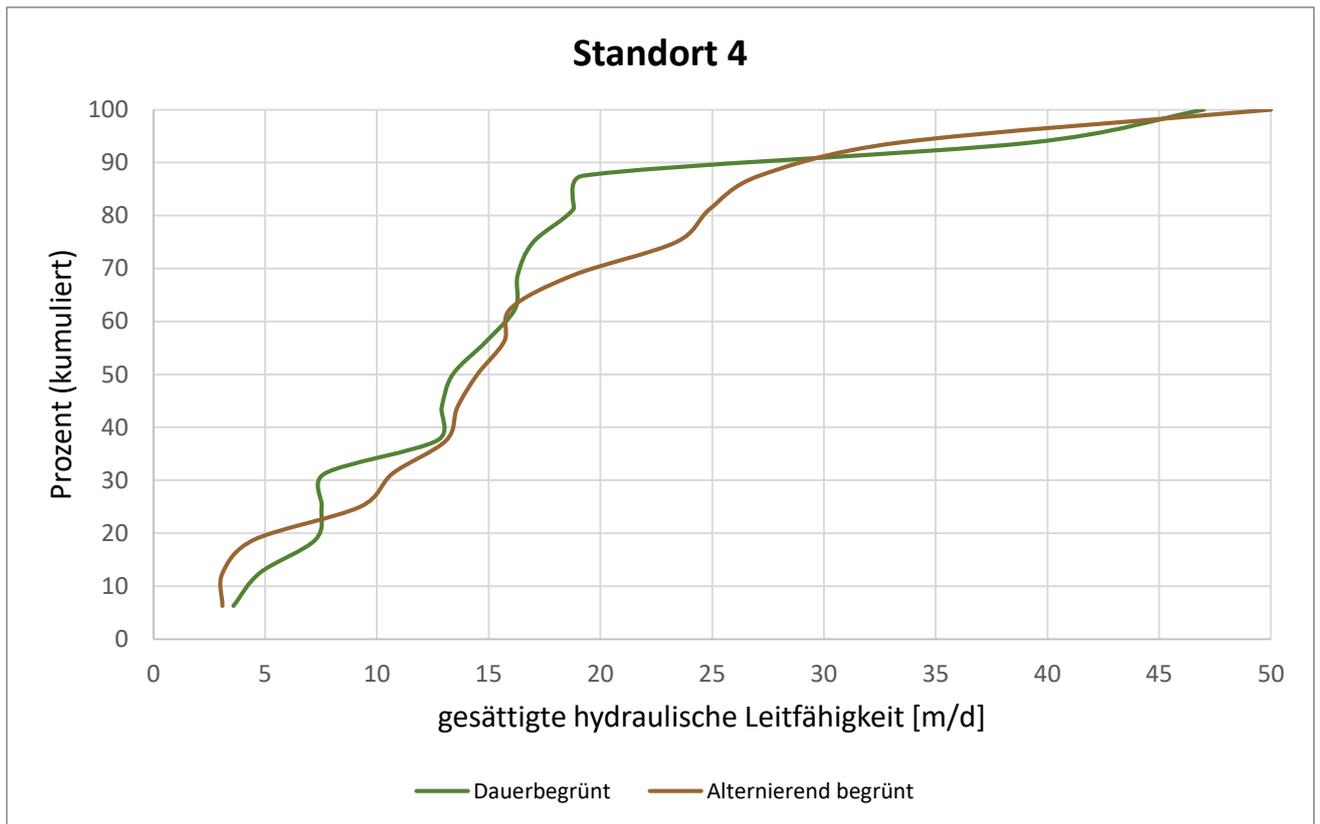


Abbildung 45: Kumulierte Häufigkeitsverteilung der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit - Standort 4

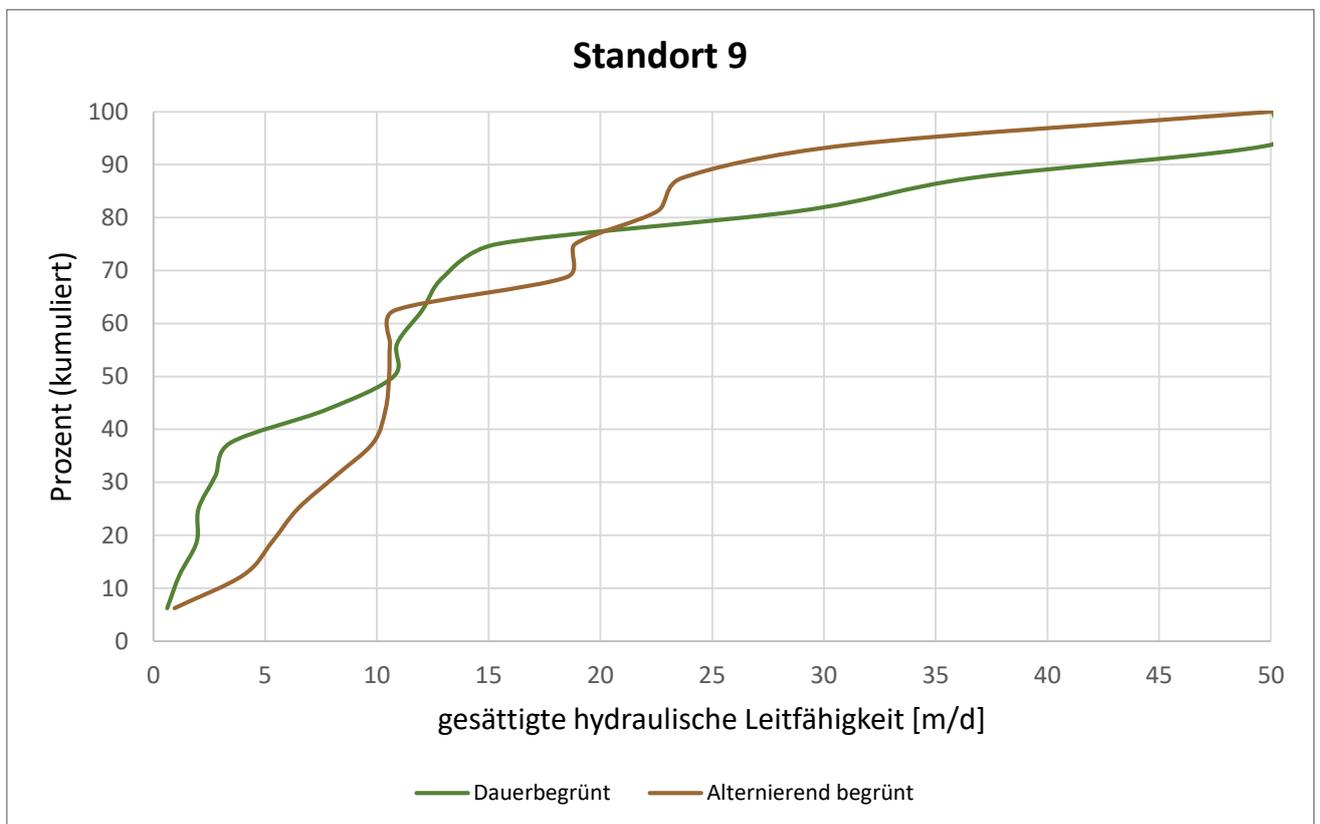


Abbildung 46: Kumulierte Häufigkeitsverteilung der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit - Standort 9

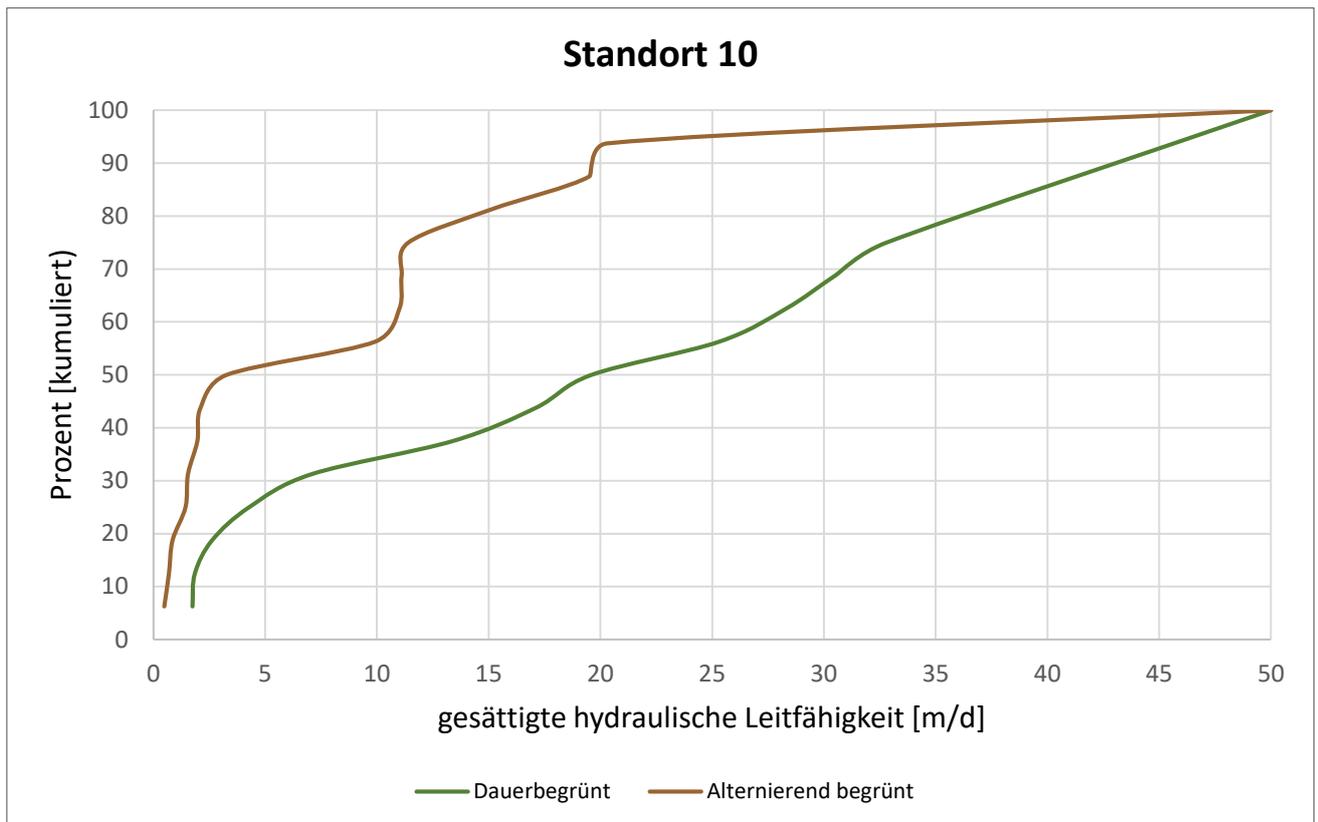


Abbildung 47: Kumulierte Häufigkeitsverteilung der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit - Standort 10

Die Ergebnisse für Standort 4 zeigen, dass die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit bei einer alternierend begrünter Bewirtschaftung höher ist. Die dauerbegrünte Fahrgasse dieses Standorts ist zwar seit 46 Jahren ohne Bodenbearbeitung, aber der Sandgehalt dieses Standorts liegt bei über 50% und an der alternierend begrünter Fahrgasse wurde in dem Jahr der Probenahme eine Bodenbearbeitung durchgeführt. Durch diese Bearbeitung sind in der alternierend begrünter Fahrgasse temporäre Poren entstanden, welche die Leitfähigkeit kurzzeitig fördern. Zu diesem Ergebnis kommen auch Biddoccu et al. (2017) in ihren Untersuchungen, wobei am Feld die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit K_{fs} in den Fahrgassen gemessen wurde. Jene mit konventioneller Bodenbearbeitung wiesen eine höhere gesättigte Leitfähigkeit auf als jene mit Begrünung. An Standort 10 zeigt sich ein umgekehrtes Bild. Hier ist die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit bei einer dauerbegrünter Bewirtschaftungsform höher. Die dauerbegrünte Fahrgasse ist an diesen Standort seit 16 Jahren ohne Bearbeitung. Da dieser Standort einen geringeren Sandgehalt (25%) als Standort 4 (über 50%) aufweist, lässt sich hier gut erkennen, dass durch eine Dauerbegrünung mit der Zeit mehr Poren entstehen. Auch Mudgal et al. (2010) zeigen in ihren Untersuchungen in Mexiko zwischen einer über 100 Jahre dauerbegrünter Wiese und einer Ackerfläche, dass die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit bei einer Dauerbegrünung 57-mal höher ist als auf der Ackerfläche. Das erklären sie mit der Änderung des Porenraumes sowie der Verringerung der Rohdichte über die Jahre hinweg. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass

sowohl die vorherrschende Bodentextur als auch die Bodenbearbeitung einen Einfluss auf die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit haben können.

5.2.6 Ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit (Hyprop)

Die Abbildungen 48-51 visualisieren die K_u -Funktionen der vier Standorte. An Standort 2 (Abbildung 48) ist kein Unterschied der beiden Kurven, und somit zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen zu erkennen. Auch an Standort 4 (Abbildung 49) ist kein großer Unterschied ersichtlich, es zeigt sich lediglich, dass bei einer dauerbegrünten Bewirtschaftung mehr Grobporen vorhanden sind und diese schneller entwässern. Ab einem pF -Wert von 1,8 überkreuzen sich jedoch die Kurven und die Leitfähigkeit ist bei einer alternierend begrüntem Bewirtschaftung höher. An Standort 9 (Abbildung 50) zeigt sich eine bessere ungesättigte Leitfähigkeit bei einer alternierenden Bewirtschaftung bis zu einem pF -Wert von 2, danach gleichen sich die Kurven an. Auch an Standort 10 (Abbildung 51) zeigt sich eine deutlich bessere ungesättigte Leitfähigkeit bei einer alternierend begrüntem Bewirtschaftungsweise.

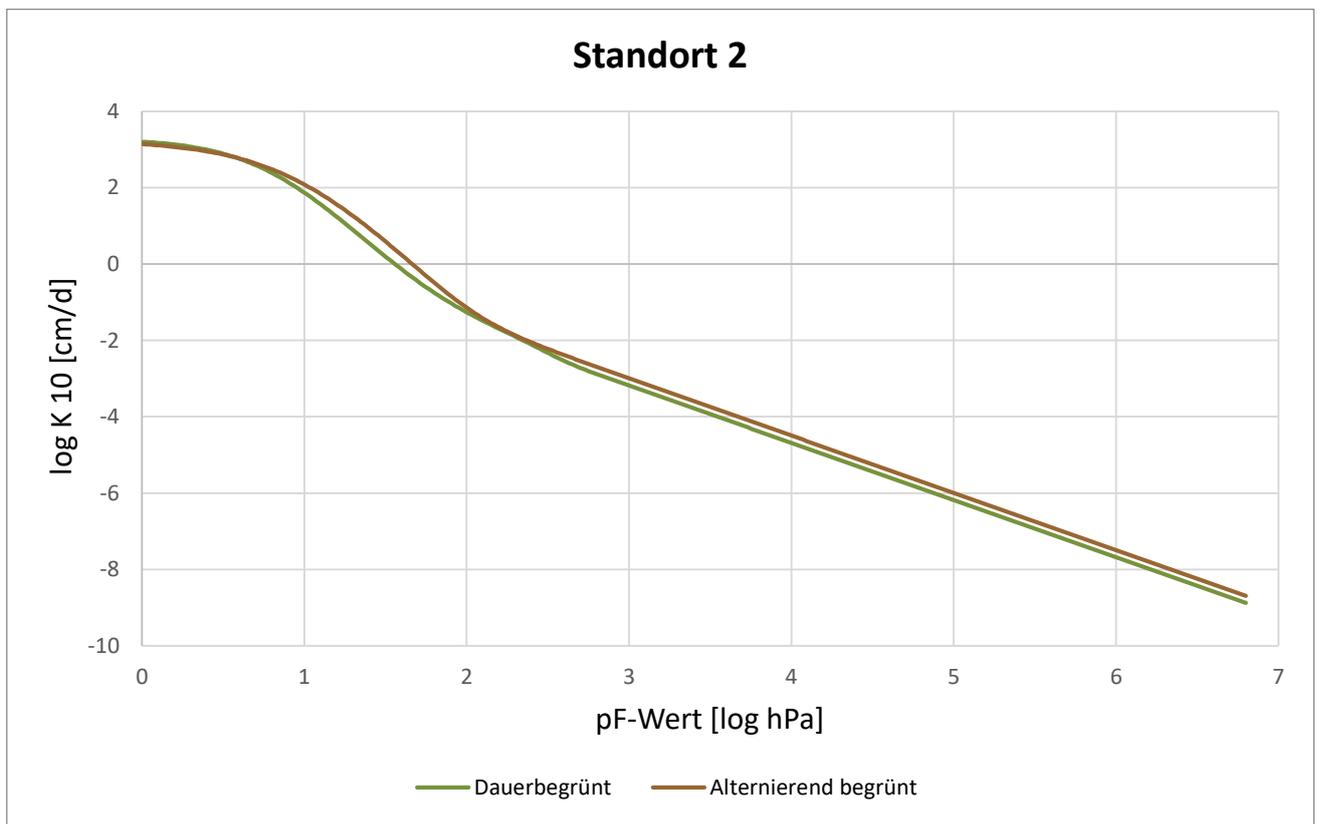


Abbildung 48: K_u -Funktion - Standort 2

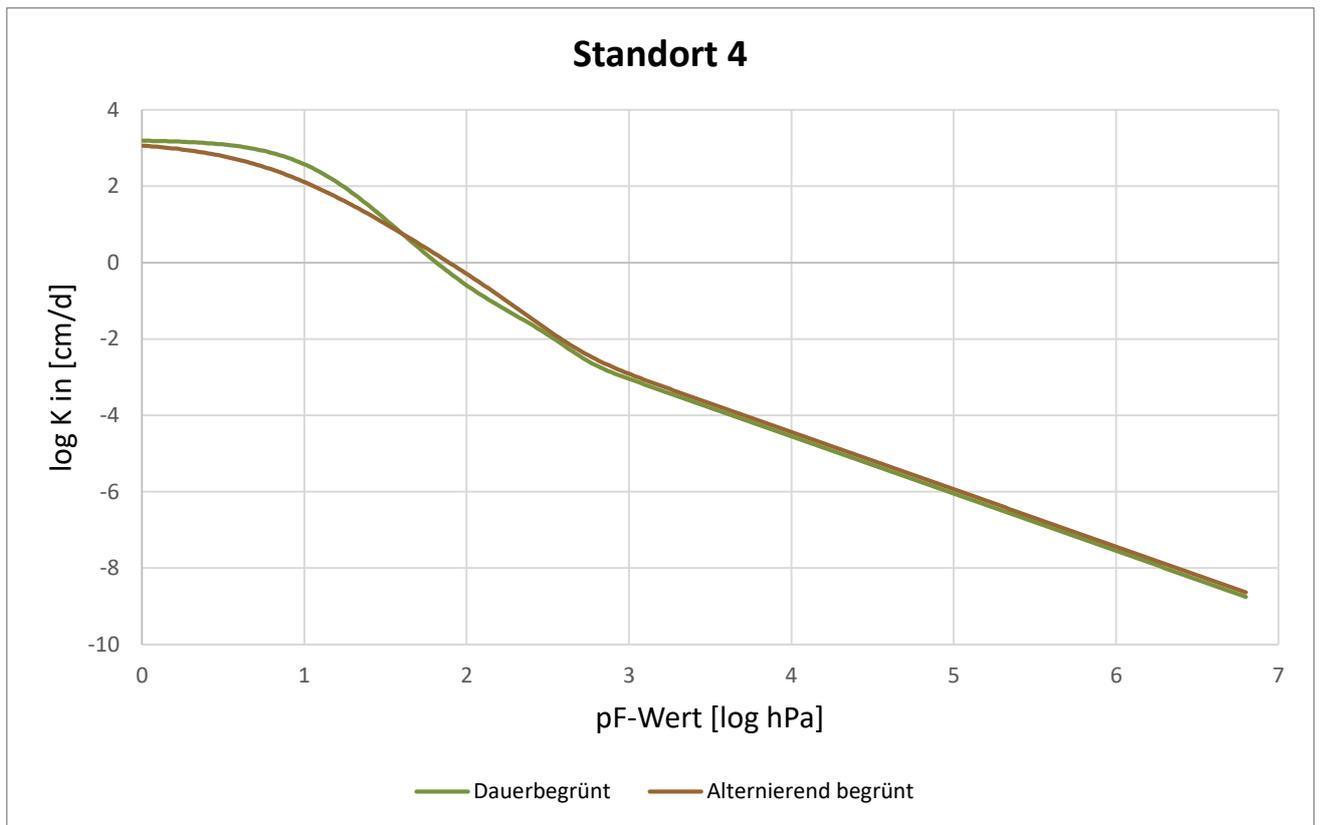


Abbildung 49: KU-Funktion - Standort 4

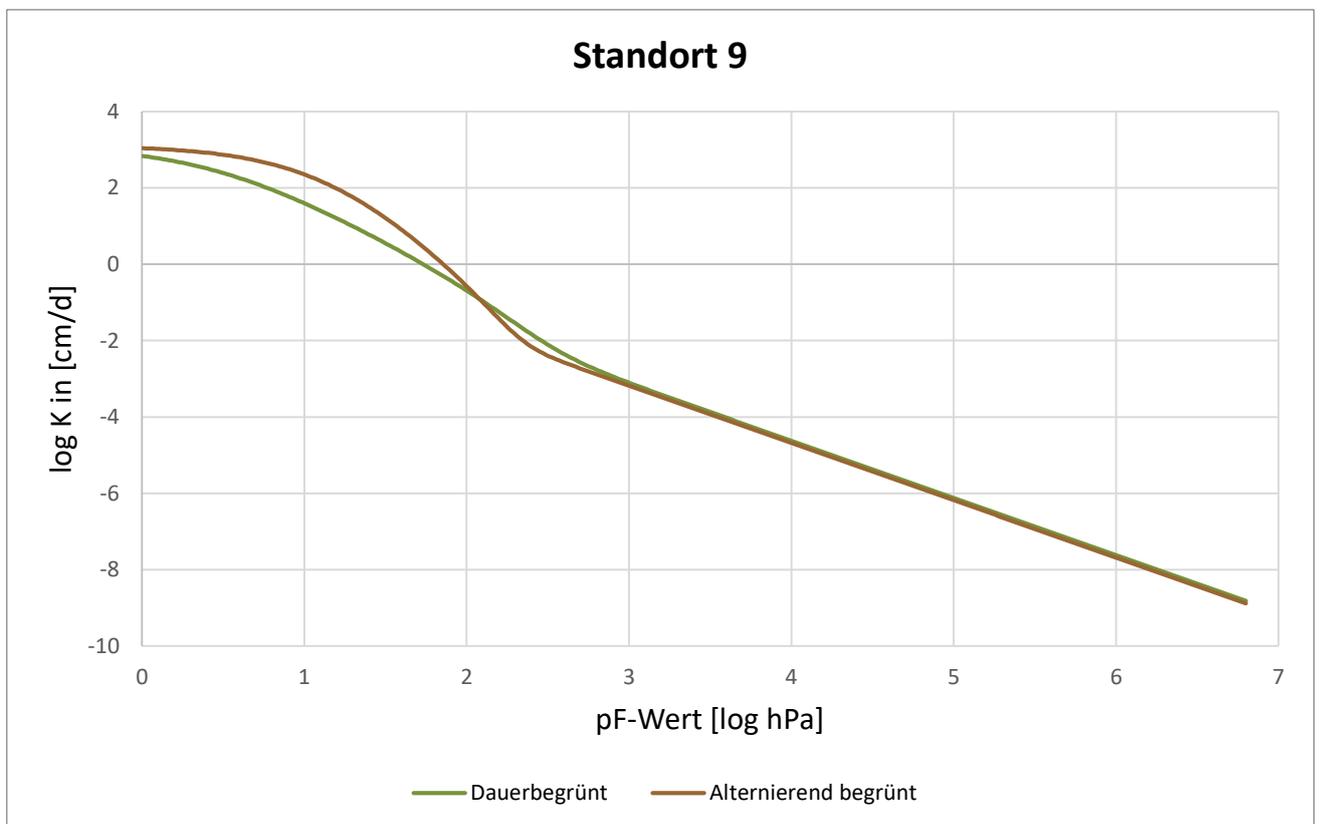


Abbildung 50: KU-Funktion - Standort 9

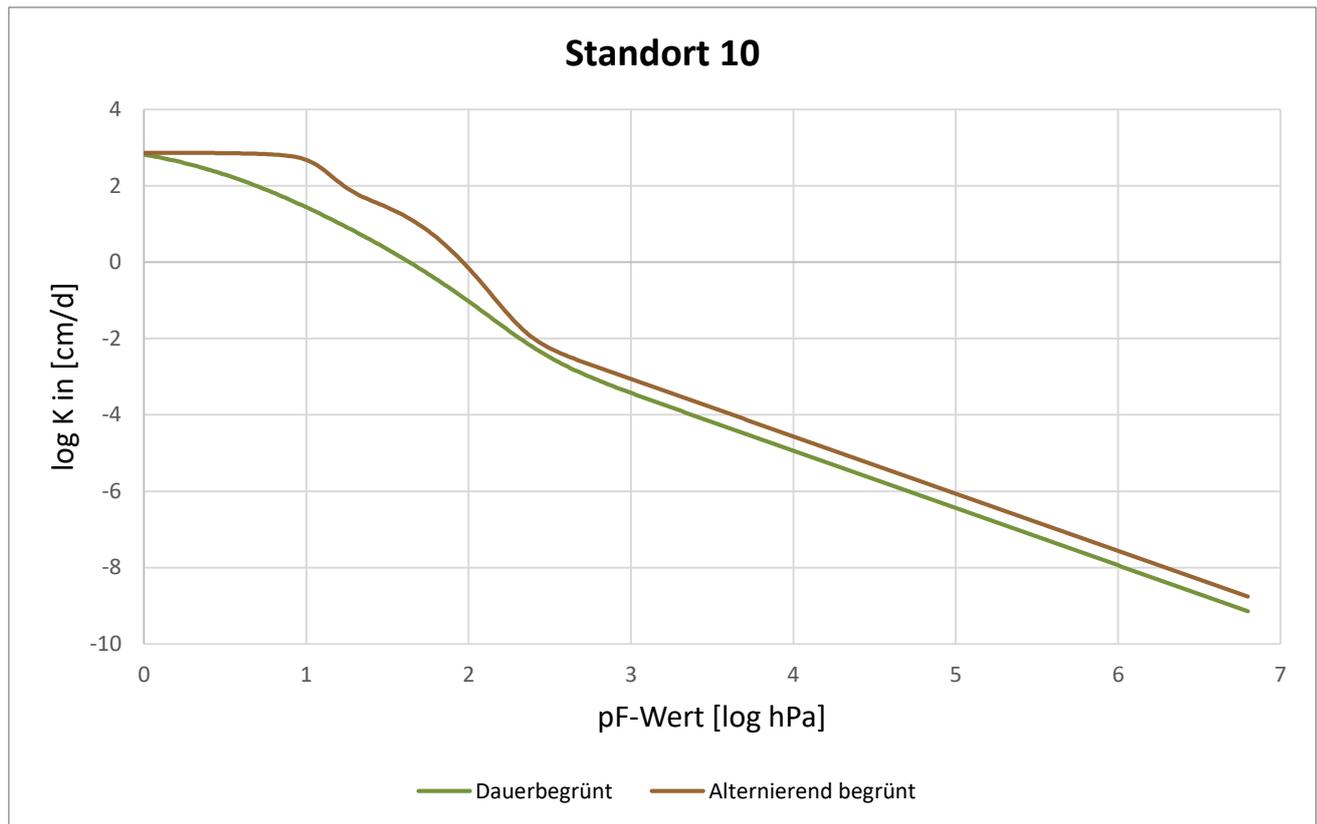


Abbildung 51: KU-Funktion - Standort 10

An Standort 2 (Abbildung 48) ist kein großer Unterschied zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen zu erkennen. Das könnte daran liegen, dass die dauerbegrünte Fahrgasse erst seit 2 Jahre in dieser Weise bewirtschaftet wird und der Standort einen Sandgehalt von 44% aufweist. An Standort 4 (Abbildung 49) ist zu erkennen, dass bei einer dauerbegrünten Bewirtschaftung mehr Grobporen vorhanden sind. An diesen Standort wurde der Boden der dauerbegrünten Fahrgasse seit 46 Jahren nicht mehr bearbeitet. Jedoch ist der Unterschied sehr gering, da dieser Standort ebenso einen hohen Sandgehalt von über 50% aufweist. An Standort 9 (Abbildung 50) und 10 (Abbildung 51) ist ein gegenteiliger Trend zu erkennen. Hier ist ersichtlich, dass bei einer alternierend begrünten Bewirtschaftung mehr Grobporen vorhanden sind und diese das Wasser besser leiten als die der dauerbegrünten Fahrgassen. Beide Standorte weisen mit 21% sowie 25% einen deutlich geringeren Sandgehalt auf. Die alternierend begrünte Fahrgasse des Standortes 9 wird jedes Jahr, und jene Fahrgasse an Standort 10 wurde 2014 mit einer Kreiselegge bearbeitet. Dadurch kann es zu einer temporären Bildung von Grob- und Mittelporen gekommen sein. Auch Raczkowski et al. (2012) kommen zu dem Ergebnis, dass eine konventionelle Bodenbearbeitung zu einer Erhöhung der Makroporosität führt. Hinsichtlich der Mikroporosität konnten sie jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den Bewirtschaftungsformen festgestellt. Reichert et al., (2017) verglichen in ihrer Studie ebenso permanent begrünzte Flächen mit jenen mit Bodenbearbeitung und untersuchten die Auswirkungen auf die bodenphysikalischen Verhältnisse. Sie stellten fest, dass jene Flächen mit Bodenbearbeitung mehr Grobporen aufweisen.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass sich langfristig mehr Grobporen bei einer dauerbegrüntem Bewirtschaftung bilden können, wie an Standort 4 (Abbildung 49). Hier ist die Dauerbegrünung seit 46 Jahren ohne Bodenbearbeitung und es zeigt sich, dass die Grobporen etwas mehr Wasser leiten. Ein zusätzlicher Faktor, der dies beeinflussen kann, ist das individuelle Management des Winzers / der Winzerin. Denn es spielt sicher eine wesentliche Rolle wann, mit welchen Maschinen, und wie oft die Fahrgassen pro Jahr befahren werden. Es zeigt sich auch, dass durch eine Bodenbearbeitung mit einer Scheibenegge oder Kreiselegge in den alternierend begrüntem Fahrgassen vermehrt Grobporen entstehen. Das ist sehr deutlich an Standort 9 und 10 ist zu erkennen.

5.2.7 Haubeninfiltrrometer

Die folgenden Abbildungen 52-55 zeigen die Ergebnisse der Messungen der hydraulischen Leitfähigkeit im nahe gesättigten Bereich mit dem Haubeninfiltrrometer. Auf der Abszissenachse ist die angelegte hydraulische Druckhöhe in hPa, auf der Ordinatenachse die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit in Meter pro Tag aufgetragen.

An Standort 2 (Abbildung 52) ist kein Unterschied der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit hinsichtlich der beiden Bewirtschaftungsformen dauerbegrünt und alternierend begrünt zu erkennen. Abbildung 53 stellt die Ergebnisse für Standort 4 dar. Sie zeigen, dass die dauerbegrünte Fahrgasse eine höhere gesättigte hydraulische Leitfähigkeit aufweist als die alternierend begrünzte. Bei der folgenden Abbildung 54 für Standort 9 zeigt sich ein umgekehrtes Bild. Hier ist die Leitfähigkeit bei einer alternierend begrüntem Bewirtschaftungsweise höher. An Standort 10 (Abbildung 55) zeigt sich bei einer hydraulischen Druckhöhe von -1,6 [hPa] bis -0,6 [hPa] für beide Bewirtschaftungsformen dieselbe Leitfähigkeit. Ab einer hydraulischen Druckhöhe von -0,6 [hPa] ist ein hoher Anstieg der Leitfähigkeit bei der alternierend begrüntem Fahrgasse zu erkennen.

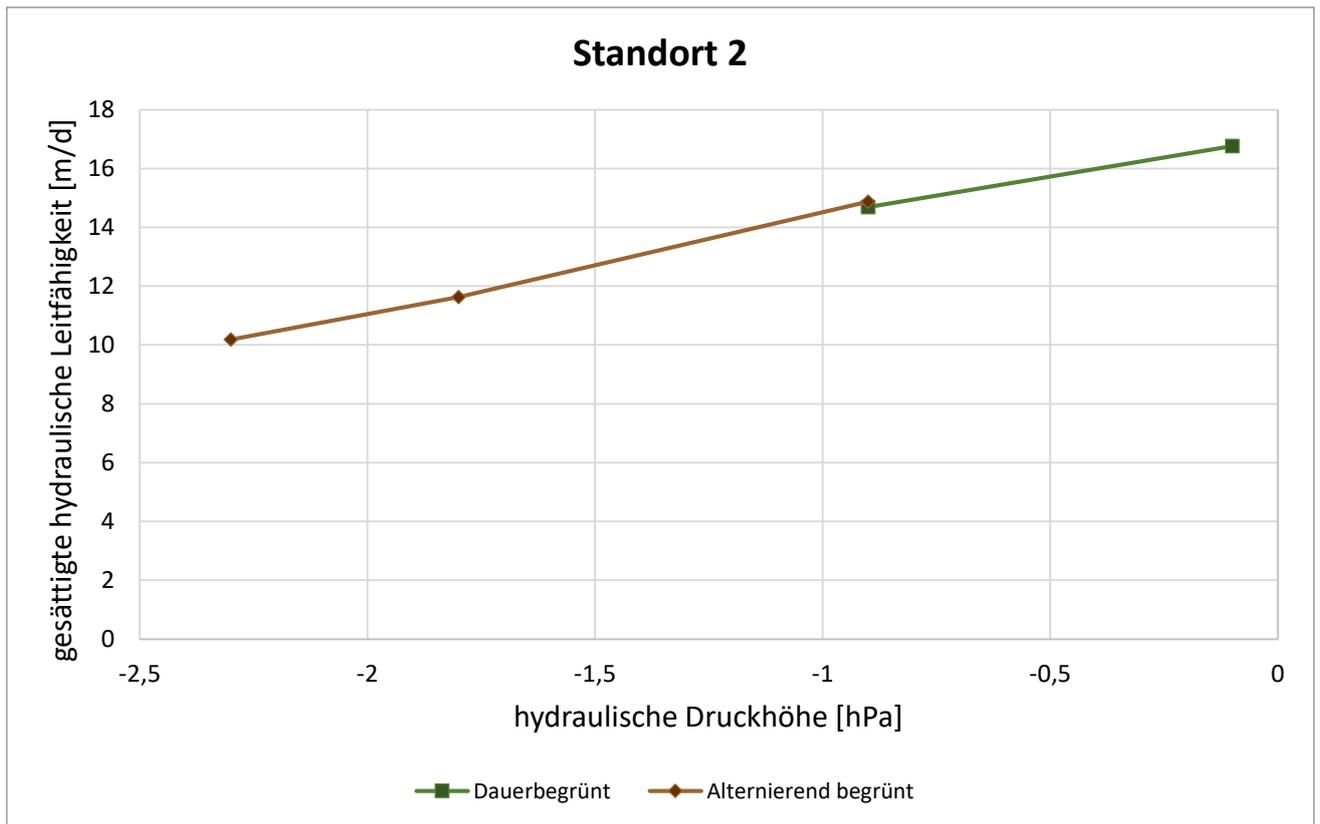


Abbildung 52: Haubeninfiltrrometer - Messrate bei konstanter Fließrate - Standort 2

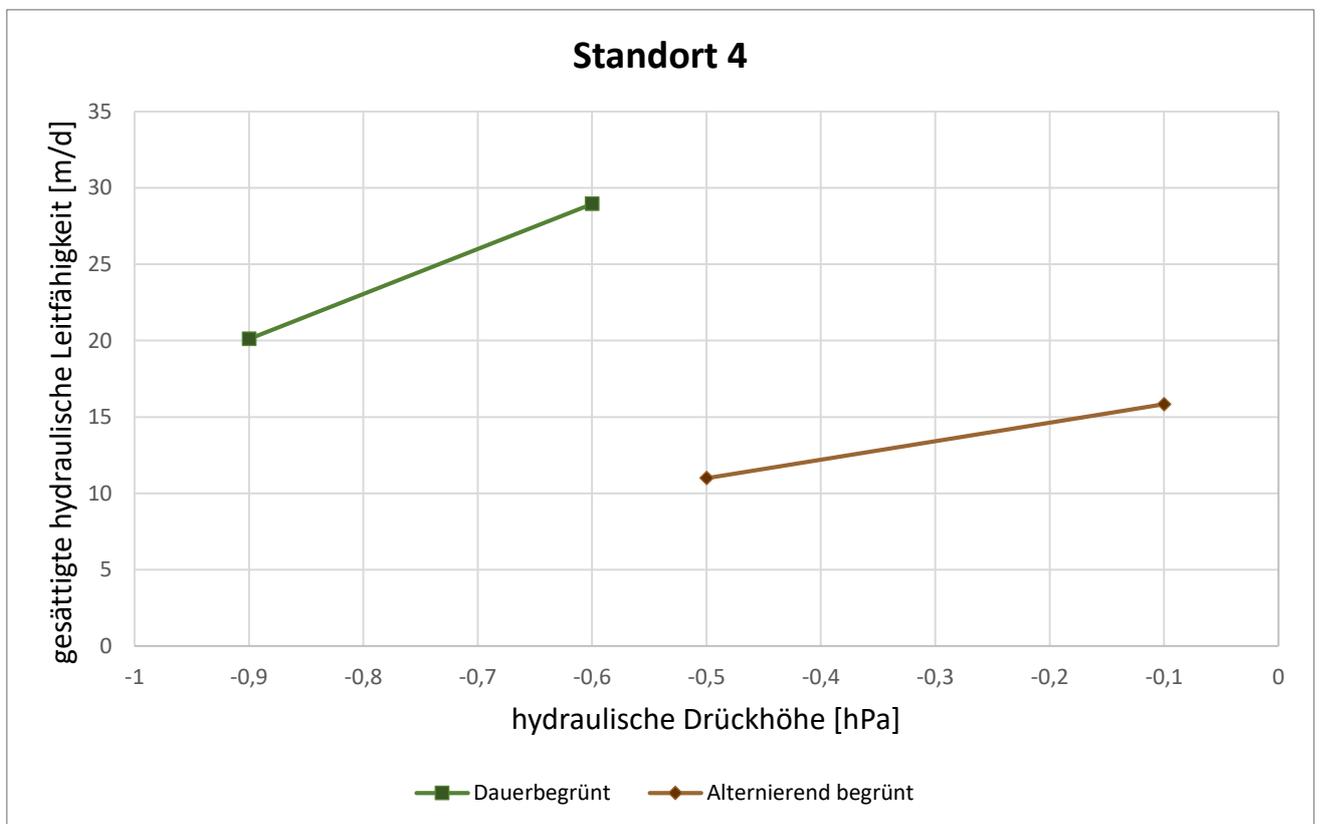


Abbildung 53: Haubeninfiltrrometer - Messrate bei konstanter Fließrate - Standort 4

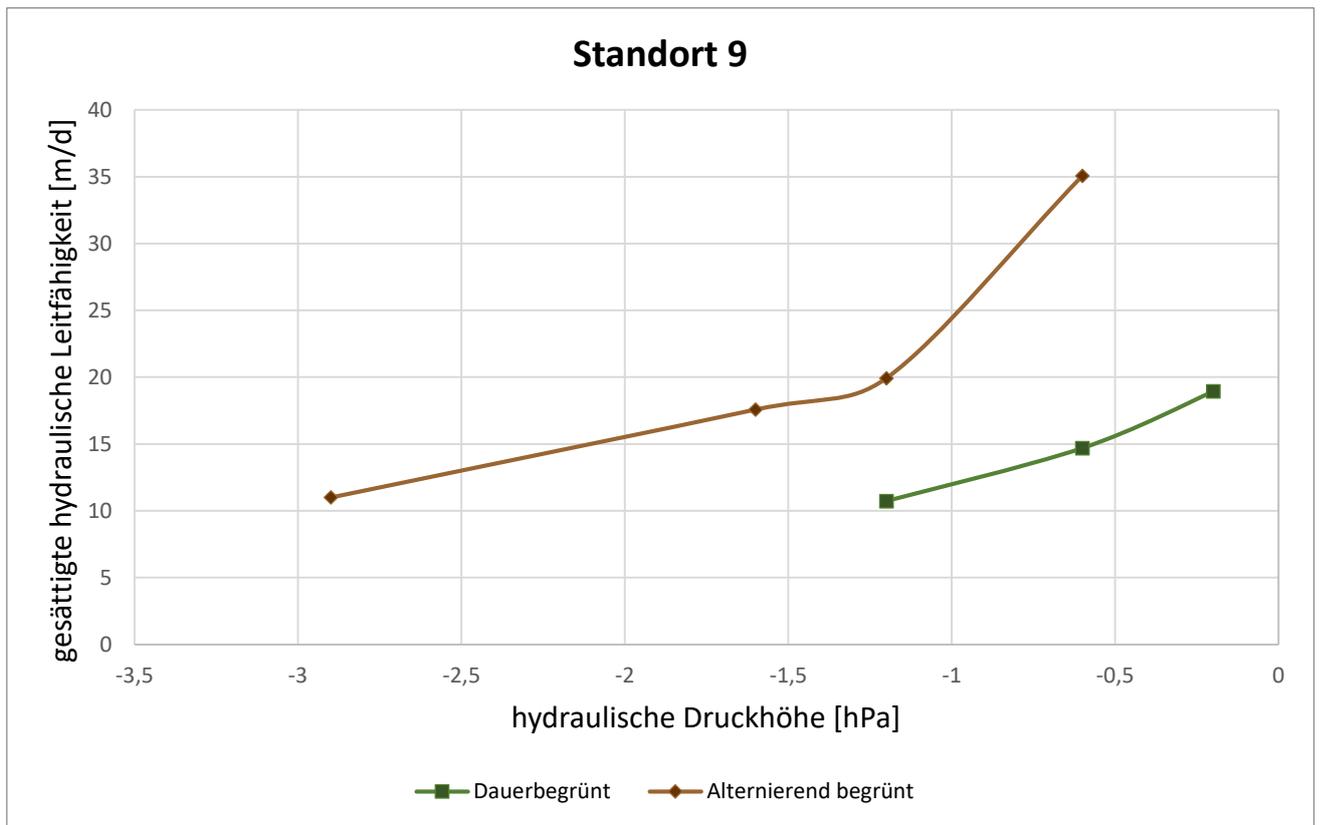


Abbildung 54: Haubeninfiltrrometer - Messrate bei konstanter Fließrate - Standort 9

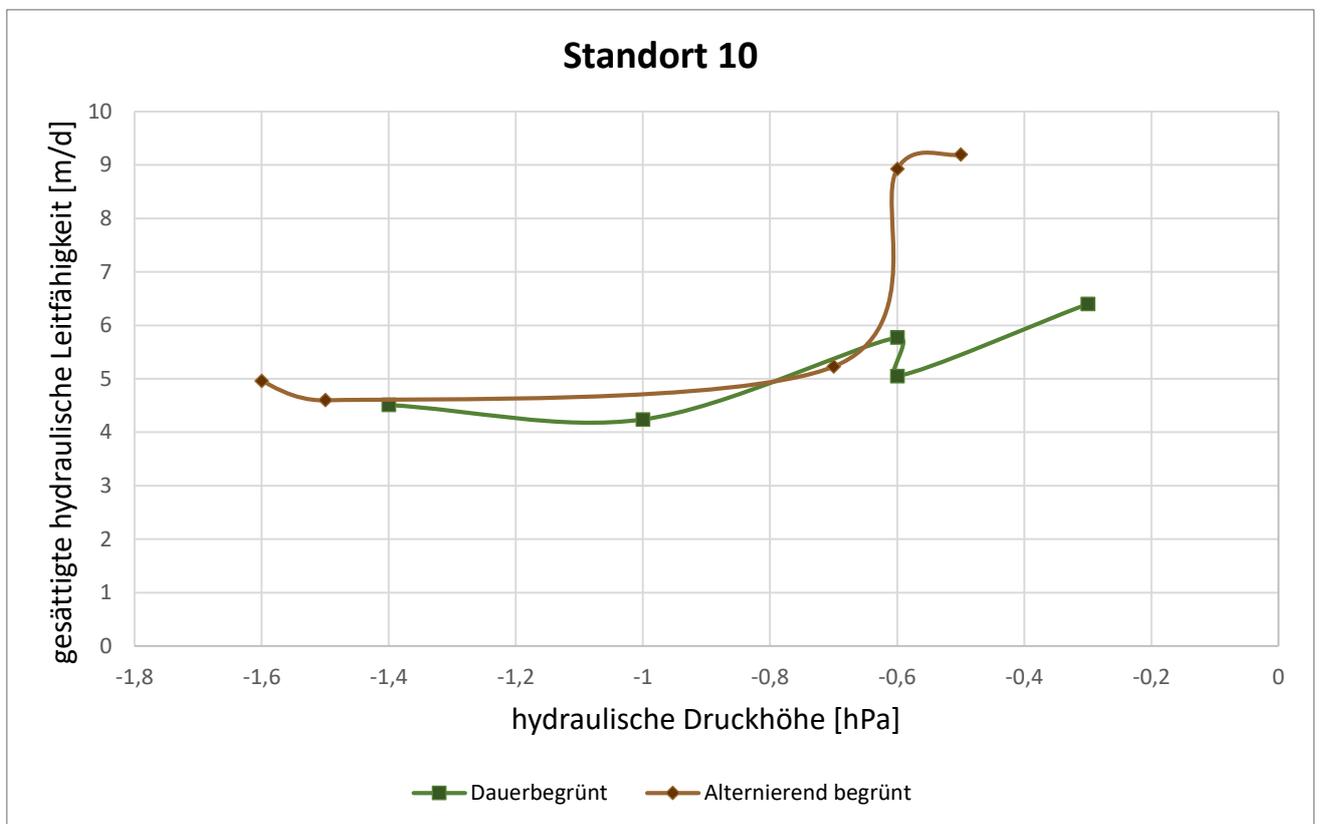


Abbildung 55: Haubeninfiltrrometer - Messrate bei konstanter Fließrate - Standort 10

Die Infiltrationsmessungen wurden mit dem Haubeninfiltrimeter im nahe gesättigten Bereich durchgeführt. Dieses Feldmessgerät ist ein neuartiges Messgerät (Umwelt-Geräte-Technik, 2012; Schwärzel und Punzel, 2007) weshalb keine direkten Vergleiche in der Literatur zu finden sind.

Die Ergebnisse für Standort 2 (Abbildung 52) zeigen keinen Unterschied zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen hinsichtlich der Infiltrationsrate. Eine mögliche Erklärung dafür ist die zeitliche Differenz zwischen den Bodenbearbeitungen der Fahrgassen, welche hier nur ein Jahr beträgt. Abbildung 53 zeigt die grafische Darstellung der Werte für Standort 4. Hier ist die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit unter Dauerbegrünung höher. Ein möglicher Grund hierfür ist, dass an diesen Standort die dauerbegrünte Fahrgasse seit 46 Jahren ohne Bodenbearbeitung ist. Ein ähnliches Ergebnis zeigen auch Ruiz-Colmenero et al. (2013) bei einem Infiltrationsversuch in spanischen Weingärten mittels Doppelringinfiltrimeter. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die Infiltration bei einer dauerbegrünten Fahrgasse sowohl, mit als auch ohne Mahd, höher war, als bei einer Bewirtschaftungsweise mit Bodenbearbeitung. Bereits nach vier Jahren derselben Bewirtschaftungsform waren die Unterschiede zwischen diesen beiden Bewirtschaftungen bei diesen Untersuchungen signifikant. Die Ergebnisse für Standort 9 (Abbildung 54) zeigen ein gegenteiliges Bild. Hier ist die Infiltrationsrate bei einer alternierenden Bewirtschaftungsweise höher. An Standort 10 (Abbildung 55) zeigt sich ein ähnliches Bild. Auch hier ist die Leitfähigkeit bei alternierender Bewirtschaftung höher. Dies liegt möglicherweise daran, dass diese Fahrgasse jährlich mit einer Kreiselegge bearbeitet wird. Auch Carof et al. (2007) untersuchten die Auswirkungen von Bodenbearbeitung auf drei verschiedene Arten von Begrünungen sowie Böden mit Bodenbearbeitung im Norden Frankreichs. Die Messungen der hydraulischen Leitfähigkeit wurden dabei mit einem Disk Infiltrimeter durchgeführt. Die Leitfähigkeit war immer signifikant höher bei Böden mit konventioneller Bodenbearbeitung als bei jenen ohne Bodenbearbeitung. Zwischen den verschiedenen Begrünungsarten wurde kein Unterschied festgestellt. Husse (1983) kommt in seiner Dissertation zu einem anderen Ergebnis. Er führte Infiltrationsmessung mit Hilfe eines Tropfers an einer Parzelle mit Magerrasen sowie mit mechanischer Bodenbearbeitung durch. Die Ergebnisse zeigen einen deutlichen Unterschied der Einsickerungsgeschwindigkeit zwischen den verschiedenen Bodenpflegemaßnahmen. Vor allem in den oberen Bodenhorizonten wurde die Infiltrationsgeschwindigkeit des Wassers durch den Wurzelfilz der Begrünungspflanzen reduziert. Husse verweist aber zusätzlich auf die geringe Ausgangsfeuchte unter der Begrünung, welche auch dazu beigetragen haben könnte.

Anhand der vorliegenden Ergebnisse der Literatur zeigt sich, dass mehrere Faktoren einen Einfluss auf die Infiltration haben können. Die Verdichtung der Boden ist dabei ein maßgeblicher Faktor. Zusätzlich spielt die Art und Weise der individuellen Bodenbearbeitung sowie der Zeitpunkt der Messungen eine wesentliche Rolle.

5.3 Korrelationen zwischen gemessenen bodenphysikalischen Eigenschaften

Zusätzlich zu der Analyse der einzelnen Parameter wurden auch die Zusammenhänge zwischen verschiedenen einzelnen bodenphysikalischen Parametern untersucht. Die folgenden Unterkapitel umfassen die Ergebnisse der Korrelationen zwischen Rohdichte und organischem Kohlenstoffgehalt, Perkulationsstabilität und organischem Kohlenstoffgehalt sowie Perkulationsstabilität und pH-Wert.

5.3.1 Korrelation Rohdichte trocken vs. organischer Kohlenstoffgehalt

Tabelle 17 beinhaltet Korrelation zwischen Rohdichte trocken und organischem Kohlenstoffgehalt. Es zeigt sich, dass es an den Standorten 2, 4 und 10, bei Betrachtung beider Bewirtschaftungsweisen, zu einer signifikanten negativen Korrelation kommt. Am Standort 9 gibt es bei Betrachtung beider Bewirtschaftungsformen keine Korrelation, jedoch ergibt sich bei einer alternierend begrüntem Bewirtschaftungsweise eine signifikante positive Abhängigkeit.

Standort	Bewirtschaftung	Korrelation Rohdichte/Kohlenstoff
2	beide Bewirtschaftungsformen	-0,63**
2	Dauerbegrünt	-0,5
2	Alternierend begrünt	-0,46
4	beide Bewirtschaftungsformen	-0,90**
4	Dauerbegrünt	-0,86**
4	Alternierend begrünt	-0,3
9	beide Bewirtschaftungsformen	0,17
9	Dauerbegrünt	-0,1
9	Alternierend begrünt	0,70*
10	beide Bewirtschaftungsformen	-0,73**
10	Dauerbegrünt	-0,63
10	Alternierend begrünt	-0,61

Tabelle 17: Pearson Korrelationskoeffizient für die Beziehung zwischen Rohdichte und Kohlenstoff

Abbildung 56 stellt ein Streudiagramm zwischen organischem Kohlenstoff und der Rohdichte trocken dar.

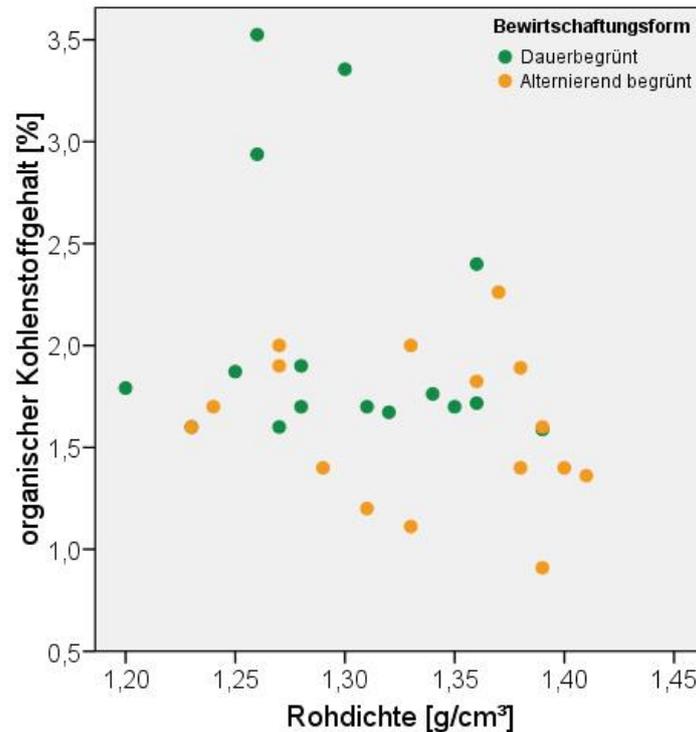


Abbildung 56: Pearson Korrelationskoeffizient zwischen Rohdichte und organischem Kohlenstoffgehalt für alle Standorte ($r = -0,46$)

Abbildung 57 zeigt für jeden einzelnen Standort ein Streudiagramm zwischen organischem Kohlenstoffgehalt und der Rohdichte trocken. An den Standorten 2, 4 und 10 ist gut zu erkennen, dass es bei einer alternierend begrünter Bewirtschaftung zu einer höheren Rohdichte bei geringerem organischem Kohlenstoff kommt. Bei einer dauerbegrünter Bewirtschaftungsweise ist dies umgekehrt, eine geringere Rohdichte führt zu höheren Kohlenstoffgehalten. An Standort 9 ist kein Zusammenhang zwischen organischem Kohlenstoff und Rohdichte ersichtlich. Das Streudiagramm für diesen Standort zeigt bei den Datenpunkten der dauerbegrünter Fahrgasse nur drei Punkte. Das liegt daran, dass zwei Datenpunkte identische Ergebnisse lieferten (organischer Kohlenstoff 1,24 und Rohdichte trocken 1,7) und sich daher die Punkte komplett überschneiden.

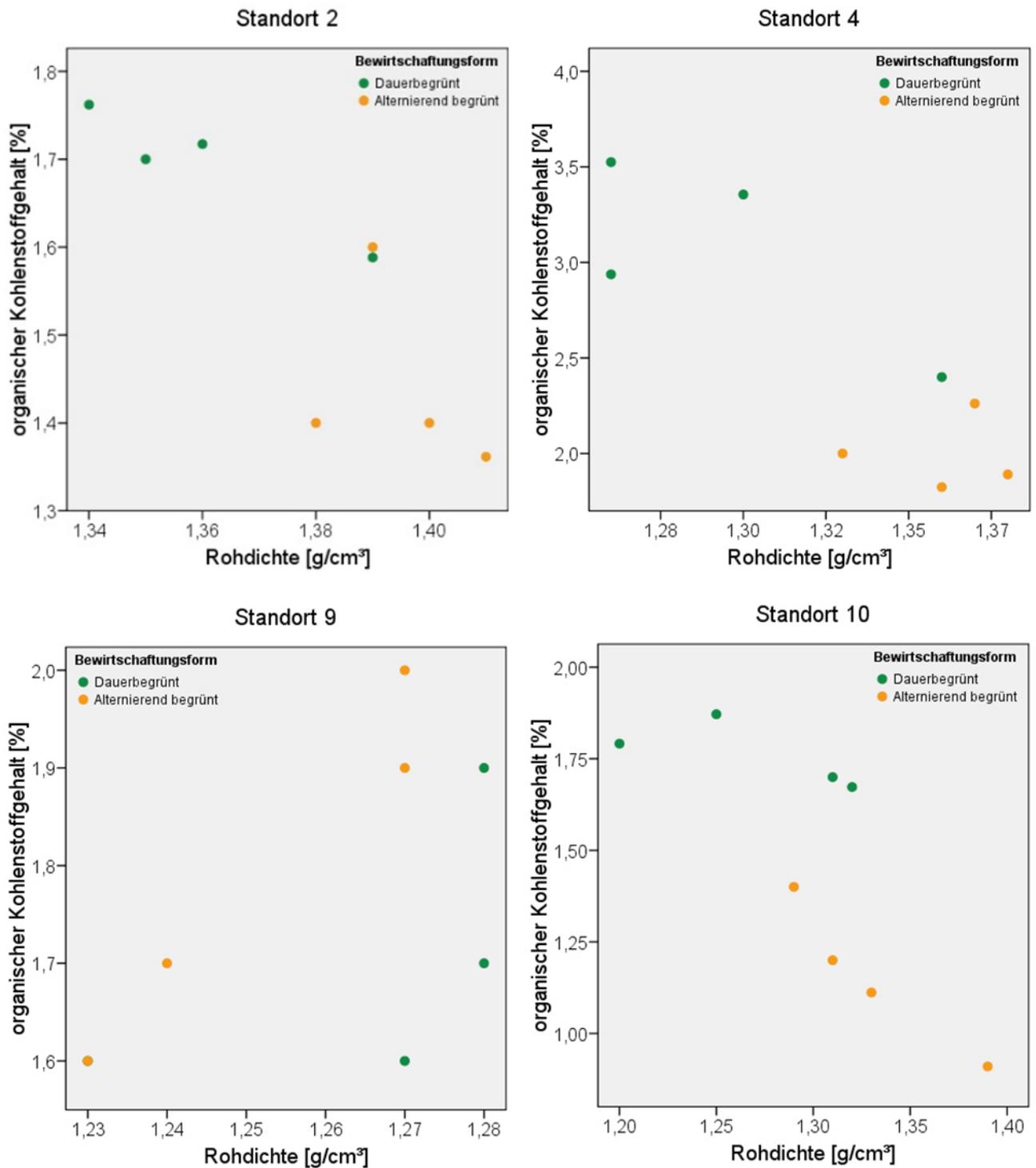


Abbildung 57: Pearson Korrelationskoeffizient zwischen Rohdichte und organischem Kohlenstoffgehalt für alle einzelnen Standorte

Dieser Zusammenhang zeigt im Wesentlichen, dass, bei steigendem Kohlenstoffgehalt die Rohdichte sinkt und umgekehrt. Ein Anstieg des organischen Kohlenstoffgehaltes führt generell zu einer Erhöhung der Gesamtporosität wodurch es in weiterer Folge zu einer Verringerung der Rohdichte kommt. Wird ein enger Bereich dieser Beziehung betrachtet handelt es sich um einen nahezu linearen Zusammenhang (Weil & Magdoff, 2004).

Bei einzelner Betrachtung der Standorte zeigt sich an drei von vier Standorten eine signifikante negative Korrelation. Die höchste Korrelation ergab sich an Standort 4. An diesem Standort ist die dauerbegrünte Fahrgasse bereits seit 46 Jahren ohne Bodenbearbeitung. Neben dem jährlichen Rebschnitt wird in dieser Fahrgasse zusätzlich jedes zweite Jahr Stickstoffdünger ausgebracht, was zusätzlich zu einem Wachstumsschub und somit zu einer Erhöhung des Kohlenstoffgehaltes führen kann. Laut Gisi et al., (1997) kommt es durch Düngung zu einer Steigerung der Wurzelbiomasse. Zusätzlich kann sich der Pflanzenertrag um 10-50% erhöhen. Bei differenzierter Betrachtung der Werte lässt sich erkennen, dass es sich bei der dauerbegrünten Fahrgasse an Standort 4 um eine mittlere bis hohe Korrelation handelt, die alternierend begründete Fahrgasse am selben Standort weist hingegen nur eine geringe Korrelation auf. Für Standort 10 ergibt sich ebenso eine mittlere Korrelation für beide Bewirtschaftungsformen. Die zeitliche Differenz zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen liegt hier bei 15 Jahren. Solch ein Ergebnis ist auch an Standort 2 zu erkennen. Auch die Versuche von Whitelaw-weckert et al. (2007) in Weingärten in Australien zeigen, dass es nach 3 Jahren Dauerbegrünung zu einer Erhöhung des organischen Kohlenstoffgehalt sowie zu einer Verringerung der Rohdichte kommt. Sie schließen daraus, dass die Rohdichte wahrscheinlich mit der Zeit in begründeten Fahrgassen abnimmt. Dies ist auch an den Standorten 2, 4 und 10 dieser Masterarbeit zu erkennen. Auch Eid et al., (2017) kommen bei ihren Untersuchungen, zwischen Flächen mit verschiedener Landnutzung, im Norden des Nildeltas Ägyptens zu dem Ergebnis, dass bei allen untersuchten Flächen eine negative Korrelation zwischen organischem Kohlenstoff und Rohdichte vorhanden ist. Sie zeigen, dass eine Steigerung des organischen Kohlenstoffgehaltes zu einer Verringerung der Rohdichte führt.

5.3.2 Korrelation Perkulationsstabilität vs. organischem Kohlenstoffgehalt

Tabelle 16 zeigt die Werte der Korrelationen zwischen organischem Kohlenstoffgehalt und der Perkulationsstabilität. Es zeigt sich an Standort 2 eine geringe, und an Standort 10 eine sehr hohe positive Korrelation.

Standort	Bewirtschaftung	Korrelation Kohlenstoff/Perkulationsstabilität
2	beide Bewirtschaftungsformen	0,60*
2	Dauerbegrünt	-0,42
2	Alternierend begrünt	0,26
4	beide Bewirtschaftungsformen	0,01
4	Dauerbegrünt	-0,36
4	Alternierend begrünt	-0,47
9	beide Bewirtschaftungsformen	-0,14
9	Dauerbegrünt	0,05
9	Alternierend begrünt	-0,08
10	beide Bewirtschaftungsformen	0,91**
10	Dauerbegrünt	0,7
10	Alternierend begrünt	0,59

Tabelle 18: Pearson Korrelationskoeffizient für die Beziehung zwischen Kohlenstoff und Perkulationsstabilität

Abbildung 58 beschreibt den Zusammenhang zwischen organischem Kohlenstoffgehalt und Perkulationsstabilität anhand eines Streudiagramms. Es ist zu erkennen, dass ein geringerer organischer Kohlenstoffgehalt zu einer niedrigeren Perkulationsstabilität führt.

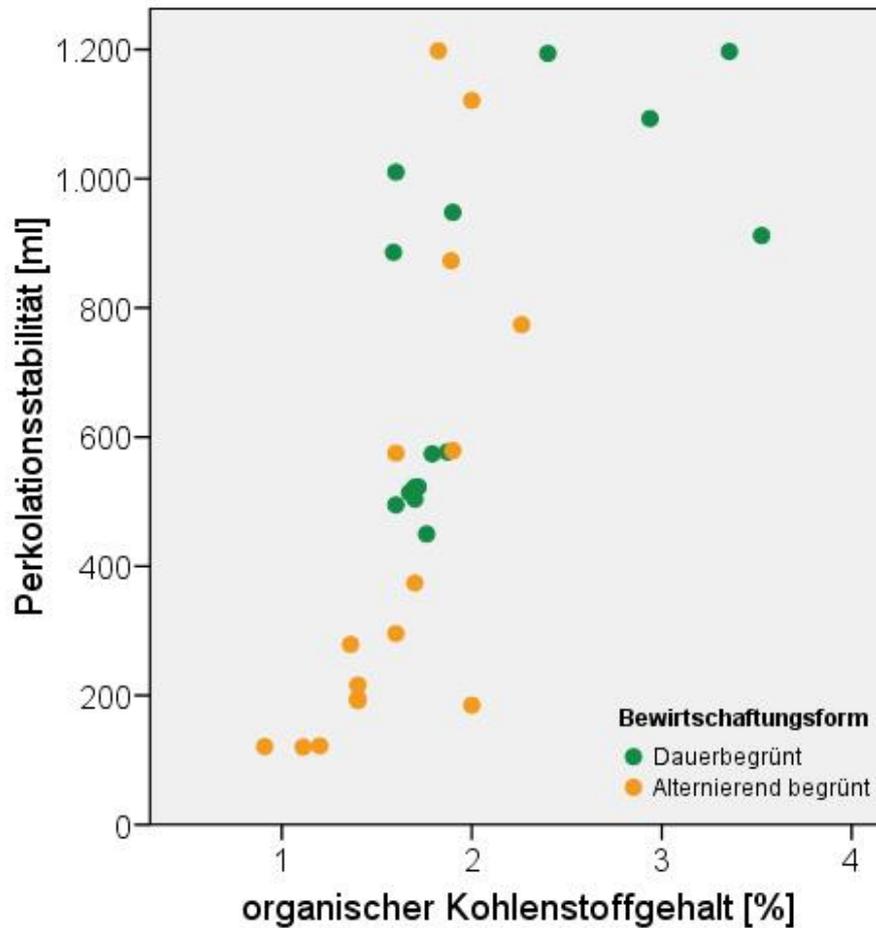


Abbildung 58: Pearson Korrelationskoeffizient zwischen Perkolationsstabilität und organischem Kohlenstoffgehalt für alle Standorte ($r = 0,61^{**}$)

Abbildung 59 zeigt die Korrelation zwischen organischem Kohlenstoffgehalt und Perkolationsstabilität für jeden Standort, dargestellt als Streudiagramm. An Standort 2 und 10 ist deutlich zu erkennen, dass ein geringerer Kohlenstoffgehalt zu einer niedrigeren Perkolationsstabilität führt. Sowie sich bei einem höheren Kohlenstoffgehalt auch die Perkolationsstabilität erhöht. An Standort 4 lässt sich dieser Trend auch erkennen, es ist aber nicht eindeutig. An Standort 9 ist kein Zusammenhang ersichtlich.

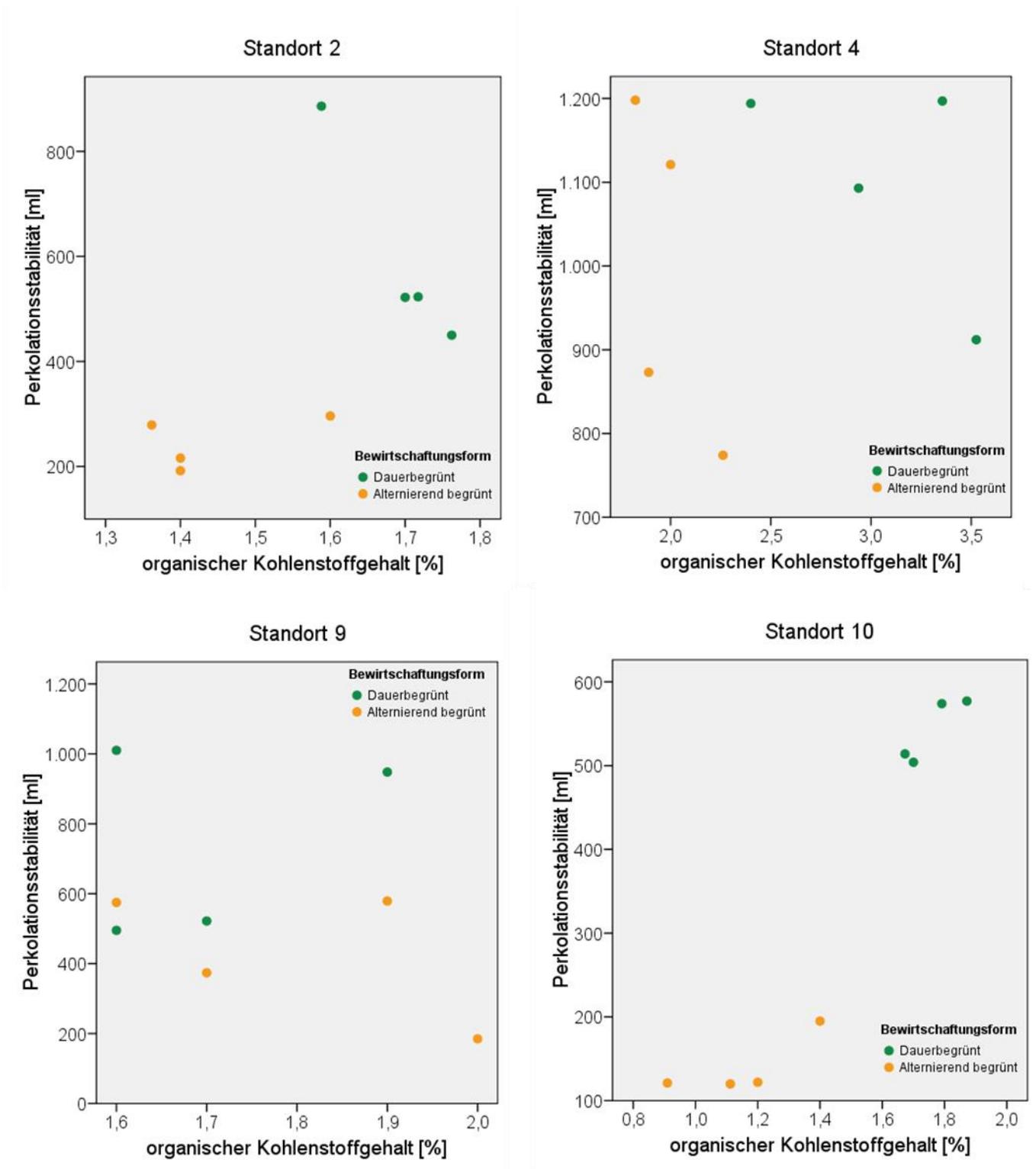


Abbildung 59: Pearson Korrelationskoeffizient zwischen Perkolationsstabilität und organischem Kohlenstoffgehalt für alle einzelnen Standorte

Die Ergebnisse der Korrelation der Parameter organischer Kohlenstoffgehalt und Perkolationsstabilität auf alle Standorte bezogen zeigt einen geringen positiven Zusammenhang. Somit ist zu erkennen, dass ein höherer Kohlenstoffgehalt zu einer höheren Perkolationsstabilität führt. Dies zeigt sich sehr deutlich an den Standorten 2 und 10 mit einer geringen bzw. einer sehr hohen positiven Korrelation. Dieser deutliche Zusammenhang ist auch an den jeweiligen

Standorten in der Abbildung 59 zu erkennen. Die Differenz der Jahre hinsichtlich der verschiedenen Bewirtschaftungsformen beträgt an Standort 2 ein, an Standort 10 15 Jahre. An Standort 4 wurde keine Korrelation zwischen organischem Kohlenstoffgehalt und Perkulationsstabilität ermittelt, obwohl hier an der dauerbegrüntem Fahrgasse seit 46 Jahre keine Bodenbearbeitung durchgeführt wurden. In Abbildung 59 ist jedoch an Standort 4 eine Tendenz Richtung höherer Kohlenstoffgehalt, höhere Perkulationsstabilität zu erkennen. An diesen Standort ist der Sandgehalt über 50%, dadurch kann es auch zu möglichen Abweichungen bzw. Ungenauigkeiten bei den Messungen der Perkulationsstabilität gekommen sein. Diesen positiven Zusammenhang zwischen der Erhöhung des organischen Kohlenstoffgehalts und dadurch der Aggregatstabilität zeigen auch Blavet et al. (2009) bei ihren Untersuchungen in französischen Weingärten. Auch in den Untersuchungen von Auerswald (1995) zeigt sich, dass der Zusammenhang zwischen Perkulationsstabilität und der organischen Substanz signifikant ist und, dass eine Erhöhung der Stabilität der Bodenaggregate mit einer Erhöhung der organischen Substanz zusammenhängt. In der Arbeit von Ruiz-Colmenero et al. (2013) wurde die Aggregatstabilität anhand des Tropf-Testes evaluiert und die Ergebnisse zeigten, dass diese nach zwei Jahren signifikant höher bei jenen beiden Fahrgassen mit einer dauerbegrüntem Bewirtschaftungsweisen war, als bei den Flächen mit Bodenbearbeitung. Sie führten diese Erhöhung der Aggregatstabilität auf eine Erhöhung des organischen Kohlenstoffgehalts sowie auf die Erhöhung der Biomasse durch eine bessere Durchwurzelung zurück. Daraus lässt sich schließen, dass sich die Struktur der Bodenaggregate in wenigen Jahren deutlich verbessern kann.

6 Zusammenfassung mit Zukunftsausblick

Der Boden versorgt die Reben mit Wasser und Nährstoffen und ist im Weinbau somit ein wichtiger Faktor. Die Art und Weise der Bewirtschaftung des Bodens hängt dabei von den jeweiligen Standortfaktoren (Klima, Geologie, Boden, Topographie) sowie der individuellen Einstellung des Winzers / der Winzerin ab. Dabei besteht grundsätzlich die Möglichkeit den Boden zu begrünen, offen zu halten oder eine Kombination beider Bewirtschaftungsweisen anzuwenden. Für diese Masterarbeit wurden an vier weinbaulichen Standorten in den Regionen Carnuntum und Leithaberg Fahrgassen mit Dauerbegrünung und alternierender Begrünung auf ihre bodenphysikalischen Unterschiede untersucht.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass es durch eine Dauerbegrünung der Fahrgassen zu einer Erhöhung des organischen Kohlenstoffes kommt. Dies zeigt sich anhand signifikanter Unterschiede an drei Standorten. Zudem ist ersichtlich, dass die Akkumulation des organischen Kohlenstoffes mit den Jahren der Dauerbegrünung ansteigt. Die Rohdichte der Böden ist an drei Standorten bei einer alternierenden Bewirtschaftungsweise höher. Wobei dieser Wert an einem Standort signifikant ist. Es zeigt sich auch, dass Pflegemaßnahmen, wie Bodenbearbeitung mit Kreiselegge oder Scheibenegge, welche zur Lockerung des Bodens eingesetzt werden, keinen positiven Effekt auf die Rohdichte haben. Sie führen zu keiner dauerhaften Lockerung des Bodens. Weiters zeigen die Ergebnisse, dass die Rohdichte mit den Jahren der Dauerbegrünung abnimmt. Die Korrelation zwischen organischem Kohlenstoff und Rohdichte zeigt an drei Standorten einen signifikanten negativen Zusammenhang. Dies lässt den Schluss zu, dass ein höherer Kohlenstoffgehalt zu einer Verringerung der Rohdichte führt und umgekehrt. Das zeigt, dass die Erhöhung des Kohlenstoffgehaltes bei einer dauerbegrünten Bewirtschaftungsweise zu einer Verringerung der Rohdichte führt.

Um die Stabilität der Bodenaggregate gegenüber Wassereinfluss zu untersuchen, wurden Messungen der Perkulationsstabilität durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Ausflussmengen bei einer Dauerbegrünung an allen Standorten höher sind als bei einer alternierend begrüneten Bewirtschaftungsform. Signifikante Unterschiede ergaben sich dabei an drei Standorten. Zusätzlich zeigen die Ergebnisse, dass die Bodenaggregate der Dauerbegrünung in der Lage sind, mehr Wasser aufzunehmen bevor sie in Mikroaggregate zerbrechen. Daraus lässt sich schließen, dass der Wassergehalt der Feldkapazität bei einer Dauerbegrünung höher ist. Eine Korrelation zwischen Perkulation und organischem Kohlenstoff zeigt für zwei Standorte eine positive Korrelation. Das bedeutet, dass ein höherer Gehalt an organischem Kohlenstoff zu einer Erhöhung der Perkulationsstabilität führt.

Die Ergebnisse bezüglich hydraulischer Leitfähigkeit zeigen keine eindeutigen bzw. signifikanten Ergebnisse, es lassen sich jedoch Trends erkennen. Die ermittelten pF-Kurven zeigen im vollständig gesättigten Zustand an drei Standorten bei einer dauerbegrünten Bewirtschaftungsform einen höheren Wassergehalt. Zusätzlich zeigt sich an zwei Standorten, dass die nutzbare

Feldkapazität bei einer Dauerbegrünung etwas höher ist. Hinsichtlich der gesättigten hydraulische Leitfähigkeit konnten keine eindeutigen Ergebnisse eruiert werden. Die Ergebnisse der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit (Hyprop) zeigen, dass sich langfristig durchaus mehr Grobporen bei einer dauerbegrünten Bewirtschaftung bilden können. Es ist jedoch auch immer vom individuellen Management abhängig. Eine wesentliche Rolle spielt dabei, mit welchen Maschinen sowie in welchen zeitlichen Intervallen die Flächen befahren werden. Zusätzlich zeigt sich, dass durch eine Bodenbearbeitung mit einer Scheiben- oder Kreiselegge in den alternierend begrünten Fahrgassen vermehrt Grobporen entstehen. Die Feldmessungen im nahe gesättigten Bereich mittels Haubeninfiltrrometer ergaben bezüglich Infiltration keine eindeutigen Ergebnisse.

Die Ergebnisse der vorliegenden Masterarbeit zeigen, dass eine Dauerbegrünung sehr viele Vorteile hat. Es ist aber möglich, dass es zu einer Nährstoff- sowie Wasserkonkurrenz mit den Reben kommt. Mögliche Bodenbearbeitungsmaßnahmen wie zum Beispiel das Unterfahren der Fahrgasse ermöglichen, die Begrünung zu erhalten, die Nährstoff- und Wasserkonkurrenz jedoch weitgehend einzuschränken. Diese Art der Bodenbearbeitung stellt möglicherweise eine Alternative für trockene Standorte dar. Welche möglichen Auswirkungen diese Bodenbearbeitung hat wurde in dieser Masterarbeit jedoch nicht untersucht. Dies wäre ein Vorschlag für ein weiteres Forschungsprojekt.

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geographische Lage der vier Standorte.....	15
Abbildung 2: Klimadiagramm Neusiedl am See 2011-2015	16
Abbildung 3: Klimadiagramm Neusiedl am See 2015	17
Abbildung 4: Standort 2 Dauerbegrünt Juli	18
Abbildung 5: Standort 2, alternierend begrünte Fahrgasse im Juni	18
Abbildung 6: Standort 4, dauerbegrünte Fahrgasse im Juli	19
Abbildung 7: Standort 4, alternierend begrünte Fahrgasse im Juni	19
Abbildung 8: Standort 9, dauerbegrünte Fahrgasse im Mai	20
Abbildung 9: Standort 9, alternierend begrünte Fahrgasse im Mai	20
Abbildung 10: Standort 10, dauerbegrünte Fahrgasse im Mai	21
Abbildung 11: Standort 10, alternierend begrünte Fahrgasse im Mai	21
Abbildung 12: Design der Probenahme des Projektes VineDivers	22
Abbildung 13: Apparatur zur Schnellbestimmung des Kalkgehaltes nach Scheibler.....	27
Abbildung 14: Scheiblerapparatur.....	27
Abbildung 15: Texturdreieck.....	29
Abbildung 16: Siebung der Bodenaggregate	32
Abbildung 17: Versuchsaufbau Perkulationsstabilität.....	33
Abbildung 18: Versuchsanlage im Labor	33
Abbildung 19: pF-Kurve.....	35
Abbildung 20: KSAT Messeinheit.....	37
Abbildung 21: Wasserleitfähigkeit (gesättigte und ungesättigte) in Abhängigkeit von dem Matrixpotenzial von Sand-, Schluff- und Tonböden.....	38
Abbildung 22: Hyprop: Sensoreinheit mit den zwei Kerzen der Tensiometer	39
Abbildung 23: Schematischer Aufbau des Haubeninfiltrometers	40
Abbildung 24: Tabellenkopf zur Datenaufzeichnung	42
Abbildung 25: Aufbau des Haubeninfiltrometers bei Feldmessungen.....	42
Abbildung 26: Platzierung des Haubeninfiltrometers in der Fahrgasse	42
Abbildung 27: pH-Wert	45
Abbildung 28: Karbonatgehalt.....	47
Abbildung 29: organischer Kohlenstoffgehalt	49
Abbildung 30: Rohdichte trocken	52
Abbildung 31: Perkulationsstabilität	54
Abbildung 32: Perkulationsstabilität korrigiert	56
Abbildung 33: Perkulationsstabilität korrigiert Standort 4	57
Abbildung 34: Perkulationsstabilität - Zuflußmenge in ml/s - Standort 2.....	58
Abbildung 35: Perkulationsstabilität - Zuflußmenge in ml/s - Standort 4	58
Abbildung 36: Perkulationsstabilität - Zuflußmenge in ml/s - Standort 9.....	59

Abbildung 37: Perkolationsstabilität - Zuflußmenge in ml/s - Standort 10.....	59
Abbildung 38: verbleibendes Retentionswasser des Versuchsbodens nach 10 min Perkolation.	61
Abbildung 39: pF-Kurve - Standort 2.....	64
Abbildung 40: pF-Kurve - Standort 4.....	64
Abbildung 41: pF-Kurve - Standort 9.....	65
Abbildung 42: pF-Kurve - Standort 10.....	65
Abbildung 43: gesättigte hydraulische Leitfähigkeit.....	67
Abbildung 44: Kumulierte Häufigkeitsverteilung der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit - Standort 2	68
Abbildung 45: Kumulierte Häufigkeitsverteilung der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit - Standort 4	69
Abbildung 46: Kumulierte Häufigkeitsverteilung der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit - Standort 9	69
Abbildung 47: Kumulierte Häufigkeitsverteilung der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit - Standort 10	70
Abbildung 48: KU-Funktion - Standort 2	71
Abbildung 49: KU-Funktion - Standort 4	72
Abbildung 50: KU-Funktion - Standort 9	72
Abbildung 51: KU-Funktion - Standort 10	73
Abbildung 52: Haubeninfiltrrometer - Messrate bei konstanter Fließrate - Standort 2	75
Abbildung 53: Haubeninfiltrrometer - Messrate bei konstanter Fließrate - Standort 4	75
Abbildung 54: Haubeninfiltrrometer - Messrate bei konstanter Fließrate - Standort 9	76
Abbildung 55: Haubeninfiltrrometer - Messrate bei konstanter Fließrate - Standort 10	76
Abbildung 56: Pearson Korrelationskoeffizient zwischen Rohdichte und organischem Kohlenstoffgehalt für alle Standorte ($r = -0,46$).....	79
Abbildung 57: Pearson Korrelationskoeffizient zwischen Rohdichte und organischem Kohlenstoffgehalt für alle einzelnen Standorte	80
Abbildung 58: Pearson Korrelationskoeffizient zwischen Perkolationsstabilität und organischem Kohlenstoffgehalt für alle Standorte ($r = 0,61^{**}$)	83
Abbildung 59: Pearson Korrelationskoeffizient zwischen Perkolationsstabilität und organischem Kohlenstoffgehalt für alle einzelnen Standorte	84

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Standortübersicht - Standort 2	18
Tabelle 2: Standortübersicht - Standort 4	19
Tabelle 3: Standortübersicht - Standort 9	20
Tabelle 4: Standortübersicht - Standort 10	21
Tabelle 5: Gesamtkalkgehalt (%)	26
Tabelle 6: Interpretation Korrelationskoeffizient.....	43
Tabelle 7: pH-Wert	44
Tabelle 8: Karbonatgehalt	46
Tabelle 9: organischer Kohlenstoffgehalt.....	48
Tabelle 10: Bodentextur	50
Tabelle 11: Bodentextur Standardabweichung.....	50
Tabelle 12: Rohdichte	51
Tabelle 13: Perkolationsstabilität	54
Tabelle 14: Perkolationsstabilität korrigiert	55
Tabelle 15: verbleibendes Retentionswasser des Versuchsbodens nach 10 min Perkolatation	60
Tabelle 16: gesättigte hydraulische Leitfähigkeit	67
Tabelle 17: Pearson Korrelationskoeffizient für die Beziehung zwischen Rohdichte und Kohlenstoff	78
Tabelle 18: Pearson Korrelationskoeffizient für die Beziehung zwischen Kohlenstoff und Perkolationsstabilität	82

9 Literaturverzeichnis

- Agnelli, A., Bol, R., Trumbore, S. E., Dixon, L., Cocco, S., & Corti, G. (2014). Carbon and nitrogen in soil and vine roots in harrowed and grass-covered vineyards. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 193, 70–82. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2014.04.023>
- Auerswald, K. (1995). Percolation stability of aggregates from arable topsoils. *Soil Science*, 159, No. 2, 142–148.
- Auerswald, K., & Hofmann, R. (1994). Wirkung von Standortbedingungen auf Bodengenese und Strukturstabilität inneralpiner Ackerböden. *Originalarbeit*. Lehrstuhl für Bodenkunde der TU München – Weihenstephan, Freising; 199 – 208.
- Bauer, K., Fox, R., & Ziegler, B. (2004). *Moderne Bodenpflege im Weinbau*. Leopoldsdorf: Österreichische Agrarverlag.
- Bauer, K., Regner, F., & Schildberger, B. (2013). *Weinbau* (9. Auflage). Wien: Cadmos Verlag.
- Biddoccu, M., Ferraris, S., Cavallo, E., Opsi, F., Previati, M., & Canone, D. (2013). Hillslope Vineyard Rainfall-Runoff Measurements in Relation to Soil Infiltration and Water Content. *Procedia Environmental Sciences*, 19, 351–360. <http://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.06.040>
- Biddoccu, M., Ferraris, S., Opsi, F., & Cavallo, E. (2016). Long-term monitoring of soil management effects on runoff and soil erosion in sloping vineyards in Alto Monferrato (North-West Italy). *Soil and Tillage Research*, 155, 176–189. <http://doi.org/10.1016/j.still.2015.07.005>
- Biddoccu, M., Ferraris, S., Pitacco, A., & Cavallo, E. (2017). Soil & Tillage Research Temporal variability of soil management effects on soil hydrological properties , runoff and erosion at the field scale in a hillslope vineyard. *Soil and Tillage Research*, 165, 46–58. <http://doi.org/10.1016/j.still.2016.07.017>
- Blavet, D., De Noni, G., Le Bissonnais, Y., Leonard, M., Maillo, L., Laurent, J. Y., ... Roose, E. (2009). Effect of land use and management on the early stages of soil water erosion in French Mediterranean vineyards. *Soil and Tillage Research*, 106(1), 124–136. <http://doi.org/10.1016/j.still.2009.04.010>
- Blume, H.-P., Stahr, K., & Leinweber, P. (2011). *Bodenkundliches Praktikum* (3. Auflage). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Bruggisser, O. T., Schmidt-Entling, M. H., & Bacher, S. (2010). Effects of vineyard management on biodiversity at three trophic levels. *Biological Conservation*, 143(6), 1521–1528. <http://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.03.034>
- Buchgraber, K., & Gindl, G. (2004). *Zeitgemässe Grünlandbewirtschaftung* (2. Auflage). Graz - Stuttgart: Leopold Stocker Verlag.
- Bühl, A. (2008). *SPSS 16 Einführung in die moderne Datenanalyse* (11. Auflage). München: Pearson Studium.
- Bundesamt für Wasserwirtschaft - Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt. (n.d.). STANDARDARBEITSANWEISUNG SAA - IKT - 15 - 03 Elektrometrische Bestimmung des pH-Wertes.
- Bundesamt für Wasserwirtschaft - Institut für Kulturtechnik und Wasserhaushalt. (n.d.). Standardarbeitsanweisung SAA - IKT - 42-01 Bestimmung von organischem Kohlenstoff (TOC) im Boden. Bundesamt für Wasserwirtschaft Instiut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt.
- Bundesamt für Wasserwirtschaft Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt. (n.d.). Standardarbeitsanweisung SAA - IKT - 13 - 04 Karbonatbestimmung nach Scheibler.

- Bundesamt für Wasserwirtschaft Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt. (n.d.). Standardarbeitsanweisung SAA - IKT - 21 - 05 Korngrößenbestimmung 2mm - kombiniertes Nasssieb- u.
- Bundesamt für Wasserwirtschaft Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt. (n.d.). Standardarbeitsanweisung SAA - IKT - 22 - 04 Korngrößenbestimmung ≥ 2 mm durch Trockensiebung.
- Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft Institut für Bodenwirtschaft. (2001). *Die österreichische Bodenkarte 1 : 25.000*. Wien.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft - Umwelt und Wasserwirtschaft. (2014). *Sachgerechte Düngung im Weinbau*. Wien.
- Carof, M., Tourdonnet, S. De, Coquet, Y., Hallaire, V., Rennes, I. A., & Rennes, F.-. (2007). Hydraulic conductivity and porosity under conventional and no-tillage and the effect of three species of cover crop in northern France. *Soil Use and Management*, 23, 230–237. <http://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2007.00085.x>
- Celette, F., & Gary, C. (2008). Spatial and temporal changes to the water regime of a Mediterranean vineyard due to the adoption of cover cropping. *European Journal of Agronomy* 29, 153–162. <http://doi.org/10.1016/j.eja.2008.04.007>
- Eid, E. M., Moghanm, F. S., & Shaltout, K. H. (2017). Effect of the different types of land-use on the distribution of soil organic carbon in north Nile Delta, Egypt. *Rendiconti Lincei*, 28(3), 481–495. <http://doi.org/10.1007/s12210-017-0621-3>
- Fally, J., & Fischer, M. A. (2015). Abgerufen am 11.April 2018 von <http://burgenlandflora.at/klima/>
- Frey, S. D., Coleman, D. C., Wall, D. H., Thies, J. E., Smith, J. L., Collins, H. P., ... Groffman, P. M. P. M. (2015). *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*. *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry* (Fourth Edi). ELSEVIER. <http://doi.org/10.1016/B978-0-08-047514-1.50003-2>
- Gisi, U., Schenker, R., Schulin, R., Stadelmann, F. X., & Sticher, H. (1997). *Bodenökologie* (2. Auflage). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Hartge, K.-H., & Horn, R. (2014). *Einführung in die Bodenphysik*. Schweizerbart.
- Hofmann, U. (2014). *Biologischer Weinbau*. (W. Baumeister, Ed.). Stuttgart: Eugen Ulmer KG.
- Husse, B. (1983). *Untersuchungen über den Einfluß der Begrünung und der Zusatzberegnung auf den Bodenwasserhaushalt, den Boden und die Rebe*. Gießen: Diss. Institut für Pflanzenökologie der Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Koller, G. (2011). *Einfluss der Weingartenbewirtschaftung und Fahrgassenbegrünung auf die Weißweinqualität im Jahr 2010 in Weiden / See*. Wien: Masterarbeit Universität für Bodenkultur.
- Lal, R., & Shukla, M. K. (2004). *Principles of Soil Physics*. New York: Marcel Dekker Inc. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Landwirtschaftskammer Burgenland. (2011). Bodenpflege im Weinbau. Abgerufen am 19. Mai 2017 von <http://bgld.lko.at/mmedia/download/2011.08.09/1312886500.pdf>
- Maier, I. (2005). *Praxisbuch Bioweinbau*. Leopoldsdorf bei Wien: avBuch im Österreichischen Agrarverlag.
- Maurowitsch, K. (2013). Einfluss der Fahrgassenbegrünung auf die Qualität von Chardonnay in Weiden am See (Burgenland). Wien: Masterarbeit Universität für Bodenkultur

- Mbagwu. (1999). Relationship of percolation stability of soil aggregates to land use. *Soil & Tillage Research*, 50 (1999), 197-206.
- Meter Environment. (2017). ksat. Abgerufen am 24. Mai 2018 von <https://www.metergroup.com/de/environment/produkte/ksat/>
- Monteiro, A., & Lopes, C. M. (2007). Influence of cover crop on water use and performance of vineyard in Mediterranean Portugal. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 121, 336–342. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2006.11.016>
- Mudgal, A., Anderson, S. H., Baffaut, C., Kitchen, N. R., & Sadler, E. J. (2010). Effects of long-term soil and crop management on soil hydraulic properties for claypan soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, 65(6), 393–403. <http://doi.org/10.2489/jswc.65.6.393>
- Novara, A., Gristina, L., Saladino, S. S., Santoro, A., & Cerdà, A. (2011). Soil erosion assessment on tillage and alternative soil managements in a Sicilian vineyard. *Soil and Tillage Research*, 117, 140–147. <http://doi.org/10.1016/j.still.2011.09.007>
- ÖNORM L 1061-2. (2002). ÖNORM L 1061-2 Physikalische Bodenuntersuchungen - Bestimmung der Korngrößenverteilung des Mineralbodens Teil 2: Feinboden.
- ÖNORM L 1065. (2006). ÖNORM L1065 - Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit in gesättigten Stechzylinderproben.
- ÖNORM L 1068. (2005). ÖNORM L 1068 Physikalische Bodenuntersuchungen Bestimmung der Dichte von Mineralböden.
- ÖNORM L 1083. (2006). ÖNORM L 1083 Chemische Bodenuntersuchungen - Bestimmung der Acidität (pH-Wert).
- ÖNORM L 1084. (2006). ÖNORM L 1084 Chemische Bodenuntersuchungen - Bestimmung von Carbonat.
- Puig-Montserrat, X., Stefanescu, C., Torre, I., Palet, J., Fàbregas, E., Dantart, J., Flaquer, C. (2017). Effects of organic and conventional crop management on vineyard biodiversity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 243, 19–26. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2017.04.005>
- Rackowski, C. W., Mueller, J. P., Busscher, W. J., Bell, M. C., & McGraw, M. L. (2012). Soil physical properties of agricultural systems in a large-scale study. *Soil and Tillage Research*, 119, 50–59. <http://doi.org/10.1016/j.still.2011.12.006>
- Redl, H. (2013). Wein-Terroir Burgenland. Abgerufen am 1. März 2017 von <http://www.wein-terroir.at/web/index.php?seite=seite&id=62>
- Reichert, J. M., Brandt, A. A., Rodrigues, M. F., da Veiga, M., & Reinert, D. J. (2017). Is chiseling or inverting tillage required to improve mechanical and hydraulic properties of sandy clay loam soil under long-term no-tillage. *Geoderma*, 301, 72–79. <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.04.012>
- Ruiz-Colmenero, M., Bienes, R., Eldridge, D. J., & Marques, M. J. (2013). Vegetation cover reduces erosion and enhances soil organic carbon in a vineyard in the central Spain. *Catena*, 104, 153–160. <http://doi.org/10.1016/j.catena.2012.11.007>
- Scheffer F; Schachtschnabel P. (2010). *Lehrbuch der Bodenkunde* (16. Auflage).
- Schindler, U., Durner, W., von Unold, G., Mueller, L., & Wieland, R. (2010). The evaporation method: Extending the measurement range of soil hydraulic properties using the air-entry pressure of the ceramic cup. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 173(4), 563–572. <http://doi.org/10.1002/jpln.200900201>

- Schwärzel, K., & Punzel, J. (2007). Hood Infiltrometer—A New Type of Tension Infiltrometer. *Soil Science Society of America Journal*, 71(4), 1–10. <http://doi.org/10.2136/sssaj2006.0104>
- Siegrist, S., Schaub, D., Pfiffner, L., & Mäder, P. (1998). Does organic agriculture reduce soil erodibility? The results of a long-term field study on loess in Switzerland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 69, 253–264.
- Stahr, K., Kandeler, E., Herrmann, L., & Streck, T. (2012). *Bodenkunde und Standortlehre* (2. Auflage). Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- UMS. (2013). Bedienungsanleitung KSAT. Abgerufen am 9. April 2017 von http://www.soil.tu-bs.de/lehre/Bachelor-Labormethoden/2013/KSAT_Kurzanleitung_Praktikum.pdf
- UMS. (2015). *Bedienungsanleitung HYPROP*. Abgerufen am 9. April 2017 von http://library.metergroup.com/Manuals/UMS/Hyprop_Manual.pdf
- Umwelt-Geräte-Technik. (2012). *Bedienungsanleitung Haubeninfiltrometer*. Abgerufen am 9. April 2017 von http://www.ugt-online.de/fileadmin/Public/downloads/Produkte/Bodenkunde/Leitfaehigkeit/Haubeninfiltrometer_-_IL_2700.pdf
- Weil, R. R., & Magdoff, F. (2004). *Soil organic matter in sustainable agriculture*. Boca Raton: CRC Press. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Whitelaw-weckert, M. A., Rahman, L., Hutton, R. J., & Coombes, N. (2007). Permanent swards increase soil microbial counts in two Australian vineyards. *Applied Soil Ecology*, 36, 224–232. <http://doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.03.003>
- Zehetner, F., Djukic, I., Hofmann, R., Kühnen, L., Rampazzo-Todorovic, G., Gerzabek, M. H., & Soja, G. (2015). Soil organic carbon and microbial communities respond to vineyard management. *Soil Use and Management*, 31(4), 528–533. <http://doi.org/10.1111/sum.12204>
- Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik ZAMG. (n.d.). Abgerufen am 30. März 2017 von <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/jahresrueckblick>.
- Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik ZAMG. (2016). Abgerufen am 30. März von <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klimaeuebersichten/jahrbuch>.