

Abschlussbericht

Angewandte Geographie – Studienrichtung II: Physische Geographie

Teilnehmer/-innen

Name	Vorname	Matrikelnummer
Beringhoff	Franziska	1243512
Hippchen	Laura	1237469
Jaschok	Odilie	1156226
Kolaxidis	Nikolaos	1175610
Scheuer	Marcel	1031831
Schultes	Norbert	1183850
Stoltz	Manuel	1294660
Valdés Cifuentes	Julika	1301019
Walle	Selina	1296620

Begleitender Dozent: **Herr Dr. Manuel Seeger**
Vertretung: Herr Dr. Thomas Iserloh

Danke für die gute Mitarbeit:

Rainer Bielen
Yannick Hausener
Felix Dittrich
Stefan Weiss
Manuel Seeger
Thomas Iserloh

Mit freundlicher Unterstützung durch
Cord-Henrich Treseler
und dem Weingut Dr. Frey

31.03.2019

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung in die Thematik.....	1
2. Situation.....	2
3. Fragestellung	5
4. Methoden der Datenerfassung.....	6
4.1. Bodenparameter	7
4.2. Vegetationsaufnahmen	8
4.3. Hydrologische Eigenschaften und Erosivität	8
4.4. Geländeaufnahme mittels UAV & GPS.....	9
5. Bodenparameter	13
5.1. Methodik und Ergebnisse.....	13
5.2. Beschreibung und Interpretation	15
6. Bodenfeuchte & -temperatur	19
6.1. Sensoren	20
6.2. Datenauswertung Bodenfeuchte	21
6.3. Datenauswertung Bodentemperatur.....	22
7. Vegetationsmessungen.....	24
7.1. Methodik	24
7.2. Datenauswertung.....	26
7.3. Methodenkritik	27
8. Erosivität.....	28
8.1. Methodik	28
8.2. Datenauswertung.....	30
8.3. Methodenkritik	35
9. Gesättigte Leitfähigkeit.....	36
9.1. Methodik	37
9.2. Datenauswertung.....	40
9.3. Methodenkritik	45
10. Permeabilität.....	46
10.1. Methodik	46
10.2. Datenauswertung.....	47
10.3. Interpretation.....	51
11. Ungesättigte Leitfähigkeit	52
11.1. Methodik	52
11.2. Datenauswertung	55
11.3. Interpretation und Methodenkritik	67
12. Diskussion der Ergebnisse.....	69

13. Fazit	74
14. Literaturverzeichnis	75
A. Bodenfeuchte	77
B. Beregnungsversuche.....	84
C. Bodentemperatur und Wetterstatistik.....	100
D. Vegetationsmessungen	102
E. Infiltrationsmessungen.....	106
F. Permeabilitätsmessungen	110
Eidesstattliche Erklärung.....	122

1. Einführung in die Thematik

Eine Studierendengruppe des diesjährigen Lehrforschungsprojektes der Universität Trier erforscht innerhalb des Diverfarming-Projektes (www.diverfarming.eu) einen ökologisch bewirtschafteten Weinberg des Weinguts Dr. Frey aus Kanzem an der Saar. Im oben genannten Projekt, welches die grundlegende Problematik der nachhaltigen Bewirtschaftung in der Landwirtschaft thematisiert, sollen anhand von Ökosystemdiensten (*Eco-System-Services*) Methoden gefunden werden, mit denen eine ertragsverlustfreie, ökologische und nachhaltige Bewirtschaftung für alle Landwirte möglich wird. Die selbsternannten Ziele des Diverfarming-Projektes sind als Grundlage für die Forschungsarbeit wichtig, da sie die Richtung weisen, mit der im Gelände an bestimmten Fragestellungen gearbeitet wird. Diese sind wie folgt: Entwicklung neuer (Anbau)-Systeme; eine Nutzenstudie entwickeln; die Folgen auf nachgelagerte Wertschöpfungsketten und beteiligte Akteure abschätzen zu können; Entwicklung neuer Modelle; (Anbau)-Systeme bewerten und zuletzt die Kommunikation fördern und das generierte Wissen verbreiten (vgl. DIVERFARMING o. J., o. S.).

Die Aufgabe der Studierenden im Lehrforschungsprojekt besteht darin, bestimmte Fragestellungen zu erarbeiten, die mit Hilfe von Datenerhebungen im Gelände im Hinblick auf die zuvor genannten *Eco-System-Services* beantwortet werden sollen. Die *Eco-System-Services* bezeichnen hierbei die Dienstleistungen, die die Umwelt für den Menschen „leistet“ und welchen monetären Wert diese hätten, eine Umrechnung stattfinden würde (vgl. UMWELTBÜRO GRABHER 2012, o. S.).

2. Situation

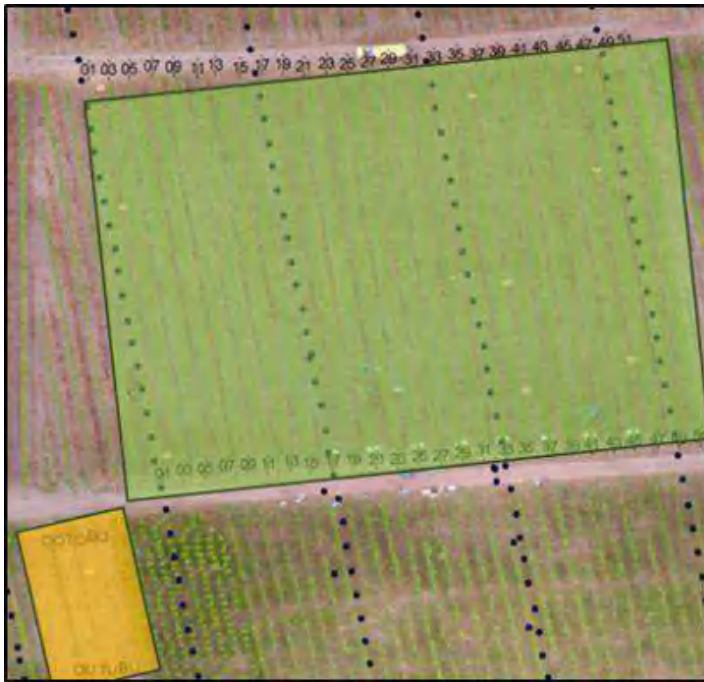


Abb. 1: Untersuchungsgebiet im Weinberg. Die grüne Fläche zeigt die der Kräuterpflanzung unter Weinreben, die gelbe die Kontrollfläche mit Kräutern aber ohne Wein (Quelle: Eigene Darstellung)

Das Untersuchungsgebiet, in dem im Rahmen des Lehrforschungsprojektes gearbeitet wird, liegt in Deutschland am Saarkanal zwischen den Ortschaften Kanzem und Wawern. Der Weinberg (siehe *Abbildung 1* und *2*) weist eine Steillage mit einer Hangneigung von mehr als 30° auf. Die Exposition des Hanges verläuft in Süd-Ost-Richtung, was eine lange Sonneneinstrahlung begünstigt.

Der Hauptaspekt im Untersuchungsgebiet und folglich auch in der späteren Fragestellung ist, dass sich der ökologische Weinbau, welcher auf der zu untersuchenden Fläche praktiziert wird, vom konventionellen Weinbau

unterscheidet. Beim ökologischen Weinbau wird komplett auf chemisch synthetisch hergestellte Spritzmittel zur Unkrautbekämpfung verzichtet und nur ausschließlich biologische Mittel zur Bodenverbesserung werden angewandt. Eine sich daraus ergebende Folge ist, dass eine mechanische Bodenbearbeitung beispielsweise mittels Traktoren und entsprechenden Maschinen, wie zum Beispiel Pflügen oder Mulchgeräten, notwendig wird. Daraus resultiert jedoch ein erhöhter Maschineneinsatz, um der Freihaltung der Weinreben und Rebassen von Unkräutern gerecht zu werden, die infolge des Verzichts auf Pestizide eine schnelle Wachstumsdynamik aufweisen. Im konventionellen Weinbau wird in einem Rhythmus von acht Wochen Spritzmittel ausgebracht, in der ökologischen Bewirtschaftung muss hingegen alle zwei Wochen gemulcht oder freigeschnitten werden, damit die Weinstöcke ungehindert und frei von Unkräutern, die in Konkurrenz zum Wein stehen könnten, wachsen können. Die Bodenfruchtbarkeit, die für jede (Kultur)-Pflanze essentiell ist, wird im ökologischen Weinbau vor allem durch eine geeignete Begrünung sowie die dazu passende und ergänzende Bearbeitung herbeigeführt. Wichtig hierbei ist, dass letztere schonend erfolgt und beispielsweise auf einen möglichst geringen Reifendruck geachtet wird, um einer möglichen Schadverdichtung des Bodens vorzubeugen. Die detaillierten Richtlinien im Ökoweinbau sind unter www.ecovin.de abzurufen.

Der vorzufindende Boden im Untersuchungsgebiet ist ein Rigosolboden bestehend aus Tonschiefer.

Dieser Schieferboden wurde vor über 400 Millionen Jahren gebildet und wird seit vielen Jahrzehnten anthropogen und mit Maschinen bearbeitet, so dass er heute zu den Anthrosolesböden gezählt wird. Durch das sogenannte Rigolen werden die Bodenhorizonte durchmischt und deren Eigenschaften verändert. Dabei wird meist organischer und mineralischer Dünger eingebracht, wodurch eine Verbesserung der Bodenqualität erreicht werden soll. Durch diese Bearbeitungsweise entstehen ein charakteristischer Rigolhorizont, eine gute Durchwurzelbarkeit und ein

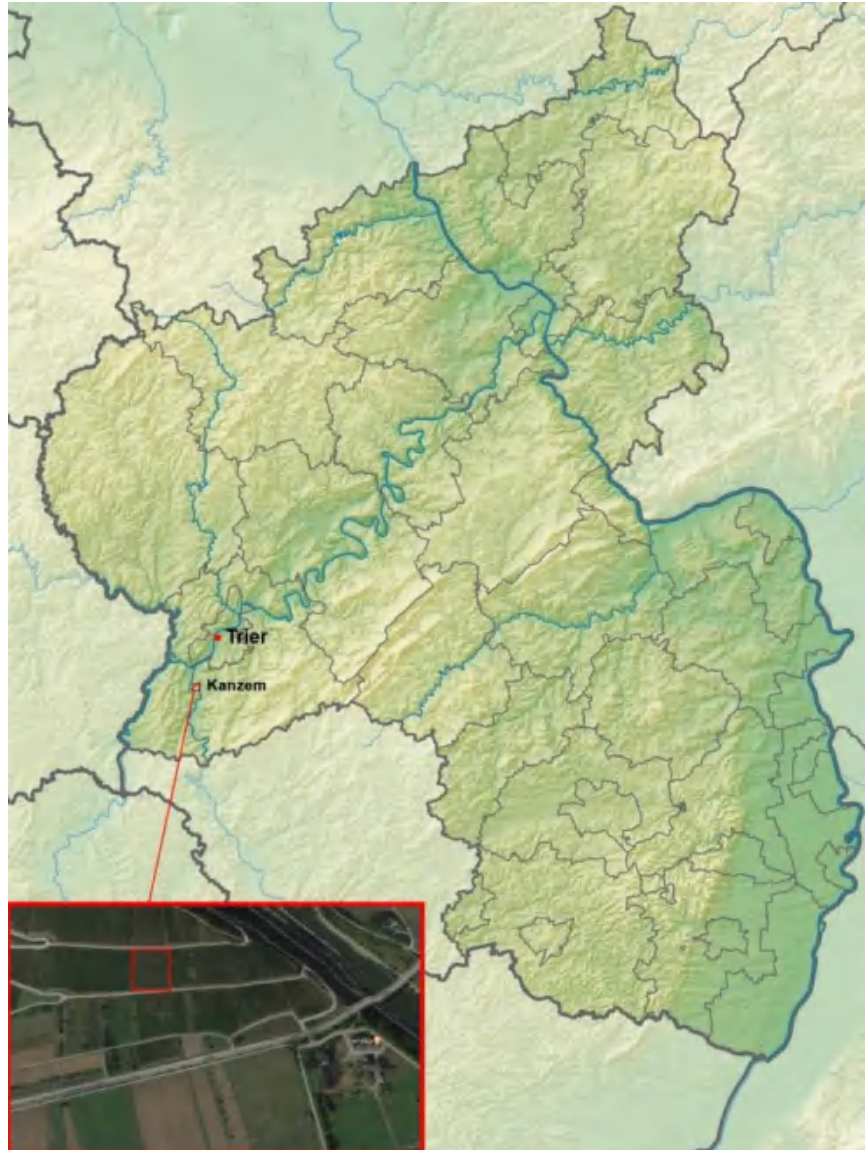


Abb. 2: Übersicht über das Untersuchungsgebiet (Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von Google Maps)

hoher Nährstoffgehalt, die sich positiv auf den Weinbau bzw. dessen Ertrag auswirken können. Weitere Eigenschaften des Bodens, die den Weinanbau begünstigen, sind unter anderem die gute Erwärmbarkeit durch den Schiefer und die Wasserdurchlässigkeit.

Der Prozess des Rigolens wurde jedoch im zu untersuchenden Weinberg seit etwa 80 Jahren nicht mehr vollzogen. Trotzdem ist bis in eine Tiefe von 40cm ein gelockerter und umgegrabener Boden zu konstatieren. Der Oberboden, bei dem von einer Tiefe von null bis 30cm gesprochen wird, wurde zwar in dieser Zeit nicht tief rigolt, jedoch durch verschiedene Bearbeitungsweisen immer wieder umgelagert. Aufgrund des hohen Skelettanteils und der groben Schiefereauflage ist er besonders anfällig für Erosionsprozesse. Insbesondere bei hohen Niederschlagsraten und wenig Vegetationsbedeckung kann es zu einer hangabwärts gerichteten Abtragung kommen. Durch die Auflockerung, hervorgerufen durch die Bodenbearbeitung, wird eine höhere Erosionsrate angenommen.

Das diesjährige Lehrforschungsprojekt der Universität Trier widmet sich ebendiesem Thema der Erosions- und Verdichtungsanfälligkeit von Weinbergen bzw. Weinbergsböden. Um dieser Annahme entgegenzuwirken, wurden in Kooperation mit dem Weingut Dr. Frey aus Kanzem gezielte Pflanzungen von zwei verschiedenen Kräutern vorgenommen, welche im besten Fall zu einer Auflockerung und dennoch einer Stabilisierung des Bodens führen.

3. Fragestellung

Eine Fragestellung, die sich aus dem zuvor genannten Vorhaben ableitet, ist, inwiefern sich eine Bepflanzung im Unterstockbereich, das heißt jener Bodenbereich, welcher sich direkt unter der Weinrebe befindet, auf die Vermeidung von floraler Konkurrenz und/oder Erosionsanfälligkeit auswirkt. Damit einhergehend ist die Rahmenfragestellung des Lehrforschungsprojektes, inwieweit sich die Unterstockbewirtschaftung im ökologischen Weinbau mithilfe gezielter Unterstockbepflanzung verändert.

Für die Beantwortung der Fragestellung sind Daten erforderlich, die bei Arbeiten im Gelände aufgenommen und später

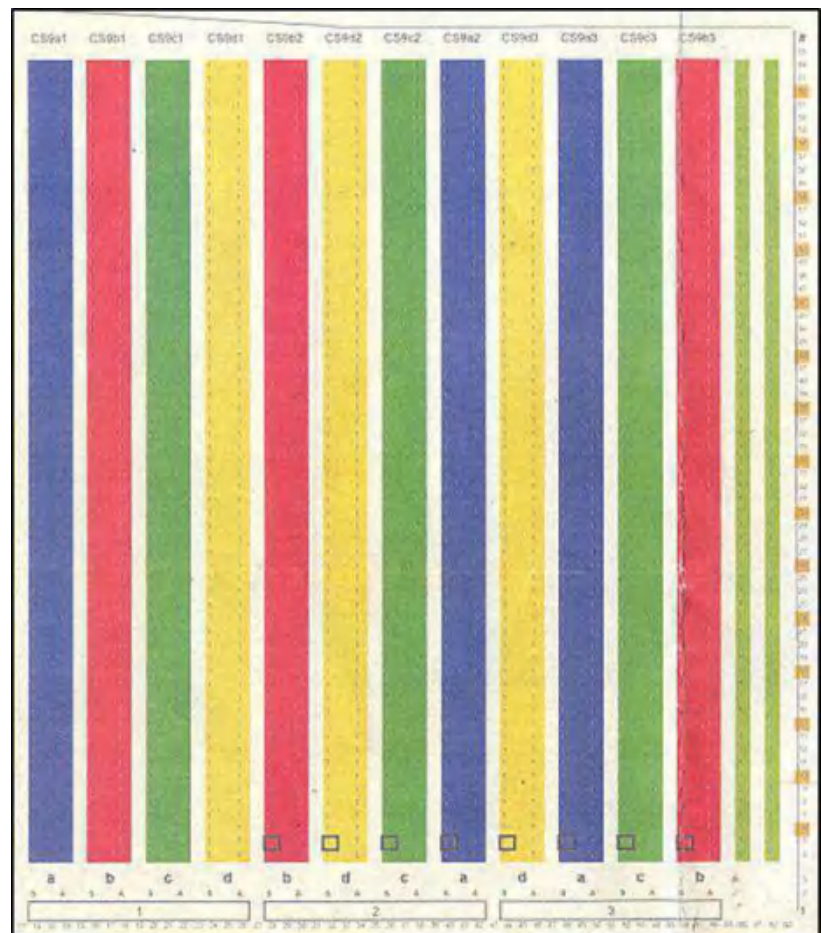


Abb. 3: Schema der Kräuterpflanzung. Blau = Oregano, Rot = Thymian, Gelb = Control (Quelle: Cord Treseler)

ausgewertet und quantifiziert wurden. Viele verschiedene Eigenschaften des physischen Umfeldes der Weinreben, vor allem des Bodens, wirken sich auf das Wachstum der Weinreben aus. Bei der Datenaufnahme war wichtig, nur bestimmte, für das Projekt relevante Parameter zu bestimmen, da der Arbeitsaufwand in der relativ kurzen Zeitspanne nicht zu bewältigen gewesen wäre.

In dem gegebenen Zeitraum, der sich von Mai bis August 2018 erstreckte, wurde untersucht, wie sich die Pflanzung der Kräuter Oregano und Thymian entsprechend des Schemas der Pflanzung in *Abbildung 3* unter den klimatologischen, pedologischen und hydrologischen Bedingungen entwickeln konnte. Ebenso wurde die Entwicklung der Weinreben nachvollzogen. Zum Vergleich der Daten wurde eine Kontrollfläche schräg unter dem betrachteten Weinberg angelegt, in der keine Weinreben angebaut wurden. Es ist daher unverzichtbar, sowohl die Bodeneigenschaften als auch das Pflanzenwachstum im Zusammenhang mit der Witterung und dem Standort zu bestimmen sowie den Vergleich zwischen vegetationsbedeckten und –unbedeckten Flächen, Fahrspuren, Unterstockbereichen und anderen Bodenoberflächentypen zu ziehen und in Relation zu setzen.

4. Methoden der Datenerfassung

Unter dem Punkt Methoden der Datenerfassung werden im folgenden Kapitel die einzelnen erforderlichen Methoden und Messgeräte erläutert, mithilfe welcher die Zielsetzungen und Fragestellungen beantwortet werden. Die ausgewerteten empirischen Daten sollen als wissenschaftliches Argument die Antworten zu den Fragestellungen stützen.

Bezüglich der Forschungsfragen und Zielsetzungen unter Punkt Zwei sind Vegetationsaufnahmen sowie Infiltrations- und Erosivitätsmessungen essentiell um eine fundierte Interpretation durchführen zu können. Zusätzlich werden die Permeabilität sowie verschiedene Bodenparameter wie Bodenart, pH-Wert, Bodenfeuchte und Bodentemperatur untersucht.

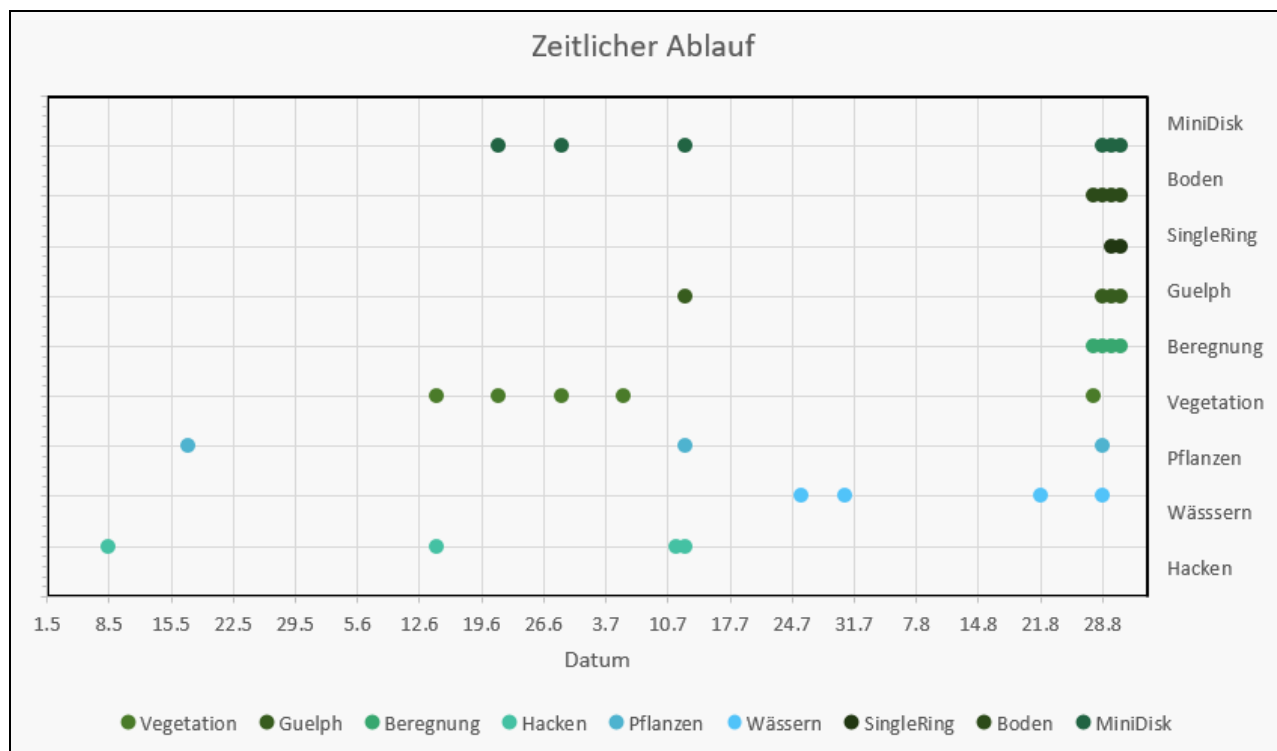


Abb. 4: Zeitlicher Ablauf des Projektes und der jeweilig angewendeten Methoden im Zeitraum vom 1. Mai 2018 bis zum 28. August 2018 (Quelle: Eigene Darstellung)

Abbildung 4 zeigt den zeitlichen Ablaufplan des Projektes und die jeweilig durchgeführten Methoden im Zeitraum vom 01.05. bis zum 28.08.2018.

Zu sehen ist deutlich, dass die ersten sechs Wochen lediglich der Versuchsvorbereitung gedient haben (Einpflanzung, Wässern und Hacken). Erst danach wurden erstmalig die Methoden im Gelände eingesetzt und somit Daten erfasst. In der letzten Augustwoche, vom 27. bis zum 31.8., wurde der Hauptteil der Messungen durchgeführt.

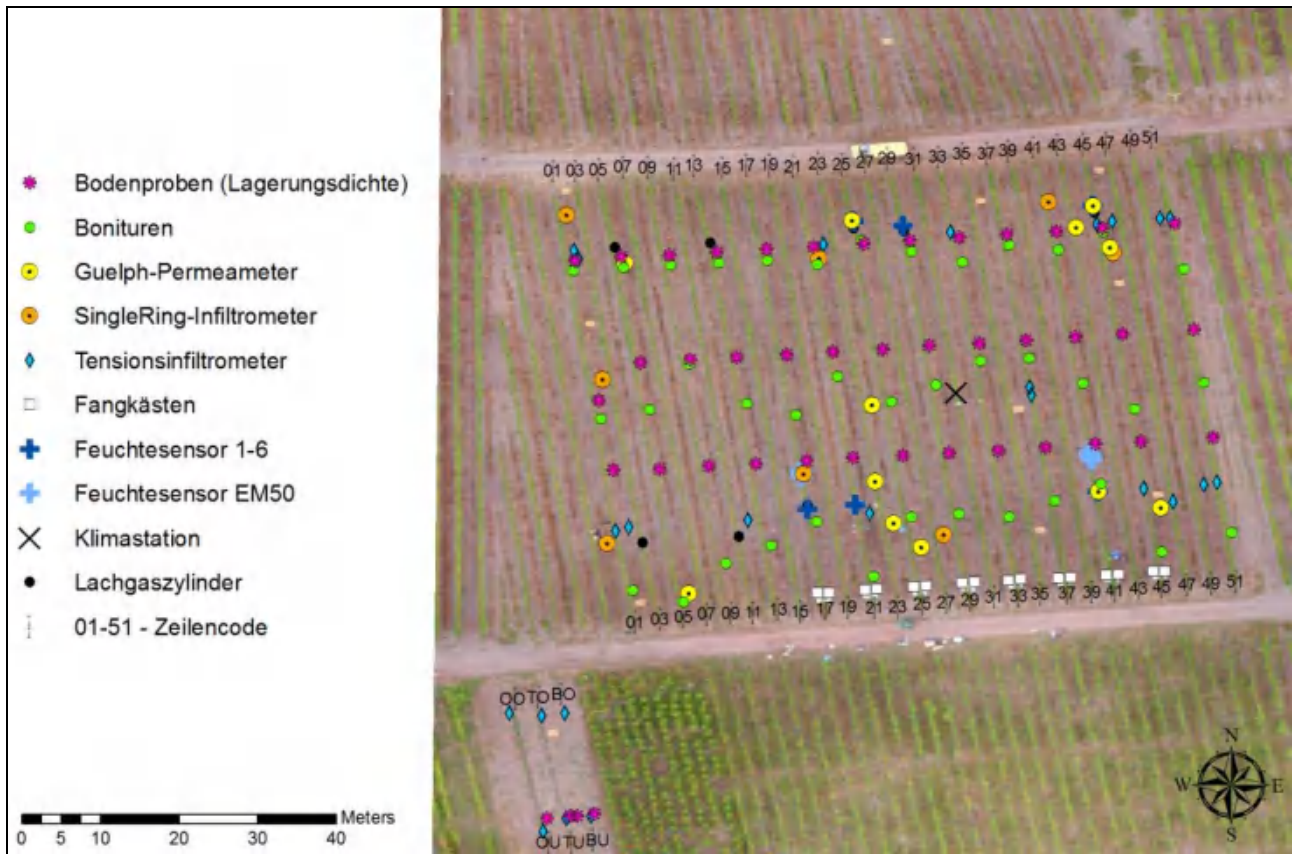


Abb. 5: Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes (Quelle: Eigene Darstellung)

Abbildung 5 zeigt einen Übersichtsplan des Untersuchungsgebietes *Wawerner Jesuitenberg* und die darin vorgenommenen Untersuchungen und Messungen mit den jeweiligen Geräten. Die in schwarz eingetragenen Zahlen, der „Zeilencode“, am jeweiligen oberen und unteren Ende des Untersuchungsgebietes dienen im Allgemeinen der Orientierung im Weinberg. Zu sehen ist, dass eine möglichst breit gestreute Verteilung der Messungen angestrebt wurde, um jeweils möglichst repräsentative Messergebnisse zu erzielen.

Die nun kurz angesprochenen Messmethoden werden in den darauffolgenden Unterpunkten detailliert beschrieben und es wird ausgeführt, warum die jeweils gemessene Eigenschaft untersucht und damit relevant für das Forschungsziel ist. Zudem werden Ergebnisse graphisch in Form von Diagrammen und Tabellen dargelegt und erklärt. Abschließend erfolgt eine Diskussion der Ergebnisse, in der alle Auswertungen zusammengeführt und interpretiert werden.

4.1. Bodenparameter

Mittels der violett markierten Bodenproben wird das Untersuchungsgebiet auf Lagerungsdichte, Bodenart, pH-Wert und auf organischen Kohlenstoffgehalt im Boden untersucht. Die resultierenden Bodenparameter werden mit hydrologischen Messergebnissen und Vegetationsdaten in Korrelation gebracht.

Weitere Bodenparameter ergeben sich aus Bodenfeuchtesensoren (dunkelblau markierte FDR-

Sensoren *Abbildung 5*) und aus der mit einem schwarzen X markierten Klimastation, welche Daten zu Lufttemperatur, relativer Luftfeuchtigkeit, zu Niederschlagsmenge, zu Windgeschwindigkeiten und zu Windrichtung sammelt.

4.2. Vegetationsaufnahmen

Die grün markierten Punkte in *Abbildung 5* repräsentieren punktiert die Reben, an welchen in regelmäßigen Abständen Bonituren durchgeführt werden. Mithilfe einer solchen Fortschrittskontrolle wird in regelmäßigen Zeitabständen notiert, wie sich die Rebe in Bezug auf einzelne Vegetationsaufnahme entwickelt.

Diese Methode ist in Bezug auf die ursprüngliche Fragestellung des Berichts zielführend, in dem man mithilfe ebendieser Fortschrittskontrolle überprüft, inwiefern sich die Reben unter Einfluss der gepflanzten Kräuter Oregano und Thymian im Unterstockbereich entwickeln. In Zuge der Bonituren werden regelmäßig Vegetationsaufnahmen durchgeführt, die essentiell sind für die Fragestellung ob sich eine Unterstockbepflanzung mit Kräutern auf die florale Konkurrenz und Erosionsanfälligkeit auswirkt. Die Methode der Vegetationsaufnahme wird zudem zur Kontrolle herangezogen, ob und wie sich die Vegetation im Unterstockbereich im Zuge einer Unterstockbewirtschaftung entwickelt.

Da untersucht werden soll, welchen Einfluss die Bearbeitungsintensität von Bewuchs im Unterstockbereich im Weinberg auf die Biodiversität und die *Eco-System-Dienste* besitzt, ist es auch notwendig, die Auswirkungen der Bearbeitung auf die hydrologischen Bedingungen zu untersuchen. Insbesondere soll untersucht werden, ob Unterschiede zwischen den Bearbeitungsspuren in den Fahrspuren und dem Unterstockbereich bestehen. Daraus können Aussagen über Auswirkungen auf die Wasserversorgung der Rebstöcke getroffen werden.

4.3. Hydrologische Eigenschaften und Erosivität

Die hydrologischen Eigenschaften des *Wawerner Jesuitenberges*, insbesondere die Infiltration, werden unter anderem mit den Messgeräten Guelph-Permeameter, mit dem Einring-Infiltrrometer und dem Mini-Disk-Infiltrrometer bestimmt.

Mit dem Messgerät Guelph-Permeameter (Gelb markiert in *Abbildung 5*) wird der K_f -Wert, die feldgesättigte hydraulische Leitfähigkeit im oberflächennahen Boden ermittelt, das Einring-Infiltrrometer misst die potentielle Infiltrationsrate des Bodens (Orange markiert in *Abbildung 5*) bei konstantem Wasserüberdruck und das Mini-Disk-Infiltrrometer (Blau markiert in *Abbildung 5*) bestimmt die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit.

Um für das Forschungsgebiet aussagekräftige Daten über das Erosionsverhalten generieren zu können, wird in einem experimentellen Feldversuch ein Niederschlagssimulator installiert. Ziel

Darauffolgend das konstruierte Orthophoto:



Abb. 7: Orthophoto (Quelle: Eigene Darstellung)

Auffallend ist, dass alle benachbarten Weinreben wesentlich grüner aussehen als die des Weinguts Dr. Frey in der Mitte. Grund dafür ist, dass die Drohnenüberflüge meist in Nord-Süd-Richtung verliefen, wodurch in der Mitte des Bildes, also auf unserer Testfläche, eine gute Zentrierung und Auflösung ermöglicht wurde, die restlichen Flächen jedoch verzerrt und mit einem

kleinen Winkel erfasst wurden. Daher wurden die Weinreben leicht von der Seite fotografiert und sehen etwas grüner aus, dies ist jedoch zu vernachlässigen.

4.4.2. GPS

Das visuelle Erfassen der Messpositionen in Form von digitalen Geodaten in einem Geoinformationssystem ist für die Erstellung von Karten der nächste wichtige Schritt. Außerdem sollte das durch die Überflüge entstandene Orthophoto für die weitere Bearbeitung georeferenziert werden, wofür mit hoher Genauigkeit eingemessene Referenzpunkte vonnöten sind. Aus diesen Gründen wurde ein GPS (Globales Positionierungssystem) installiert. Für die Anwendung im wissenschaftlichen Bereich und einer gewünschten Genauigkeit von unter einem Meter musste jedoch eine neue Methode gefunden werden. Man entschied sich für ein Differentielles GPS (DGPS), da es auf dem Weinberg eine genauere Positionserfassung ermöglicht als eingebaute GPS-Empfänger in Smartphones oder Handheld-GPS-Geräten (GPS-h) und wesentlich ökonomischer ist als andere GPS-Erweiterungen/Modifizierungen.

Übliche Ortsgenauigkeiten von Smartphones oder GPS-h betragen oft über zwei oder fünf Meter bis hin zu 10-50 Meter bei alten Geräten (vgl. DVW 2016, S.2). Durch das System des DGPS soll diese Genauigkeit auf wenige Zenti- bis Dezimeter erhöht werden können, was für heutige wissenschaftliche Vermessungs- und Lokalisationsaufgaben extrem wichtig ist. Die Funktionsweise des DGPS ist wie folgt: „[d]as Verfahren [des DGPS] beruht auf dem Vergleich der GPS-Position einer geodätisch fest eingemessenen Referenzstation mit der vom [mobilen] GPS errechneten Entfernung bzw. Koordinaten. Die anfallenden Differenzen werden als Korrektursignal (-daten) ausgesandt und zur Korrektur der Geländedaten im GPS herangezogen. [...] Ist nun die Position eines Referenzpunktes geodätisch im WGS-84 [Koordinatensystem] bekannt und wird dort zeitgleich ein (nahezu) identisches GPS-Signal wie am mobilen Empfänger verarbeitet, kann aus der resultierenden Differenz (!) zu den anderen Punkten mit identischer Empfangscharakteristik die relative Genauigkeit der Punkte untereinander auf eine absolute Lagegenauigkeit im Gelände abgebildet werden“ (PRINZ 2009, o.S.).

Unser Lehrforschungsprojekt wurde im Bereich Koordinatenerfassung von technischen Mitarbeitern und eingelernten wissenschaftlichen Hilfskräften betreut, die die Referenzstation an einem zuvor geodätisch exakt erfassten Punkt aufbauten.

Nach Installation der Basis und Kopplung des mobilen Empfängers mit dieser konnten die einzelnen Punkte erfasst werden. Jede Messung wurde mit dem jeweiligen Code aufgenommen und entsprechend der Messreihe typisiert, sodass im Nachhinein ein Datensatz mit Koordinaten entstand, der in Codes und dazugehörigen Messreihen strukturiert war. Zusätzlich wurden selbst konstruierte Referenzpunkte in Form von orangefarbenen Planen mit mittig platzierten CDs ausgelegt und erfasst. Aus allen Datensätzen wurden Shapefiles erstellt, die in ein GIS-Programm importiert wurden.

Es stellte sich heraus, dass viele eigentlich zusammengehörende Daten auf mehrere Dateien aufgeteilt wurden, sodass zu Anfang eine Neustrukturierung und Säuberung der Shapefiles nötig war. Im Zuge dessen wurden auch Zeilencodes digitalisiert, die in allen Karten als Orientierungshilfe dienen und die Codes der Messungen widerspiegeln. Es folgte eine Georeferenzierung aller Shapefiles sowie des Orthophotos ins geographische Koordinatensystem WGS-84, wobei die Referenzpunkte für das Orthophoto, die Referenzstation des DGPS sowie die Pfosten der Weinreben als Referenzpunkte für die Georeferenzierung benutzt wurden.

Das Ergebnis der Datenaufbereitung und die daraus entstandene Übersichtskarte mit allen Messungen sind in *Abbildung 5* zu sehen. Für jede Messreihe wurde ebenfalls eine eigene Karte erstellt, die bei jedem Block einer jeden Messreihe in diesem Bericht gezeigt wird. Ziel ist, den Weinberg digital zu erfassen und bei den Messungen einen visuellen räumlichen Bezug herzustellen.

4.4.3. Methodenkritik

Probleme bei den Drohnenüberflügen waren eine missverständliche Anleitung und die Kopplung zwischen Kamera und Monitor. Auch plötzlicher Niederschlag und eine generell schlechte Witterung sind Probleme, die einen Drohnenüberflug unmöglich machen. Es muss also schon im Voraus geschaut werden, was das Wetterradar zeigt, und es müssen definitiv mehrere Termine für Überflüge geplant werden, sodass das Aufnehmen der Fotos zum Schluss erfolgreich verläuft.

Das DGPS ist in seinem Verfahren genau, jedoch gestaltet sich die Kopplung zwischen Referenzstation und mobilem Empfänger wegen fehlender Anleitung als äußerst kompliziert. Eine technische Assistenz oder eine technische Vorabausbildung für die Geräte sollte daher gegeben sein, damit das Arbeiten im Gelände generell flüssiger abläuft.

Schlussendlich haben das Georeferenzieren des Orthophotos und die Projektion der Messpunkte auf diesem aber erfolgreich geklappt, daher ist diese Kritik nur am Rande zu beachten.

5. Bodenparameter

In der *Abbildung 4* ist der zeitliche Ablauf der Messungen sowie unterschiedlicher Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen von Anfang Mai bis Ende September eingetragen. Die Pflanzungen sowie die Bearbeitung des Bodens wurden größtenteils durch das Team des Weingut Dr. Frey durchgeführt, während die Messungen durch die Studierenden vorgenommen wurden. Schnell zeigt sich ein zeitlicher Schwerpunkt von Letzterem Ende August, in der Projektwoche des LFP Kanzem 2018. Alle vegetationsbezogenen Maßnahmen und Messungen dagegen wurden über einen längeren Zeitraum durchgeführt, um eine Entwicklung beobachten und dokumentieren zu können.

In der *Abbildung 5* ist die räumliche Verteilung der einzelnen Messungen im Weinberg zu sehen. Fangkästen, Feuchtesensoren, Klimastation und Lachgaszylinder sind fest installierte Messgerätschaften, die in erster Linie Daten für das Diverfarming-Projekt liefern. Die Mittelwerte des Bodens für pH und organischer Kohlenstoffgehalt stammen aus den markierten Bodenprobenmesspunkten (ausgewertet durch den Doktoranden Felix Dittrich aus der Bodenkunde), während die von den Studierenden analysierten Bodenproben nach den Berechnungen genommen wurden und daher räumlich mit diesen korrelieren. Die restlichen Messpunkte folgen keinem vollständig einheitlichen Muster, was damit zu begründen ist, dass erst gegen Ende des Projektes, in der letzten Woche, ein gemeinsames Messsystem samt Karte erarbeitet wurde.

5.1. Methodik und Ergebnisse

Auf den ersten Blick lässt sich der Boden in zwei bis drei Horizonte einteilen. Die obersten 3cm des Bodens bestehen aus einer Schicht aus eingeschlammten und aufliegenden horizontal gelagerten Schieferfragmenten. Darunter befindet sich bis etwa in 40cm tiefe ein nicht klar strukturierter, teilweise durchwurzelter Bodenhorizont, der bis zum sich direkt darunter anschließenden anstehenden Gestein reicht. Bei hoher Vegetationsbedeckung ist meist ein weiterer Horizont zwischen den beiden genannten zu erkennen, welcher sich durch eine leicht andere Färbung und leicht andere Feuchte abzeichnet.

Als Grundlage für alle weiteren Analysen und Auswertungen muss zunächst die Bodenart bestimmt werden. Die Köhn-Analyse bzw. Korngrößenanalyse, bei der der Boden in seine unterschiedlichen Korngrößengewichtsanteile zerlegt wird, ist dafür am besten geeignet.

Die zu untersuchenden Proben wurden nach den Berechnungen genommen und über die Volumenersatzmethode konnte im Folgenden die Bodendichte direkt mitbestimmt werden. Bei dieser wird ein etwa 10cm tiefes Loch gegraben und der entnommene Boden in eine Tüte gefüllt. Anschließend wird das Loch (dazwischen eine dünne Plane) mit Sand aufgefüllt und die

Volumenmenge, die hineinpasst, notiert. Indem das Gesamtgewicht des Bodens durch das (durch den Sand ermittelte) Volumen geteilt wird, ergibt sich die Bodendichte. Beim Sieben des lufttrockenen Bodens wird zunächst der Feinboden (<2mm) vom Grobboden getrennt. Anschließend wird der Grobboden in die Bereiche 2mm - 4mm, 4mm - 8mm und 8mm - 16mm gesplittet. Die Ergebnisse sind in *Tabelle 1* zu sehen.

Tab. 1: Bodendichte und Gewichtsanteile Grobboden

Proben ID	Volumen in cm ³	Gesamtgewicht	Bodendichte g/cm ³	g < 2mm	g 2mm-4mm	g 4mm-8mm	g 8mm-16mm	g >16mm
B32_270818_01	1970	3421,2	1,737	1386,3	296,9	393,4	723,2	618,1
B34_280818_01	4190	7134	1,703	2175,5	838,2	1032,3	1626	1449
B12_280818_02	2680	3509,7	1,310	790,4	611,7	787,9	588	731,7
B44_290818_01	853	1776	2,082	390,5	258,4	511,2	361	254,9
B20_290818_02	600	1033,4	1,722	304,2	191,2	224	191,4	122,6
B00_290818_03	630	941,9	1,495	328,8	221	206	125,7	63,7
B00_300818_01	1050	1927,100	1,835	544,2	346,5	376,2	345,6	314,6
B22_300818_02	820	1470,7	1,794	328,1	263,3	321,6	268,1	289,6

Zur Bestimmung des verbliebenen Feinbodens bzw. der Bodenart ist eine Köhn-Analyse durchzuführen. Diese dient der Aufteilung in die mineralischen Kornfraktionen. Eine Splittung in Grobsand gS, Mittelsand mS und Feinsand fS, in Grobschluff gU, Mittelschluff mU und Feinschluff fU sowie Ton T ist das Ergebnis.

Zunächst wird der lufttrockene Feinboden gevierteilt und aus zwei gegenüberliegenden Vierteln (um eine möglichst hohe Repräsentativität zu gewährleisten) werden 20g entnommen. Diese werden in einem Probefläschchen mit 25ml 0,4 N Natriumpyrophosphat ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$)-Lösung versetzt und mit 250ml destilliertem Wasser aufgefüllt. Über Nacht werden die Flaschen in den Überkopfschüttler gespannt und auf diese Art ausreichend durchgemischt.

Am nächsten Morgen wird die Mischung als erstes durch drei weitere Siebe gespült und die jeweils erhaltenen Anteile in trockene, gewogene Wägegläser überführt um die Sandfraktionen zu bestimmen (gS 0,63mm-2,0mm, mS 0,2mm-0,63mm, fS 0,063mm-0,2mm). Der restliche Anteil Suspension wird erneut mit destilliertem Wasser aufgefüllt (bis 1000ml) und in einem homogen temperierten Raum weiter ausgewertet. Während der nun folgenden Analyse wird die Probe noch einmal geschüttelt und anschließend nach einem festgelegten zeitlichen Schema mit einer Pipette (11,3ml) in unterschiedlichen Eintauchtiefen beprobt. Das jeweilige Volumen wird ebenfalls in ein trockenes, gewogenes Wägeglas gefüllt. Grundlage für diese Methode ist das Gesetz von Stoke (unterschiedliche Fallzeitspannen je nach Teilchendurchmesser). Abschließend werden alle Proben bis zur Gewichtskonstanz bei 105°C getrocknet und in einem Exsikkator gewogen. Die Ergebnisse der Analyse des mineralischen Kornanteils ist in *Tabelle 2* einzusehen. Aus den Verhältnissen ergab sich als Bodenart ein stark lehmiger Sand (S14) nach SPONAGEL 2015.

Tab. 2: Gewichtsanteile Feinboden

Proben ID	g gS	g mS	g fS	g gU	g mU	g fU	g T
B32_270818_01	6,2849	2,8239	2,625	0,8673	0,045135	0,1686	3,1593
B34_280818_01_a	6,4573	2,9275	3,4873	0,6549	0,068587	0,128775	2,88495
B34_280818_01_b	5,9896	3,482	1,983	1,26555	0,081862	0,13674	3,2832
B44_290818_01	5,2988	4,614	2,4597	1,1505	0,073898	0,129218	2,6814
B20_290818_02	6,0165	4,4892	2,8606	0,78765	0,065047	0,118598	2,3451
B00_290818_03	6,9594	3,7551	2,0321	1,14165	0,065933	0,125677	2,292
B00_300818_01	6,2672	3,8838	2,4733	0,7965	0,07788	0,130988	2,42475
B22_300818_02	8,0815	2,9565	2,1056	0,8496	0,073455	0,118597	2,5221

Legende: gS = Grobsand, mS = Mittelsand, fS = Feinsand, gU = Grobschluff, mU = Mittelschluff, fU = Feinschluff, T = Ton

5.2. Beschreibung und Interpretation

Was sich während der Korngrößenanalyse als Erstes bestätigen ließ, war eine frühe Annahme der Studierenden aus dem Gelände, dass der Boden zum größten Teil aus Grobboden besteht. In Abbildung 8 ist mit einer Ausnahme (Mitte des unteren Mittelhangs) zu sehen, dass der Grobbodenanteil bei mehr als 80% liegt.

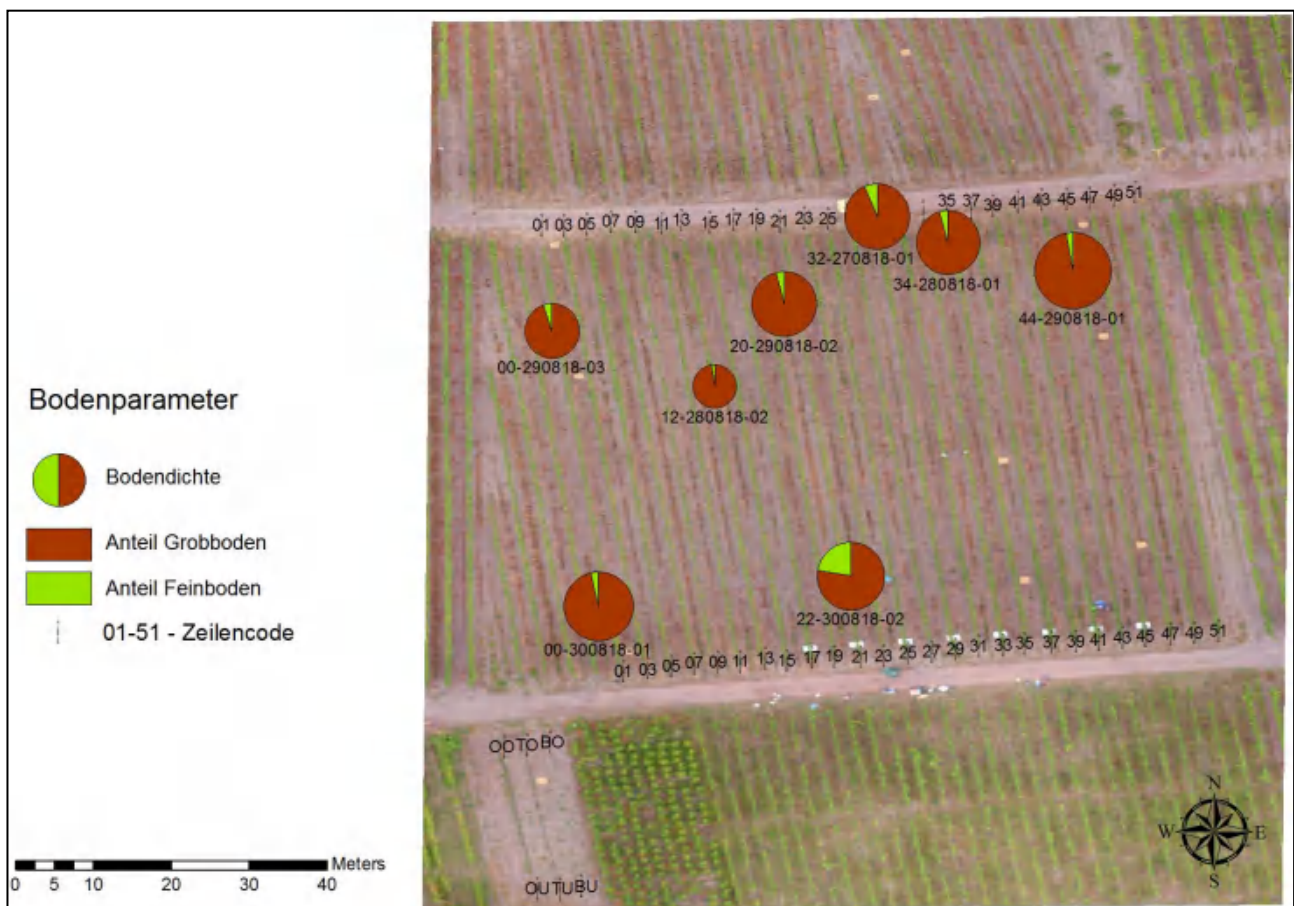


Abb. 8: Bodenparameter (Quelle: Eigene Darstellung)

Um die Grobboden- und Feinbodenkorngößenanteile untereinander vergleichen zu können, wurden die jeweiligen Anteile am Gesamtboden ermittelt, gegeneinander aufgetragen und graphisch dargestellt (siehe *Abbildungen 9 und 11*). Die Ergebnisse lassen durchaus Unterschiede zwischen den einzelnen Proben erkennen, allerdings ließen sich keine Regelmäßigkeiten in der räumlichen Verteilung feststellen. Auch Regressionsanalysen zwischen den Parametern Anteil Grobboden/Bodendichte (*Abbildung 12*), Anteil Grobboden/Bodenabtrag, Anteil Grobboden/Abfluss, Bodendichte/Bodenabtrag und Bodendichte/Abfluss ergaben keine klar erkennbaren Zusammenhänge (Beispiel in *Abbildung 12*).

Unterschiede in Bodendichte und Korngrößenzusammensetzung zwischen Fahrspur und Unterstockbereich ließen sich über die untersuchten Bodenproben nicht bestimmen, da die Proben an die Beregnungen gekoppelt waren und diese nicht im Unterstockbereich möglich waren.

Die Mittelwerte pH und organischer Kohlenstoffgehalt, die von Felix Dittrich ermittelt wurden, sind beide als unauffällig einzustufen. Den neutralen pH-Wert von 6,7 hält Cord Treseler durch gelegentliches Kalken aufrecht. Mit einem C_{org} Gehalt von 4,1 liegt der Boden gerade an der Grenze zum stark Humosen. Dies könnte mit vermehrten Bemühungen des Weinguts zusammenhängen, in den letzten Jahren dem Boden mehr organische Substanz zuzuführen.

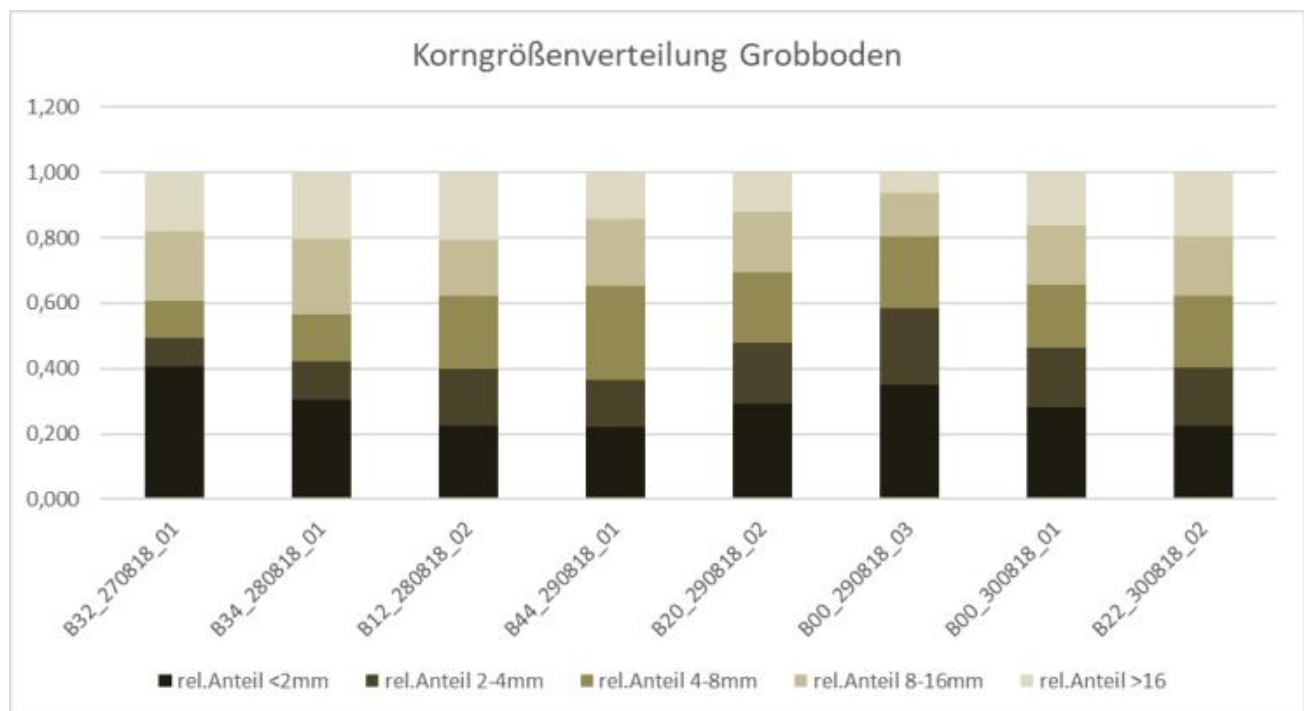


Abb. 9: Korngrößenverteilung Grobboden (Quelle: Eigene Darstellung)

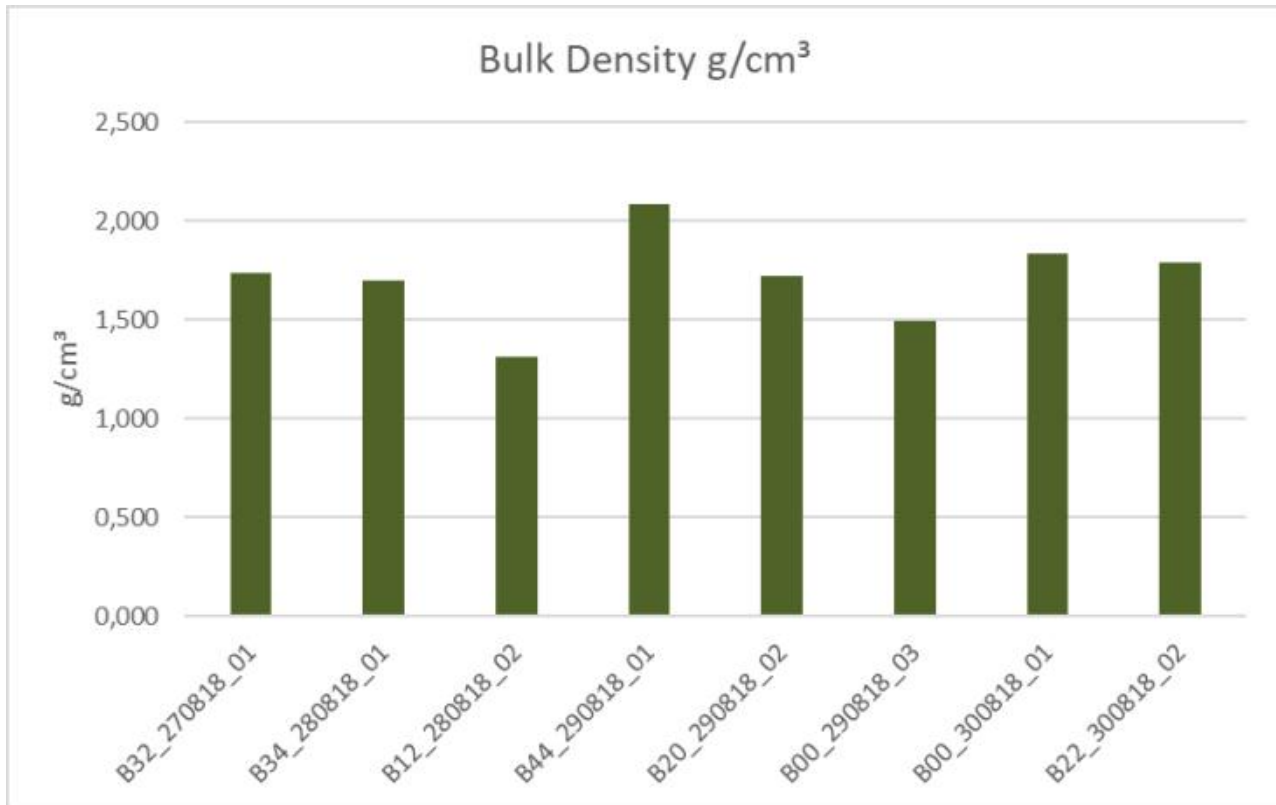


Abb. 10: Bodendichte (Quelle: Eigene Darstellung)

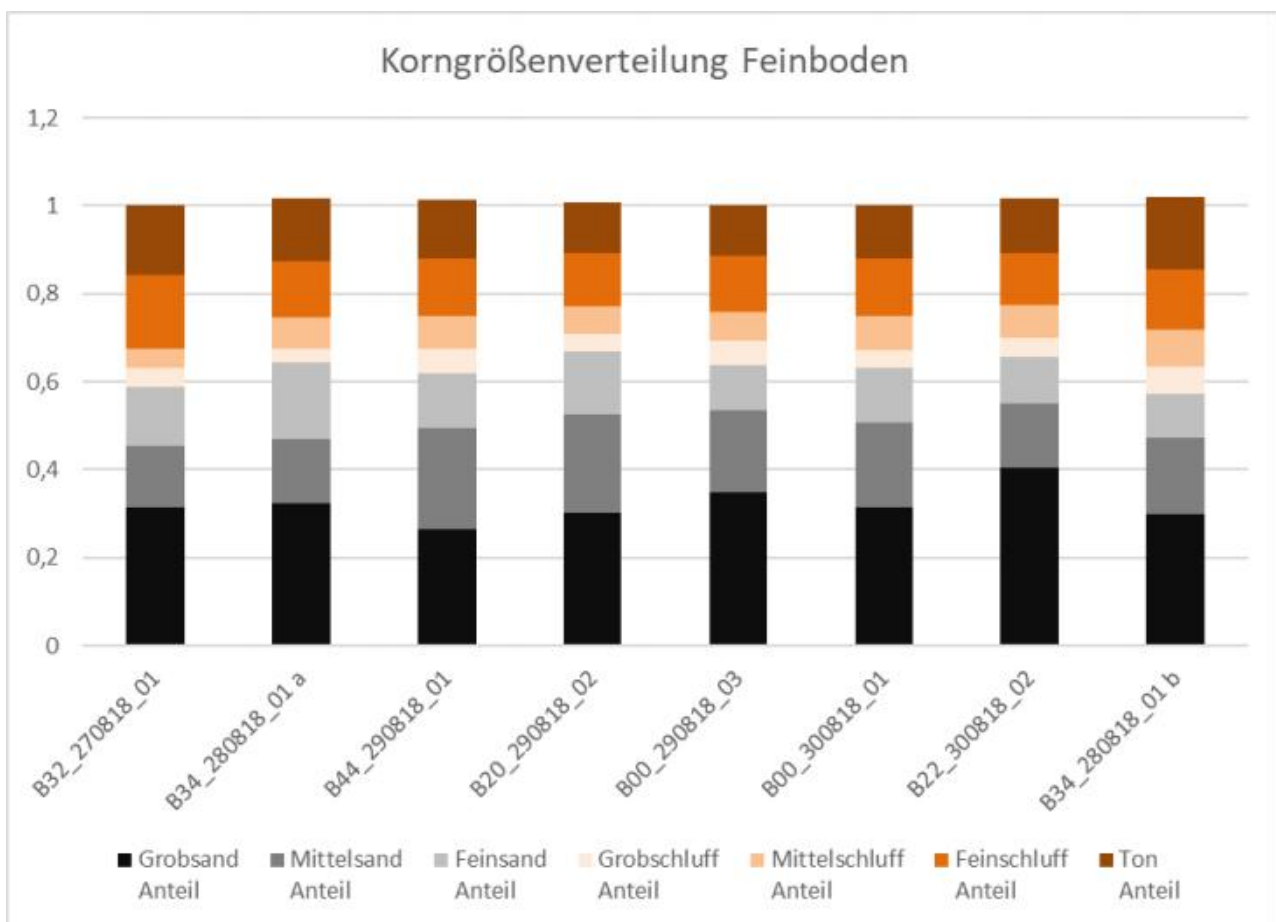


Abb. 11: Korngrößenverteilung Feinboden (Quelle: Eigene Darstellung)

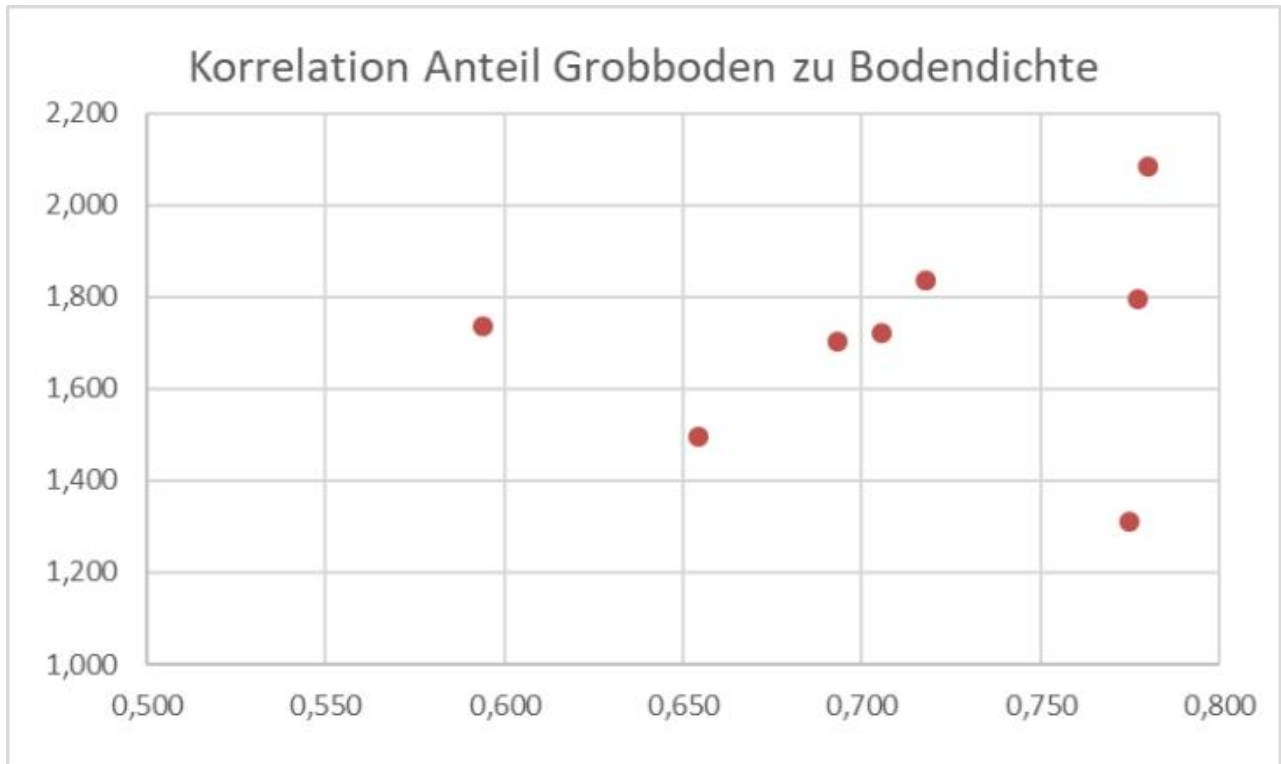


Abb. 12: Regressionsanalyse Anteil Grobboden zu Bodendichte (Quelle: Eigene Darstellung)

6. Bodenfeuchte & -temperatur

Wasser spielt in der Landwirtschaft eine große Rolle, so auch im Bereich der Vitikultur. Nicht aber nur der Wein muss mit Wasser versorgt werden, auch die Kräuter, die im Rahmen des Projektes angepflanzt wurden, benötigen eine zureichende Wasserversorgung. Daher ist kontinuierliche Überprüfung der Bodenfeuchte unabdingbar. Folglich wurden in der Versuchsfläche sechs Bodenfeuchtesensoren installiert (siehe *Abbildung 13*).

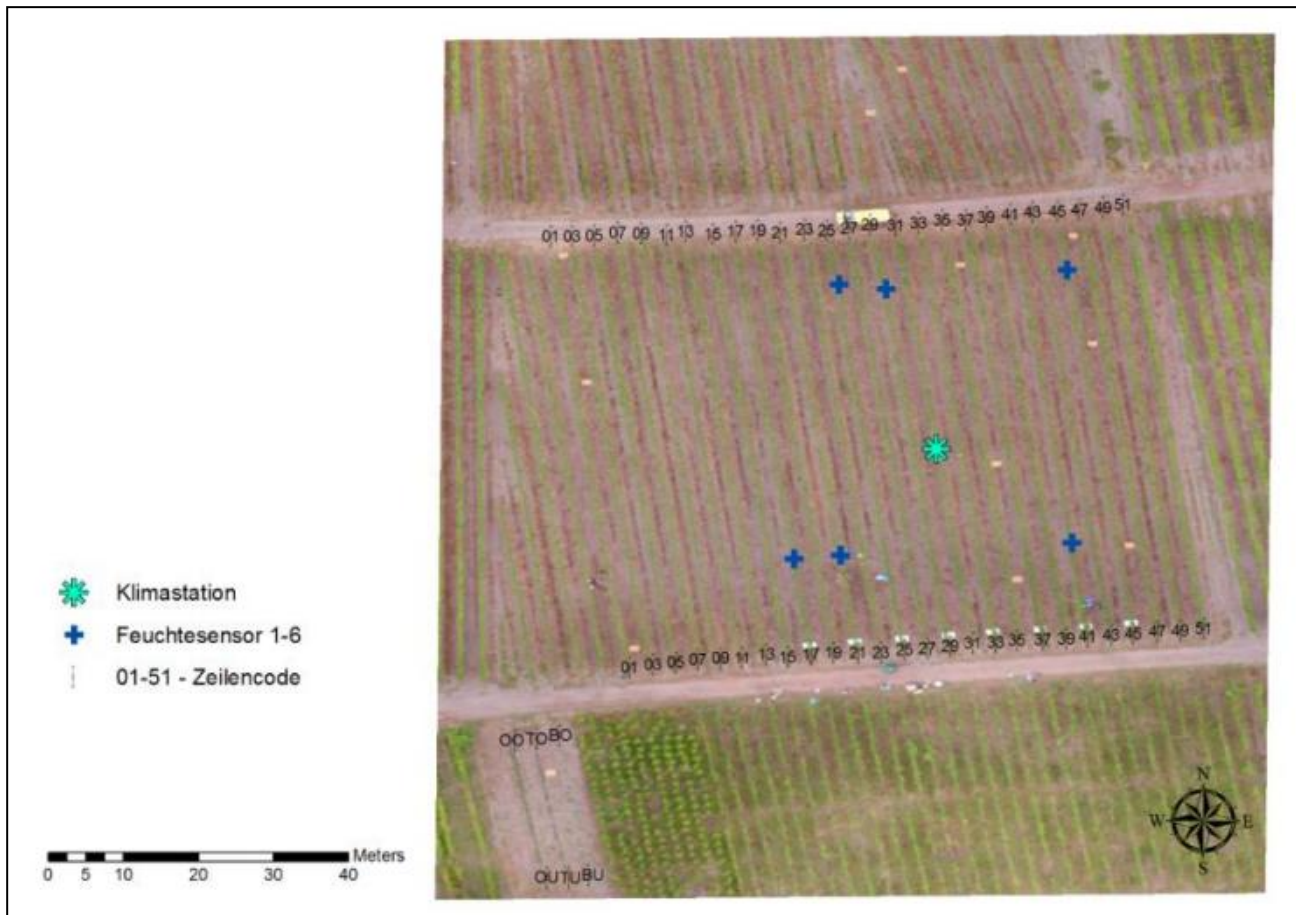


Abb. 13: Standort Bodenfeuchtesensoren und Klimastation (Quelle: Eigene Darstellung)

Neben den Bodenfeuchtesensoren wurde eine kleine Klimastation errichtet. Diese befindet sich nahezu im Zentrum der Versuchsfläche und kann über folgende Messungen verfügen: Lufttemperatur, Rel. Luftfeuchtigkeit, Niederschlag, Windrichtung/-geschwindigkeit. Des Weiteren befindet sich unweit der Versuchsfläche eine Klimastation der Agrarmeteorologie des Landes Rheinland Pfalz, die ebenfalls für eine Auswertung genutzt werden kann. Eine statistische Auswertung des Wetters, für den Monat August 2018, befindet sich im Anhang (siehe *Anhang C Abbildung 2*). Wobei zu beachten ist, dass es auf Grund der Entfernung zwischen den Stationen zu Abweichungen der tatsächlichen Werte kommt, dies ist beispielweise bei konvektiven Niederschlägen der Fall, da diese nur sehr lokal in Erscheinung treten. Bedingt durch einen Ausfall der Niederschlagserfassung an der Klimastation des Jesuitenberges, konnten dennoch die Werte

der agrarmeteorologischen Station in die Auswertung einbezogen werden. Diese dienen in diesem Falle aber eher als Anhaltspunkte.

6.1. Sensoren

Zur Erfassung der Bodenfeuchte wurden sechs Sensoren der Firma PLANTCARE, deren Messung auf einem mikrothermischen Verfahren basiert, und daher eine gleichzeitige Erfassung der Bodentemperatur ermöglicht, in den Boden gelassen. An der Spitze der Sensoren befindet sich eine hydrophile Filzmanschette (siehe *Abbildung 14*), die sich in Abhängigkeit zur Bodenfeuchte, mehr oder weniger, mit dem freiverfügbaren Wasser vollsaugen kann (vgl. PLANTCARE 2019).

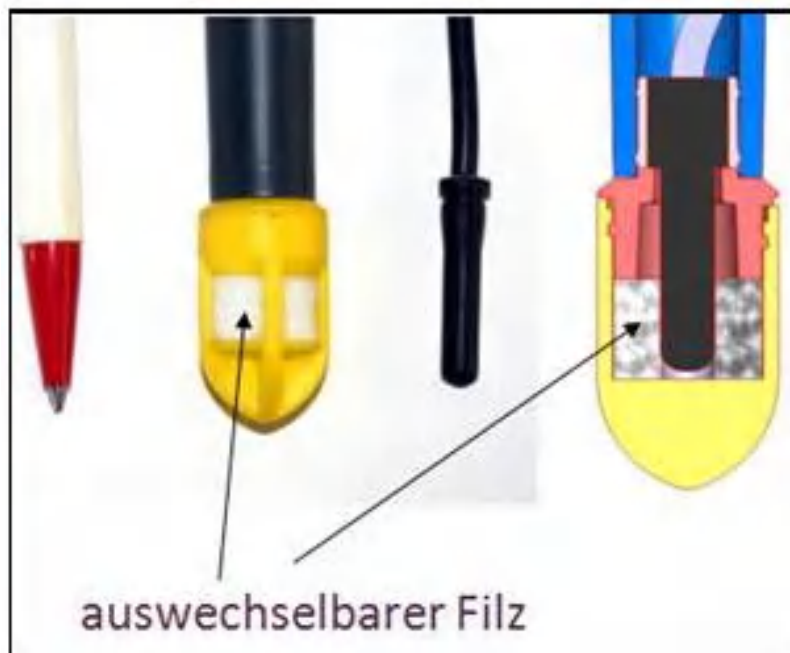


Abb. 14: PLANTCARE Bodenfeuchtesensoren (Quelle: PLANTCARE 2019)

Die o.g. Filzmanschette umgibt einen Heizwiderstand. Dieser erwärmt die Spitze des Sensors über einige Sekunden um circa 1 K. Nach der Heizphase erfolgt die Abkühlung. Dieser Prozess wird elektronisch genau erfasst und stellt die eigentliche Messgröße, des indirekten Verfahrens, dar.

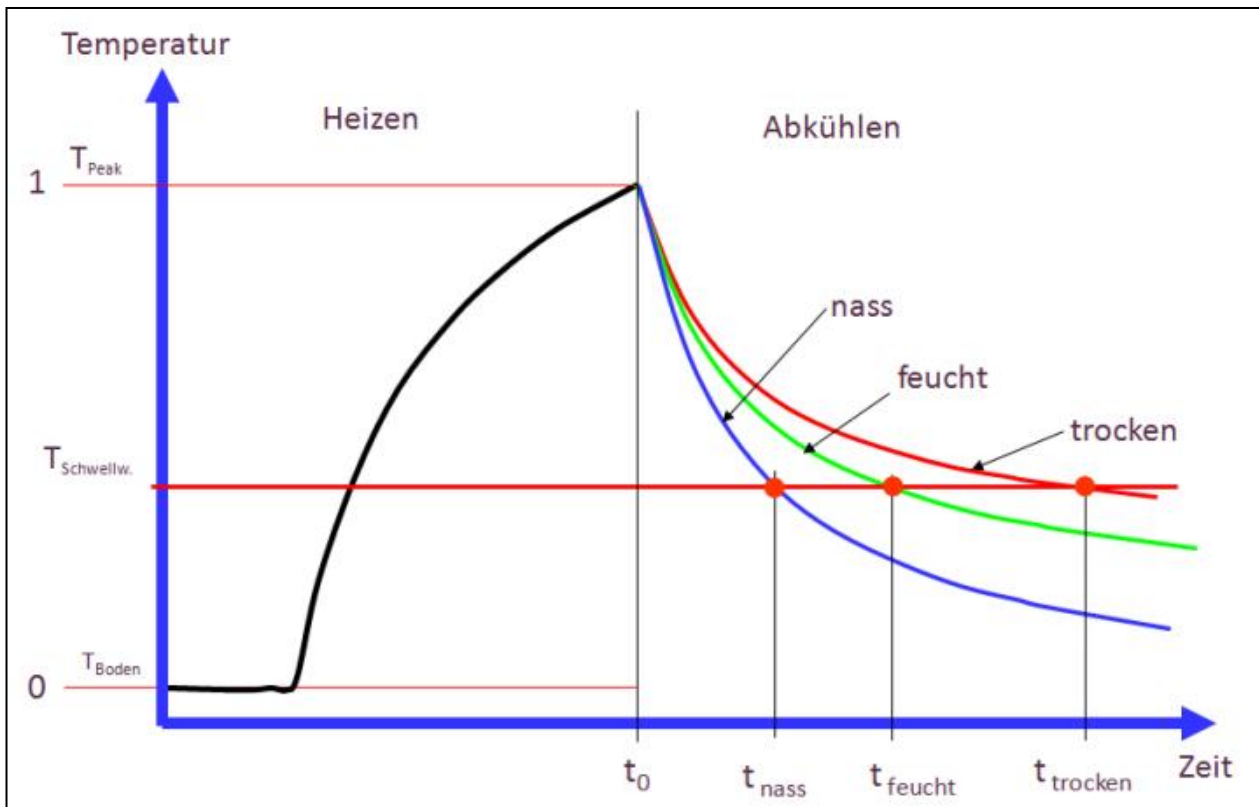


Abb. 15: Messprinzip der PLANTCARE Sensoren (Quelle: PLANTCARE 2019)

Dabei muss beachtet werden, dass der zeitliche Verlauf der Abkühlung der Filzmanschette im direkten Zusammenhang mit dem Grad des Wassergehaltes des Filzes steht. Ein trockener Filz, deren Volumen zum großen Teil aus Luft besteht, kühlt deutlich langsamer ab, als ein durchnässter Filz. Daher ist die Zeit, die bei der Abkühlung benötigt wird, um einen Schwellwert zu erreichen, das Maß der Bodenfeuchte (siehe *Abbildung 15*). Die vom Sensor erfassten Daten werden durch eine Funkverbindung in regelmäßigen Abständen an einen Datenlogger gesendet (vgl. ebd.).

6.2. Datenauswertung Bodenfeuchte

Die Auswertung der Bodenfeuchte wurde im Rahmen des Auswerteseminars für den August 2018 vorgenommen. Dazu wurde zunächst der zeitliche Verlauf der Bodenfeuchtwerte in einem Diagramm dargestellt (siehe *Anhang A Abbildung 1*).

Bei der Auswertung der Bodenfeuchtigkeit ist sehr gut zu erkennen, dass die meisten Sensoren eine Bodenfeuchte zwischen 30% - 40% gemessen haben. Ebenfalls sind Peaks, die von einigen Sensoren erfasst wurden, zu erkennen, dazu aber an späterer Stelle mehr (siehe *Anhang A Abbildung 2*). Des Weiteren ist ein deutlicher Tagesgang der Bodenfeuchtigkeit zu verzeichnen, der für gewöhnlich, sollte nicht ein Niederschlagsereignis stattgefunden haben, eine recht flache Amplitude aufweist. Dennoch ist bei Sensor 3 und Sensor 6 die Amplitude sehr stark ausgeprägt.

Daher muss bei diesen Sensoren davon ausgegangen werden, dass diese nicht richtig installiert, respektive äußere Einflüsse dazu führten, dass die Sensoren nahezu freigelegt wurden. Dies lässt sich besonders gut daran erkennen, dass die Bodenfeuchte ohne großen zeitlichen Verzug auf die Luftfeuchtigkeit reagiert und nahezu deren Wert annimmt (siehe *Anhang A Abbildung 4 und 7*).

Die Messergebnisse der übrigen Sensoren weisen eine gute Datenqualität auf. In der Grafik auf im *Anhang A Abbildung 2* ist die Auswertung des Sensor 1 zu sehen. Der Verlauf der Bodenfeuchtigkeit ist durch die rote Linie dargestellt. Mittels der blauen Balken kann die Niederschlagsmenge abgelesen werden. Da die Klimastation des Jesuitenberges zu dieser Zeit keine zuverlässigen Niederschlagsdaten lieferte, musste auf die Daten der agrarmeteorologischen Station in Kanzern zurückgegriffen werden. In dieser Grafik sind die zweistündigen Summen der Niederschlagsmenge aufgetragen. Dieses Maß ist zwar ungewöhnlich, dennoch war diese Aufsummierung erforderlich, was in dem zweistündigen Messintervall der Bodenfeuchtesensoren begründet ist. Ebenfalls kann der Grafik die relative Luftfeuchtigkeit entnommen werden, die durch eine grüne gestrichelte Linie dargestellt wird. Es handelt sich dabei um die Messwerte des Jesuitenberges.

Die Bodenfeuchtigkeit lag bei dem Sensor 1 kontinuierlich bei etwa 30% und schwankte im Tagesverlauf um etwa 8%. Das Tagesminimum der Bodenfeuchtigkeit wurde regelmäßig vor dem Tagesminimum der relativen Luftfeuchtigkeit erreicht. Deutlich zu erkennen sind fünf Peaks. Bei drei Peaks kann man den deutlichen Zusammenhang mit einem Niederschlagsereignis erkennen. Bei dem ersten sowie dem vorletzten Peak ist auch davon auszugehen, dass es ein Niederschlagsereignis gegeben haben muss. Dies ist in dieser Grafik nicht zu erkennen, da es am Standort der agrarmeteorologischen Station offensichtlich zu keinem Niederschlag gekommen ist, es aber durchaus möglich ist, dass es auf der Versuchsfläche des Jesuitenberges geregnet haben könnte. Die Wetterlage lässt ein kleines konvektives Niederschlagsereignis vermuten, wahrscheinlich mit einer niedrigen Intensität, da nicht alle Sensoren diese Anomalie erfassten. Der erste Verdacht, dass eventuell eine künstliche Bewässerung im Weinberg erfolgte, konnte nicht bestätigt werden.

Die Messergebnisse der anderen Sensoren sind im *Anhang A* einzusehen.

6.3. Datenauswertung Bodentemperatur

Analog zur Auswertung der Bodenfeuchtigkeit erfolgte die Auswertung der Bodentemperatur, die in der Abbildung 1 im *Anhang C* als Monatsübersicht dargestellt ist. Neben dem monatlichen Verlauf der Bodentemperatur der Sensoren 1-6 ist auch die Lufttemperatur der Klimastation vom Jesuitenberg abgebildet (gepunktete Linie).

Gut zu erkennen ist, dass es einen deutlichen Tagesgang der Bodentemperatur gibt. Allerdings ist im Vergleich zur Lufttemperatur die Amplitude deutlich abgeflacht. Die Tagesmaxima der

Bodentemperatur liegen zwar zum Teil deutlich über den der Lufttemperatur, jedoch muss ebenfalls konstatiert werden, dass die Tagesminima der Bodentemperatur regelmäßig deutlich wärmer ausfallen als die Lufttemperatur.

7. Vegetationsmessungen

Dieses Kapitel beschreibt die Vegetationsmessungen, die im Rahmen des Lehrforschungsprojektes an den in den Unterstockbereich gepflanzten Kräutern durchgeführt wurden. Ein Ziel des Projektes Diverfarming ist zu untersuchen, ob durch die Anpflanzung von verschiedenen Kräutern im Unterstockbereich zusätzliche Ecosystem Services erzeugt werden können.

7.1. Methodik

Am 07.05.2018 wurden im Unterstockbereich des Versuchsweinberges kleine Pflänzchen von Oregano bzw. Thymian gepflanzt. Die Pflanzdichte war dabei je 5 Pflänzchen zwischen 2 Rebstöcken, die Rebzeilen wurden entsprechend dem Pflanzschema aus *Abbildung 3* genutzt. Die Zeilen für Bergtee wurden nicht bepflanzt, da die Pflänzchen zu klein waren.



Abb. 16: Oregano/Thymian Pflanzen-Bereitstellung/Basispflanzung (Quelle: eigene Aufnahme)

Es gibt eine Vielzahl von Verfahren zur Vegetationsmessung (vgl. BRAUN-BLANQUET 1964). In diesem Fall soll nur das Wachstum bekannter gepflanzter Kräuter im Unterstockbereich gemessen werden. Daher wird eine modifizierte Point-Intercept-Methode (vgl. POETSCH 2015) angewendet.

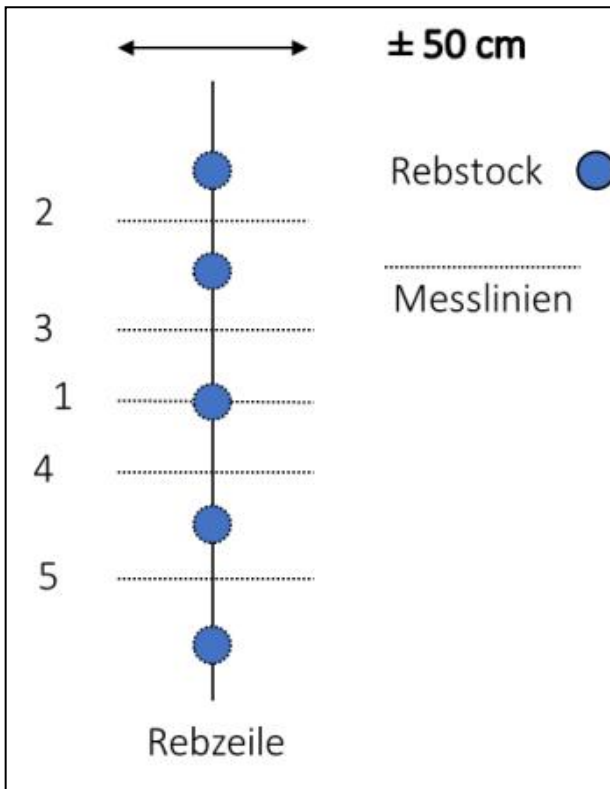


Abb. 17: Messschema (Quelle: Eigene Darstellung)

Um den Aufwuchs der Kräuter zu messen, wurden 2 Teststreifen im oberen Bereich der Testfläche (o) und im unteren Bereich der Testfläche (u) ausgewählt, jeweils etwa 9m von der oberen bzw. unteren Kante entfernt.

Als Messmethode wurde wie in *Abbildung 18* zu sehen eine einfache Längenmessung gewählt. Ein Maßstab (+-1m) wurde quer zur Rebzeile angelegt und die Wuchsbreiten nach den Kategorien Bewuchs, kein Bewuchs und Kräuter gemessen. (Die Breiten wurden in der Auswertung auf +-50cm verkleinert, siehe unten). Im Anschluss wurden diese Messungen jeweils 1m und 3m nach oben und unten wiederholt. Das Messschema ist in *Abbildung 17* dargestellt.



Abb. 18: einfache Vegetationsmessung (Quelle: Eigene Aufnahme)

Die Messungen wurden am 14.06.2018, 21.06.2018, 28.06.2018, 05.07.2018 und 27.08.2018 durchgeführt.

Zusätzlich sollten regelmäßige Bonitur-Messungen an einzelnen ausgewählten Weinreben durchgeführt werden. Die Messung der Bonitur einer ausgewählten Weinrebe beinhaltet

- a) Die Anzahl der Triebe, die dem Altholz entspringen
- b) die Länge des am stärksten ausgeprägten Triebes
- c) die Blätteranzahl und der Triebdurchmesser
- d) die Anzahl der Trauben der Rebe
- e) das Entwicklungsstadium und die Größe der Trauben

Die Ergebnisse der regelmäßigen Bonitur sollten mit dem Wachstum der Kräuter im Weinberg korreliert werden. Damit sollte untersucht werden, ob die Kräuter einen Einfluss auf die Weinreben haben, und wenn ja in welchem Ausmaß.

Da sich aus den Vegetationsmessungen kein Kräuterwuchs ablesen ließ, wurden die Bonituren nicht konsequent weitergeführt.



Abb. 19: Pflanzenbewuchs 05.07.2018 (Quelle: Eigene Aufnahme)

7.2. Datenauswertung

Die Messreihen (1...5, siehe *Abbildung 17*) werden zusammengefasst. Dabei werden Positionen gleicher Kategorie direkt weitergegeben, Positionen mit Bewuchs/kein Bewuchs erhalten die Kategorie „div“ und Positionen mit ua/Kräuter bekommen die Kategorie Kräuter. Damit wird das Auftreten von Kräutern betont. Außerdem wird die Messtrecke auf $\pm 50\text{cm}$ beschränkt, da so die Kräuter im Mittelbereich betont werden.

Die folgenden Abbildungen beschreiben kumulativ die Anteile der Bewuchstypen in Abhängigkeit vom Messdatum. Dabei werden im Titel jeweils die gemessene Rebzeile, der gepflanzte Kräutertyp und der Messort (oberer Bereich des Hanges bzw. Testfläche und unterer Bereich) angegeben. Zur besseren Visualisierung sind die Typen kein Bewuchs, irgendein Bewuchs und uneinheitlicher Bewuchs in Pastellfarben kodiert, während der Kräuterbewuchs in kräftiger Farbe kodiert ist.

Als zusätzliche Kontrolle wurden auf einer Sonderfläche ohne Weinanbau (links unterhalb des Weinbergs) die Kräuter angepflanzt. Hier werden die mechanischen Bearbeitungsschritte im Weinanbau nicht durchgeführt.

Folgende Erläuterungen beruhen auf den *Abbildungen 1 bis 4 in Anhang D*.

Es ist zu erkennen, dass kein Kräuteraufwuchs im Unterstockbereich erfolgt ist. Dies kann mehrere Gründe haben:

- a) die Pflanzen waren zu klein
- b) die Zeit zwischen Pflanzung und Messung war zu kurz
- c) die Witterung war zu trocken

d) die notwendigen Arbeiten im Weinberg haben die kleinen Kräuterpflanzen beeinträchtigt
 Für den Punkt a) spricht, dass bei einer Nachinspektion nach längerer Zeit (16.02.2019) ein Kräuterbewuchs im Unterstockbereich erkannt werden konnte (siehe *Abbildung 49*).
 Die Witterungsdaten zeigen, dass 2018 ein sehr trockenes und warmes Jahr war.
 Die Pflanzungen auf der Kontrollfläche, ohne Weinanbau (siehe *Anhang C Abbildung 4*) zeigen ein günstigeres Verhalten.

7.3. Methodenkritik

Unabhängig von dem hier erzielten Null-Resultat sollen hier noch einige Überlegungen zur Messmethode benannt werden:

- a) die Methode, einen Maßstab etwa in die Mitte zwischen 2 Rebstöcke zu legen und dort entlang des Maßstabes die Vegetation aufzunehmen ist nicht exakt genug um einigermaßen reproduzierbare Ergebnisse zu erzielen. Wir schlagen stattdessen vor, ein Messnetz, z.B. aus verknoteten Schnüren, temporär zwischen den Rebstöcken aufzuspannen und entlang einer gekennzeichneten Mittelschnur die Vegetationsaufnahme durchzuführen. Bei der damit erreichbaren Genauigkeit können auch die Pflanzenhöhen mit gemessen werden. Ein entsprechender Entwurf ist in *Abbildung 20* zu sehen:

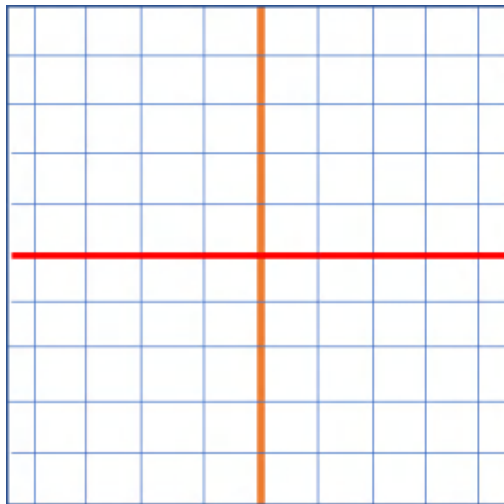


Abb. 20: Vorschlag Messnetz für Vegetationsmessungen (Quelle: Eigene Darstellung)

- b) Die jeweilige Messung ist per Foto zu dokumentieren, damit sie auch später nachprüfbar bleibt.
- c) Das Interesse an Ecosystem Services für den Winzer ist mehrjährig angelegt, man sollte bei einer mehrjährigen Beobachtung die Kräuterpoptulation des 1. Jahres nicht bewerten.
- d) Die notwendigen Arbeiten im Weinberg sollten die Pflanzungen nicht schädigen. Etwaige besondere Witterungsbedingungen sollten dokumentiert werden.

8. Erosivität

Das folgende Kapitel behandelt das Thema der Bodenerosion, welches, bedingt durch die Anbaueigenschaften des Weins, besonders in Hang- und Steillagen, und der damit verbundenen Anfälligkeit für Erosionsereignisse, fortwährend aktuell ist (vgl. HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (HLUG) 2007). Zur Untersuchung dieses Parameters wurde eine experimentelle Feldmethode angewandt, die in der Methodenbeschreibung zunächst detailliert vorgestellt wird. Daran anschließend werden die Messergebnisse dargestellt und diskutiert.

8.1. Methodik

Zur Untersuchung der Erosivität des Weinbergbodens wurde die kostengünstige Methode der Beregnung gewählt. Dabei handelt es sich um einen experimentellen Feldversuch, der sich durch einen geringen Zeitaufwand und der damit verbundenen Wiederholrate, für solche Untersuchungen besonders eignet (vgl. RIES et al. 2013). Zur Umsetzung der Beregnungen wurde die Kleinberegnungsanlage der Universität Trier verwendet. Die Durchführung erfolgte nach festen Maßstäben, um eine bestmögliche Vergleichbarkeit zu erzielen.

Die Kleinberegnungsanlage (Kba) besteht zunächst aus einem kreisförmigen Metallring, mit einem Durchmesser von 60cm und einer Kantenhöhe von 7cm. Dieser wird an einer ausgewählten, repräsentativen Stelle, etwa 3cm in das Bodengefüge eingetrieben und bildet mit einer Fläche von $0,28\text{m}^2$ den Testplot. Bevor der weitere Aufbau der Anlage erfolgt, wird der Testplot analysiert. Dabei wird der Anteil der Vegetation- und Steinbedeckung dokumentiert. Zur späteren Auswertung wird ein Foto des Plots benötigt, daher muss eine entsprechende Fotodokumentation erfolgen. Im Anschluss wird ein quadratisches Metallgestell, welches am oberen Ende eine Kantenlänge von 45cm ausweist, über den Testplot errichtet. Dieser wird zunächst durch eine Metallabdeckung, die im späteren Verfahren als Kalibrierhilfe dient, geschützt, um äußere Einwirkungen und somit Veränderungen der Oberfläche zu vermeiden. Am oberen Ende des Metallgestells befindet sich im Zentrum eine Düse des Typs Lechler 460.608, welche ein optimales Tropfenspektrum erzeugen kann und somit dem natürlichen Niederschlag am ehesten entspricht (vgl. ISERLOH et al. 2010; ISERLOH et al. 2012).

Da das Metallgestell über Teleskopbeine verfügt, die sich unabhängig voneinander justieren lassen, kann eine optimale Positionierung der Düse gewährleistet werden, welche sich exakt, waagrecht, 2m über dem Zentrum des Testplots befinden muss (vgl. ISERLOH et al. 2010). Um Windeinflüsse eliminieren zu können wird eine Plane, welche durch einen Reißverschluss geschlossen werden kann, über das Metallgestell gezogen.

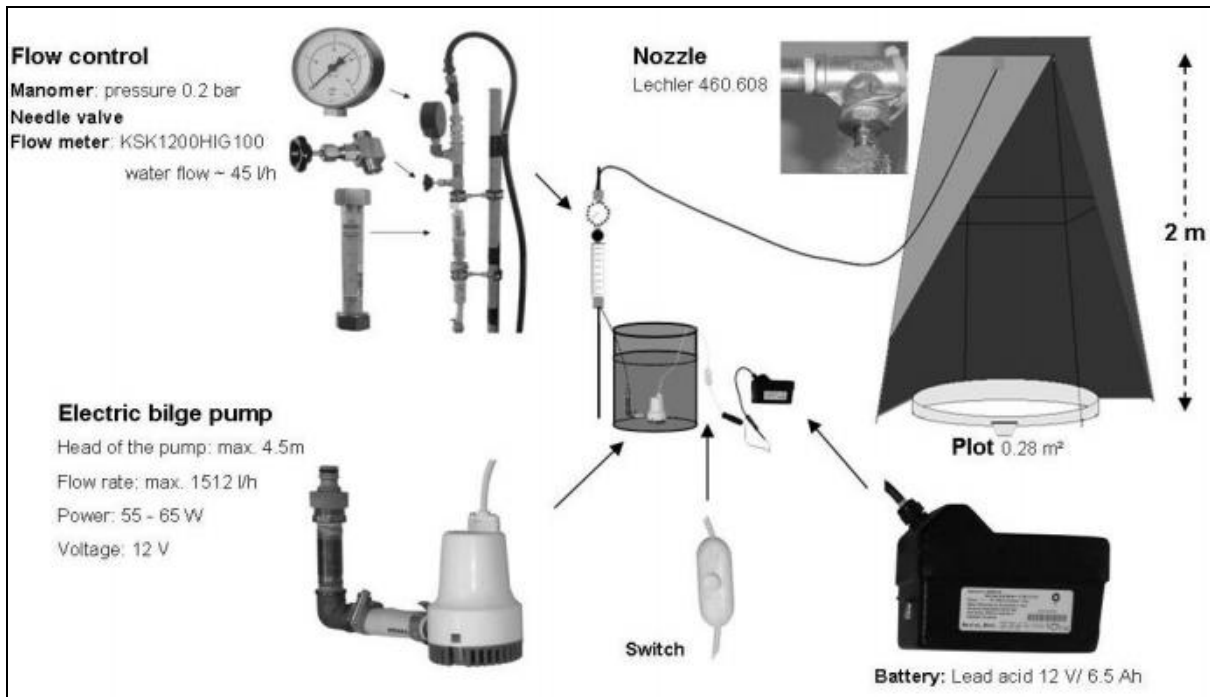


Abb. 21: Kleinberegnungsanlage (Quelle: ISERLOH et al. 2012, S.15)

Da besonders Starkniederschläge eine hohe Erosivität aufweisen, wird mit der Durchführung der Beregnung auch ein solcher Starkniederschlag simuliert. Die Niederschlagsintensität bei der Durchführung des Experiments beträgt 40 mm h^{-1} (vgl. ISERLOH et al. 2012; HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE 2007).

Die Wasserzufuhr erfolgt durch eine 12 V Bilgepumpe, mit einer Leistung von 55 – 65 Watt. Ein 12 V Bleiakkum liefert ausreichend Energie, um eine maximale Pumpleistung von 1512 L h^{-1} , bei einer maximalen Höhe von 4 m, zu gewährleisten. Die Kapazität des Bleiakkus hält eine ausreichende Energie für circa 2 Stunden Beregnungssimulation vor (vgl. ISERLOH et al. 2012).

Um einen konstanten Wasserdurchfluss, und damit Niederschlagsintensität, einstellen und erzeugen zu können, ist die Verwendung eines Durchflussmessers nötig. Zum Umfang der Kba gehört daher ein Durchflussmesser vom Typ KSK-1200HIG100 der Firma Kobold (vgl. ebd.). Dieser befindet sich nicht direkt am Gestell der Kba, sondern ist an einer separaten Metallstange befestigt und durch einen handelsüblichen Gartenschlauch mit dem Düsensystem und der Wassertonne verbunden. Bevor die eigentliche Beregnung gestartet wird, muss die Durchflussmenge kalibriert werden. Dazu dient die eingangs erwähnte Schutzabdeckung des Plots, welche im Weiteren als Kalibrierplatte dient und mit einer kleinen Durchlauföffnung versehen ist. Die Kalibrierung erfolgt nach folgendem Prinzip.

Sobald sich nach dem Einschalten der Kba ein gleichmäßiger Abfluss an der Kalibrierplatte einstellt, wird mit einem Messgefäß die genaue Abflussmenge über einen Zeitraum von 2,5 Minuten ermittelt. Der angestrebte Wert liegt bei 472ml. Eine maximale Abweichung von $\pm 10\%$ liegt dabei im Toleranzbereich, da so gewährleistet werden kann, dass die Niederschlagsmenge in

etwa den geforderten 40mm/h entspricht. Ist die Abweichung zu groß, so muss eine erneute Kalibrierung erfolgen, bis die Gütekriterien erreicht werden.

Nach erfolgreicher Kalibrierung kann die eigentliche Beregnung erfolgen. Dazu wird die Kalibrierplatte von dem Testplot entnommen. Dabei ist darauf zu achten, dass der kalibrierte Durchlauf nicht gestört oder gar abgestellt wird. Während der 30-minütigen Beregnung sollte der Wasserstand in der Wassertonne regelmäßig überprüft und das Niveau möglichst auf einem Level gehalten werden (vgl. ISERLOH et al. 2012).

Sobald an der Oberfläche ein Runoff zu konstatieren ist, muss die Zeit des Abflussbeginns notiert werden. Das abfließende Wasser sammelt sich nach dem Eintreten des Abflusses in einer nummerierten Probenflasche, die an der Ablaufvorrichtung des Testplots zu platzieren ist. Die Flasche ist in einem Intervall von 5 Minuten auszutauschen. Ist diese vor dem Ablauf des Intervalls bereits komplett gefüllt, wird dem 5-minütigen Intervall eine weitere Flasche zugeordnet.

Mit Ablauf des sechsten Intervalls und somit der 30-minütigen Niederschlagssimulation, wird erneut die Kalibrierplatte auf den Testplot gelegt. Das Verfahren zur Kalibrierung, welches zum Beginn der Beregnung erfolgte, muss nun wiederholt werden. Dabei sollte erneut eine Durchlaufmenge von 472ml je 2,5 Minuten (+/- 10%) erzielt werden. Nach erfolgreicher Nachkalibrierung ist davon auszugehen, dass während des Experiments der Wasserdurchlauf konstant geblieben ist. Ist die Abweichung zu groß, kann davon ausgegangen werden, dass die angestrebte Niederschlagsmenge nicht erreicht oder deutlich überschritten wurde.

Nachdem die Kba deinstalliert wurde, ist eine erneute Fotoaufnahme des Plots notwendig. Im Anschluss kann der Plotring aus dem Boden genommen und die sog. Befeuchtungsfront ermittelt werden. Dazu wird mittig der Plotfläche das Bodensubstrat abgegraben, um somit ein Bodenprofil zu erhalten. Dieses liefert nach einer Vermessung Informationen über die Infiltrationstiefe des Wassers.

8.2. Datenauswertung

In der Zeit vom 27.- 30. August konnten im Rahmen des Lehrforschungsprojektes insgesamt acht Beregnungssimulationen durchgeführt werden. Die Positionen der Beregnungen sind auf der folgenden Karte gut ersichtlich.



Abb. 22: Positionen der Beregnungsversuche (Quelle: Eigene Darstellung)

Sehr gut zu erkennen ist, dass besonders der obere Bereich der Versuchsfläche intensiv beprobt wurde. Die Beprobung im unteren Bereich der Versuchsfläche fällt deutlich zu knapp aus (siehe Kapitel 8.3. Methodenkritik).

Die Auswertung der Beregnungen erfolgte im Seminar. Dazu wurde zunächst eine Inventur der Probenflaschen vorgenommen und die Aufnahmebögen digitalisiert. Die Probenflaschen wurden im nächsten Schritt gewogen. Somit konnte abzüglich des bereits vorliegenden Taras die Gesamtfüllmenge der Flaschen leicht ermittelt werden. Dieser Wert repräsentiert die Menge des Oberflächenabflusses und der Erosion. Um beide Werte separat voneinander zu erhalten, was für eine zielorientierte Auswertung zwingend notwendig ist, muss die Suspension durch ein Filterpapier - dessen Tara bekannt ist - gegossen werden. Somit kann das Wasser vom Erosionsmaterial getrennt werden. Die Filter werden zur weiteren Auswertung zunächst getrocknet, um anschließend auch diese zu wiegen. Das ermittelte Gewicht stellt die Menge des Erosionsmaterials dar. Mit dem Abschluss dieses Arbeitsschrittes, liegen nun alle Daten zur weiteren Auswertung vor und müssen lediglich den einzelnen Messintervallen zugeordnet werden. Nach erfolgreicher Zuordnung der Daten kann das Abfluss- und Erosionsverhalten der einzelnen Beregnungen ermittelt werden. Dazu werden die Menge des Oberflächenabflusses sowie die Menge der Erosion den einzelnen Intervallen der Beregnungen zugeordnet. In der graphischen

Darstellung in *Abbildung 23* und *24* kann das Verhalten des Abflusses und der Erosion sehr gut abgebildet und interpretiert werden.

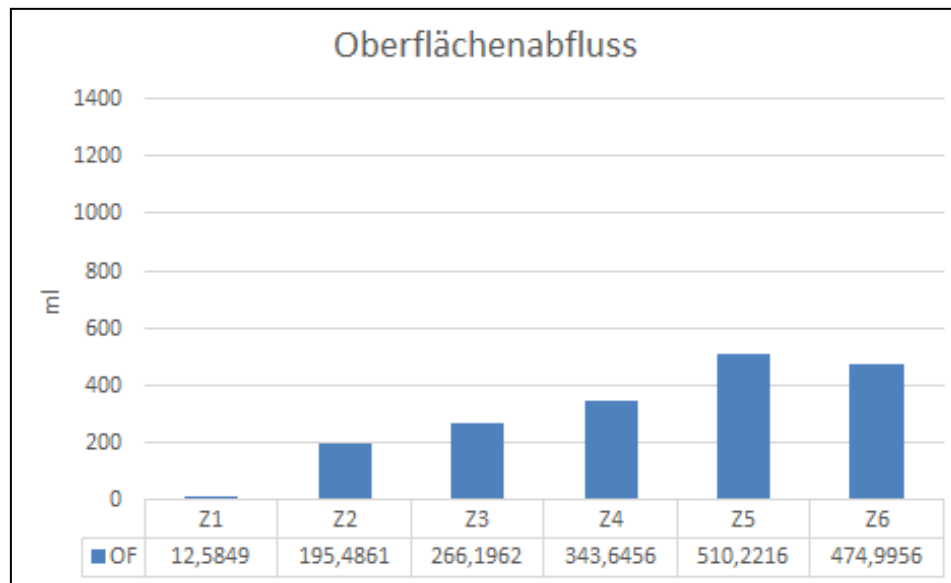


Abb. 23: Oberflächenabfluss der ersten Beregnung von Intervall 1-6 (Quelle: Eigene Darstellung)

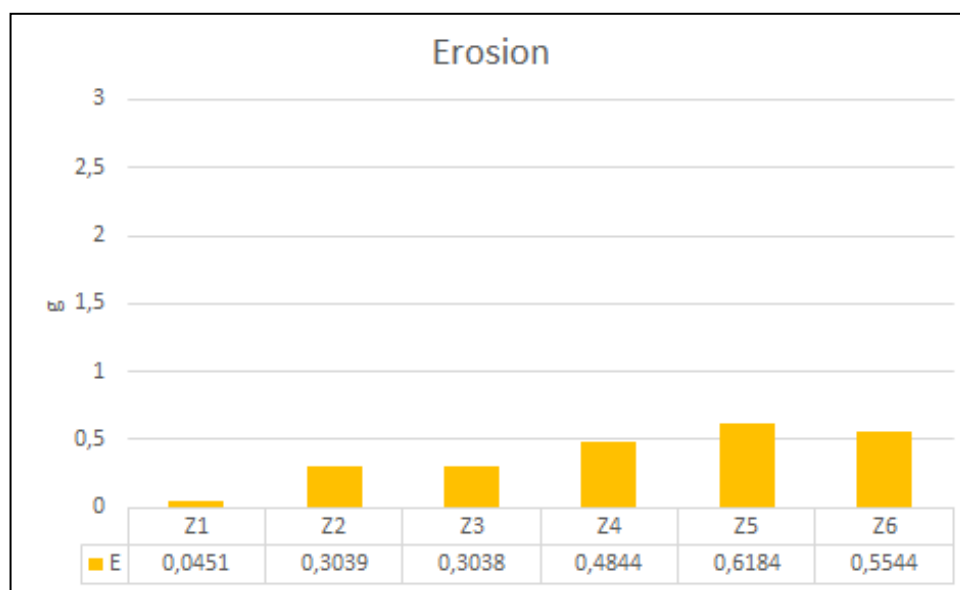


Abb. 24: Erosion der ersten Beregnung von Intervall 1-6 (Quelle: Eigene Darstellung)

Im Anschluss erfolgte die Bestimmung der Sedimentkonzentration (g L^{-1}). Dazu wurde die Menge des erodierten Materials, je Intervall, durch die Menge des Oberflächenabflusses (OF), ebenfalls je Intervall, dividiert. Des Weiteren wurde der Abflussbeiwert Ψ bestimmt. Dazu dienten die beiden Werte der Durchflussmenge aus der Vor-/Nachkalibrierung, die während der Durchführung der Beregnung generiert wurden. Der Mittelwert bildet die zu erwartende Niederschlagsmenge (N) der einzelnen Intervalle. Dividiert man die Abflussmenge je Intervall durch die Niederschlagsmenge des jeweiligen Intervalls, so erhält man den Abflussbeiwert.

Somit ergibt sich für den Abflussbeiwert folgende Formel:

$$\psi = \frac{OF}{EM}$$

Jeder Beregnungsversuch kann nach der entsprechenden Auswertung folgendermaßen entsprechend der *Abbildung 25* dargestellt werden:

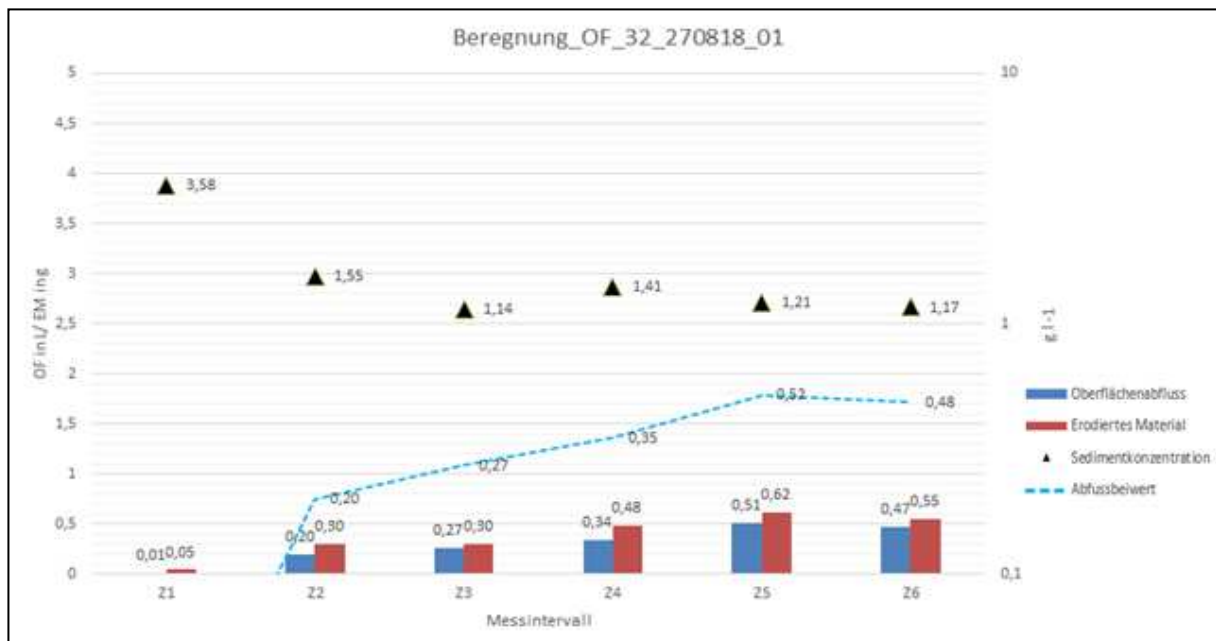


Abb. 25: Analyse Beregnungsversuch 32_270818_01 (Quelle: Eigene Darstellung)

Bei dieser Abbildung handelt es sich um die Auswertung der ersten Beregnung, mit der ID 32_270818_01, welche am 27. August, im oberen Bereich der Versuchsfläche, erfolgte. Der Plot befand sich dabei auf der Fahrspur. Das entsprechende Datenblatt dieser Beregnung befindet sich im *Anhang B Abbildung 2*.

Auf der X- Achse des Diagramms sind die 5-minütigen Intervalle der Beregnung abgebildet. Der unmittelbar darüber befindliche blaue Balken stellt die Menge des Oberflächenabflusses dar. Der rote Balken steht für die Masse des Erosionsmaterials. Aus diesen beiden Größen lässt sich mittels Division die Sedimentkonzentration des Oberflächenabflusses bestimmen und ist in der Grafik durch die schwarzen Dreiecke gekennzeichnet. Durch die blaue gestrichelte Linie kann der Abflussbeiwert bestimmt werden.

Der Oberflächenabfluss (OF) setzte am Ende des ersten Intervalls (Z1), nach 280 Sekunden ein und erreichte bis zum Ende des fünften Intervalls sein Maximum. Dieses lag bei 0,51L und fiel im letzten Intervall auf 0,47L. Auch das Maximum des Abflussbeiwerts liegt im fünften Intervall und erreicht einen Wert von 0,52. Mit dem Eintreten des Oberflächenabflusses ist eine hohe Sedimentkonzentration festzustellen. Im ersten Intervall, bei dem es lediglich einen 20-sekündigen Abfluss von etwa 0,01L gab, wird der maximale Wert von 3,58g L⁻¹ erreicht und fällt bis zum dritten

Intervall auf $1,14 \text{ g L}^{-1}$, um nochmals marginal anzusteigen und nach Ablauf des vierten Intervalls das Niveau zu halten. Insgesamt gab es bei dieser Beregnung einen Abfluss von $6,44 \text{ L m}^{-2}$, der eine Erosion von $8,25 \text{ g m}^{-2}$ erzeugte.

Im *Anhang B* befinden sich die Datenblätter aller Beregnungen. Dort sind alle Ergebnisse detailliert aufgeführt und können genauer betrachtet und ausgewertet werden.

Die Auswertung der einzelnen Beregnungen stellt allerdings nur einen Zwischenschritt dar. Nachdem alle Versuche ausgewertet sind, müssen diese miteinander verglichen werden. Dazu wurden die wichtigsten Parameter der Beregnungen in ein Diagramm überführt, welches den Vergleich deutlich erleichtert (siehe *Anhang B Abbildung 1*).

Auf der Grafik ist der Vergleich aller Beregnungsversuche dargestellt. Bei der Betrachtung des Diagramms sollte zunächst die vierte und sechste Beregnung (v.l.) keine Berücksichtigung finden.

Zunächst erfolgte der Vergleich des Abflussbeiwerts (Ψ), in dem Diagramm durch die hellblauen Säulen dargestellt. Es handelt sich dabei um das arithmetische Mittel aus den jeweiligen Messintervallen. Die Werte liegen zwischen 0,25 und 0,45, lediglich die fünfte Beregnung weist mit 0,69 einen deutlich höheren Wert auf.

Bei der Darstellung der Sedimentkonzentrationen kann zwischen dem Minimum-, Maximum- und dem Durchschnittswert unterschieden werden. Bei dem Minimumwert, in dem Diagramm in rot dargestellt, variieren die Werte (relativ) sehr stark. Der Wertebereich liegt hier zwischen $0,00 \text{ g l}^{-1}$, bei der letzten Beregnung, dort war erst im zweiten Intervall ein Abfluss zu konstatieren und $1,14 \text{ g l}^{-1}$ bei der ersten Beregnung. Diese weist ebenfalls den höchsten Wert bei dem Maximum der Sedimentkonzentration auf, das einem Wert von $3,58 \text{ g l}^{-1}$ entspricht. Der niedrigste Wert der maximalen Sedimentkonzentration ist bei der fünften Beregnung festzustellen, welche ebenfalls durch den höchsten Abflussbeiwert auffiel. Hier erfolgte die Erosion am gleichmäßigsten, jedoch bei einem relativ starken Abfluss. Der Durchschnittswert der Sedimentkonzentration zeigt eine Schwankung zwischen $0,59 \text{ g l}^{-1}$ und $1,52 \text{ g l}^{-1}$ auf, da dieser aber nur eine geringe Aussagekraft im direkten Vergleich hat, soll dieser auch nicht weiter berücksichtigt werden.

Als letzter Parameter ist die Gesamterosion der jeweiligen Beregnung aufgetragen. Dieser ist im Diagramm durch ein rotes Dreieck gekennzeichnet. Damit der Wert etwas „griffiger“ ist, wurden die Ergebnisse auf einen Quadratmeter hochgerechnet. Die geringste Erosion erfolgte bei der zweiten Beregnung, dort, wo der Vegetationsanteil recht hoch war und sich der Plot in der gering verdichteten Mittelspur befand, erodierten lediglich $3,99 \text{ g m}^{-2}$. Die meiste Erosion ist bei der siebten Beregnung zu verzeichnen. Diese erfolgte im Übergang von Mittelspur zur Fahrspur und wies einen großen Anteil an Steinbedeckung auf. Dort wurde ein Wert von $12,96 \text{ g m}^{-2}$ erreicht.

Die vierte Beregnung nimmt bei der Auswertung eine Sonderrolle ein. Wie die Grafik zeigt, ist hier nichts zu sehen, und das aus gutem Grund. Bei diesem Versuch kam es zu keinem oberflächlichen Abfluss, weswegen eine weitere Datenerfassung nicht möglich war. Auf dem Datenblatt (siehe *Anhang B Abbildung 5*) ist jedoch sehr gut zu erkennen, dass es am äußeren rechten Rand zu

einer tiefreichenden Infiltration gekommen ist. Dies lässt vermuten, dass das Beregnungswasser oberflächennah abgeflossen sein könnte.

Der sechste Beregnungsversuch sticht mit hohen Werten deutlich hervor. Besonders auffällig ist, dass der Abflussbeiwert bei 1 liegt und somit das gesamte Beregnungswasser abgeflossen sein muss. Daher ist bei diesem Versuch davon auszugehen, dass hier deutliche Mängel bei der Durchflussmenge vorliegen und eine deutlich intensivere Beregnung erfolgte. Die Nachkalibrierung der Niederschlagsmenge war deutlich erhöht, weshalb diese Beregnung für einen Vergleich nicht geeignet ist.

8.3. Methodenkritik

Während des Projekts, besonders in der Phase der Auswertung, sind wir auf einige Punkte gestoßen, die Anlass zur Kritik geben.

Zunächst mussten wir feststellen, dass die Standorte für die Versuche nicht repräsentativ ausgewählt wurden. Im Idealfall sollten diese so ausgewählt werden, dass über das gesamte Spektrum der durchgeführten Beregnungssimulationen, sämtliche Standortbesonderheiten berücksichtigt werden und mit den entsprechenden Eigenschaften in die Auswertung einfließen können, damit ein für das Versuchsgebiet repräsentatives Gesamtergebnis erzielt werden kann. Das bedeutet für einen bewirtschafteten Weinberg, dass die Fahrspur ebenso wie die Mittelspur, auch die Reihenbänke beprobt werden sollten. Allerdings ist besonders eine Beprobung der Reihenbänke sehr kompliziert, da sich die Kba in diesem Bereich des Weinberges kaum, respektive nur mit enormem Zeitaufwand, aufbauen lässt und wir daher darauf verzichtet haben. Des Weiteren sollte die gesamte Versuchsfläche beprobt werden, damit eine flächenhafte Heterogenität überhaupt erfasst werden kann. Im Rahmen des Lehrforschungsprojektes ist es uns leider nicht gelungen, diesen Kriterien umfassend zu entsprechen und auf Grund der begrenzten Zeit genügend Beregnungen durchzuführen, um ein repräsentatives Ergebnis zu erzielen. Ein aussagekräftiger Vergleich der Ergebnisse ist daher (noch) nicht möglich.

Auch die Ermittlung des Abflussbeiwertes ist aus unserer Sicht sehr ungenau, da lediglich zwei Werte dafür zur Verfügung stehen, die zum Beginn und Ende des Versuchs ermittelt werden. Das bedeutet, dass während der gesamten 30-minütigen Beregnung, trotz des Durchlaufmessers, Schwankungen in der Durchflussmenge auftreten können, die mit der derzeitigen Methode nicht ausreichend berücksichtigt werden.

9. Gesättigte Leitfähigkeit

Da untersucht werden soll, welchen Einfluss die Bearbeitungsintensität von Bewuchs im Unterstockbereich im Weinberg auf die Biodiversität und die *Eco-System-Dienste* besitzt, werden in diesem Rahmen neben Permeabilitätsmessungen auch Infiltrationsmessungen mit dem Einring-Infiltrometer durchgeführt. Dadurch können die Auswirkungen der Bearbeitung und Bewirtschaftung auf die hydraulischen Bedingungen im Boden untersucht werden. Bei den Infiltrationsmessungen wird der Fokus insbesondere auf den Vergleich zwischen Fahrspur und Unterstockbereich gelegt, da hier durch die Messungen die unterschiedlichen Bodeneigenschaften aufgezeigt werden können. Zudem können dadurch Aussagen über die Auswirkungen auf die Wasserversorgung der Rebstöcke getroffen werden.

Mit dem Einsatz des Einring-Infiltrometers (Single-Ring Infiltrometer) wird die hydraulische Leitfähigkeit des gesättigten Bodens – das heißt die potentielle Infiltrationsrate - bei konstantem Wasserüberdruck bestimmt.

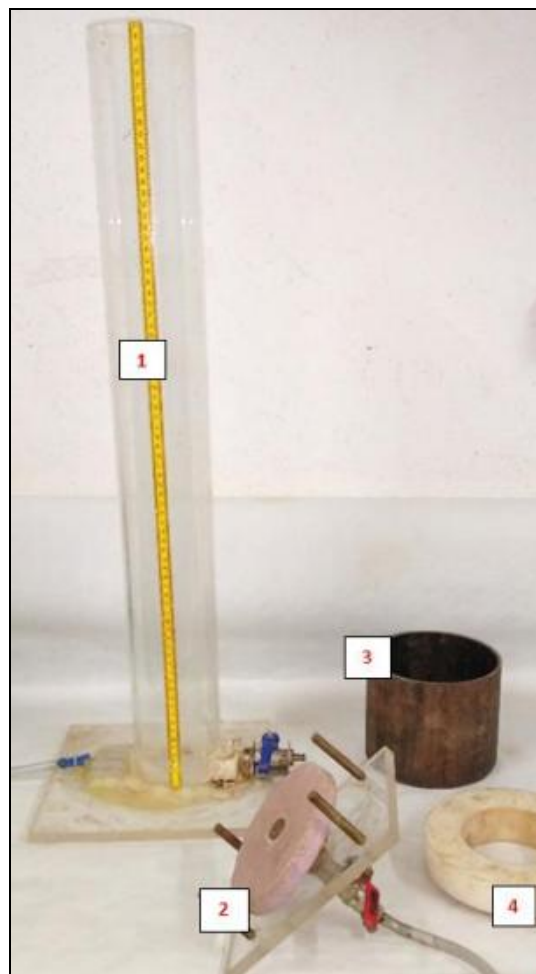


Abb. 26: Alle zur Messung benötigten Geräteteile: 1. Der Vorratsbehälter, 2. Die Nachfülleinrichtung, 3. Der Metallring bzw. Stahlringzylinder und 4. Der Kunststoffring als Einschlaghilfe für den Metallring (Quelle: Eigene Aufnahme)

9.1. Methodik

Dazu wird ein Metallring (siehe *Abbildung 26*) mit einem Radius von 7,5cm [a] etwa fünf bis sieben Zentimeter in den Boden geschlagen. Um die Infiltrationsfähigkeit des Bodens zu messen, wird Wasser in den Ring gegeben. Da sich im Weinberg aufgrund der Steillage der Umgang mit Wasserreserven relativ schwierig gestaltet, wird eine automatische Nachfülleinrichtung nach Link (LINK 2000) genutzt, damit kein Wasser aufwändig manuell nachgegossen werden muss.

Die Nachfülleinrichtung besteht aus einer Kunststoff-Schwimm-Scheibe, welche den Druck des nachfließenden Wassers gleich hält und dafür sorgt, dass der Überstau langsam aufgefüllt wird. Zudem besitzt die Nachfülleinrichtung ein mechanisches Ventil, das die Wasserhöhe im Ring auf konstanter Höhe hält (Single Constant Head Method) (vgl. ebd.).

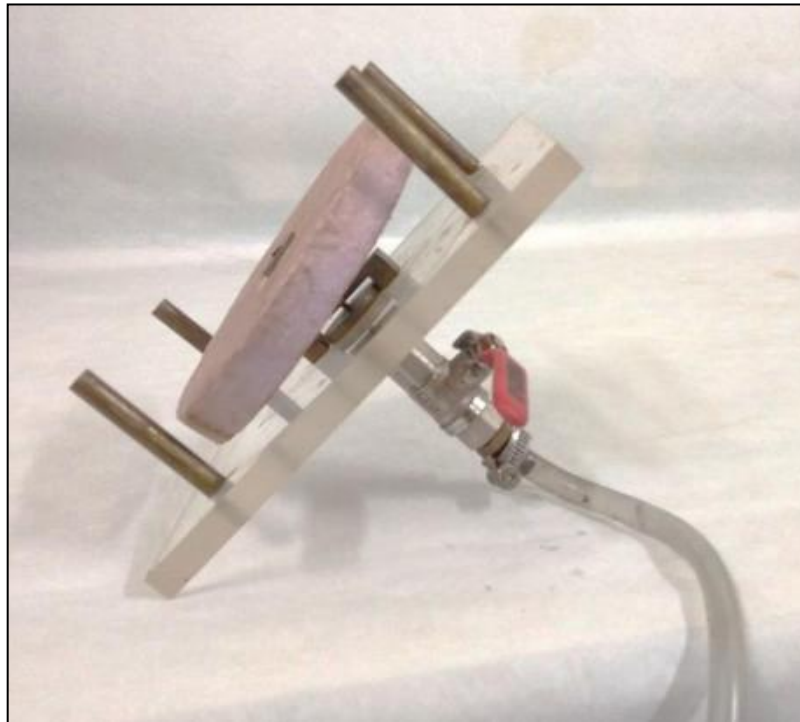


Abb. 27: Nachfülleinrichtung nach LINK (Quelle: Eigene Aufnahme)

Gemessen wird die Menge des infiltrierenden Wassers in Abhängigkeit von der Zeit. Das heißt, die Geschwindigkeit, mit der das Wasser in den Boden infiltriert, hängt von der hydraulischen Leitfähigkeit (vom K_{fs} -Wert) des Bodens ab. Der Versuch bzw. die Messung dauern in der Regel eine Stunde lang. Vom Startzeitpunkt bis zur fünften Minute wird der Wasserstand anhand der Markierung auf dem Wasserbehälter, welcher auf *Abbildung 1* zu sehen ist, im Fünfsekundentakt abgelesen. Während des Versuchsablaufs werden die Ableseabstände bei einem gleichmäßigen Infiltrationsverhalten verlängert. So wurde ab Minute fünf bis Minute sechs im Zehnsekundentakt, von Minute sechs bis Minute acht im Zwanzigsekundentakt, von Minute acht bis Minute zwanzig im Minutentakt und schlussendlich von Minute zwanzig bis Minute sechzig im Fünfminutentakt

abgelesen und dokumentiert.

Zusätzliche notwendige Angaben sind die Einschlagtiefe bzw. Bohrlochtiefe [d], die Einstauhöhe [H], der Radius des Metallrings [a], die Vegetationsbedeckung, die Hangneigung und die Textur-/Struktureigenschaften des Bodens. Wie bei allen anderen Messungen wird jeweils Zeile und Code notiert, um die Messung für die spätere Datenverarbeitung räumlich im Weinberg einordnen zu können.

Zur Berechnung der konstanten Infiltrationsrate aus dem Ring in den Boden q_s und der hydraulischen Leitfähigkeit des gesättigten Bodens K_{fs} wird die Formel nach REYNOLDS und ELRICK (1990) angewendet.

$$k_{fs} = \frac{q_s}{\left[\frac{H}{C1d + C2a} \right] + \left\{ \frac{1}{[\alpha * (C1d + C2a)]} \right\} + 1}$$

Hierbei ist q_s in der K_{fs} -Berechnung inkludiert und sollte zuerst berechnet werden. Wichtig ist dabei, dass der q_s -Wert für jedes notierte Zeitintervall berechnet wird, um für eine 60-minütige Einring-Infiltrationsmessung einen Graphen erstellen zu können, der das Infiltrationsverhalten eines Standortes wiedergibt. So wird beispielsweise für die fragmentiert dargestellte Infiltrationsmessung *Inf_KaJB_c00_v01_20180830_6* in Tabelle 1 der q_s -Wert für die ersten fünf Sekunden berechnet, in der die Wassersäule von 71,7cm auf 69,5cm sinkt. Der berechnete Wert wird jeweils in Liter pro Quadratmeter pro Stunde [$L/m^2 \text{ h}^{-1}$] bzw. in mm/h angegeben.

Tab. 3: Beispiel – Messung *Inf_KaJB_c00_v01_20180830_6*

Zeit [s]	dt	Wassersäule [cm]	Differenz [cm]
0		71,7	#NV
5	5	69,5	2,20
10	5	68	1,50

$$q_s = \text{Wasserstandsdifferenz [cm]} * \left[\frac{ZA [cm^2]}{1000} \right] * \left[\frac{10.000}{RA [cm^2]} \right] * 3600 / \text{Zeitintervall}$$

Wobei:

$$ZA = PI * (4,5^2)$$

$$RA = PI * (7,5^2)$$

Der q_s -Wert wird mit der oben aufgezeigten Formel mithilfe von fünf wichtigen Größen berechnet. Die erste Variable der Formel ist die Wasserstandsdifferenz, welche in Zentimeter angegeben wird.

Die Wasserstanddifferenz wird mit der nächsten Variable multipliziert. Diese ist ZA - der Flächeninhalt des Wasserbehälter-Zylinders (Radius 4,5cm). Der Flächeninhalt des Zylinders wird durch 1.000 dividiert. Dies ist nötig, da ein Zentimeter auf der Zylinderskala ca. 0.0636 Liter entspricht, das heißt es infiltriert ein Zentimeter aus dem Zylinder in den Boden, was 0.0636 Liter entspricht. Des Weiteren wird 10.000 durch RA - den Flächeninhalt des Metallringes (Radius 7,5cm) - geteilt, um cm² auf m² umzurechnen. Dies wird benötigt, um den Inhalt eines Zylinderquadratcentimeters auf einen Quadratmeter hochzurechnen, welcher für die Umrechnung in L pro m² h⁻¹ notwendig ist. Multipliziert wird mit 3600, um die gemessene Infiltration von Sekunde auf Stunde hoch zu rechnen, und abschließend wird durch das Zeitintervall (5 Sekunden, 10 Sekunden, 20 Sekunden etc.) dividiert, in dem die Wasserstanddifferenz abgelesen wurde, um eine Vergleichbarkeit der q_s-Werte (gleiches Ausgangszeitintervall) zu erhalten.

Anhand der Beispielinfiltration in *Tabelle 3* wird für die Wasserstanddifferenz von 2,20cm innerhalb von 5 Sekunden der q_s-Wert exemplarisch ausgerechnet.

$$q_s = 2,20 \text{ cm} * 0,0636173 * 56,5884242 * 3600/5$$

Dadurch ergibt sich:

$$q_s = 5.702,4 \text{ mm/h}$$

Für eine Infiltrationsmessung wird die q_s-Berechnung für jede Änderung der Wasserstanddifferenz pro Zeitintervall durchgeführt. Aus den berechneten Werten wird ein Graph erstellt, der das Infiltrationsverhalten des Standortes wiedergibt, an dem die Einring-Infiltrationsmessung durchgeführt wurde. Bei Betrachtung der Infiltrationskurve auf dem Graphen wird ein *steady rate* abgelesen. Das heißt, ein Zeitabschnitt, indem sich die Infiltrationsrate nicht mehr signifikant ändert, sondern konstant auf etwa einem Niveau verläuft. Dieser *steady rate* pendelt sich temporär meist gegen Ende der Messung ein. Aus den Werten des *steady rate* wird der Mittelwert berechnet, welcher den finalen q_s-Wert für die jeweilige Rechnung darstellt, mit welchem der K_{fs}-Wert berechnet wird.

Weitere Variablen unterhalb des Bruchstriches zur Berechnung des K_{fs}-Wertes werden nachfolgend erläutert:

$$k_{fs} = \frac{q_s}{\left[\frac{H}{C1d + C2a} \right] + \left\{ \frac{1}{[\alpha * (C1d + C2a)]} \right\} + 1}$$

H ist die Einstauhöhe oder auch *depth of ponding* in Zentimeter. C1 (0,316 * PI = 0,9927) sowie C2 (0,184 * PI = 0,5781) sind jeweils quasiempirische Konstanten und dimensionslos. d ist die

Reichweite des Rings in den Boden [cm] und a ist der Radius des Metallrings [cm]. Ein wichtiger Faktor stellt zudem α^* [cm⁻¹] dar, der den Boden in eine Textur-Struktur Kategorie einordnet. Im Falle des *Wawerner Jesuitenberges* wären „grobe und kiesige Sande vorhanden, sowie auch einige stark strukturierte Böden mit großen und zahlreichen Rissen und Bioporen“ (REYNOLDS und ELRICK 1990). Daraus ergibt sich die Textur-Struktur Kategorie 0,36cm⁻¹.

Gerätabmessungen des genutzten Single-Ring Infiltrometers:

$$\begin{array}{ll} H = 3,4\text{cm} & d = 13,3\text{cm} \\ c_1 = 0,9927 & a = 7,5\text{cm} \\ c_2 = 0,5781 & \alpha^* = 0,36\text{cm}^{-1} \end{array}$$

Nachdem alle Faktoren für die Berechnung der Formel bekannt und ausgerechnet wurden, kann schließlich der K_{fs} -Wert - die hydraulische Leitfähigkeit des gesättigten Bodens in Liter pro Quadratmeter pro Stunde [L/m² h⁻¹] - ermittelt werden.

9.2. Datenauswertung

Die Errechnung von q_s und K_{fs} sollte eine Vergleichbarkeit mit den anderen hydrologischen Messungen ermöglichen, so dass bilaterale Aussagen über Bodeneigenschaften im gesättigten Zustand getroffen werden können.

Im Zeitraum des Lehrforschungsprojektes konnten acht Messungen ausgeführt werden, welche digitalisiert und anschließend ausgewertet wurden. Eine Übersicht der Messungen ist in folgender *Tabelle 4* zu sehen.

Tab. 4: Übersicht der SR-Messungen

Messcode	Hangposit bn	Rebenposit bn	28.06	05.07	29.08	30.08
Inf_KaJB_c01_20180628_1	Oberhang	Unterstock	x			
Inf_KaJB_c01_20180628_2	Mit elhang	Fahrspur	x			
Inf_KaJB_c28_20180705_3	Unterhang	Unterstock		x		
Inf_KaJB_c44_20180829_4	Oberhang	Fahrspur			x	
Inf_KaJB_c22_20180829_5	Mit elhang	Fahrspur			x	
Inf_KaJB_c00_20180830_6	Unterhang	Fahrspur				x
Inf_KaJB_c20_20180830_7	Mit elhang	Fahrspur				x
Inf_KaJB_c46_20180830_8	Mit elhang	Fahrspur				x

Es wurde darauf geachtet, dass neben einer zeitlichen Verteilung von Juni bis August auch eine Verteilung im Hang sowohl vertikal als auch horizontal erfolgt, so dass repräsentative Messungen über den gesamten Hang verteilt verfügbar sind. Die Intention war, Aussagen über die Homogenität des Hanges treffen zu können. Wie in *Abbildung 28* zu sehen ist diese räumliche Verteilung größtenteils geglückt, lediglich der untere östliche Teil des Hanges wurde nicht mit dem Single-Ring-Infiltrometer bemessen.

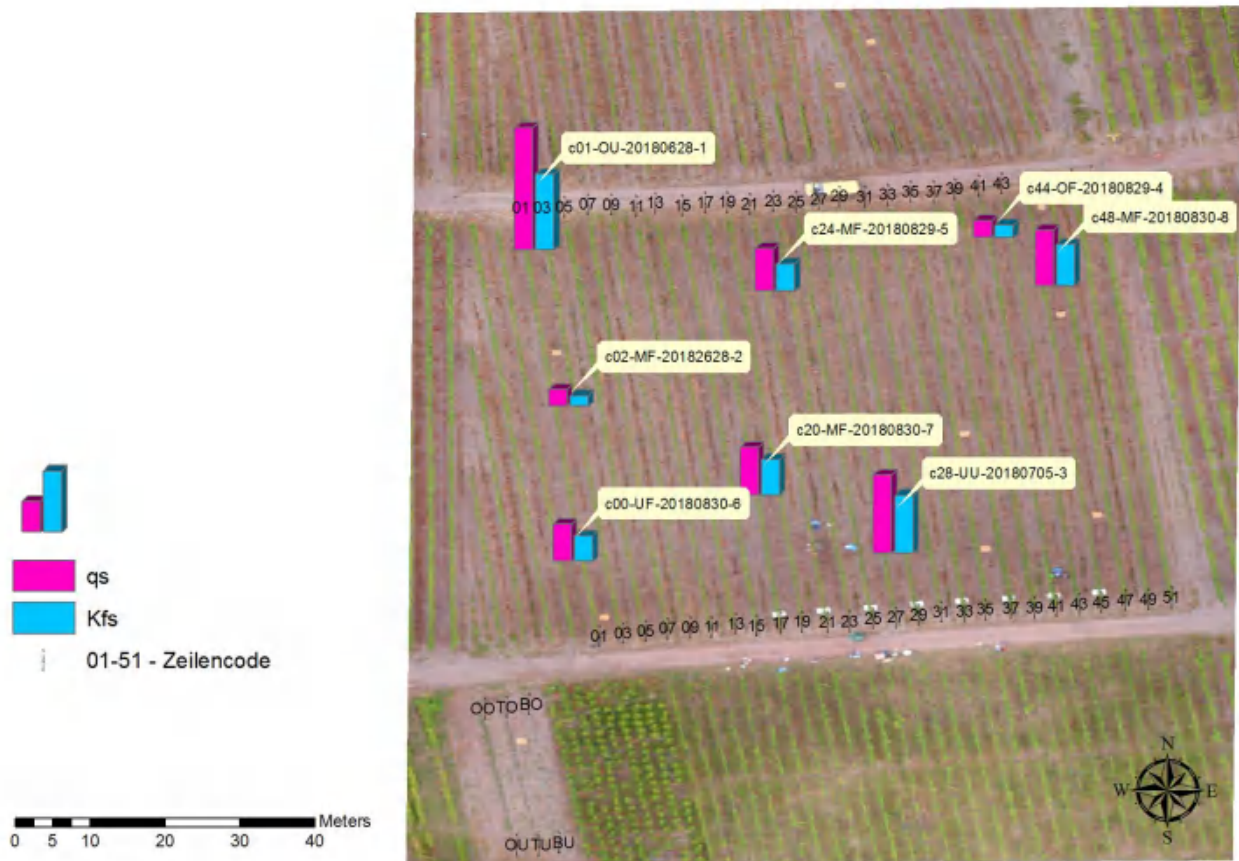


Abb. 28: Positionen der SR-Messungen (Quelle: Eigene Darstellung)

Aus den Berechnungen ergeben sich zu Anfang Graphen, die einen veranschaulichten Verlauf der Infiltration in den Boden sowie visuell Gemeinsamkeiten und Unterschiede zeigen. Der q_s -Wert wurde für alle acht Messungen errechnet und geplottet. Alle Graphen sind in *Anhang E Abbildung 1* zu sehen.

Der Verlauf der Graphen ist ähnlich. Daraus resultiert die begründete Annahme, dass die Messungen entsprechend des Handbuches verlaufen sind und aussagekräftige Ergebnisse liefern können. Auch der überwiegend gemeinsame Wertebereich trägt zu dieser Annahme bei. Lediglich Versuch 1 und Versuch 3 zeigen Abnormalitäten sowie Versuch 7 mit einem extrem hohen Start- q_s -Wert (ca. 17.366mm/h). Interessant wird es hierbei, wenn die vorige Übersicht der Ergebnisse (siehe *Tabelle 4*) herangezogen wird: Dadurch wird klar, dass genau diese beiden ersten Versuche im Gegensatz zu allen anderen Versuchen im Unterstockbereich der Weinreben stattfanden. Es stellt sich hier die Frage, ob die Eigenschaften im Unterstockbereich tatsächlich

von den Eigenschaften in den Fahrspuren abweichen. Im Bereich der *steady rates* der Graphen sind höhere Infiltrationswerte abzulesen, daher wird an dieser Stelle auch für diese Versuchsreihe die Hypothese aufgestellt, dass der gelockerte Boden im Unterstockbereich eine höhere potentielle Infiltrationskapazität aufweist als der verdichtete Boden in den Fahrspuren.

Grundsätzlich sind die ersten zwei bis zehn Minuten der Versuche sehr dynamisch. Im Fünfssekundentakt infiltrieren abhängig von Messung zwischen 11 und 70 Zylindermillimeter Wasser in den Boden, was ca. 70 bis 450ml entspricht. Gerade im leicht feuchten Zustand nimmt der Boden viel Wasser auf. Ab diesem Zeitpunkt wird ein logarithmischer Verlauf in den Graphen sichtbar, denn die Infiltrationsrate gleicht sich langsam einem konstanten Niveau an. Das macht sich während der Messung mit einer Abnahme der Infiltrationsgeschwindigkeit bemerkbar. Grund für diese Abnahme ist die zunehmende Sättigung des Bodens und seiner dadurch abnehmenden Fähigkeit, das Wasser durch die Bodenporen zu leiten (siehe Kapitel 10. Permeabilität). Im weiteren Verlauf der Messung pendelt sich bei den meisten Messungen nach etwa 900 bis 1200 Sekunden das Niveau im *steady rate* zwischen 180 und 600mm/h ein. Die gemessenen Zeitintervalle vergrößern sich hier, da ab diesem Zeitpunkt erfahrungsmäßig der *steady rate* eintrifft und über lange Zeit hinweg das Wasser mit einer konstanten Geschwindigkeit infiltriert. Ist dieser Zustand erreicht, ist die Messung erfolgreich verlaufen. Laut den Graphen ist dies bei allen Messungen bis auf Messung 1 geschehen.

Diese Werte im *steady rate* werden für die weitere statistisch-mathematische Auswertung der Messungen benötigt und besitzen dadurch eine hohe Wichtigkeit.

Eine Übersicht über die Ergebnisse der einzelnen Messungen ist mit folgender Tabelle gegeben:

Tab. 5: Übersicht der SR-Auswertung

Messcode	qs [mm/h]	Kfs [mm/h]	Hangpositi on	Rebenpositi on
Inf_KaJB_c01_20180628_1	1303,200	813,349	Oberhang	Unterstock
Inf_KaJB_c01_20180628_2	180,144	115,343	Mit elhang	Fahrspur
Inf_KaJB_c28_20180705_3	833,220	618,057	Unterhang	Unterstock
Inf_KaJB_c44_20180829_4	182,769	135,573	Oberhang	Fahrspur
Inf_KaJB_c22_20180829_5	456,300	290,149	Mit elhang	Fahrspur
Inf_KaJB_c00_20180830_6	399,600	272,894	Unterhang	Fahrspur
Inf_KaJB_c20_20180830_7	514,080	381,329	Mit elhang	Fahrspur
Inf_KaJB_c46_20180830_8	598,902	444,247	Mit elhang	Fahrspur

Die q_s -Werte bewegen sich in einem Rahmen von 180 bis ca. 1300mm/h, die K_{fs} -Werte im Bereich

115 bis ca. 800mm/h.

Mithilfe einer Statistik-Software konnten mit den Ergebnissen Diagramme erstellt werden, die klare statistische Argumente für eine Verifizierung der oben genannten Hypothese hervorbringen.

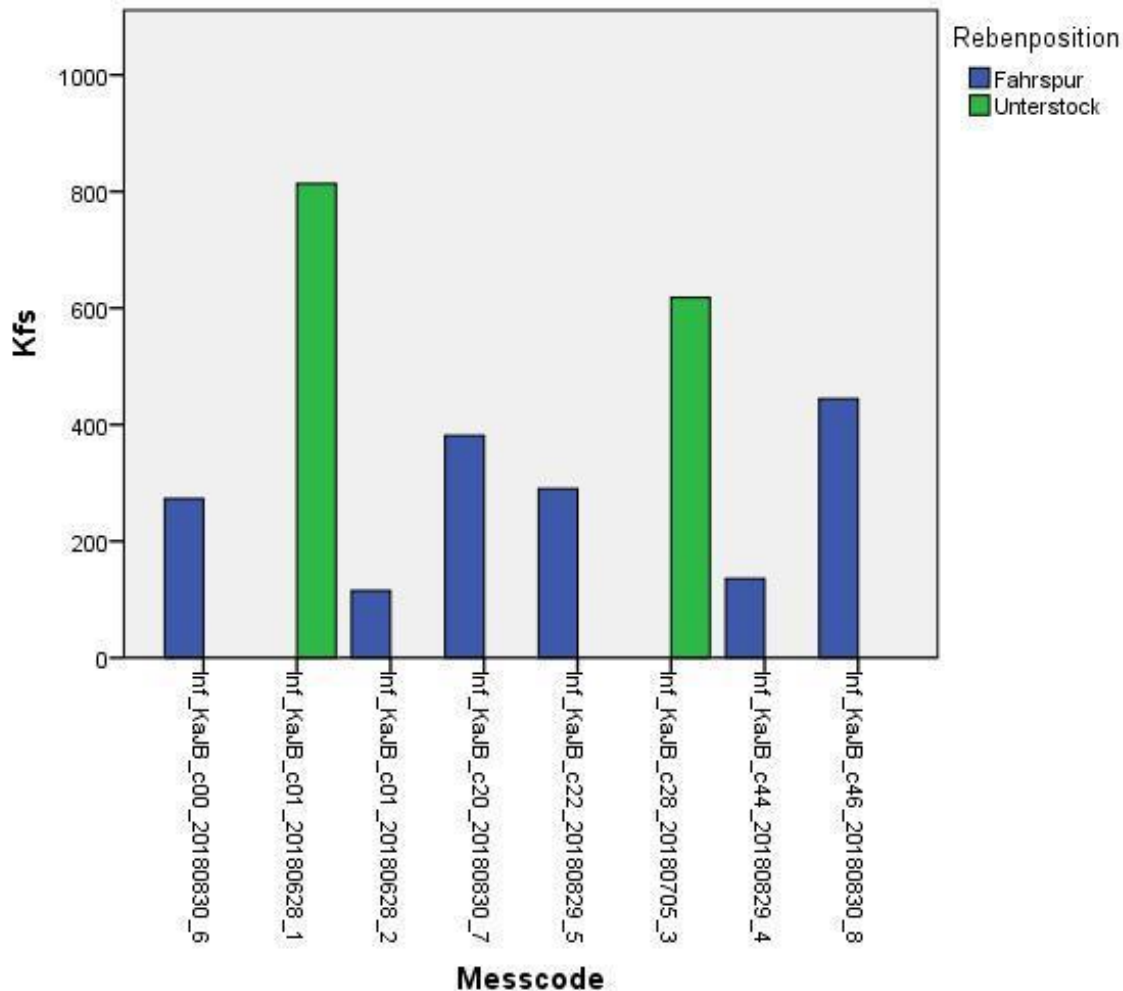


Abb. 29: Kfs-Werte gegen Messcodes der SR-Auswertung (Quelle: Eigene Darstellung)

Abbildung 29 zeigt die Leitfähigkeitswerte aller Messungen zur Zeit des jeweiligen *steady rate*. Auch hier wird wieder verdeutlicht, dass der Unterstockbereich höhere K_{fs} -Werte, sprich eine höhere hydraulische Leitfähigkeit des gesättigten Bodens, aufweist. Weiter verdeutlicht wird dieser Zusammenhang in folgendem Boxplot:

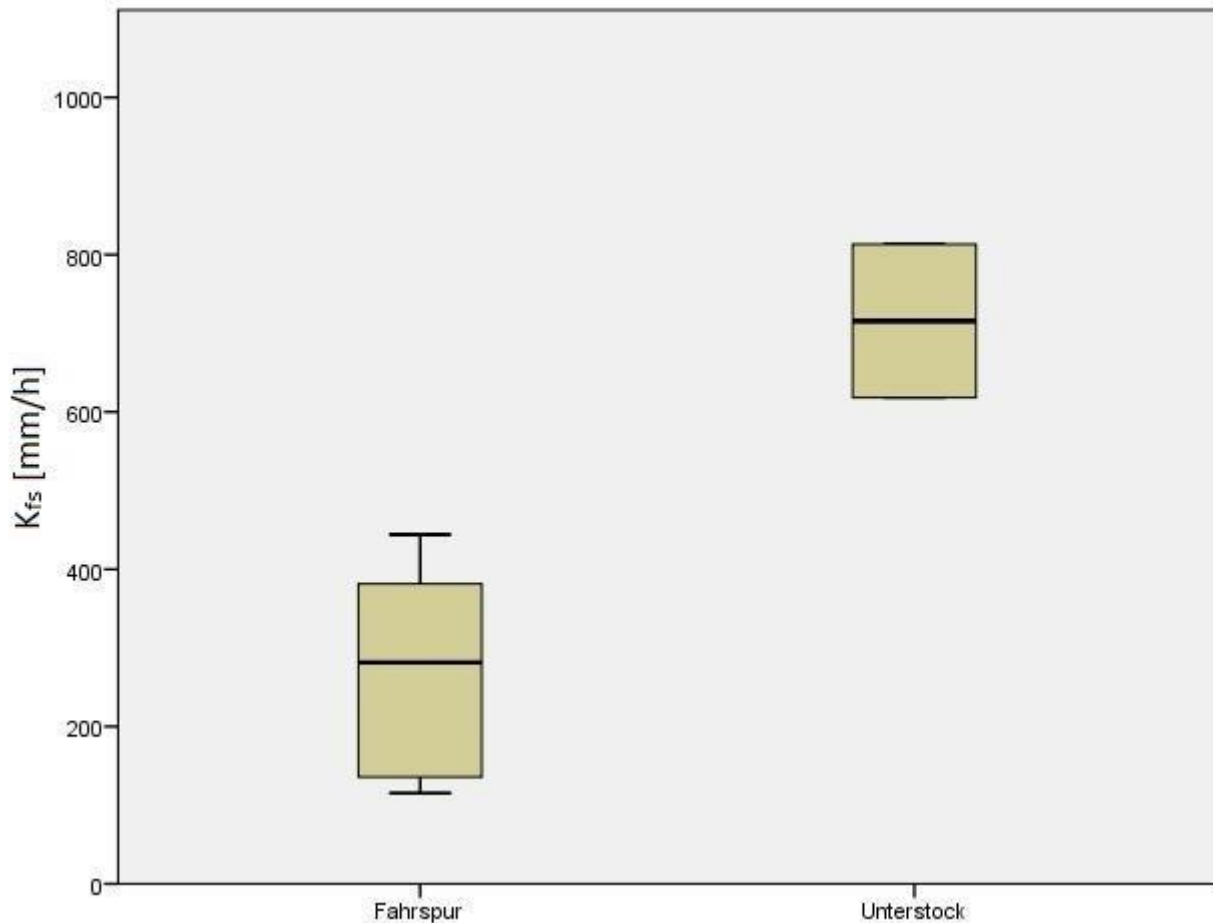


Abb. 30: Boxplot der K_{fs} -Werte in der Horizontalen der SR-Auswertung (Quelle: Eigene Darstellung)

Der Unterstock weist hier im Rahmen der Messungen einen doppelt so hohen K_{fs} -Wertebereich auf. Was heißt das für unsere Hypothese? Diese wird mithilfe dieser Abbildungen bestätigt. Im Unterstockbereich sind sowohl die Infiltrationskapazität als auch die hydraulische Leitfähigkeit wesentlich höher, was mit hoher Wahrscheinlichkeit der mechanischen Lockerung des Bodens zu verschulden ist. Wegen des dadurch nötigen Befahrens ist eine Verdichtung in den Fahrspuren durch den Traktor unumgänglich, für den Weinbau an sich aber hinnehmbar. Gerade im Hinblick auf den Vergleich zwischen konventionellem und ökologischem Weinanbau spielt diese Verdichtung aber eine gewisse Rolle, da die Begrünung der Weinberge sowohl erosionshemmend als auch lebensraumbietend für Fauna fungieren kann.

Mit der gleichen statistischen Vorgehensweise wurden die K_{fs} -Werte in *Abbildung 31* auch in die drei Kategorien oberer, mittlerer und unterer Teil der Versuchsfläche gegliedert. Hier ist wie bei anderen Versuchen auch ein eher unbedeutender Unterschied zu erkennen, da der Hang in seiner Vertikalen recht homogen ist. Um hier Unterschiede feststellen zu können, muss die Anzahl der Messungen deutlich erhöht werden, so dass der Stichprobenumfang größer und damit eindeutiger beziehungsweise aussagekräftiger wird. Mit den vorliegenden Daten ist zumindest in dieser Einordnung keine plausible Aussage möglich.

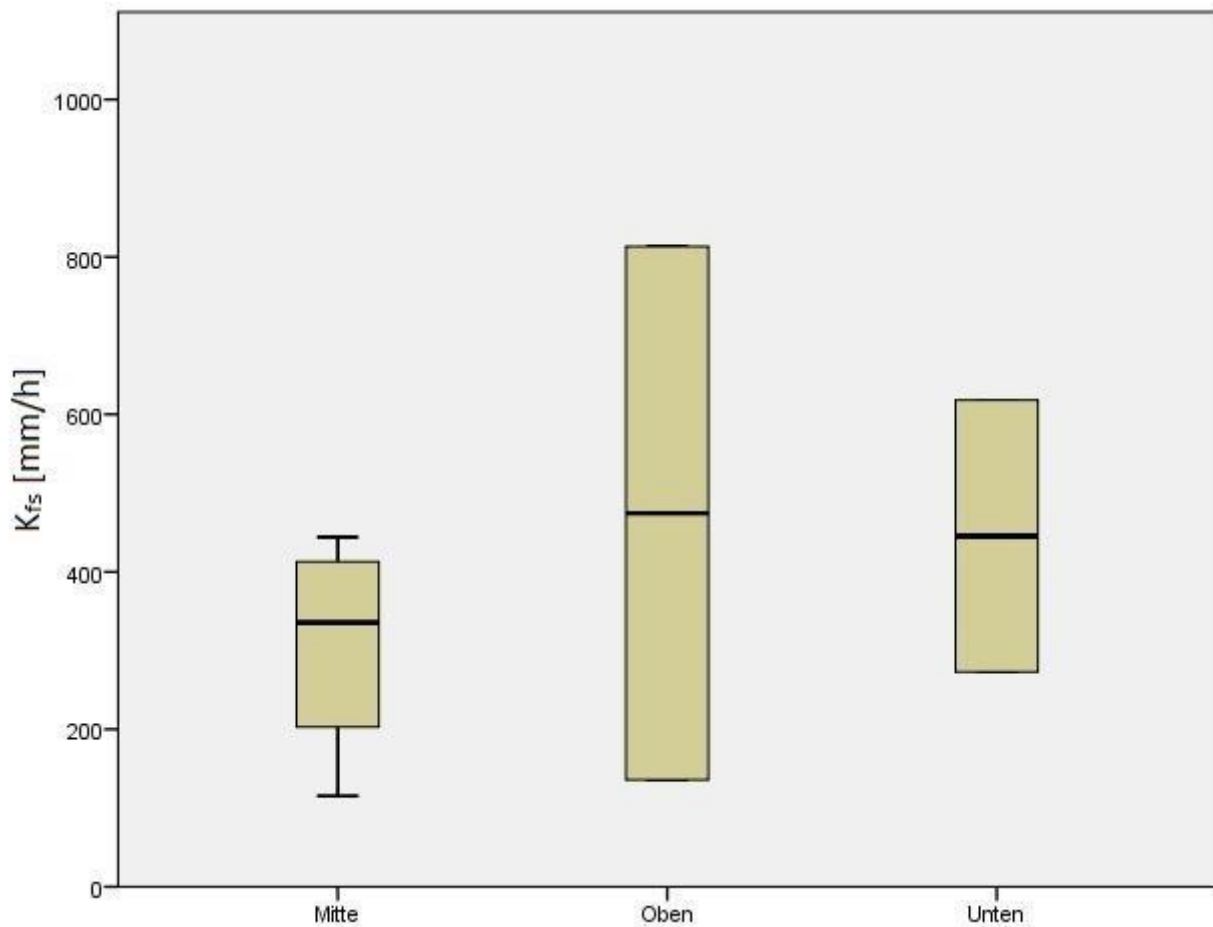


Abb. 31: Boxplot der K_{fs} -Werte in der Vertikalen der SR-Auswertung (Quelle: Eigene Darstellung)

9.3. Methodenkritik

Problemfaktoren bei der Messung mit dem Single-Ring-Infiltrometer sind unserer Meinung nach Hangneigung (schwierige Installation - neigt zu Fehlern), Narben im Boden, die die Infiltration begünstigen und das Wasser tief in den Boden leiten, so dass eine Sättigung nicht erreicht werden kann, das Einbeziehen der Vegetationsbedeckung und in unserem Fall auch der hohe Skelettgehalt und die hohe Steinbedeckung, die nicht messbare aber durchaus intensive Einflüsse auf das Infiltrationsverhalten ausüben kann. Die Installation des Infiltrometers sollte grundsätzlich so geschehen, dass die Bodenoberfläche intakt bleibt. Bei vorliegender Steinbedeckung ist dies aber absolut nicht möglich, wodurch hier sicherlich Eingriffe in das Infiltrationsgeschehen stattgefunden haben. Das könnte sich negativ auf die Repräsentativität der Messungen auswirken.

10. Permeabilität

Mit dem Guelph Permeameter misst man unter anderem die Durchlässigkeit und Leitfähigkeit des oberflächennahen Bodens. Der Durchlässigkeitskoeffizient K gibt an, welches Volumen pro Flächeneinheit bei einem bestimmten Gefälle strömt. Der Durchlässigkeitsbeiwert wird auch K_{fs} -Wert oder gesättigte Wasserleitfähigkeit genannt. Das Messinstrument setzt sich aus 3 Teilen zusammen, nämlich der „Upper Section“, der „Body Section“ und der „Lower Section“ (siehe *Abbildung 32*) und lässt sich einfach in einem Koffer transportieren. Somit kann Transport, Aufbau und Durchführung der Messungen problemlos mit nur einer Person durchgeführt werden.

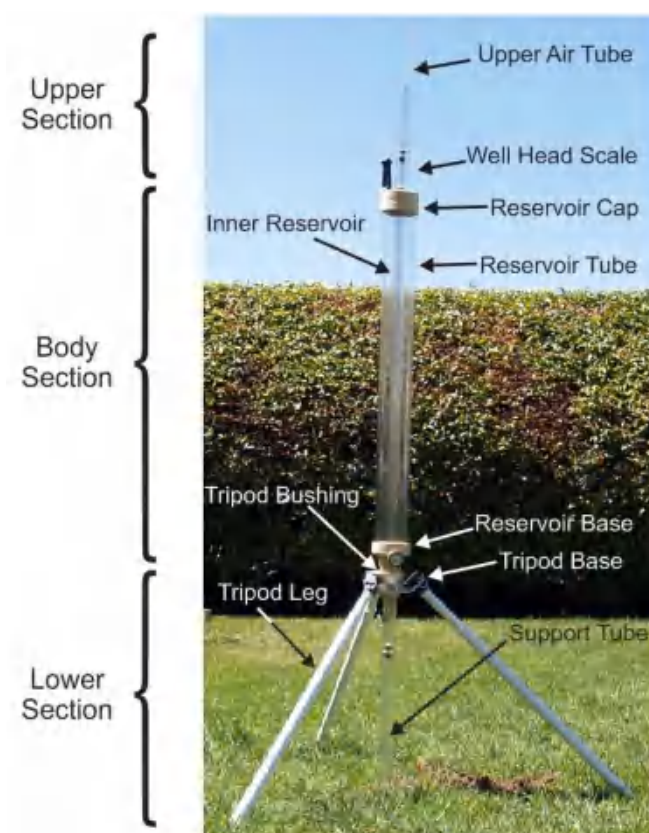


Abb. 32: Operating Instructions (Quelle: Guelph Manual 2011, S.5)

Technische Daten	
Messbereich	10^{-2}cm/s bis 10^{-6}cm/s
Messtiefe	15 - 38cm
Lesegenauigkeit	1mm
Volumen	3,5 Liter
Abmessungen	132,1 x 44,4 x 15,2cm
Gewicht	19,9 kg

10.1. Methodik

Das Guelph Permeameter ist ein „in-hole constant-head permeameter“, welches auf dem Prinzip der Mariotteschen Flasche beruht und eine schnelle und relativ einfache Methode zur Bestimmung der Hydraulischen Leitfähigkeit, des Absorptionsvermögens und des Matrix-Fluss-Potentials des oberflächennahen Bodens darstellt. Für die Auswertung der Daten haben wir uns lediglich auf die Permeabilität beschränkt.

Die Messung beginnt nach Auffüllen des Wassers in einem vorgemästen ungesättigten Boden. Die Infiltration erfolgt dabei von einem Bohrloch aus, in dem ein konstanter Wasserspiegel eingestellt wird. Dabei breitet sich der Wasserfluss in einer transiënten Phase zunächst kugelförmig aus dem Bohrloch heraus, um dann in eine stationäre Infiltration überzugehen, in welcher fast nur noch eine vertikal gerichtete Ausdehnung stattfindet (vgl. Reynolds et al. 1985, S.172–180).

Nachdem man sich eine geeignete Stelle am Weinberg ausgesucht hat, nässt man diese mit etwas Wasser ein bisschen vor. Danach erstellt man mit dem zugehörigen Bohrgerät ein in etwa 20cm tiefes Bohrloch und raut die Wände mit einer Bürste nach Bedarf etwas auf. Daraufhin baut man das Guelph Permeameter auf und befüllt es mit ca. 2 Liter Wasser pro Messung. Die Einstellung der Wasserspiegelmöhe erfolgt durch die Justierung des Lufteinlassrohres. Man startet die Messung durch das Öffnen des Lufteinlassventils und beginnt danach mit dem Ablesen der Wasserstände. Das Ablesen erfolgt alle 120 Sekunden, nachdem die „Support Tube“ des Gerätes vollgelaufen ist und sich der Wasserspiegel eingependelt hat. Die Messung endet entweder nach 30 Minuten oder sobald das Wasser im Gerät leergelaufen ist.

10.2. Datenauswertung

Die Auswertung erfolgt mit einem Calculator in Form eines Excel-Sheets von der Firma Soilmoisture, wofür die ausgewerteten Daten benötigt werden (siehe Anhang F). Der Calculator basiert auf dem Verfahren von Elrick und Reynolds (1992), in dem sowohl gesättigter als auch ungesättigter Fluss berücksichtigt wird. Hierbei sind die folgenden Formeln wichtig:

$$(1) \quad K_{fs} = \frac{C \cdot Q}{2 \pi H^2 + \pi a^2 C + 2 \pi \left(\frac{H}{\alpha^*} \right)}$$

$$(2) \quad \Phi_m = \frac{C \cdot Q}{\left(2 \pi H^2 + \pi a^2 C \right) \alpha^* + 2 \pi H}$$

mit	K_{fs}	= Ges. Leitfähigkeit [cm/d]
	H	= Höhe des Wasserspiegels im Bohrloch [cm]
	r	= Radius des Bohrlochs [cm]
	C	= dimensionsloser Formfaktor [=f[H/r]]
	Q	= Wasseraufnahme des Bodens [cm ³ /d]
	Φ_m	= Matrix-Fluss-Potential [cm ² /d]

Des Weiteren gibt es mehrere Optionen wie beispielsweise der „Single Head Method“ und der „Double Head Method“ sowie „35.22 für Combined reservoir“ oder „2.16 für Inner Reservoir“. Außerdem muss man noch die Überstauhöhe (5cm oder 10cm) eingeben, den Bohrlochradius und

eine entsprechende Kategorie für die Bodenstruktur auswählen. Wir haben uns für die „Single Head Method“ entschieden, da das Wasser bei den Messungen überwiegend bei 10cm Überstauhöhe durchgelaufen ist und somit die „Double Head Method“ unbrauchbar war. Des Weiteren haben wir uns bei der Auswertung für den Wert 2.16, also dem „Inner Reservoir“ entschieden sowie der Bodenkategorie 4 ($\alpha^* = 0,36$), was einem stark strukturiertem Boden mit hohem Grobsandanteil entspricht (siehe Kapitel 5. Boden). Das Bohrloch ist bei jeder Messung 20cm tief und hat einen Radius von 3cm.

In unserem Untersuchungsgebiet am Weinberg in Kanzern wurden innerhalb von 9 Tagen insgesamt 16 Messungen an 12 verschiedenen Standorten, zu sehen in *Abbildung 33*, durchgeführt, wobei hier der Fokus wie in *Abbildung 4* gezeigt auf der letzten Augustwoche liegt.

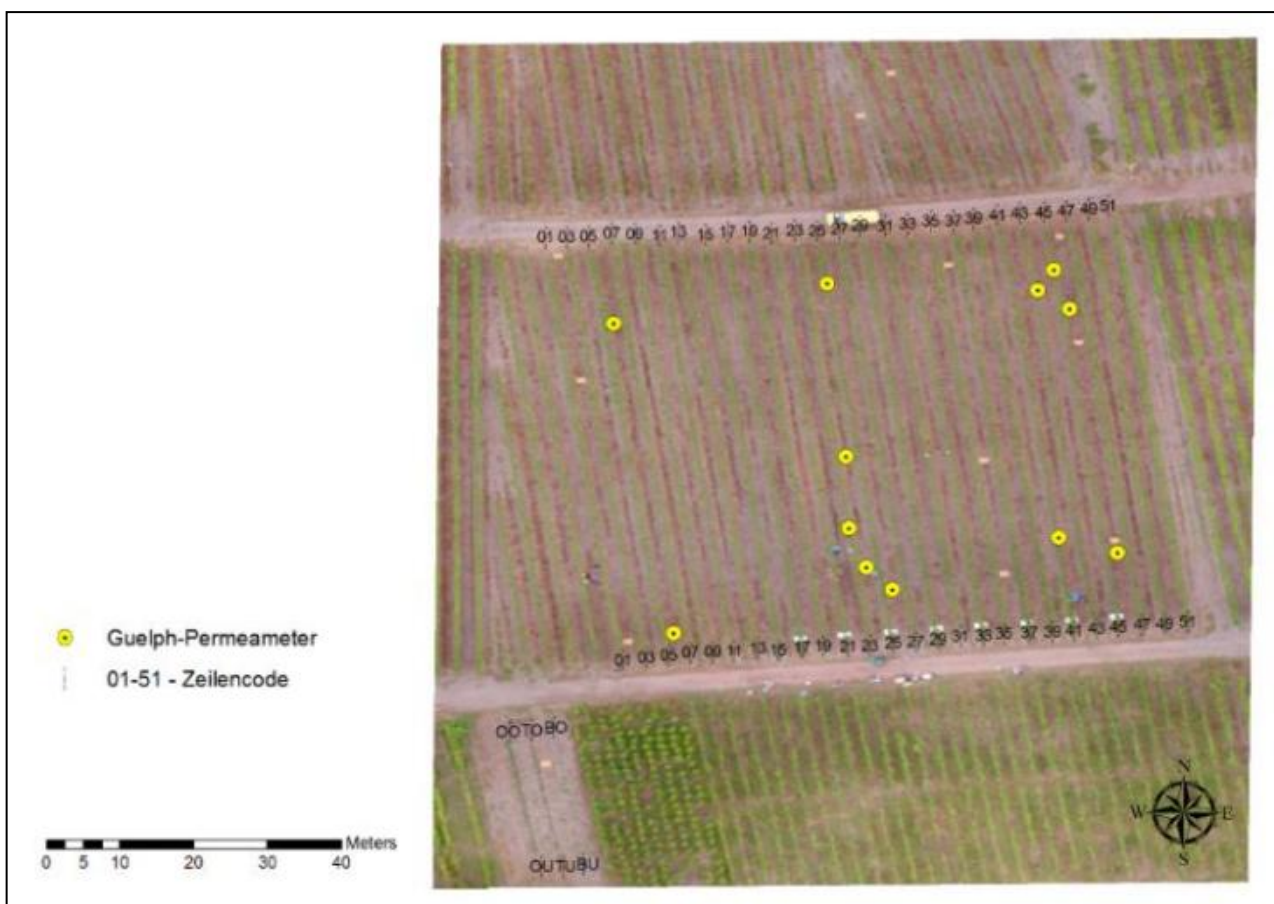


Abb. 33: Positionen der Guelphmessungen (Quelle: Eigene Darstellung)

In der folgenden Tabelle sind alle Messungen mit der jeweiligen Codierung, Standortzuweisung, der Hangposition, den entsprechenden K_{fs} -Werten sowie der Überstauhöhe aufgelistet. Als Standort wurde bei jeder Messung die Fahrspur genommen, da der Aufbau des Messinstruments im Unterstockbereich nicht oder nur bedingt möglich war. Die einzelnen Messungen sind mit unterschiedlichen Farben gekennzeichnet, wodurch direkt ersichtlich wird, dass lediglich bei den folgenden vier Messungen

GP_KaJB_c06_z03_20180830_05 (Unten),
 GP_KaJB_c24_z12_20180712_01 (Mitte),
 GP_KaJB_c26_z13_20180830_02 (Unten),
 GP_KaJB_c44_z22_20180829_03 (Oben),

in einem Bohrloch, eine Messung mit beiden Überstauhöhen (5cm und 10cm) möglich war. Dies ist auch der Grund, warum wir uns bei der Auswertung mit dem oben genannten Excel-Sheet gegen die Double-Head Methode entschieden haben.

Tab. 6: Zusammenfassung aller K_{fs} -Werte

Code der Messung	Überstau- höhe	Standort	K_{fs} [$m s^{-1}$]	K_{fs} [$mm h^{-1}$]	Hangposition
GP_KaJB_c06_z03_20180830_05	5cm	Fahrspur	$6,50 \times 10^{-7}$	2,34	Unten
GP_KaJB_c24_z12_20180712_01	5cm	Fahrspur	$1,08 \times 10^{-7}$	0,39	Mitte
GP_KaJB_c26_z13_20180829_04	5cm	Fahrspur	$4,77 \times 10^{-6}$	17,16	Oben
GP_KaJB_c26_z13_20180830_02	5cm	Fahrspur	$1,08 \times 10^{-7}$	0,39	Unten
GP_KaJB_c42_z21_20180830_06	5cm	Fahrspur	$2,16 \times 10^{-6}$	7,80	Unten
GP_KaJB_c44_z22_20180829_03	5cm	Fahrspur	$2,16 \times 10^{-7}$	0,78	Oben
GP_KaJB_c46_z23_20180628_01	5cm	Fahrspur	$6,50 \times 10^{-7}$	2,34	Oben
GP_KaJB_c24_z23_20180628_02	5cm	Fahrspur	$1,80 \times 10^{-12}$	$6,50 \times 10^{-6}$	Unten
GP_KaJB_c24_z12_20180705_01	5cm	Fahrspur	$3,00 \times 10^{-13}$	$1,08 \times 10^{-6}$	Mitte
GP_KaJB_c06_z03_20180829_01	10cm	Fahrspur	$3,19 \times 10^{-7}$	1,15	Oben
GP_KaJB_c06_z03_20180830_05	10cm	Fahrspur	$3,36 \times 10^{-6}$	12,12	Unten
GP_KaJB_c24_z12_20180712_01	10cm	Fahrspur	$2,15 \times 10^{-6}$	7,74	Mitte
GP_KaJB_c26_z13_20180830_02	10cm	Fahrspur	$8,83 \times 10^{-7}$	3,18	Unten
GP_KaJB_c44_z22_20180829_03	10cm	Fahrspur	$1,11 \times 10^{-6}$	3,98	Oben
GP_KaJB_c46_z23_20180621_01	10cm	Fahrspur	$6,55 \times 10^{-12}$	$2,36 \times 10^{-5}$	Unten
GP_KaJB_c46_z23_20180621_02	10cm	Fahrspur	$7,69 \times 10^{-13}$	$2,77 \times 10^{-6}$	Oben

In der folgenden *Abbildung 34* ist der K_{fs} -Wert in mm/h, bezogen auf die Hangposition in einem Boxplot dargestellt. Da die Messungen immer in der Fahrspur durchgeführt wurden, konnte man hier den Standort ignorieren. Hierbei lässt sich erkennen, dass die K_{fs} -Werte im unteren Bereich unserer Versuchsfläche etwas höher sind als im oberen Bereich, beide jedoch deutlich höher sind als im unteren Bereich unserer Versuchsfläche.

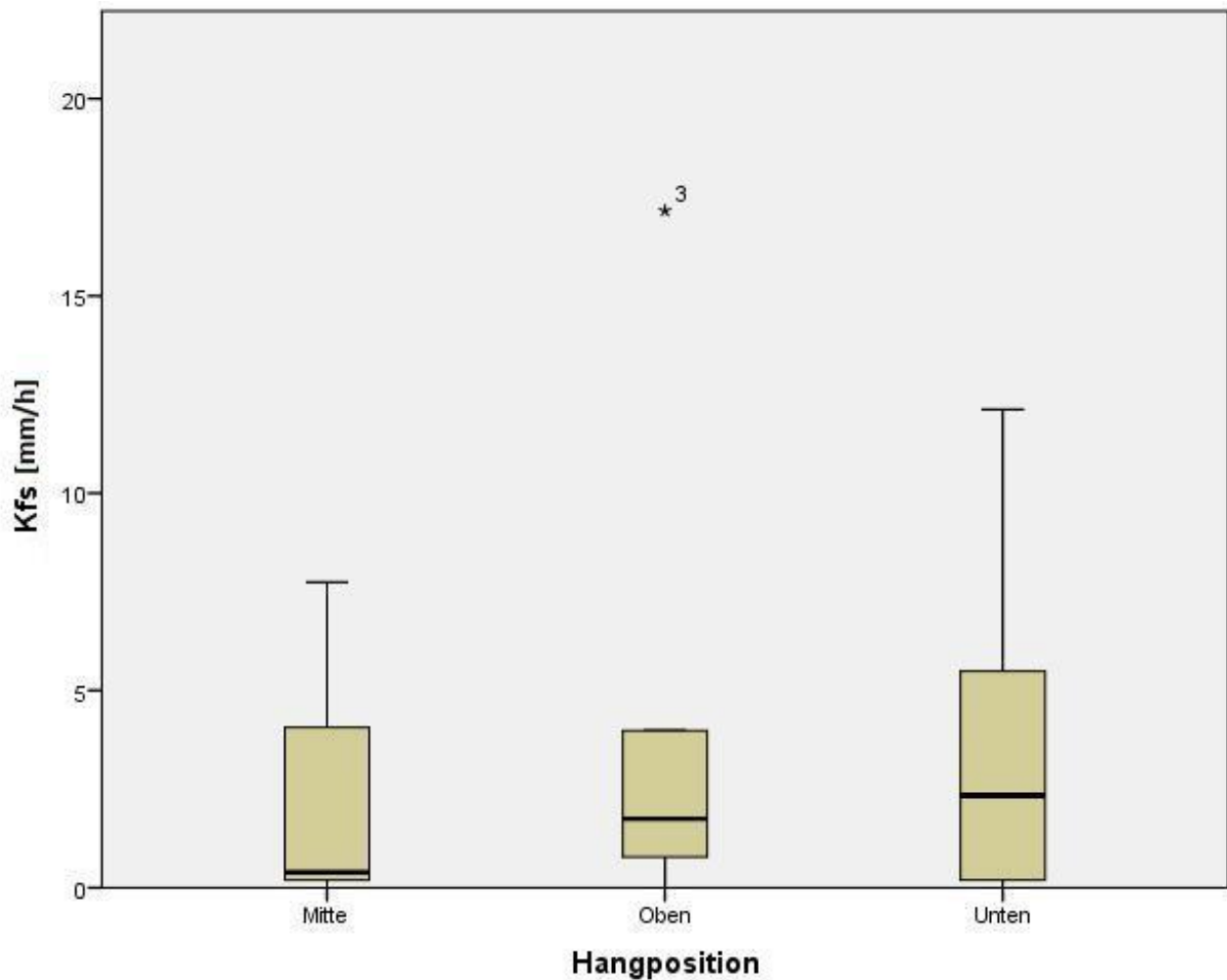


Abb. 34: K_{fs} -Werte in Abhängigkeit von der Hangposition (Quelle: Eigene Darstellung)

Im unteren Bereich der Versuchsfläche liegen die Messwerte für die Hydraulische Leitfähigkeit zwischen $6,50 \times 10^{-6} \text{ mm h}^{-1}$ und $12,12 \text{ mm h}^{-1}$. Im mittleren Bereich der Versuchsfläche liegen die Messwerte zwischen $1,08 \times 10^{-6} \text{ mm h}^{-1}$ und $7,74 \text{ mm h}^{-1}$, wohingegen die Messwerte für den oberen Bereich zwischen $2,77 \times 10^{-6} \text{ mm h}^{-1}$ und $17,16 \text{ mm h}^{-1}$ liegen.

Auffällig ist jedoch ein Ausreißer „3“ (*GP_KaJB_c26_z13_20180829_04*) mit einem Wert von $17,16 \text{ mm h}^{-1}$, welcher aus einem Ablesefehler entstanden ist oder durch eine Drainage wie beispielsweise eine Grobpore bedingt wurde. Wenn man nun die unterschiedlichen Überstauhöhen miteinander vergleicht, liegen bei einer Überstauhöhe von 5cm die Messwerte zwischen $6,50 \times 10^{-6} \text{ mm h}^{-1}$ und $7,80 \text{ mm h}^{-1}$, wohingegen die Messwerte bei 10cm Überstauhöhe im Bereich von $2,77 \times 10^{-6} \text{ mm h}^{-1}$ und $12,12 \text{ mm h}^{-1}$ liegen.

Nach der DIN 18130-1: 1998-05 werden folgende Durchlässigkeitsbereiche unterschieden:

Tab. 7: Durchlässigkeitsbereiche laut DIN 18130-1: 1998-05 (Quelle: ifMU GmbH 2016)

K_{fs}-Wert [m s⁻¹]	Bereich
unter 10 ⁻⁸	sehr schwach durchlässig
10 ⁻⁸ bis 10 ⁻⁶	schwach durchlässig
10 ⁻⁶ bis 10 ⁻⁴	durchlässig
10 ⁻⁴ bis 10 ⁻²	stark durchlässig
über 10 ⁻²	sehr stark durchlässig

Hieraus ergibt sich, dass sowohl für den unteren Bereich unserer Versuchsfläche als auch für den mittleren und oberen Bereich eine sehr schwache bis schwache Durchlässigkeit besteht.

10.3. Interpretation

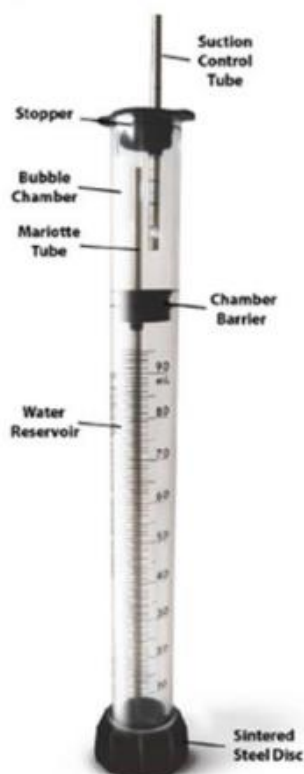
Zusammenfassend kann man sagen, dass unsere Versuchsfläche am Weinberg in Kanzem im Durchschnitt eine schwache bis sehr schwache Durchlässigkeit besitzt und somit eine geringe Permeabilität. Dabei spielt auch der unterschiedliche Wasserdruck nur eine marginale Rolle. Dies könnte daran liegen, dass der Boden in der Fahrspur durch den Einsatz von Maschinen sehr verdichtet ist. Es wäre im Kontext von Bodenstruktur sowie -textur interessant gewesen, wenn man einige Messungen im Unterstockbereich hätte durchführen können um zu sehen, wie sich die Permeabilität dort verhält.

11. Ungesättigte Leitfähigkeit

In den Kapiteln 9. Gesättigte Leitfähigkeit und 10. Permeabilität wird deutlich, dass eine große Spanne der Infiltrationsgeschwindigkeit bei gesättigten Bodeneigenschaften gemessen werden kann. Zum Vergleich wurde die Schnelligkeit der Infiltration bei ungesättigten Bedingungen herangezogen, die mithilfe eines Minidisk-Infiltrometers erhoben wurde.

Dabei beziehen sich die erhobenen Daten auf die hydraulische Leitfähigkeit, die die zurückgelegte Strecke des einsickernden Wassers pro Zeiteinheit beschreibt. Sie folgt dem Einfluss der Schwerkraft oder des hydraulischen Gefälles im Boden (vgl. KIRKHAM 2014, S.202). Meist finden im Boden Infiltrationsbewegungen im gesättigten und ungesättigten Milieu statt. In der Regel sind Makroporen des Bodens, welche einen Durchmesser größer 0,05mm besitzen, mit Luft gefüllt, sodass nur kleinere Poren für die Infiltration zuständig sind (vgl. SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT 2019, o.S.; METER GROUP 2018, S.6f.). Das entstehende Infiltrationspotenzial ist aufgrund dessen von dem Wassergehalt des Bodens und der Bodenmatrix abhängig. Die beschriebene hydraulische Leitfähigkeit bei ungesättigten Bodenbedingungen kann durch die Einstellung verschiedener Saugspannungen des Minidisk-Infiltrometers ermittelt werden (vgl. METER GROUP 2018, S.10ff.).

Laut METER GROUP (2018, S.6) sind diese Informationen insbesondere für das Ökosystem und die Grundwasserneubildung essentiell. Auf den Weinberg bezogen kann herausgefunden werden, wie schnell das Niederschlagswasser in den anthropogen bearbeiteten Boden versickert und inwieweit sich die Geschwindigkeit mit dem Standort sowie der Porengröße verändert.



11.1. Methodik

Das Minidisk-Infiltrometer, welches seit 1997 verkauft wird, stellt ein Spannungsinfiltrometer, auch Tensionsinfiltrometer genannt, dar, welches die Infiltrationsgeschwindigkeit misst. Durch die Einstellung von ausgewählten Saugspannungen in einer Skala von 0,5cm bis 7cm können Informationen bezüglich der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit abgeleitet werden (vgl. METER GROUP 2018, S.3f.; KIRKHAM 2014, S.210). Der Aufbau des Minidisk-Infiltrometers ist in *Abbildung 35* zu erkennen. Vor jeder Messung werden die beiden Kammern des 32,7cm großen Messgerätes mit Wasser gefüllt (vgl. ebd.; BHAVE/PEKKAT 2012, S.2).

Abb. 35: Infiltrometer Diagramm
(Quelle: METER GROUP 2018, S.5)

Am oberen Ende ist eine kleine Kammer vorzufinden, in der mithilfe des angebrachten Röhrchens eine Saugspannung festgelegt und erzeugt werden kann. Sie ist aufgrund des aus Gummi bestehenden Stoppers luftdicht abgeschlossen, sodass die Luft nur durch das genannte Röhrchen eindringen kann. Die untere größere Kammer, die nur über ein langes Rohr mit der darüber liegenden verbunden und circa 21,2cm groß ist, beinhaltet das im Verlauf der Messung infiltrierende Wasservolumen (vgl. ebd.). Zur Vereinfachung baut die Firma METER GROUP (2018, S.3f.) diese wie ein Messzylinder auf und beschriftet sie mit Milliliter-Angaben. Am unteren Ende des Messgeräts ist eine gesinterte Edelstahlscheibe angebracht. Durch sie kann lediglich das Wasser aus der unteren Kammer in den Boden eindringen, jedoch wird dadurch kein Luftaustausch generiert.

Das Wasservolumen sickert durch die gesinterte Edelstahlscheibe aus dem Reservoir in den Boden ein, was einen Unterdruck in der großen Kammer bewirkt. Ein Druckausgleich wird durch das Verbindungsrohr der beiden Kammern erzielt, da ähnlich wie in einer „mariotteschen Flasche“ ein konstanter Druck angestrebt wird. Gleichzeitig entsteht durch den Sog aus der unteren Kammer ein weiterer negativer Druck in der oberen Kammer, der nur durch die Überwindung der eingestellten Wassersäule, welche der Saugspannung entspricht, beseitigt werden kann. Durch das Rohr der Saugspannung kann Luft in die Kammer gelangen und somit den gleichmäßigen Druck ermöglichen. Je tiefer dieses Rohr unter den Wasserspiegel der Kammer reicht, also je höher die Wasserspannung gewählt wurde, desto langsamer infiltriert das Wasser in den Boden und desto stärker muss die Kraft zur Überwindung des Unterdruckes ausgebildet sein (vgl. MEYER 1908, S.312; BHAVE/PEKKAT 2012, S.2; FATEHNIA/TAWFIQ/ABICHOUD 2014, S.1047ff.; KIRKHAM 2014, S.210f.). Wie andere Tensionsinfiltrimeter basiert auch das Minidisk-Infiltrimeter auf der zuvor erklärten Bildung einer Spannung. Dadurch wird die zu beobachtende Infiltrationsgeschwindigkeit von den Feinporen, der Bodenmatrix, und deren hydraulischen Eigenschaften bestimmt. Ebenfalls wird aufgrund der erzeugten Spannung dem Eindringen des Wassers in Grobporen entgegengewirkt. Stattdessen entsteht ein dreidimensionaler Fluss der Bodenmatrix (vgl. ebd.; METER GROUP 2018, S.6f; DIRKSEN 199, S.125f.). Wichtig ist hierbei, dass das Wasser in dem Messgerät nicht unter Druck steht, sondern nur durch die Spannung beeinflusst wird. Wäre das Wasser unter Druck, würde eine große Menge des Reservoirs direkt aus dem Minidisk-Infiltrimeter fließen, bevor es auf die Bodenoberfläche gestellt wird (vgl. KIRKHAM 2014, S.210f.).

Sobald das Minidisk-Infiltrimeter auf einer ebenen Bodenoberfläche aufgestellt wird und ein guter Kontakt zwischen dem Messgerät und dem Boden vorzufinden ist, beginnt das Wasserreservoir in den Boden zu infiltrieren. Das Startvolumen sowie die eingestellte Saugspannung müssen notiert werden. Darauf folgend wurde in den Versuchen des Lehrforschungsprojektes zur Quantifizierung das Wasservolumen alle 30 Sekunden für ein Intervall von zehn Minuten pro eingestellter Saugspannung bestimmt (vgl. ROBICHAUD/LEWIS/ASHMUN 2008, S.4; METER GROUP 2018,

S.11).

Nach einigen Messungen im Weinberg wurde in der Versuchsfläche das Augenmerk auf die Saugspannungen 0,5cm; 1cm und 2cm gelegt, da mit diesen Angaben auf dem Rigosolboden innerhalb von zehn Minuten eine Abnahme des Wasserreservoirs ersichtlich wurde. Aufgrund der Beschreibung der METER GROUP (2018, S.1ff.) ist davon auszugehen, dass die Angaben der Saugspannung in Zentimeter Wassersäule vorliegen. Deshalb können aus den gewählten Saugspannungen niedrige pF-Werte um circa 0pF gefolgert werden. Zumal wird im Bezug zu *Tabelle 8* deutlich, dass ebenfalls auf diesem Vorgehen basierend Makroporen in den Messungen einbezogen wurden. Somit grenzen diese an gesättigten Bodenbedingungen an.

Tab. 8: Porendurchmesser im Bezug zur Saugspannung (Quelle: Eigene Darstellung nach METER GROUP o.J., o.S.)

Saugspannung [cm]	1	2	3	4	5	6	7
Porendurchmesser [mm]	< 2,9	< 1,45	< 0,97	< 0,73	< 0,58	< 0,48	< 0,41

Um aus der beobachteten Abnahme des Wasserreservoirs und der Messzeit die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit (K_u) ableiten zu können, wurde die Formel nach Zhang (1997) angewandt. Mithilfe der kumulativen Infiltration und weiterer Parameter wird der K_u -Wert ermittelt:

$$K = \frac{C}{A}$$

Dabei steht der Parameter C für die Steigung der Kurve der kumulativen Infiltration, welche aus den Daten der Feldmessungen berechnet wird. Des Weiteren wird durch den dimensionslosen Parameter A die Soil Texture Class nach Van-Genuchten einbezogen, die in Abhängigkeit des Bodentyps, der Saugspannung und dem Radius der Edelstahlscheibe verschiedene Werte annehmen kann. Hierfür wurde in der Versuchsfläche der Wert des lehmigen Sandes nach der Bodenanalyse beachtet (vgl. FATEHNIA/TAWFIQ/ABICHOU 2014, S.1054f.; MADSEN/CHANDLER 2007, S.1470; METER GROUP 2018, S.13ff.).

Folglich kann auf die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit pro Feldmessung geschlossen werden, die die Geschwindigkeit der Infiltration in nicht gänzlich mit Wasser gefüllten Bodenporen beschreibt. Je nach den Porensystemeigenschaften, wie zum Beispiel „die Größenverteilung und der Volumenanteil der wassergefüllten Poren, weiterhin die ebenfalls wassergehaltsabhängigen Größen der Tortuosität und der Kontinuität“ (BOHNE 1998, S.23), kann ein Unterschied in der Infiltrationsgeschwindigkeit und somit von den hydraulischen Leitfähigkeiten in den Feinporen des Bodens verzeichnet werden (vgl. ebd.).

11.2. Datenauswertung

Ab dem 21. Juni 2018 fanden gemäß des zuvor beschriebenen Ablaufes Feldmessungen statt. Weitere Erhebungen folgten am 28. Juni, 12. Juli und in der Woche des 27. August 2018 im Weinberg. Währenddessen wurden insgesamt 43 Messungen auf der Versuchsfläche vollzogen und anschließend ausgewertet. Bei der Datenanalyse wurde allerdings ersichtlich, dass einige Ergebnisse Fehler beinhalten, wodurch im späteren Verlauf nur 28 Messungen näher betrachtet werden konnten, die in *Tabelle 9* aufgeführt sind.

Tab. 9: Geeignete Messungen und Ergebnisse

Messungen	Ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit [mm/h]		
	Saugspannung 0,5cm	Saugspannung 1cm	Saugspannung 2cm
MD_KaJB_cKO_u_20180829_30	19,57	5,44	2,79
MD_KaJB_cKO_o_20180829_29	64,18	33,30	10,21
MD_KaJB_cKT_u_20180829_28	98,65	28,63	12,00
MD_KaJB_cKT_o_20180829_27	90,83	38,75	8,79
MD_KaJB_cKB_u_20180829_26	No data	11,21	6,32
MD_KaJB_cKB_o_20180829_25	37,35	28,70	6,48
MD_KaJB_c50_R10_20180829_23	22,99	19,06	15,72
MD_KaJB_c51_R1011_20180829_22	118,10	54,78	19,82
MD_KaJB_c51_R5152t_20180829_21	97,23	34,22	1,80
MD_KaJB_c51_R5152_20180829_19	68,43	18,25	9,55
MD_KaJB_c45_R1011_20180828_16	97,34	45,89	13,99
MD_KaJB_c46_R51t_20180828_15	43,23	27,52	14,33
MD_KaJB_c46_R51_20180828_14	54,25	21,33	12,27
MD_KaJB_c45_R5152_20180828_13	125,96	42,18	3,02
MD_KaJB_c22_R10t_20180829_12	35,75	26,49	16,74
MD_KaJB_c22_R51t_20180828_09	54,79	39,36	21,70
MD_KaJB_c22_R51_20180828_08	55,76	52,56	40,29
MD_KaJB_c02_R10t_20180828_06	36,76	12,847	6,23
MD_KaJB_c02_R10_20180828_05	34,31	23,87	9,92
MD_KaJB_c01_R1011_20180828_04	55,20	41,53	34,97
MD_KaJB_c02_R51t_20180828_03	7,85	7,45	3,28
MD_KaJB_c37_R20_20180621_02	No data	57,56	11,54
MD_KaJB_c37_R1920_20180621_03	No data	38,19	6,96
MD_KaJB_c47_Ru_20180621_06	155,11	40,57	11,04
MD_KaJB_c12_Ru_20180628_02	No data	23,98	14,94
MD_KaJB_cK_R_20180628_03	14,62	10,28	7,50
MD_KaJB_c02_R55_20180712_01	42,01	41,61	34,88
MD_KaJB_c33_R5455_20180712_03	113,88	16,28	9,50

Ausschlusskriterien hierfür basierten auf Literaturangaben und einer falschen Handhabung des Messgerätes. Die ersten Messungen wurden verworfen, da die Datenreihen nicht vollzählig waren oder die Messreihen zu kurz gewählt wurden. Dadurch ergab sich weder eine Repräsentativität der Werte, noch konnte die hydraulische Leitfähigkeit errechnet werden. Darüber hinaus brach bei manchen Erhebungen der konstante Bodenkontakt ab, weil auf der einen Seite das Minidisk-Infiltrimeter aufgrund seiner Größe auf dem Schieferboden nur schwer stehen blieb und somit umfiel. Auf der anderen Seite wurde das Messgerät während der Messung aufgefüllt, da das Wasserreservoir im Laufe der Messzeit komplett einsickerte. Dadurch war auch in diesem Fall kein

konstanter Bodenkontakt gegeben. Bereits das Ruckeln, geschweige denn das Anheben, führte zu unzutreffenden Ergebnissen (vgl. METER GROUP 2018, S.6ff.).

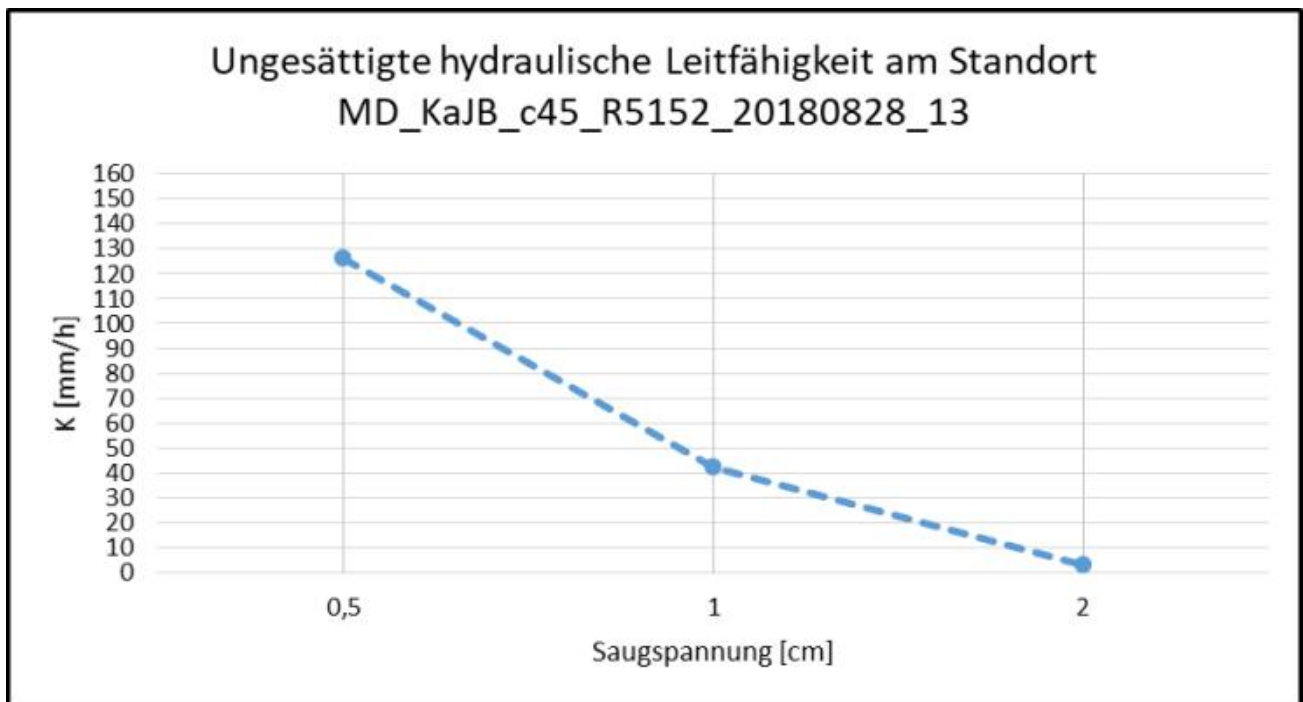


Abb. 36 Messung am Standort MD_KaJB_c45_R5152_20180828_13 (Quelle: Eigene Darstellung)

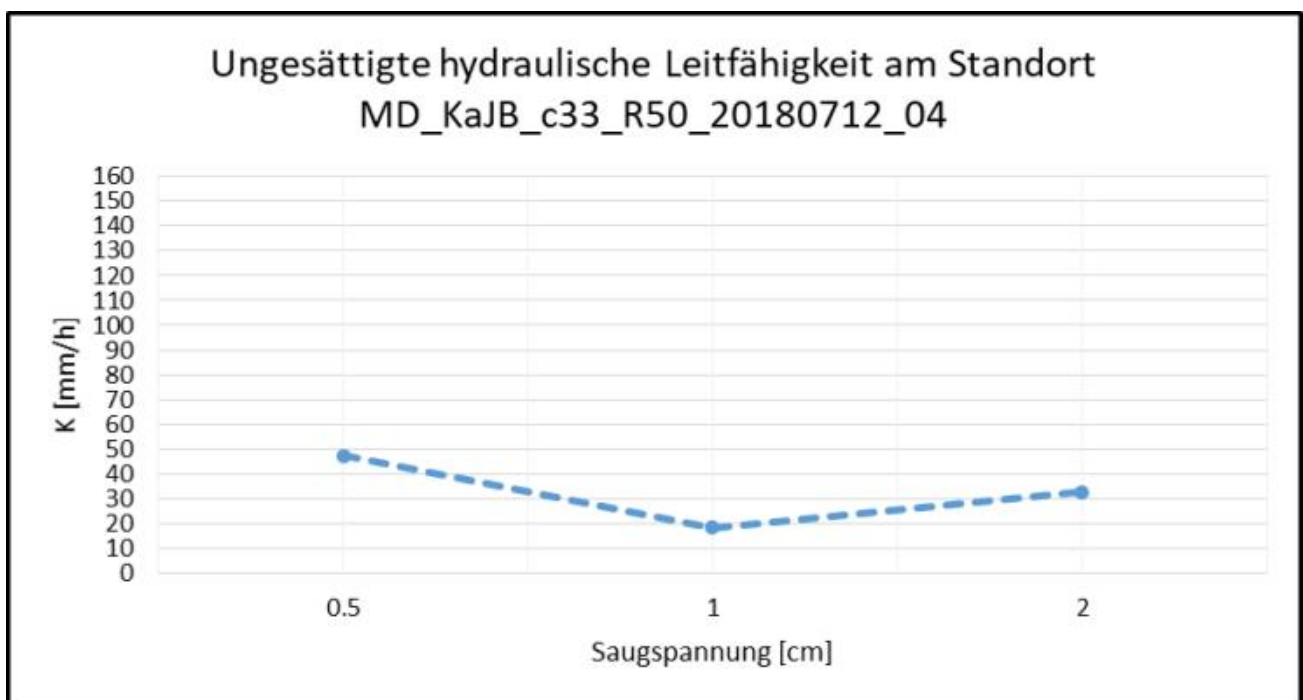


Abb. 37: Messung am Standort MD_KaJB_c33_R50_20180712_04 (Quelle: Eigene Darstellung)

Aus diesem Grund verkürzte sich die Anzahl der geeigneten Messungen auf 28, bei denen der charakteristische Verlauf der Leitfähigkeitskurve ersichtlich ist. Dieser ist in *Abbildung 36* beispielhaft dargestellt und zeigt, dass je geringer die Saugspannung eingestellt ist, desto höhere

hydraulische Leitfähigkeitswerte können gefolgert werden. Eine veränderte Reihenfolge der Maxima und Minima, wie es *Abbildung 37* exemplarisch vorweist, kann in Realität auf der Versuchsfläche nicht erzeugt werden und beruht somit auf Messfehlern. Dies ist der Fall, weil bei höheren Saugspannungen das Wasser aus dem Reservoir stärker zurückgehalten wird, wodurch die Schwierigkeit für den Boden anwächst, das Wasser durch die Poren zu leiten. Wenn das Wasser unter Spannung steht, tritt es ferner in die Feinporen, sodass geringere Infiltrationsgeschwindigkeiten die Folge sind. Demgemäß liegt wie im Idealfall auf *Abbildung 38* die Kurve der Infiltrationsrate in [mL/0,5min] der Saugspannung 0,5cm höher als die der Spannung 1cm, die wiederum einen größeren Infiltrationswert als die Rate der Saugspannung 2cm annimmt.

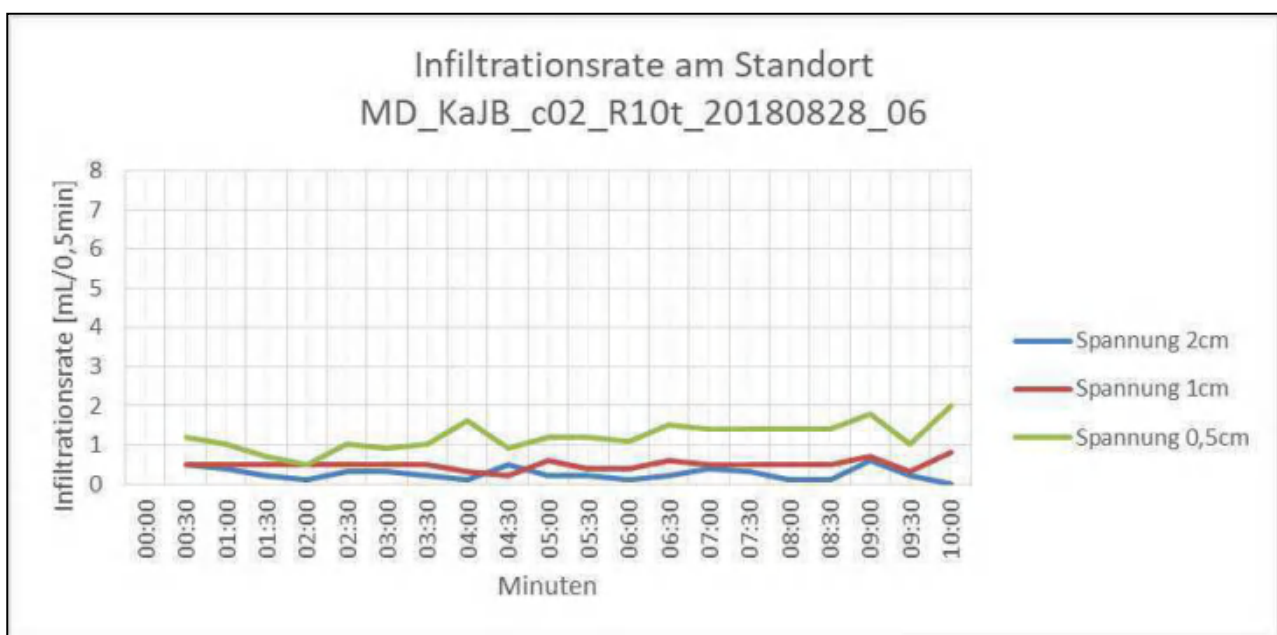


Abb. 38: Infiltrationsrate am Standort MD_KaJB_R10t_20180828_06 (Quelle: Eigene Darstellung)

Ebenso sind negative Werte für die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit unrealistisch, sodass auch diese Messungen im Verlaufe der Auswertung nicht näher betrachtet wurden (vgl. ebd.; FATEHNIA/TAWFIQ/ABICHOUS 2014, S.1057f.; KARGAS/LONDRA/VALIANTZAS 2017, S.99).

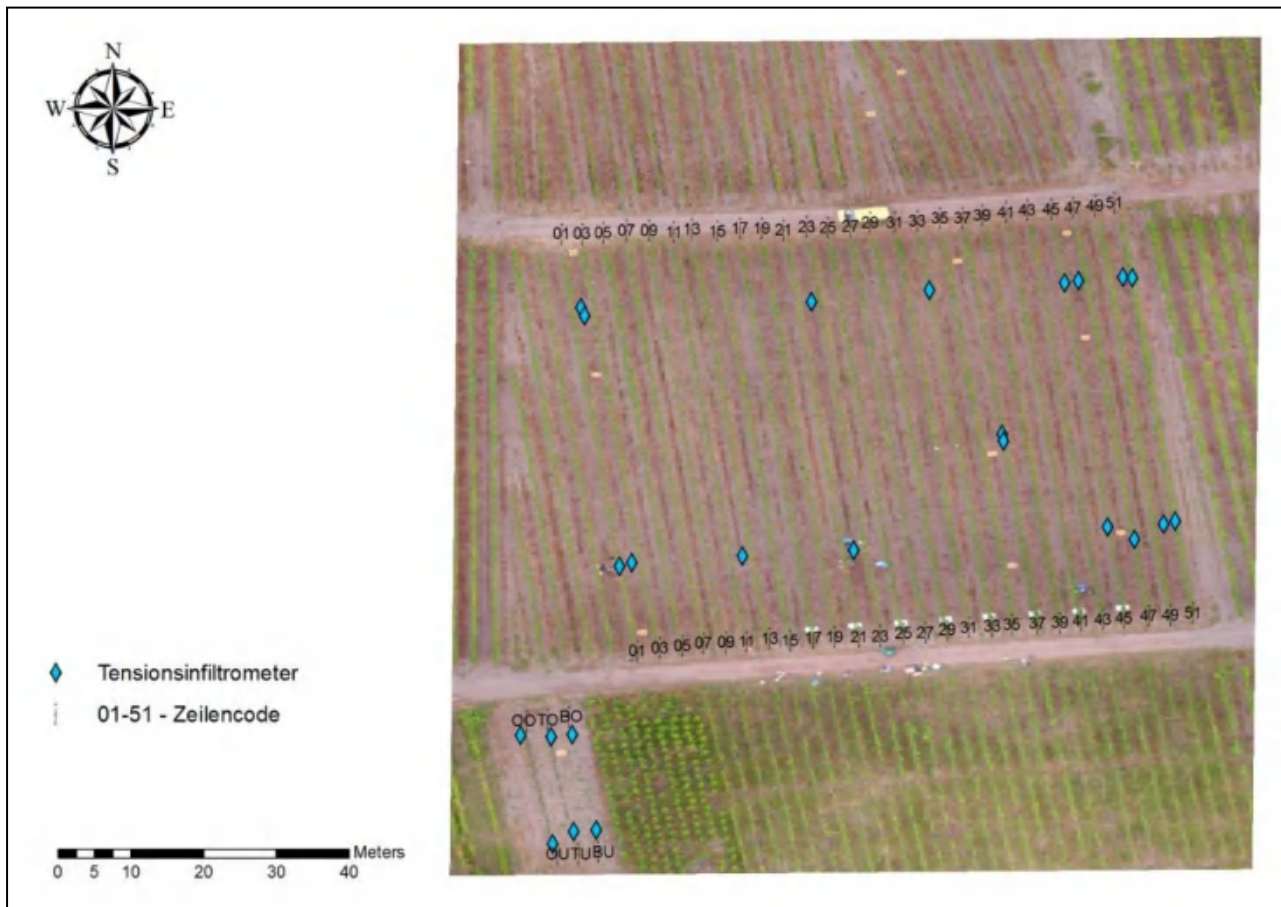


Abb. 39 Positionen der Messungen Minidisk-Infiltrrometer (Quelle: Eigene Darstellung)

Trotzdem wurden, wie in *Abbildung 39* zu sehen, die Messungen in der Versuchsfläche einheitlich angeordnet. Zum einen richtete sich die Standortwahl nach der Lage im Unterstockbereich sowie in der Fahrspur und zum anderen wurde die Lage im oberen und unteren Mittelhang beachtet. Außerdem wurde die Kontrollfläche ohne Weinreben in die Feldmessung miteinbezogen. Wenige Messungen weichen allerdings von dem genannten Schema ab, da deren Standort willkürlich gewählt wurde. Darüber hinaus konnten weitere Daten in 10cm Tiefe für den Bereich der Fahrspur gewonnen und zum Vergleich herangezogen werden.

Zur Veranschaulichung wurden die ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeitswerte der 28 Messungen gemäß ihres Standortes und der angewandten Saugspannung in verschiedene Boxplots unterteilt.

Als Erstes kann anhand von *Abbildung 40* und *41* der Vergleich zwischen oberen und unteren Mittelhang angestrebt werden, wobei die Messergebnisse aus 10cm Tiefe keine Rolle spielen. Ebenso wurde die Unterteilung zwischen Unterstock- und Fahrspurbereich vernachlässigt, wodurch die starke Variabilität der Messergebnisse erklärt werden kann. Auf der Y-Achse der Diagramme ist die hydraulische Leitfähigkeit in [mm/h] aufgetragen und die X-Achse gibt die jeweilig angewandten Saugspannungen in [cm] an. Im oberen Bereich der Versuchsfläche konnten für jeden Boxplot sechs Messungen herangezogen werden, während im unteren Mittelhang je

neun Ergebnisse für die Saugspannungen 1cm sowie 2cm und weitere sechs Felddaten für die Saugspannung 0,5cm verwendet wurden.

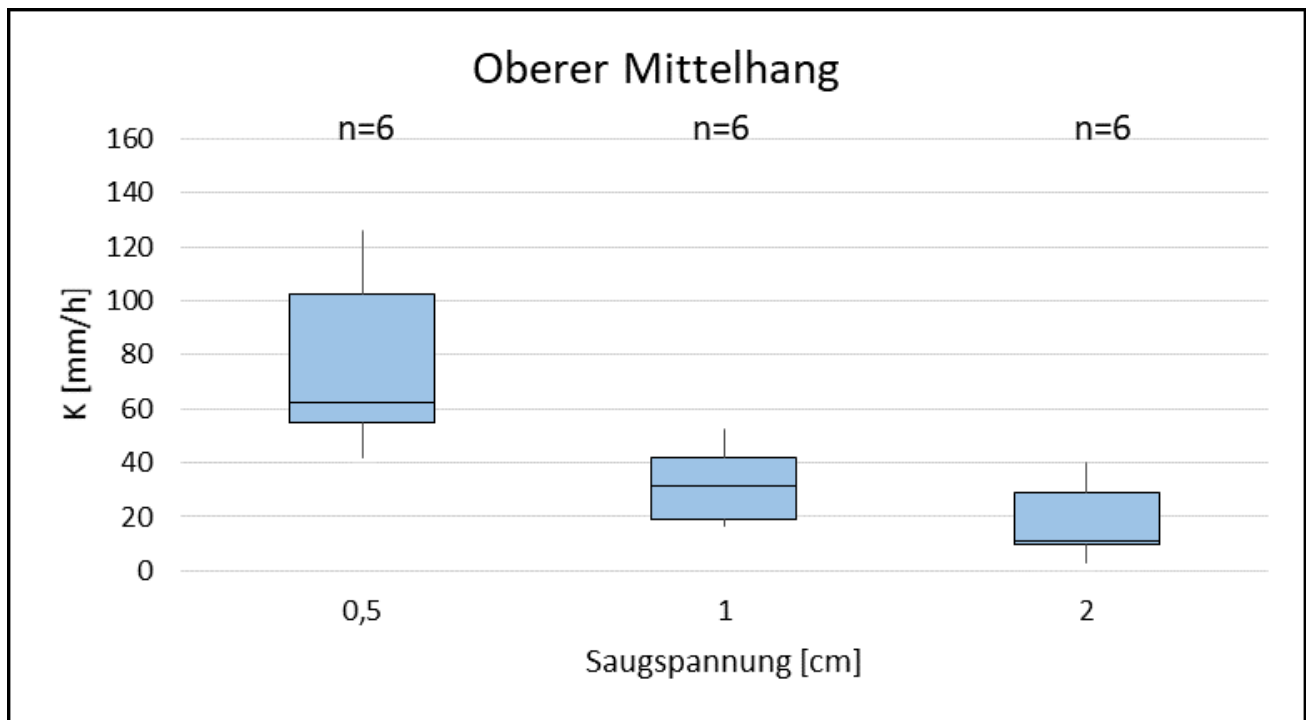


Abb. 40: Ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit oberer Mittelhang (Quelle: Eigene Darstellung)

Abbildung 40 beinhaltet die Daten des oberen Teils der Versuchsfläche. Gut zu erkennen ist, dass die hydraulische Leitfähigkeit der Saugspannung 0,5cm deutlich höher als die der anderen liegt sowie eine größere Variation besitzt. Der Median liegt in diesem Falle bei etwa 62mm/h, jedoch schwanken die Werte zwischen 125mm/h und 42mm/h. Im Gegensatz dazu fallen die Leitfähigkeitswerte mit steigender Saugspannung, also im feuchteren Milieu, ab. Deren Median bezogen auf die Saugspannung 1cm liegt noch bei 31mm/h, während dieser bei einem Wert von 2cm bereits auf 29mm/h absinkt. Allerdings bleibt die Variabilität der Ergebnisse zwischen Maximum und Minimum auf einem konstanten Level von ungefähr 36mm/h.

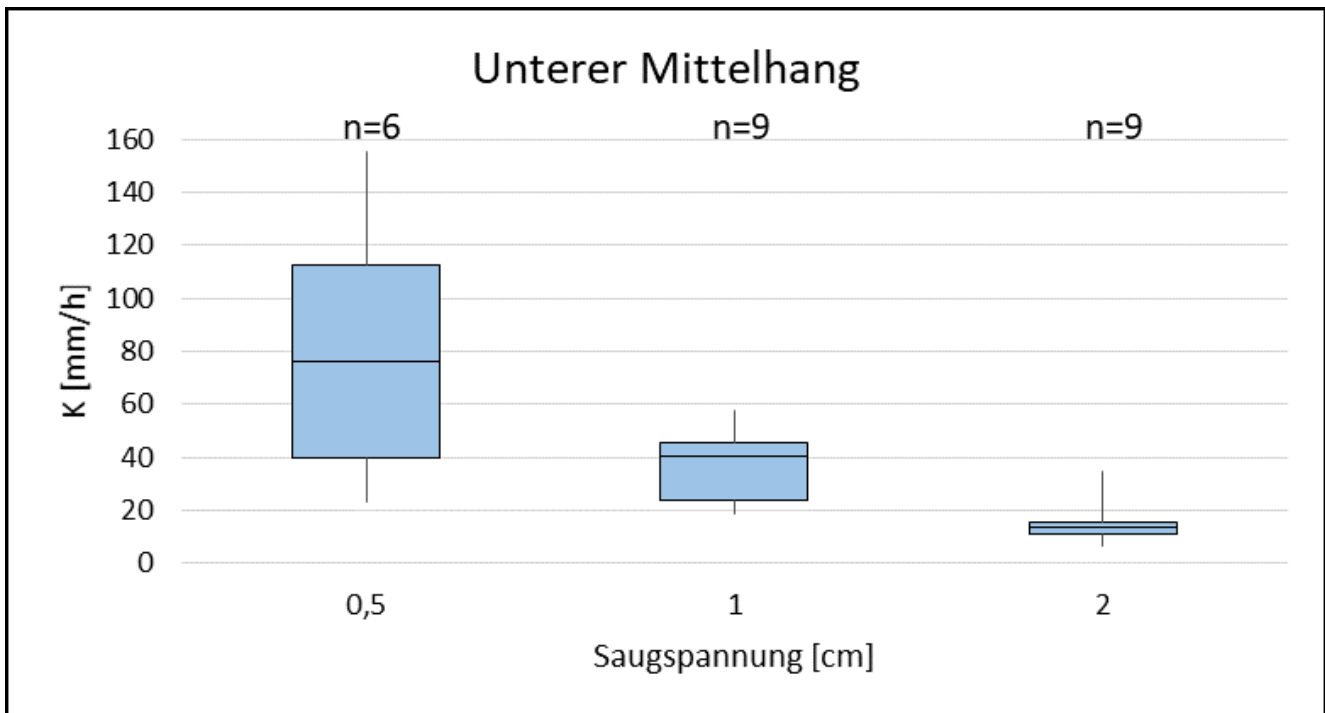


Abb. 41: Ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit unterer Mittelhang (Quelle: Eigene Darstellung)

Dieser Darstellung ähnelt sehr die *Abbildung 41*, welche die Ergebnisse des Lehrforschungsprojektes für den unteren Teil der Versuchsfläche darstellt. Ebenfalls ist hier zu sehen, dass die Saugspannung 0,5cm die höchsten hydraulischen Leitfähigkeiten mit einem Median von 76mm/h aufweist. Gleichwohl wird gezeigt, dass die Spanne der Messergebnisse stark ausgeprägt ist. Sie reicht von dem Maximalwert 155mm/h bis zu einem Minimum von 22mm/h. Dies übertrifft sogar die Variabilität im oberen Mittelhang, welche zuvor beschrieben wurde. Die Messergebnisse der Saugspannung 1cm des unteren Mittelhanges weisen einen Median der hydraulischen Leitfähigkeit von 40mm/h mit einem ersten Quartil von 24mm/h und einem dritten Quartil von 45mm/h auf. Somit sind sie minimal höher als im oberen Teil der Versuchsfläche. Hingegen sind die ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeitswerte in einem eher trockenen Boden auffällig, da sich etwa die Hälfte der Werte im engen Intervall zwischen 11mm/h und 15mm/h anhäuft.

Vergleichend kann gesagt werden, dass die Unterschiede zwischen dem oberen und unteren Abschnitt der Versuchsfläche nur geringfügig sind und aus diesem Grund nicht näher untersucht werden. Alles in allem sind die Werte am unteren Standort minimal höher als im oberen Bereich. Eine Begründung könnte das am Ende des Mittelhanges angelagerte Erosionsmaterial, welches zum größten Teil aus Feinboden besteht, sein. Dort sind gemäß den durchgeführten Feldmessungen mehr Bodenporen vorzufinden, sodass die hydraulische Leitfähigkeit etwas höher ist. Umgekehrt ist dies allerdings bei der Saugspannung von 2cm, da der Unterschied in der Bodenmatrix zwischen den beiden Standorten minimal ist.

Aufgrund der geringen Differenzen des oberen und unteren Mittelhanges wurde das Augenmerk

auf die Unterteilung zwischen Unterstockbereich, Fahrspur, 10cm Tiefe in der Fahrspur und Kontrollfläche ohne Weinreben gelegt. Die dazugehörigen Boxplots werden in den *Abbildungen 42 bis 45* aufgezeigt und später in *Abbildung 46 bis 48* bezüglich der angewandten Saugspannungen miteinander verglichen.

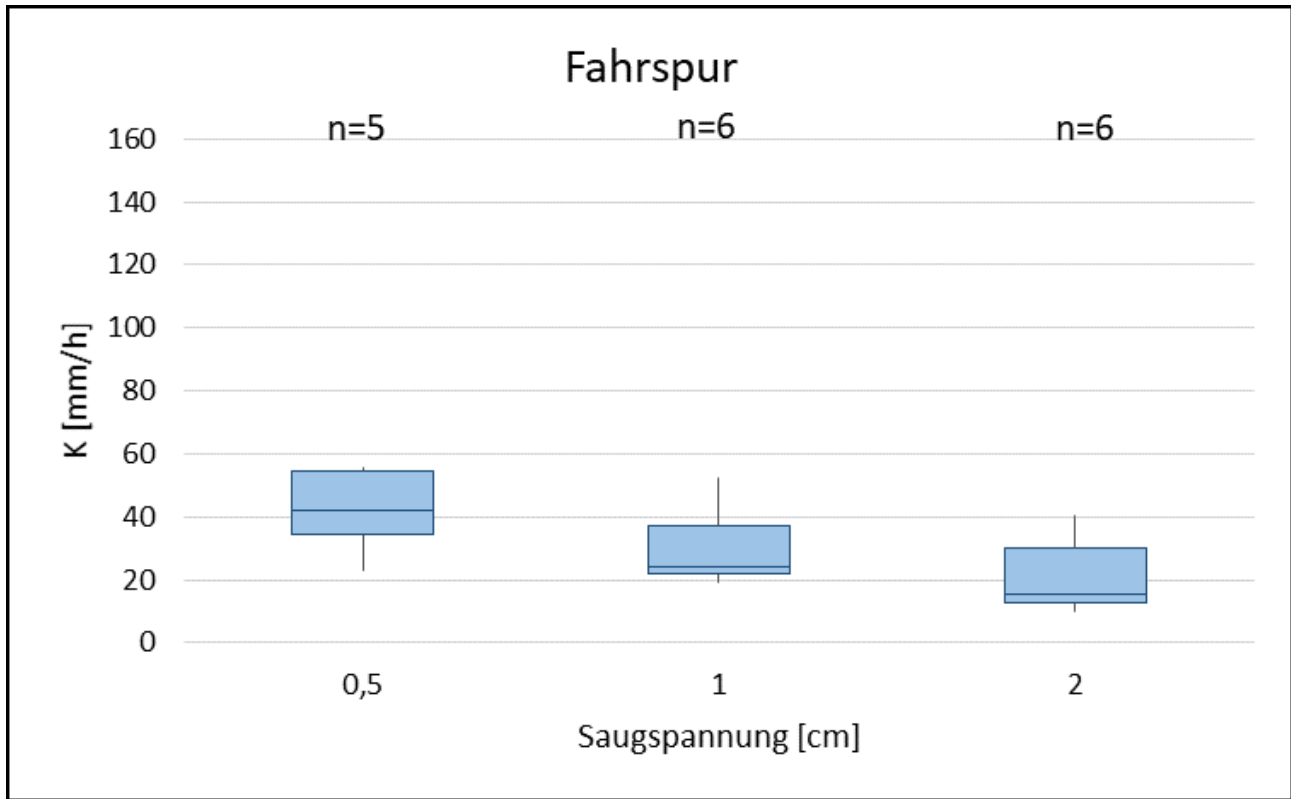


Abb. 42: Ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit Fahrspur (Quelle: Eigene Darstellung)

Zuerst wird die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit des Bereiches der Fahrspuren betrachtet (*Abbildung 42*). Wie zuvor erklärt, wird auch hier die Abnahme der hydraulischen Leitfähigkeit mit steigender Saugspannung deutlich, jedoch in einem geringeren Ausmaß. Bei der Saugspannung 0,5cm liegt der Median der hydraulischen Leitfähigkeit ungefähr bei 42mm/h, das dritte Quartil bei 54mm/h und das erste Quartil bei 34mm/h. Jedoch sollte beachtet werden, dass für diesen Boxplot nur fünf Messungen zur Verfügung, sodass eine Repräsentativität der berechneten Charakteristiken nicht eindeutig gegeben ist. Der Saugspannung 1cm wird in der Fahrspur ein Median von 23mm/h zugeordnet, der sich aber eher an den niedrigen Werten orientiert. Davon unterscheiden sich die Ergebnisse der eigenstellten Spannung von 2cm nur wenig, da sich die Wertespanne der hydraulischen Infiltrationsgeschwindigkeit von 9mm/h bis 40mm/h erstreckt. Dieses Verhalten konnte nach der Datenanalyse auf die Verdichtung der Fahrspur im Weinberg zurückgeführt werden. Die Porenräume wurden durch das Befahren mit Maschinen und den herausgebildeten Gehwegen verkleinert oder gar zerstört. Aus diesem Grund kann das Wasser auf der Oberfläche nur schwer in den Boden eindringen, sodass eine geringe hydraulische Leitfähigkeit gefolgert werden konnte.

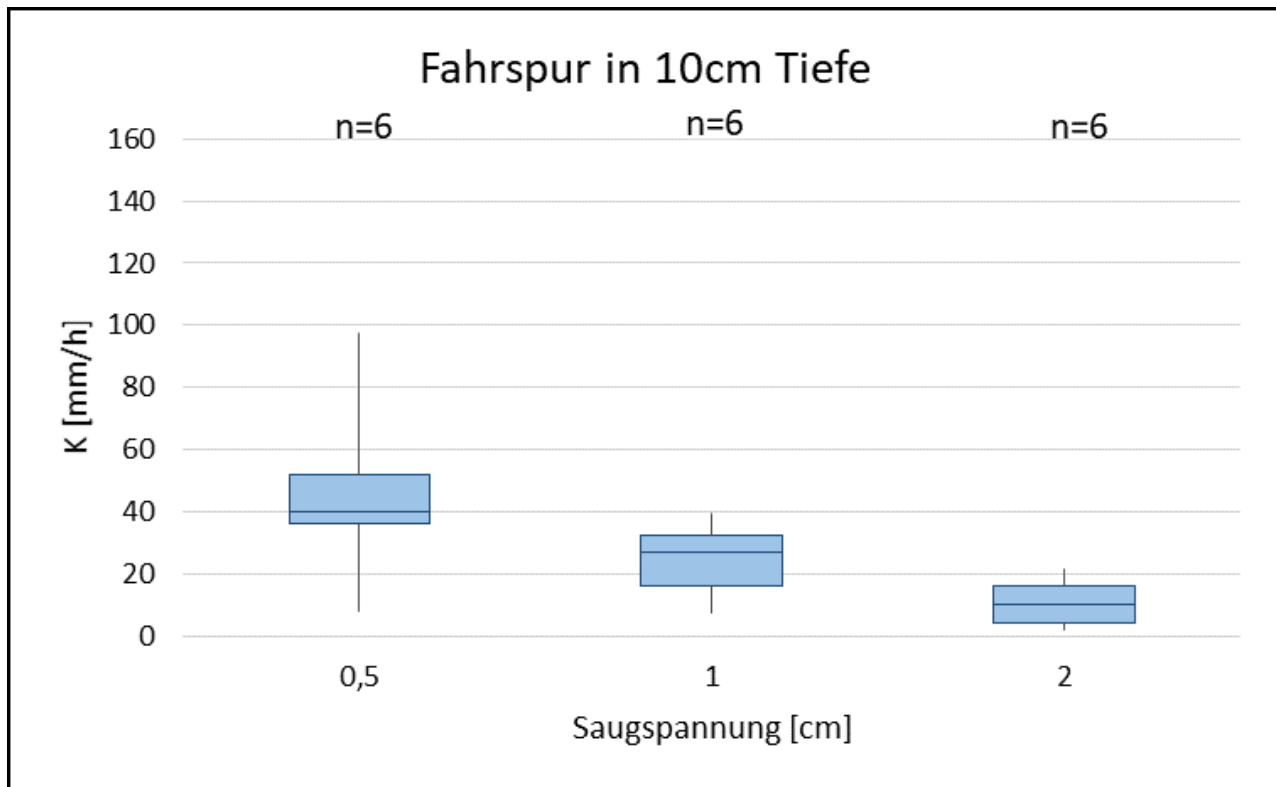


Abb. 43: Ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit Fahrspur 10cm (Quelle: Eigene Darstellung)

Dagegen sind die Werte in einer Tiefe von 10cm im Fahrspurbereich interessant. Hierbei wurden die Messungen, die in *Abbildung 43* zu erkennen sind, direkt neben den Feldversuchen auf der Bodenoberfläche des Fahrspurbereiches angeordnet. Trotzdem sind einige Unterschiede in den Ergebnissen zu konnotieren. Vor allem fällt die hohe Variabilität der hydraulischen Leitfähigkeit bei feuchten Bedingungen auf. Deren Minimalwert befindet sich bei 7mm/h wie der geringste Wert der Spannung 1cm. Der Maximalwert hebt sich deutlich an diesem Standort mit 97mm/h ab. Die Leitfähigkeitswerte, die zu den Saugspannungen 1cm und 2cm gehören, sind minimal geringer als an der Oberfläche der Fahrspur ausgeprägt. Ein möglicher Erklärungsansatz kann mit der Tiefe in Verbindung gebracht werden. Mithilfe von einer geringen Saugspannung wurde verdeutlicht, dass insbesondere größere Poren in der Tiefe vermehrt vorzufinden sind und somit höhere Infiltrationsgeschwindigkeiten erreicht werden können. Demgegenüber kann sich dieser Trend in Bezug auf die Feinporen nicht fortführen.

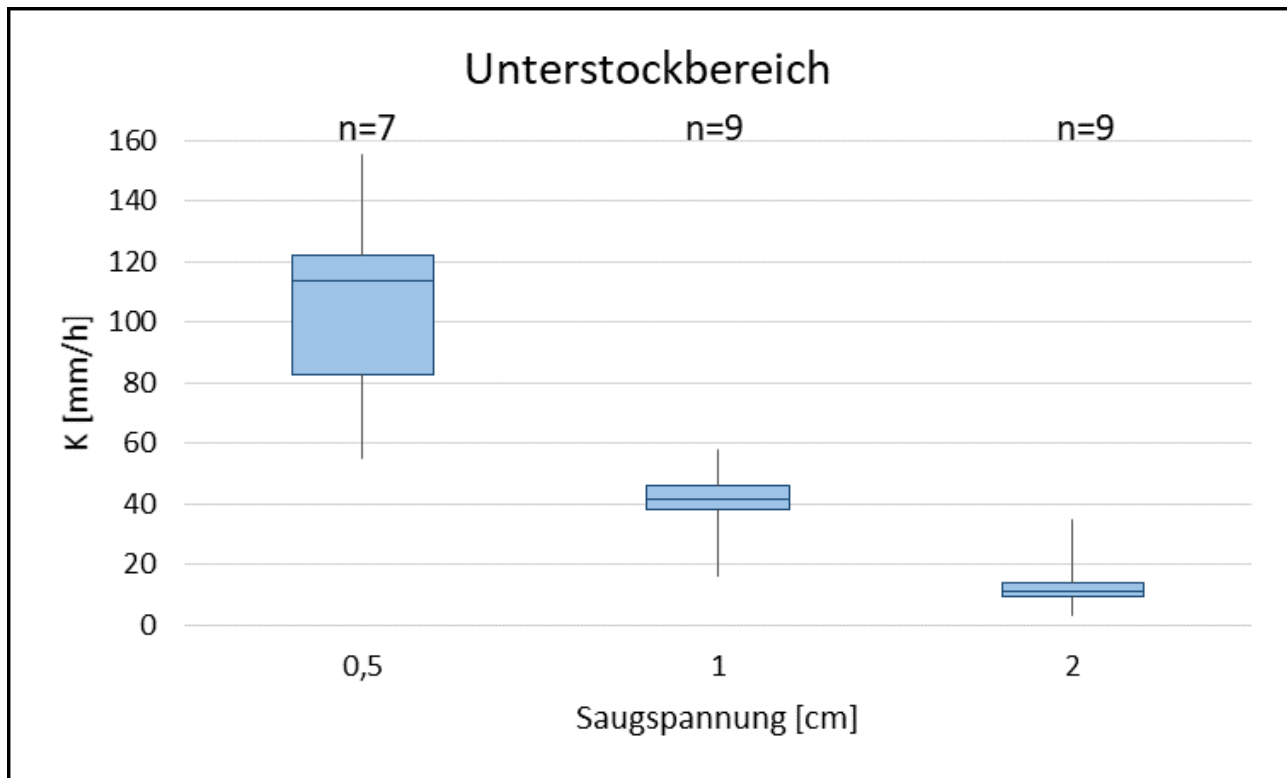


Abb. 44: Ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit Unterstockbereich (Quelle: Eigene Darstellung)

Ein sehr differenziertes Bild zeigt *Abbildung 44* für den Unterstockbereich der Reben auf. An diesen Standorten wurde der Boden durch den Winzer stark bearbeitet und aufgelockert. Als Folge steigen die Werte der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit auf höhere Werte. Sie nimmt für die schwächste Saugspannung Werte bis zu 155 mm/h an. Die Hälfte der gemessenen Ergebnisse deckt allerdings den Bereich zwischen 82 mm/h und 122 mm/h der Infiltrationsgeschwindigkeit ab. Trotzdem ist dies im Vergleich zu den Messresultaten der Saugspannung 1 cm hoch, da die Leitfähigkeitswerte in diesem Fall bis zu einem Drittel geringer ausfallen. Noch stärker ist die Abnahme hin zur niedrigsten Saugspannung von 2 cm. Fast eine Zehnerpotenz liegt zwischen diesen geringen Werten und dem Median der höchsten Messergebnisse. Außerdem ist nur eine sehr geringe Variation der abgeleiteten ungesättigten Leitfähigkeit des Wassers in der Bodenmatrix vorzufinden. Wie bereits zuvor beschrieben, wurde an diesen Standorten auf einem ständig bearbeiteten Boden gemessen. Ebenfalls wachsen die Reben und die angelegten Kräuter im Unterstockbereich. Folglich sind mehr Bodenporen durch die Auflockerungsarbeiten entstanden, die bei geringen Widerständen infiltrierendes Wasser schneller leiten können. Da die eingestellte Saugspannung 0,5 cm sehr nah an dem gesättigten Bereich misst, kann des Weiteren abgeleitet werden, dass Feinporen nur geringfügig stärker als in den Fahrspuren der Versuchsfläche ausgeprägt sind. Wahrscheinlich werden durch die anthropogene Bearbeitung Grobporen verursacht. Somit weist die Bodenmatrix bei hoher Saugspannung nur eine geringe Infiltrationsgeschwindigkeit auf.

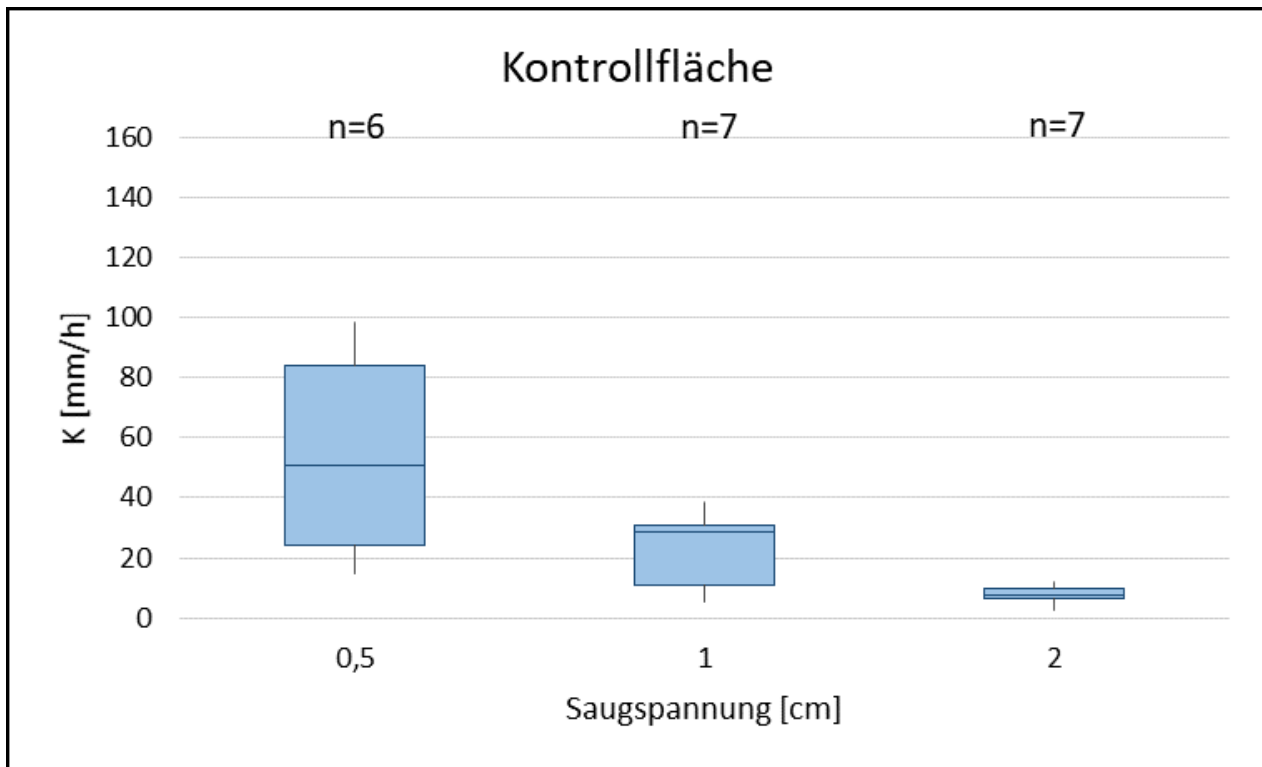


Abb. 45: Ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit Kontrollfläche (Quelle: Eigene Darstellung)

Für die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit wurden entsprechende Werte in der Kontrollfläche ohne Reben erwartet. Außer dem typisch abnehmenden Verlauf der hydraulischen Leitfähigkeit, bezogen auf die vergrößernden Porendurchmesser, werden auf *Abbildung 45* geringere Infiltrationsgeschwindigkeiten deutlich. Trotz einer ständigen Bearbeitung durch den Winzer, ähnlich wie der Unterstockbereich im Weinberg, reichen die Maximalwerte nicht an die der Versuchsfläche im Mittelhang. Bei feuchten Bedingungen wurden in den Felderhebungen hydraulische Leitfähigkeitswerte ab 14mm/h beobachtet, während der Median der sechs einbezogenen Messungen 50mm/h beträgt. Zu erwähnen ist hierbei die auffallende Variabilität der Werte, die eine Spanne von über 60mm/h umfasst. Dadurch kann konkludiert werden, dass die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit bei feuchten Bedingungen je nach Standort sehr stark variiert. Ferner sind die Saugspannungen 1cm und 2cm zu erwähnen. Bei mittelfeuchten Bedingungen, die etwa einem pF von null entsprechen, fällt der Medianwert um etwa ein Drittel auf 28mm/h. Die Verteilung der hydraulischen Leitfähigkeitswerte gleicht für die Saugspannung 2cm dem Unterstockbereich, wobei der Maximalwert in der Kontrollfläche ohne Weinreben nur 11mm/h beträgt.

Alles in allem können einige charakteristische Unterschiede in den verschiedenen Standorten der Versuchsfläche ausfindig gemacht werden. Dabei wird nicht auf die Differenz des oberen und unteren Bereichs der Testfläche eingegangen, sondern auf die besonderen Merkmale der Fahrspur, des Unterstockbereiches und der Kontrollfläche ohne Weinreben.

Im Bezug zu dem Diverfarming-Projekt war es vor allem wichtig, die Unterstockbereiche den

Fahrspuren gegenüberzustellen und im Bezug zu den Fragestellungen weitere Informationen zu gewinnen. Wie bereits erläutert, basiert die Unähnlichkeit im großen Maße auf die Bearbeitung durch den Winzer. Die Auflockerung und Bearbeitung des Unterstockbereiches begünstigt eine geringere Dichte und die Entstehung von mehreren Grobporen des Bodens.

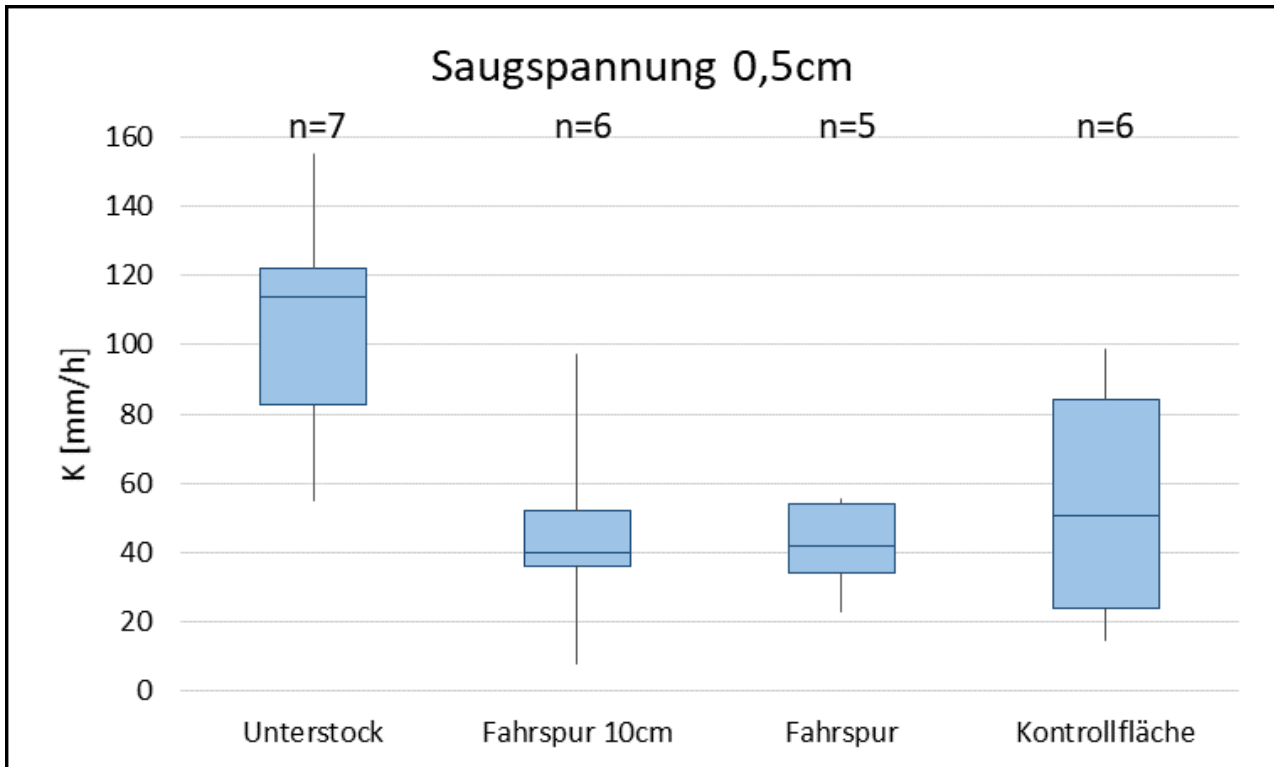


Abb. 46: Vergleich der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit bei Saugspannung 0,5cm (Quelle: Eigene Darstellung)

Somit ist, wie in der *Abbildung 46* zu sehen, die hydraulische Leitfähigkeit im feuchten Milieu insbesondere im Unterstockbereich am höchsten. Durch die ähnliche Bearbeitung der Kontrollfläche ohne Reben wurden auch hier gegenüber der Fahrspur schnellere hydraulische Leitfähigkeitswerte gemessen. Im Gegensatz dazu ist der verdichtete Fahrspurbereich mit einer hohen Dichte und geringen Poren gekennzeichnet, sodass an diesen Stellen (auch in 10cm Tiefe) die Infiltrationsgeschwindigkeit geringer ausgeprägt ist.

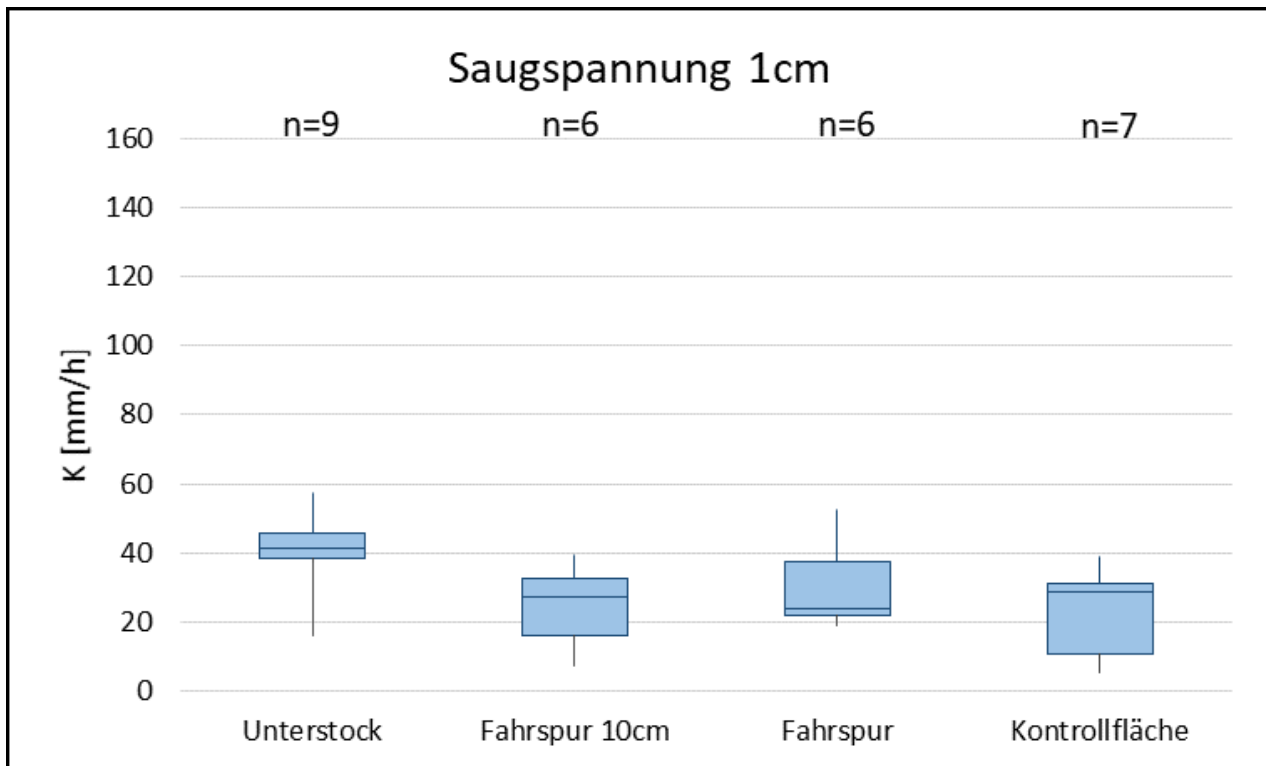


Abb. 47: Vergleich der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit bei Saugspannung 1cm (Quelle: Eigene Darstellung)

Während der Auswertung der Messergebnisse zur Saugspannung 1cm (siehe *Abbildung 47*) konnte aufgezeigt werden, dass mit diesen Voraussetzungen keine großen Unterschiede zu vermerken sind. Der Unterstockbereich hat durch die vorhandenen Grobporen noch einen höheren Medianwert als die restlichen Standorte. Dies ist der Fall, da auch durch diese angewandte Saugspannung sehr nahe am gesättigten Bereich gemessen wurde und somit der Unterstockbereich einen Vorteil durch die Auflockerungen zieht.

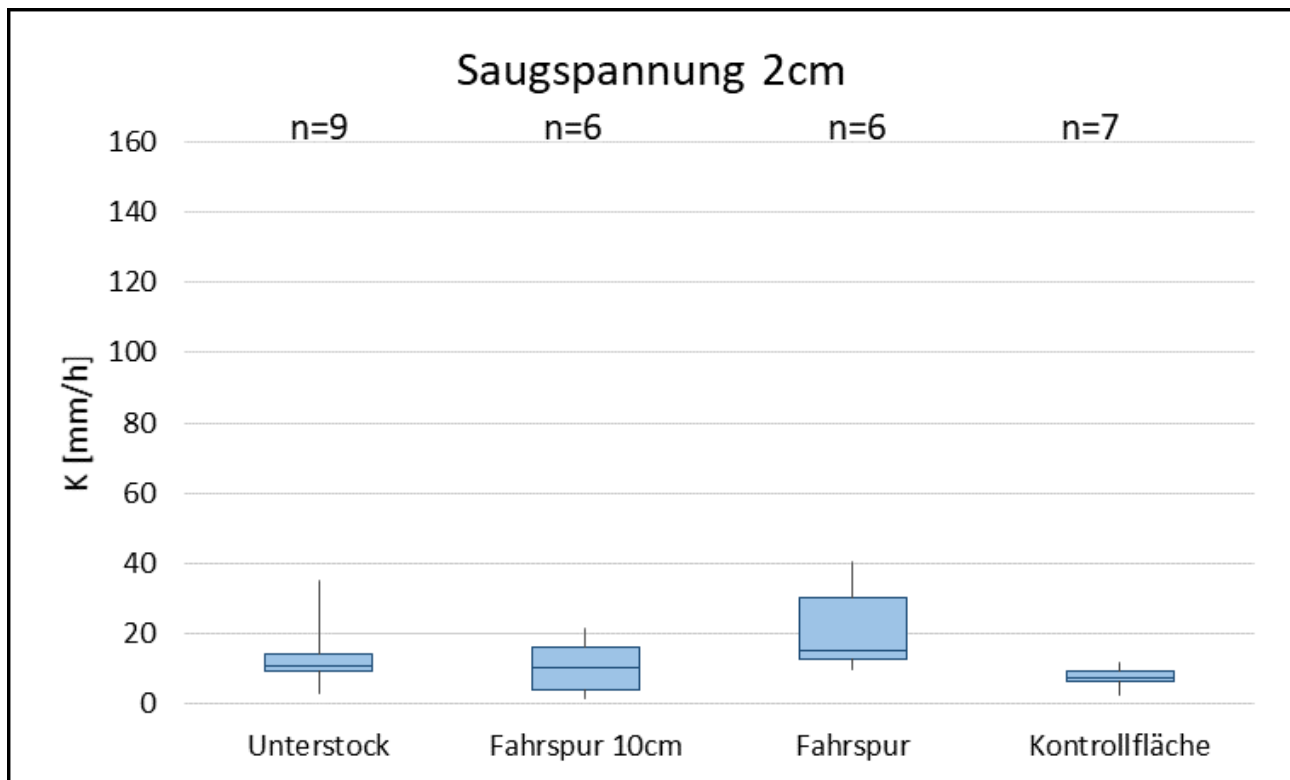


Abb. 48: Vergleich der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit bei Saugspannung 2cm (Quelle: Eigene Darstellung)

Zum Schluss wird noch auf den höchsten ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeitswert auf *Abbildung 48* während einer trockenen Messung hingewiesen. Dabei ist erstaunlich, dass die Fahrspur an der Bodenoberfläche die größten Werte darstellt. Dessen Median übertrifft alle anderen Werte, was anhand der Feinporen, die insbesondere durch die Verdichtung des Bodens auftreten, erklärt werden kann. Dieser Trend wird aber in den Messungen in 10cm Tiefe der Fahrspur nicht weitergeführt, weil bis dorthin die Verdichtung durch die Maschinen und verwendeten Gehwege wahrscheinlich nicht durchdringt.

11.3. Interpretation und Methodenkritik

Abschließend wurden für die Datenanalyse die zuvor erklärten Messergebnisse und deren Interpretation mit der Literatur verglichen. Die Abnahme der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit mit der Trockenheit, also je geringer die Saugspannungen bei den Felderhebungen gewählt wurden, entspricht der zugrundeliegenden Theorie (vgl. ANKENY et al. 1991, S.467). Begründet wird dies mithilfe der höheren Unterdrücke, die durch die stärkere Saugspannung des Messgerätes resultieren und somit die Infiltration erschweren (vgl. FATEHNIA/TAWFIQ/ABICHOUD 2014, S.1057). Durch die Abnahme der Feuchtigkeit im Boden nehmen Luftbewegungen zu, die wiederum den Wasserfluss in der Bodenmatrix erschweren. Eine vergleichbare Abnahme der relativen hydraulischen Leitfähigkeit hat bereits BOHNE (2005, S.106) aufgezeigt, welche allerdings durch die Mualem/van Genuchten Methode errechnet wurde.

Die Leitfähigkeit ist in ungesättigten Böden kompliziert zu erfassen, da Wassergehalt, Matrixpotential und die Porendurchmesser eine Rolle spielen. Aus diesem Grund variiert die Infiltrationskapazität nach Raum und Zeit bei diesen Erhebungen deutlich (vgl. METER GROUP 2018, S.6f.). In den Feldmessungen des Lehrforschungsprojektes wurde dies durch die Gegenüberstellung der einzelnen Standortbereiche verdeutlicht. Aber auch die einzelnen Variationsspannen, insbesondere der Saugspannung 0,5cm, zeigen diese Variabilität auf. Laut BHAVE und PEKKAT (2012, S.2) können diese Unterschiede speziell auf den vorzufindenden Wassergehalt zurückgeführt werden. Jedoch gibt es bis heute nur eine geringe Anzahl an Forschungsansätzen, die sich mit der Wichtigkeit des anfänglichen Bodenwassers und dessen Auswirkungen auseinandersetzen (vgl. ebd.). Ebenfalls bemängelt DIRKSEN (1999, S.57f.), dass der Boden in den Analyseschritten als homogen betrachtet wird, obwohl kleinräumige Unterschiede immer auftreten können. Dadurch sei eine Repräsentativität der Leitfähigkeit in diesem Maßstab nicht immer geben.

Ebenso wichtig ist die Verdichtung der Bodenporen (vgl. ebd.). In den vorgestellten Ergebnissen der durchgeführten Feldmessungen kann die Bedeutung dieses Parameters anhand der Messungen in der Fahrspur analysiert werden. Die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit ist aufgrund der Verdichtung insbesondere im feuchteren Milieu negativ beeinflusst und weist somit geringere Werte auf. Diese Annahme bestätigen ebenfalls BHAVE und PEKKAT (2012, S.8f.) in ihren experimentellen Untersuchungen.

Insgesamt kann gefolgert werden, dass die durchgeführten Erhebungen des Lehrforschungsprojektes in der Versuchsfläche den Angaben der Literatur entsprechen. Dies ist allerdings nur durch die Selektierung der verschiedenen auffälligen Datensätzen erreicht worden. Die Verwendung aller Daten jeglicher Feldmessungen wären möglich gewesen, wenn währenddessen die Kriterien zur Messung der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit mithilfe des Minidisk-Infiltrometers besprochen worden wären. Außerdem hätten die Fehler aufgrund des Umfallens durch Vorrichtungen für die Messgeräte verhindert werden können. Ebenso hätte eine Auflage von Feinsand den Stand des Minidisk-Infiltrometer verbessert.

12. Diskussion der Ergebnisse

Die Untersuchungen zu den Auswirkungen von Kräuterpflanzungen im Unterstockbereich mussten wegen des geringen Kräuterwachstums abgebrochen werden. Sie können in den Folgejahren an den mehrjährigen Pflanzen weitergeführt werden. *Abbildung 49* (Februar 2019) zeigt, dass in 2019 mit einer messbaren Bepflanzung im Unterstockbereich gerechnet werden kann.



Abb. 49: Kräuter im Unterstockbereich 16.02.2019 (Quelle: Eigene Aufnahme)

Schwerpunkt der Arbeiten wurde daher die Untersuchung der hydraulischen Eigenschaften des Weinberges mit unterschiedlichen Messverfahren. Zur Verfügung standen eine Kleinberegnungsanlage, ein Guelph-Permeameter, mehrere MiniDisk-Infiltrometer, sowie ein EinRing-Infiltrometer. Mit allen Verfahren können als Vergleichsgröße Abschätzungen zur feldgesättigten hydraulischen Leitfähigkeit ermittelt werden.

Die Resultate dieser Messungen zeigen die *Abbildungen 50* und *51*. In *Abbildung 50* sind die ermittelten K_{fs} -Werte aufgetragen, zur besseren Visualisierung zeigt *Abbildung 51* den Logarithmus von K_{fs} .

Die Infiltrationswerte aus den Beregnungs-Versuchen können grob in feldgesättigte k_{fs} -Werte umgerechnet werden, wenn man annimmt, dass die Infiltrationsverluste am Ende der Messung stationär sind. Die Werte sind in der Abbildung angegeben. Die Ringgröße erlaubt aber nicht, einen räumlichen Bezug in der Rebgeasse aufzulösen. In allen Fällen konnte bedingt durch die Bauform der Beregnungsanlage keine Messung im Unterstockbereich erfolgen. Daher wurden sämtliche

Messungen im Bereich der Rebgeisse vorgenommen, allerdings befand sich der Plot immer zu Teilen auf der Fahrspur und dem Zwischenbereich.

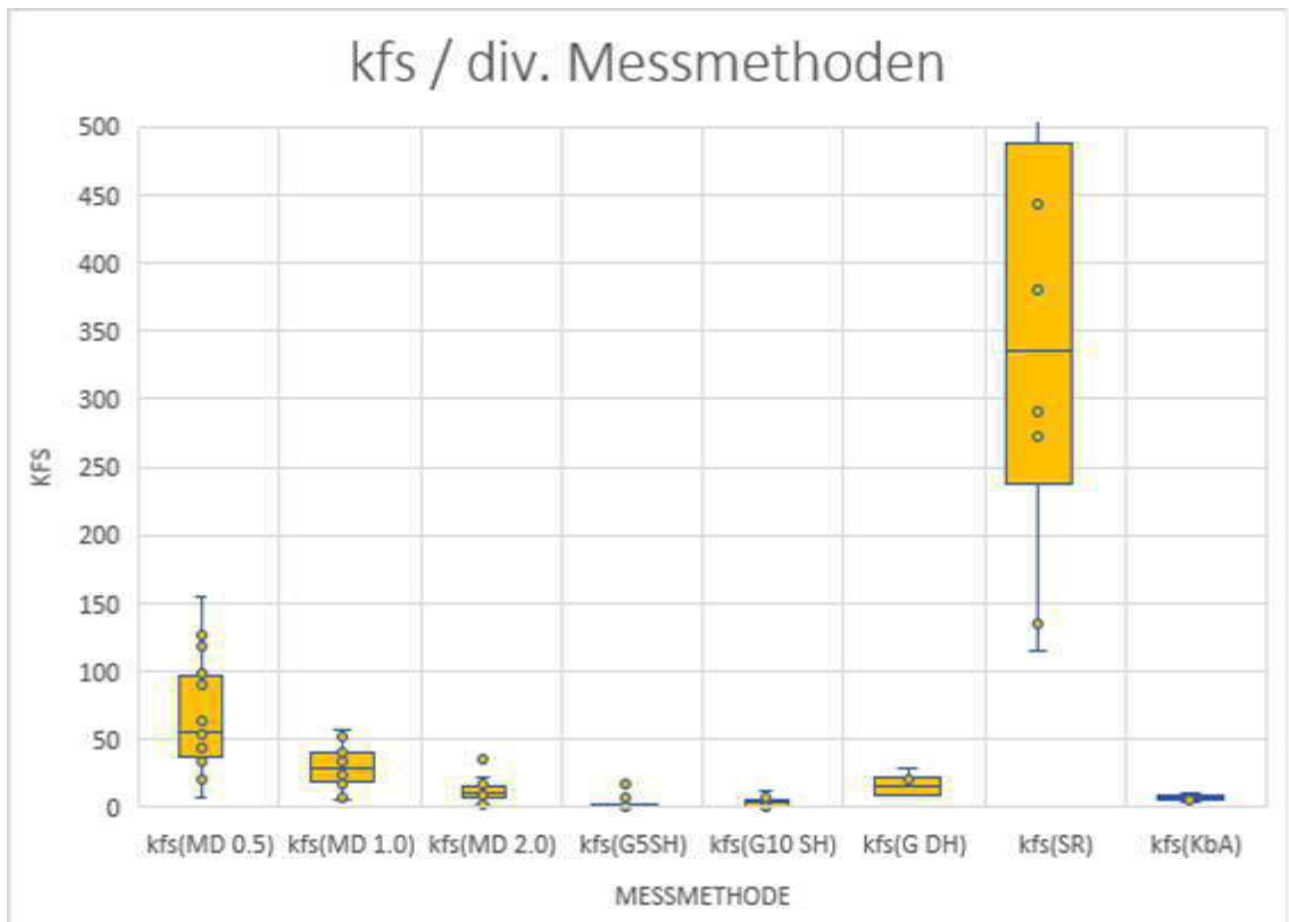


Abb. 50: Boxplot der K_{fs} -Werte gemessen mit unterschiedlichen Methoden (Wertebereich 500-800 abgeschnitten) (Quelle: Eigene Darstellung)

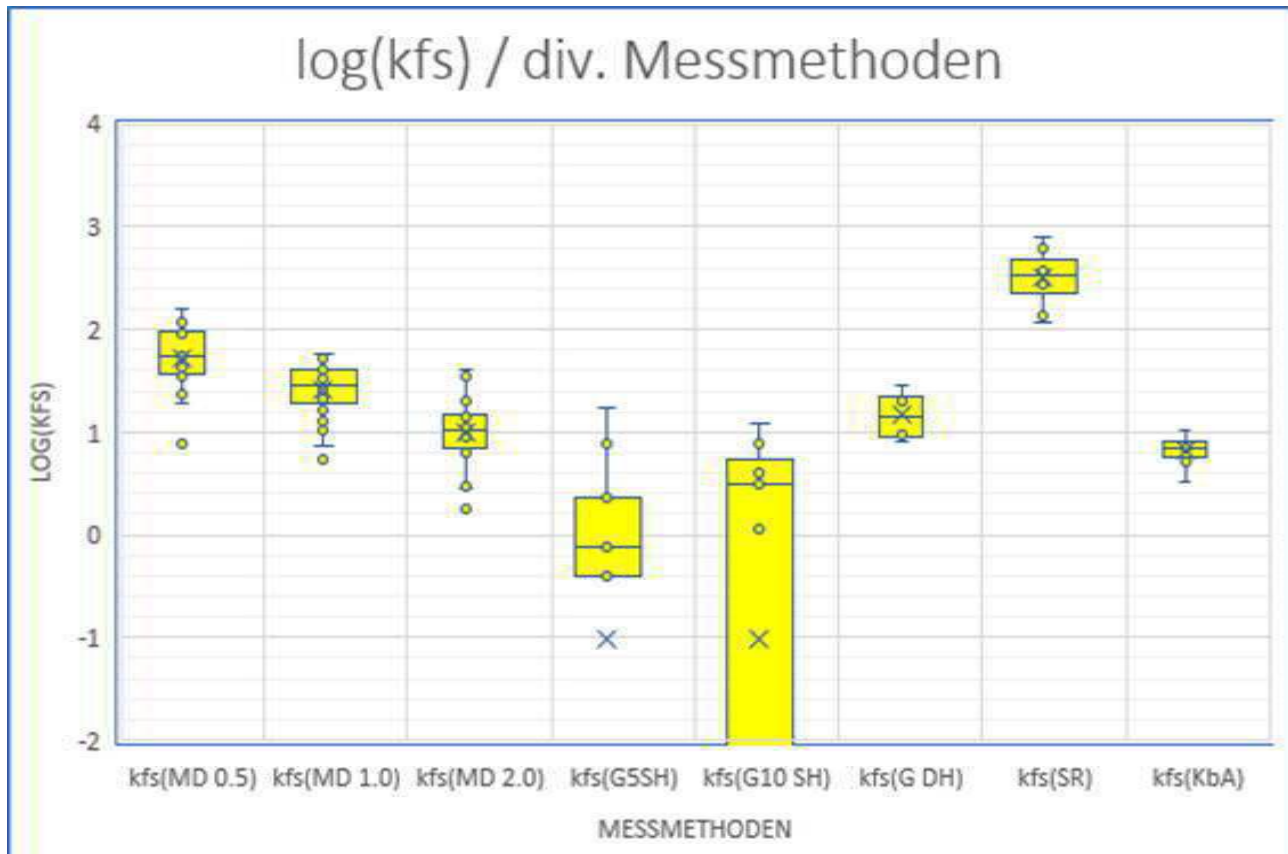


Abb. 51: Boxplot der $\log(K_{fs})$ -Werte gemessen mit unterschiedlichen Methoden (Wertebereich -2 - -6 abgeschnitten) (Quelle: Eigene Darstellung)

Tab. 10: K_{fs} -Werte aus stationärem KbA-Zustand

Messung	$k_{fs}(\text{KbA stat})$
B32_270818_01	6,05
B34_280818_01	7,04
B12_280818_02	7,56
B44_290818_01	10,38
B20_290818_02	3,36
B00_290818_03	-2,09
B00_300818_01	5,28
B22_300818_02	8,6

Bei den Guelph-Messungen können aus den DoubleHead-Daten Ergebnisse für die feldgesättigte hydraulische Leitfähigkeit bestimmt werden. Die Ergebnisse passen gut zueinander.

Tab. 11: Vergleich K_{fs} -Werte aus Guelph SingleHead und DoubleHead

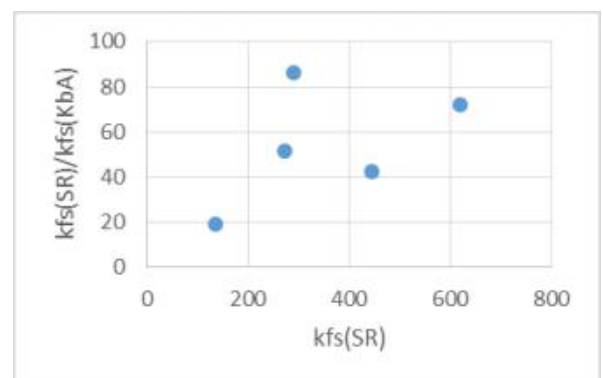
Messung	k_{fs} GP 5 SH	k_{fs} GP 10 SH	k_{fs} GP DH
GP_KaJB_c06_z03_20180830_05	2,34	12,12	29,27
GP_KaJB_c24_z12_20180712_01	0,39	7,74	20,63
GP_KaJB_c26_z13_20180830_02	0,39	3,18	8,06
GP_KaJB_c44_z22_20180829_03	0,78	3,98	9,576

Die Ergebnisse der Single-Ring-Messungen ergeben deutlich größere Werte für k_{fs} als die anderen Messungen. Dies liegt vermutlich an der Messmethode, bei der der Ring mechanisch in den Boden getrieben wird. Die mechanischen Erschütterungen verändern die Bodenstruktur und können zur Öffnung von zusätzlichen Makroporen für das Wasser führen, zum Beispiel durch die Verlagerung von Steinen. In einem Boden mit viel Grobmaterial erscheint diese Methode daher nicht geeignet um absolute k_{fs} -Werte zu messen. Die einzelnen Single-Ring-Ergebnisse können im relativen Vergleich genutzt werden.

Ergebnisse einer Untersuchung von Peter et. al. (vgl. PETER 2013) hatten eine Korrelation von $K_{fs}(SR)/K_{fs}(KbA)$ zu $K_{fs}(SR)$ gezeigt. Ein Vergleich der Werte zur feldgesättigten hydraulischen Leitfähigkeit aus den Berechnungsversuchen und den Single-Ring-Messungen die an etwa gleichen Positionen im Weinberg vorgenommen wurden zeigt keine Korrelation. Diese Messungen von PETER et. al. (2013) wurden in einem Gebiet mit weitgehend homogenen sandigen Bodenaufbau vorgenommen, was im Weinberg nicht gegeben ist.

Tab. 12: Überschätzung $K_{fs}(SR)$ (Quelle: Eigene Darstellung nach Peter 2013, o.S.)

Ort(kBa)	$k_{fs}(KbA)$	$k_{fs}(SR)$	$k_{fs}(SR)/k_{fs}(KbA)$
B34_280818_01	7,04	135	19,18
B44_290818_01	10,38	444	42,77
B20_290818_02	3,36	290	86,31
B00_300818_01	5,28	273	51,70
B22_300818_02	8,6	618	71,86

Abb. 52: Überschätzung $K_{fs}(SR)$ (Quelle: Eigene Darstellung nach PETER 2013, o.S.)

Die Single-Ring-Methode und die Messungen mit dem Guelph-Permeameter untersuchen die hydraulische Leitfähigkeit in unterschiedlichen Tiefen. Während Single-Ring die oberen Zentimeter im Boden untersucht, testet Guelph in einer Tiefe von etwa 20cm. Der obere Bereich wird durch die Bewirtschaftung des Weinberges beeinflusst. Darunter liegt Boden, der in den letzten Jahren

nicht rigolt wurde. Die Guelph-Ergebnisse geben deshalb die hydraulische Leitfähigkeit dieser lange unbearbeiteten Schicht wieder. Die Schichtung des Bodens wurde auch bei den Bodenproben bestätigt.

Die MiniDisk-Messungen ergeben wegen der angelegten Saugspannung die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit in der oberflächennahen Schicht. Durch Reduktion der Saugspannung und Extrapolation auf Saugspannung Null kann auch die feldgesättigte hydraulische Leitfähigkeit bestimmt werden. In diesem Projekt wird grob abgeschätzt, dass die Saugspannung 0,5cm etwa dem feldgesättigten Zustand entspricht. Ein Vergleich mit den außerdem gemessenen Saugspannungen 1,0cm und 2,0cm zeigt, dass die Wertebereiche für K_{fs} kleiner werden. Dies entspricht der Annahme, dass die größere Saugspannung die Infiltration kleiner macht (vgl. ANKENY 1991).

Die Beregnung arbeitet drucklos, jedoch wird auch der Beregnungsplot mechanisch in den Boden eingebracht. Dieses Ergebnis sollte trotzdem am realistischsten sein, da die mechanische Belastung gering ist. Wird eine Saugspannung angebracht, dann verringert sich K_{fs} wie an den MiniDisk-Werten zu erkennen. Dies ist ein Effekt der oberen hier ungestörten Bodenschichten.

Die Guelph-Werte für K_{fs} sind größer, da hier durch das gebohrte Loch eine geringe Störung im Bodenaufbau erzeugt.

Die Analyse der Bodenproben ergab als Bodenart überwiegend Grobboden aus einem stark lehmigen Sand.

13. Fazit

Im Rahmen des EU-Projektes Diverfarming wurden von einer Studierendengruppe Untersuchungen zur Vegetation und Bodenhydrologie an einem ökologisch bewirtschafteten Weinberg durchgeführt.

Die Vegetationsmessungen im Weinberg brachten, wegen des geringen Wachstums der Kräuter, keinen Erfolg. Um mögliche Auswirkungen auf die Weinreben messen zu können wird eine Untersuchung über mehrere Jahre notwendig sein.

Die mit unterschiedlichen Infiltrationsmethoden ermittelte feldgesättigte hydraulische Leitfähigkeit streut stark. Sie zeigt über die Messmethoden hinweg eine typische Systematik, bei der k_{fs} durch angelegte Saugspannungen verringert wird. Mechanische Erschütterungen, z.B. durch das Einklopfen von Messgeräten in den Boden stören die oberen Bodenschichten und Vergrößern k_{fs} um Faktoren.

Der Weinberg hat eine Fläche von etwa 60m * 60m. Die Messungen der hydraulischen Leitfähigkeit sind lokale Messungen, deren räumliche Gültigkeit im bewirtschafteten Gelände kaum einschätzbar sind. Es ist nicht praktikabel, den ganzen Weinberg mit einem so engen Netz von Messungen aller Methoden zu belegen, dass zu allen Messverfahren vollständige Datensätze vorliegen. In diesem Projekt wurde die Betonung auf eine Untersuchung der Vergleichbarkeit von Messverfahren gelegt, das bedeutet, es wurden an wenigen Stellen Vergleichswerte mit unterschiedlichen Verfahren genommen. Mit den Ergebnissen kann eine systematische Beprobung des Weinbergs besser eingeschätzt werden.

Weitere Messungen zur Charakterisierung des Bodens im Weinberg sind notwendig, um diese Überlegungen zu unterstützen.

Die Studierendengruppe musste ihr Untersuchungsziel von den Vegetationsmessungen hin zu Bodenhydraulik während des Projektablaufes verändern. Im Rückblick ergeben sich mehrere Optionen zur Verbesserung der Resultate:

- Größere Anzahl der Messungen
- Optimierte, abgestimmte Planung der Messpunkte
- Bessere Dokumentation
- In-situ Auswertung
- Bessere Abstimmung mit den Pflegearbeiten im Weinberg

Es war ein Lehrforschungsprojekt.

Wir betonen den Wortanfang: Lehre.

Das Projekt hat uns sowohl thematisch als auch methodisch viel gelehrt.

Dafür bedanken wir uns herzlich bei allen Betreuern und Helfern!

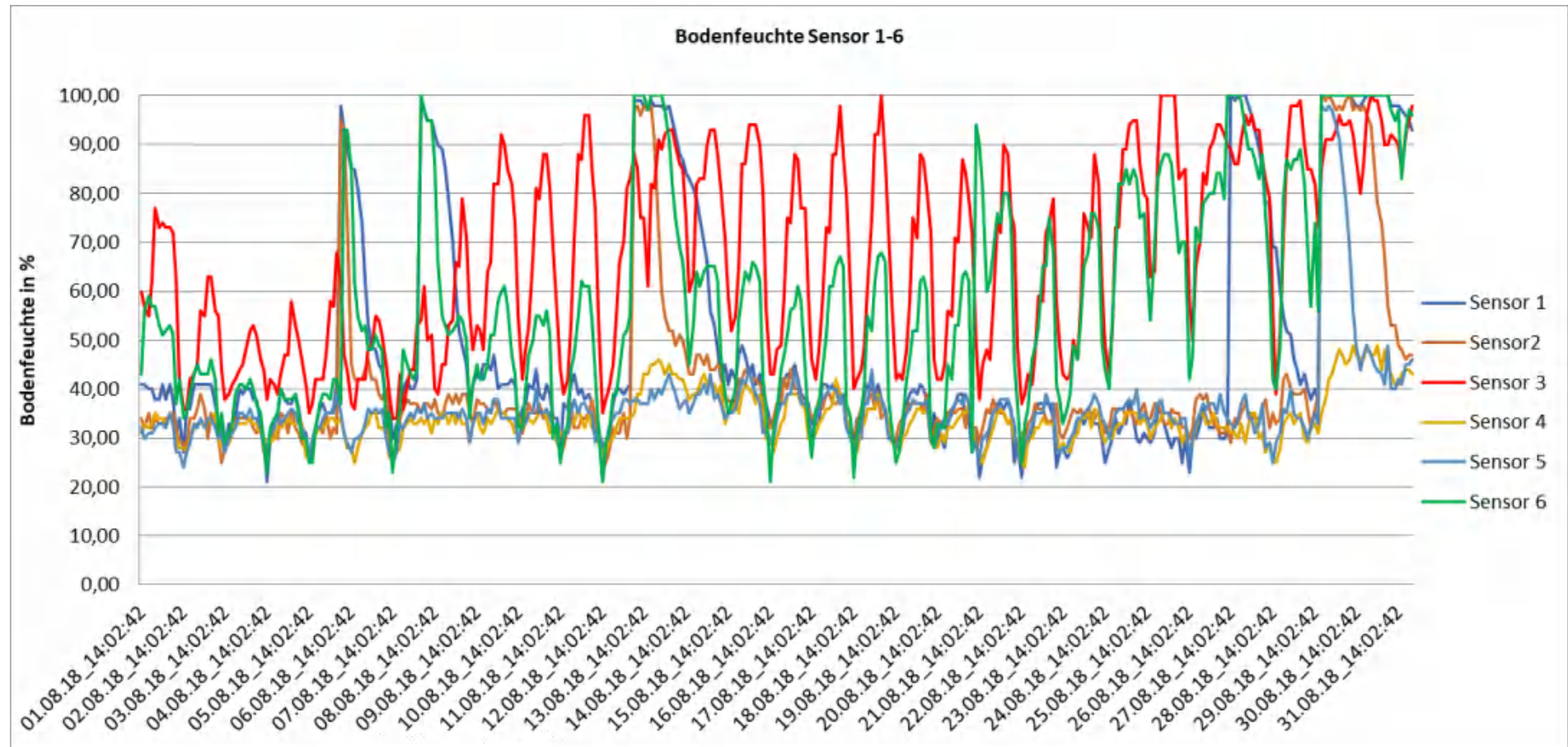
14. Literaturverzeichnis

- ANKENY, M./AHMED, M./KASPAR, T./HORTON, R. (1991): Simple Field Method for Determining Unsaturated Hydraulic Conductivity. – In: Soil Science Society of America Journal, Vol.55, S.467-470.
- BHAVE, S./PEKKAT, S. (2012): Influence of initial soil condition on infiltration characteristics determined using a disk infiltrometer. Bombay.
- BOHNE, K. (1998): Wasserbewegung und Wasserleitfähigkeit des Bodens. - In: BLUME, K./FELIX-HENNINGSEN, P./FISCHER, W./FREDE, H./HORN, R./STAHR, K. (Hrsg.): Handbuch der Bodenkunde. S.1-40.
- BOHNE, K. (2005): An Introduction into Applied Soil Hydrology. Reiskirchen.
- BRAUN-BLANQUET, J. (1964): Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3 Auflage. Springer. Wien u.a..
- DIENSTLEITUNGSZENTREN LÄNDLICHER RAUM RHEINLAND-PFALZ (2018): Wetterstation Kanzem. – URL: http://www.wetter.rlp.de/Internet/global/inetcntr.nsf/dlr_web_full.xsp?src=GSSGT0B084&p1=title%3DKanzem%7E%7Eurl%3D%2FInternet%2FAM%2FNotesAM.nsf%2Famwebagrar%2FFE2ECC045BDC778CC1257171002E8A7A%3FOpenDocument&p3=DH43PY041Q&p4=XJPZBV4849 [10.03.2019].
- DIRKSEN, C. (1999): Soil physics measurements. Reiskirchen.
- DIVERFARMING (2019): Ziele. – URL: <http://www.diverfarming.eu/index.php/de/projekt/ziele> [25.02.2019].
- DURNER, W. (2008): Bohrloch-Infiltration. Skript. Institut für Geoökologie, Abteilung Bodenkunde und Bodenphysik, TU Braunschweig
- DVW (2016): Wie genau ist Ihr mobiler GPS-Empfänger oder Ihr Smartphone. – URL: [https://www.dvw.de/sites/default/files/benutzer_55/GPS-Referenzpunkt_Internet_2016-08-09%20\(2\).pdf](https://www.dvw.de/sites/default/files/benutzer_55/GPS-Referenzpunkt_Internet_2016-08-09%20(2).pdf) [09.03.2019].
- ELRICK, D.E./REYNOLDS, W.D. (1992): Methods for analyzing constant head well permeameter data. Soil Sci. Soc. Am. J. 56, 320-323.
- FATEHNIA, M./TAWFIQ, K./ABICHO, T. (2014): Comparison of the Methods of Hydraulic Conductivity Estimation from Mini Disk Infiltrometer. - In: Electronic Journal of Geotechnical Engineering, Vol.19E, S.1047-1063.
- HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (2007): Die Weinbergsböden von Hessen. Wiesbaden.
- IFMU GmbH (2016): Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Boden. Begriff und Bereiche. - URL: <https://www.ifmu.de/baugrund/bestimmung-der-wasserdurchlaessigkeit-von-boden/> [05.03.2019].
- ISERLOH, T./ FISTER, W./ RIES, J.B./ SEEGER, M. (2010): Design and calibration of the small portable rainfall simulator of Trier University. - In: EGU General Assembly Conference Abstracts. Bd. 12, S. 2769.
- ISERLOH, T./ FISTER, W./ SEEGER, M./ WILLGER, H./ RIES, J.B. (2012): A small portable rainfall simulator for reproducible experiments on soil erosion.- In: Soil and Tillage Research 124, S. 131–137.
- KARGAS, G./LONDRA, P./VALIANTZAS, J. (2017): Estimation of near-saturated hydraulic conductivity values using a mini disc infiltrometer. - In: Water Utility Journal, V.16, S.97-104.
- KIRKHAM, M.R. (2014): Principles of soil and plant water relations. 2.Aufl., Oxford. Amsterdam.

- LINK, M. (2000): Das Einring-Infiltrometer mit schwimmgeregelter Überstauhöhe. Ein neues Gerät zur Messung von Infiltrationsraten in Böden. – Geoöko, XXI: 121-132
- MADSEN, M./CHANDLER, D. (2007): Automation and Use of Mini Disk Infiltrometers. – In: Soil Science Society of America Journal, Vol.71, N.5, S.1469-1472.
- METER GROUP (2018): Mini Disk Infiltrometer. Pullman.
- METER GROUP (o.J.): The Minidisk Infiltrometer. - URL: <http://www.ictinternational.com/products/s-mini-disk/minidisk-infiltrometer/> [15.02.2019].
- MEYER, J. (1908): Meyers Großes Konversations-Lexikon, Bd. 13. 6.Aufl., Leipzig.
- PETER et. al. (2013): Infiltration rates affected by land levelling measures in the Souss valley South Marocco; In: Zeitschrift für Geomorphologie Vol 67 Suppl 1, 059-072
- PLANTCARE (2019): PlantCare Sensoren. –URL: <https://www.plant-care.ch/produkte/sensoren/> [20.02.2019].
- PÖTSCH, E./PERATONER, G. (2015): Erhebungsmethoden des Pflanzenbestandes im Grünland.- Raumberg
- PRINZ, T. (2009): Differentielles GPS. – URL: http://ivvgeo.uni-muenster.de/vorlesung/GPS_Script/messung_differentiell.html [09.03.2019].
- REYNOLDS, W.D./ELRICK, D.E./CLOTHIER, B.E. (1985): The constant head well permeameter: effect of unsaturated flow. Soil Science, 139, 172–180.
- RIES, J.B./ ISERLOH, T./ SEEGER, M./ GABRIELS, D. (2013): Rainfall simulations -constraints, needs and challenges for a future use in soil erosion research - In: Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementary Issues 57.1, S. 1–10.
- ROBICHAUD, P./LEWIS, S./ASHMUN, L. (2008): New Procedure for Sampling Infiltration to Assess Post-fire Soil Water Repellency. Fort Collins.
- RODRIGO COMINO, J./ISERLOH, T./LASSU, T./CERDA, A./KEESTRA, S.D./PROSDOCIMI, M./BRINGS, C./MARZEN, M. /RAMOS, M.C./SENCIALES, J.M./RUIZ SINOYA, J.D./SEEGER, M./RIES, J.B. (2016): Quantitative comparison of initial soil erosion processes and runoffgeneration in Spanish and German vineyards. - In: Science of The Total Environment, Volume 565, September 2016, S. 1165-1174.
- SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT (2019): Mikroporen. - URL: <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/makroporen/9969> [15.02.2019].
- UMWELT - GERÄTE - TECHNIK GMBH (2011): <https://www.ugt-online.de/en/products/soil-science/conductivity/guelph-permeameter-kit/> [19.03.2019].
- UMWELTBÜRO GRABHER (2012): Ecosystem Services – Ökosystemdienstleistungen Die Leistungen der Natur für den Menschen. – URL: <http://www.naturtipps.com/oekosystemdienstleistungen.html> [25.02.2019].

A. Bodenfeuchte

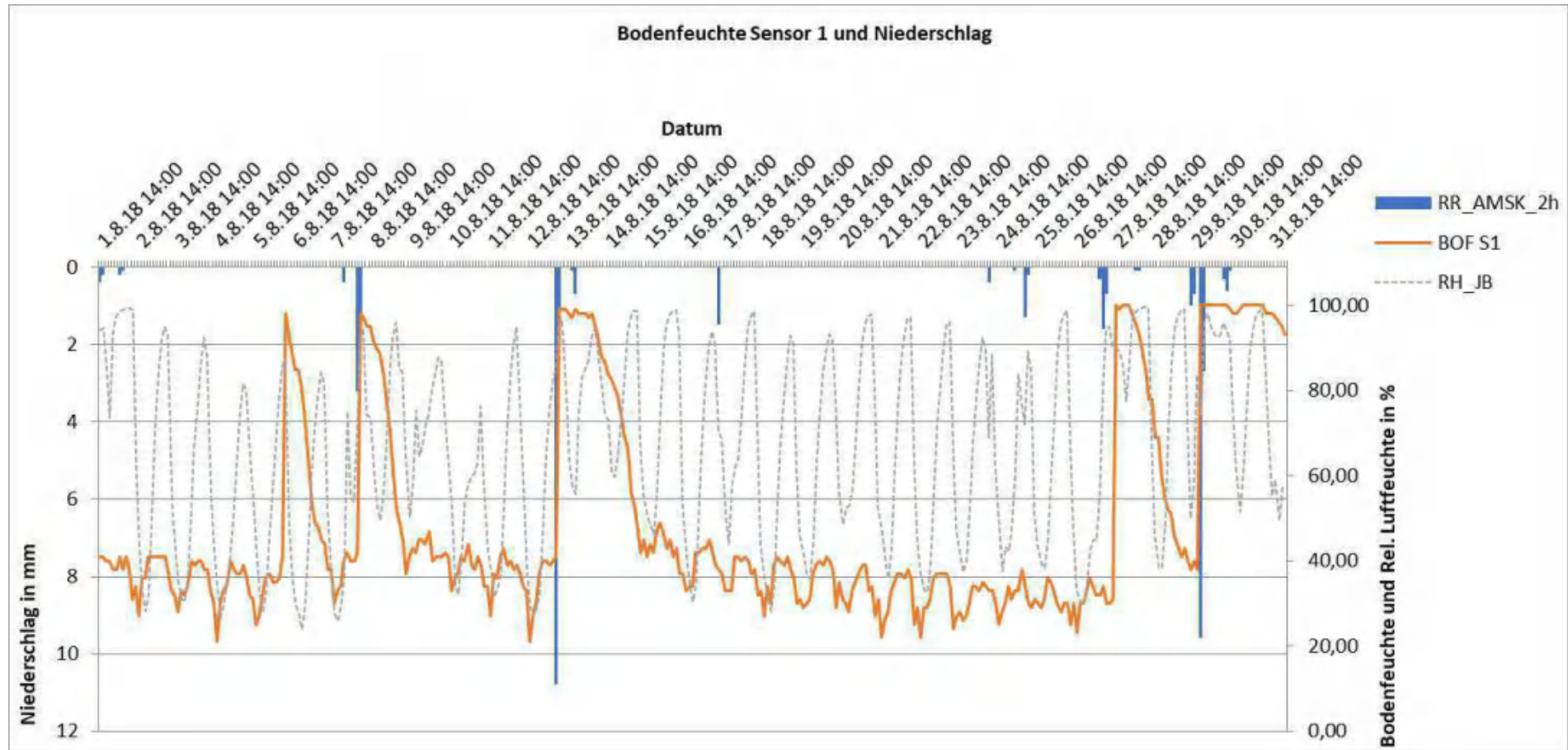
Abb. 1: Gesamtübersicht der Bodenfeuchtwerte von Sensor 1 bis 6 für August 2018 (Quelle: Eigene Darstellung)



Hinweis:

Bei den Sensoren 3 und 6 liegt wahrscheinlich ein Messfehler, beziehungsweise eine fehlerhafte Installation im Gelände vor.

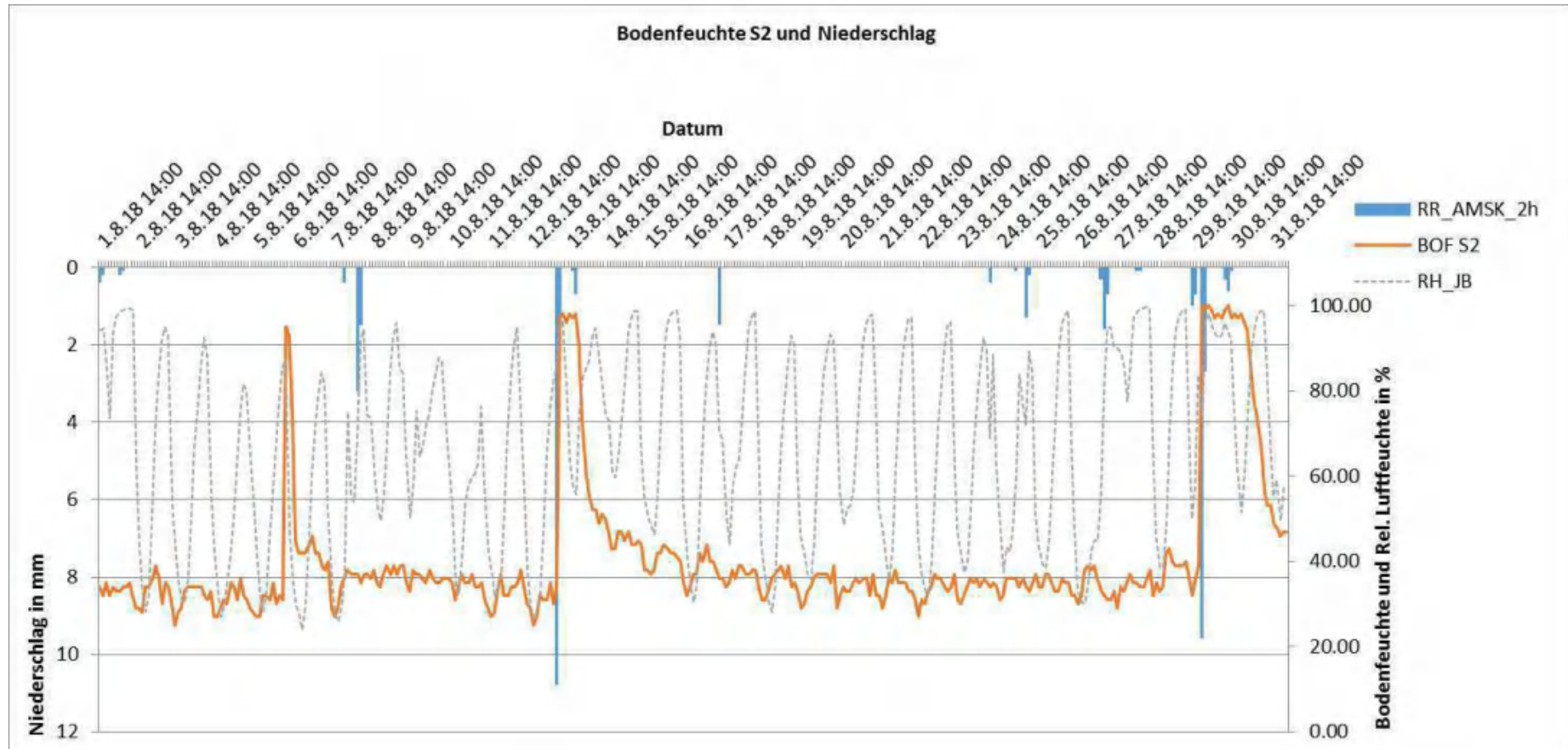
Abb. 2: Auswertung der Bodenfeuchte Sensor 1 (Quelle: Eigene Darstellung)



Hinweis:

Die Niederschlagswerte (RR_AMSK_2h) stammen von der Agrarmeteorologischen Station in Kanzem. Es handelt sich um 2-stündige Summen der Niederschlagsmenge.

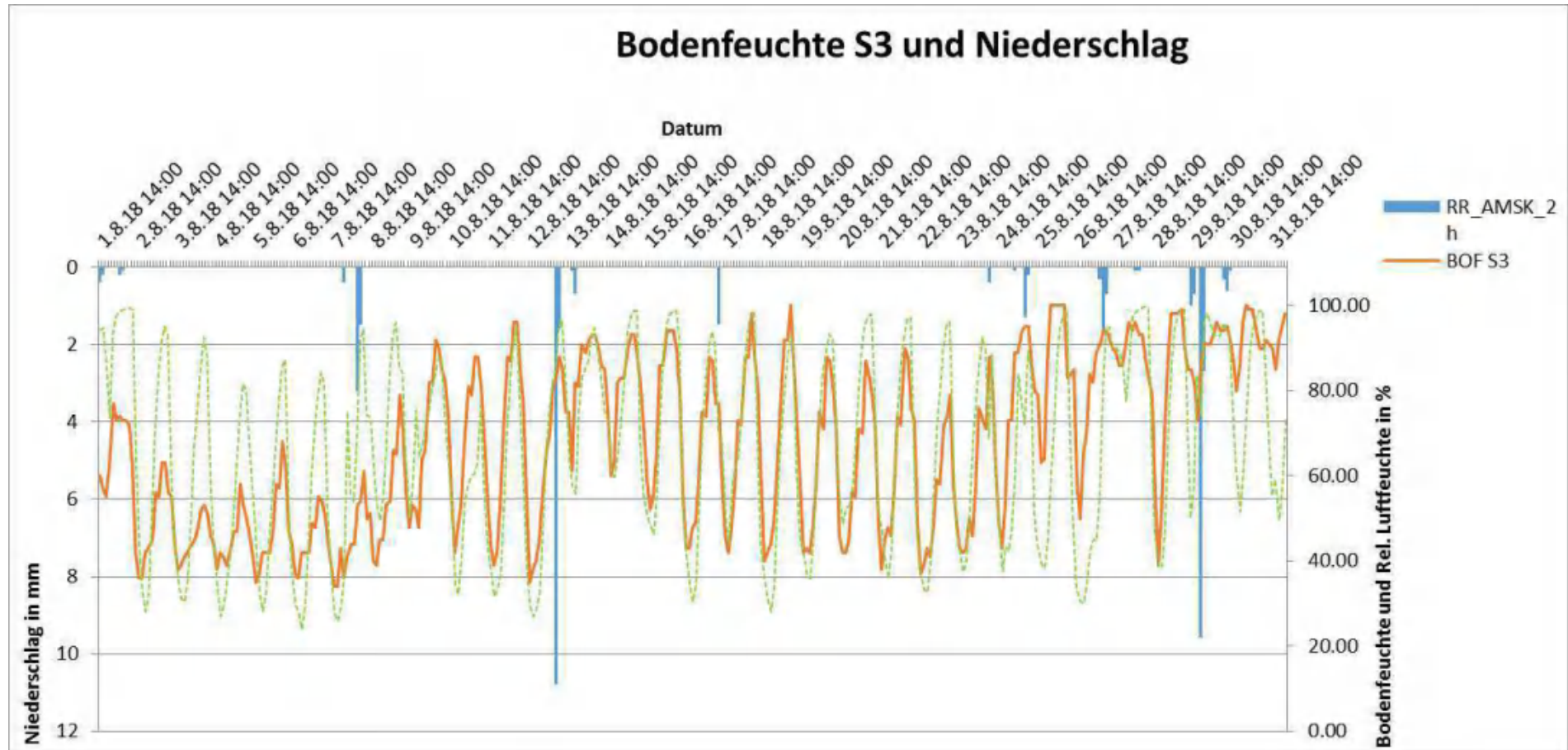
Abb. 3: Auswertung der Bodenfeuchte Sensor 2 (Quelle: Eigene Darstellung)



Hinweis:

Die Niederschlagswerte (RR_AMSK_2h) stammen von der Agrarmeteorologischen Station in Kanzem. Es handelt sich um 2-stündige Summen der Niederschlagsmenge.

Abb. 4: Auswertung der Bodenfeuchte Sensor 3 (Quelle: Eigene Darstellung)

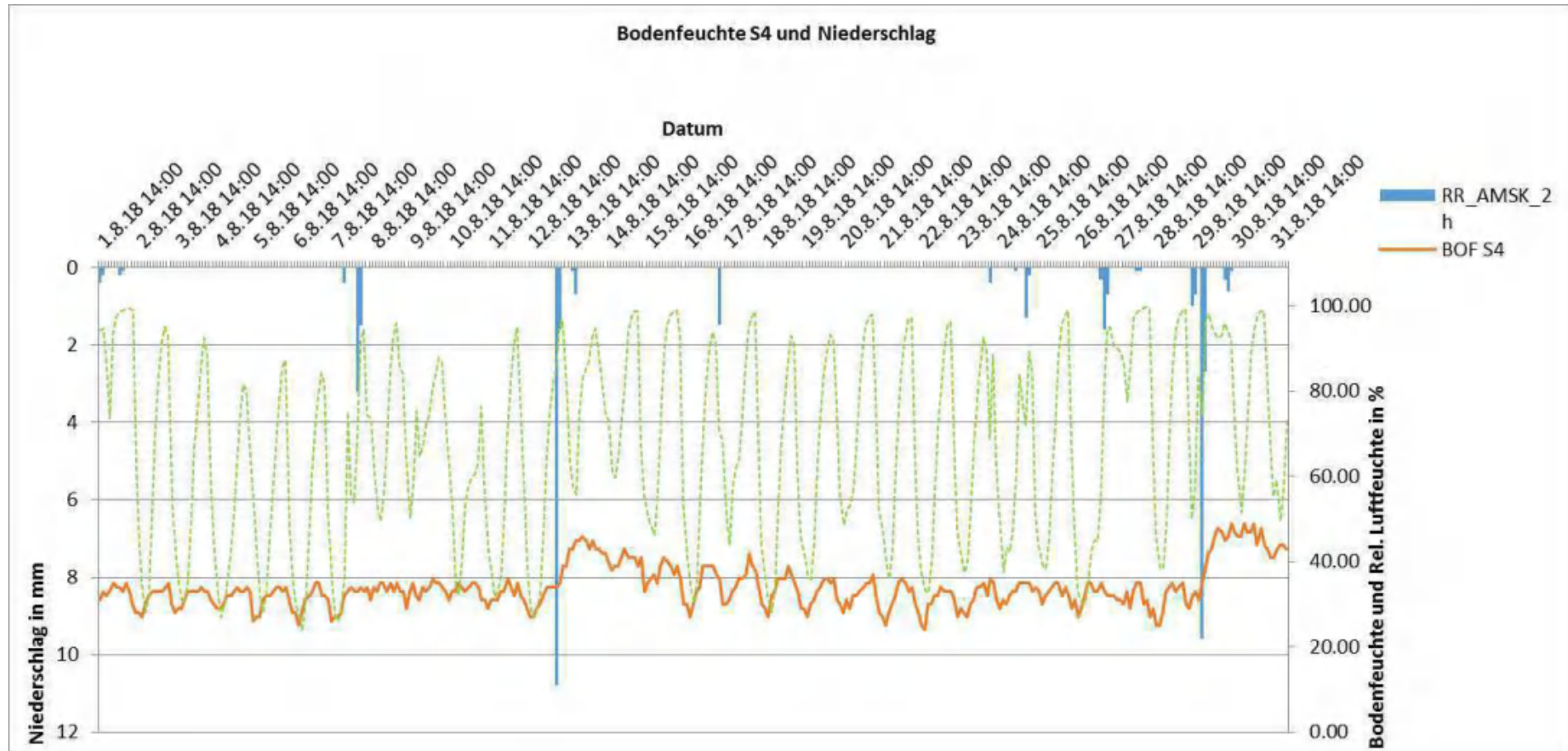


Hinweis:

Die Niederschlagswerte (RR_AMSK_2h) stammen von der Agrarmeteorologischen Station in Kanzem. Es handelt sich um 2-stündige Summen der Niederschlagsmenge.

Die Bodenfeuchte weist eine sehr große Amplitude im Tagesgang auf. Daher wird davon ausgegangen, dass sich der Sensor zu nah an der Oberfläche befindet.

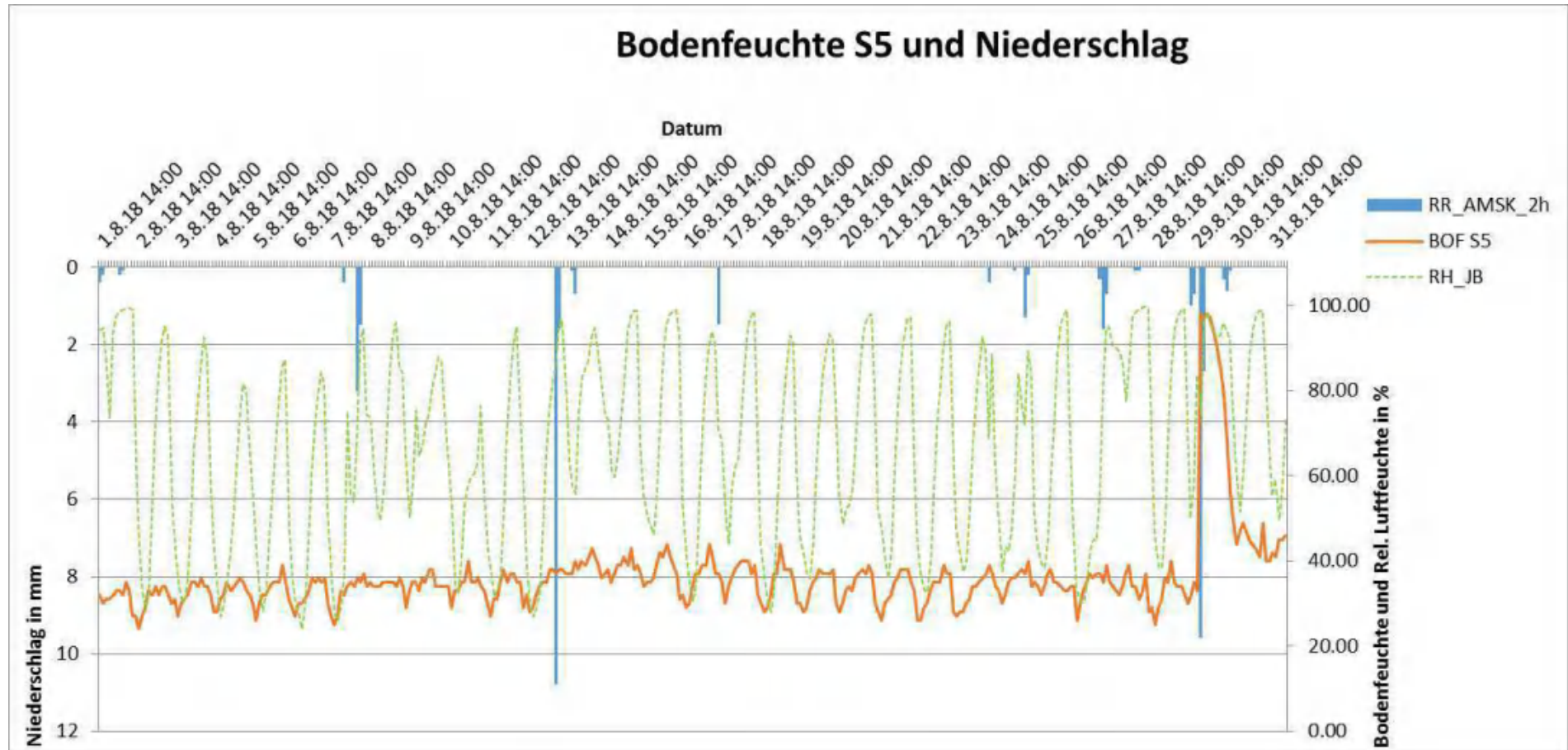
Abb. 5: Auswertung der Bodenfeuchte Sensor 4 (Quelle: Eigene Darstellung)



Hinweis:

Die Niederschlagswerte (RR_AMSK_2h) stammen von der Agrarmeteorologischen Station in Kanzem. Es handelt sich um 2-stündige Summen der Niederschlagsmenge.

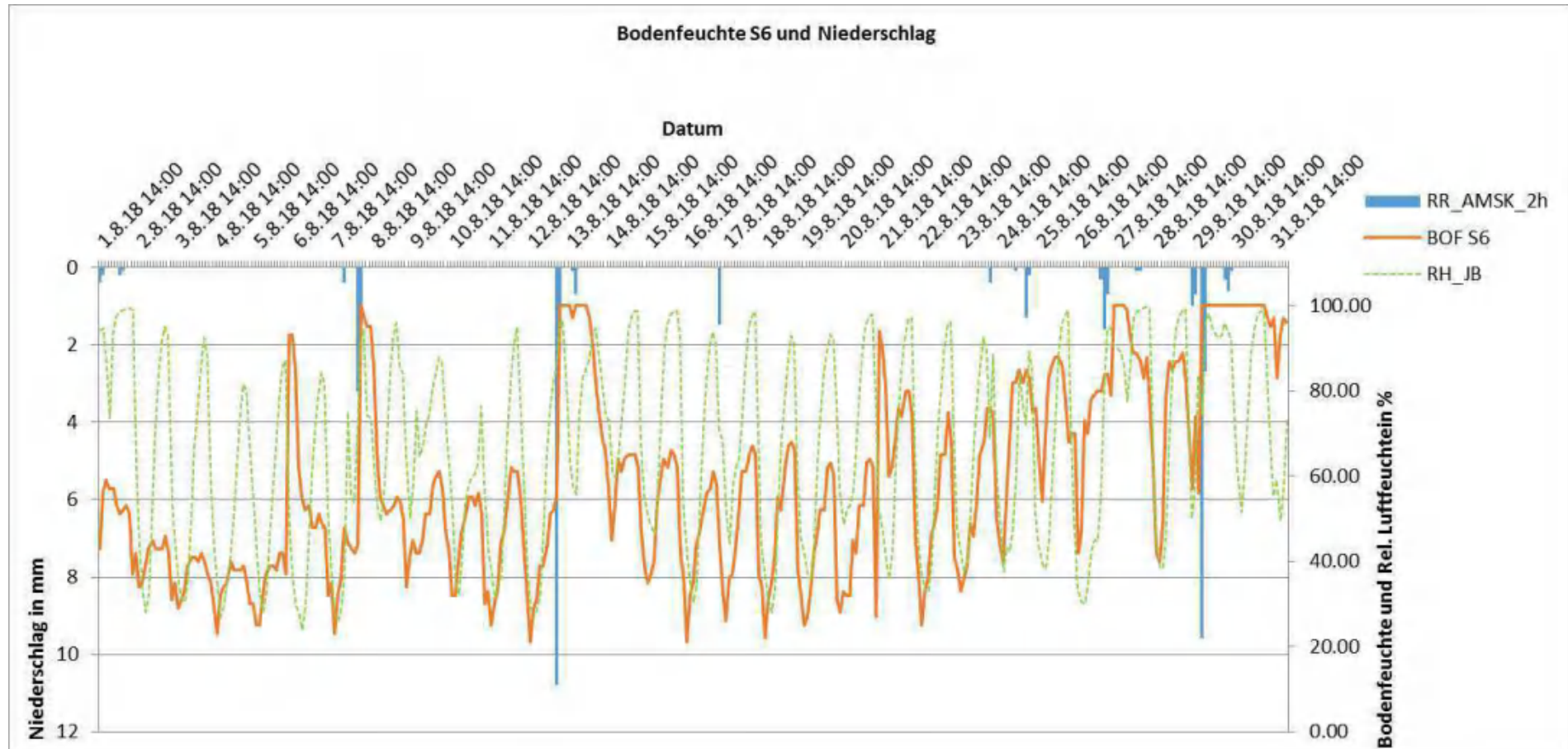
Abb. 6: Auswertung der Bodenfeuchte Sensor 5 (Quelle: Eigene Darstellung)



Hinweis:

Die Niederschlagswerte (RR_AMSK_2h) stammen von der Agrarmeteorologischen Station in Kanzem. Es handelt sich um 2-stündige Summen der Niederschlagsmenge.

Abb. 7: Auswertung der Bodenfeuchte Sensor 6 (Quelle: Eigene Darstellung)



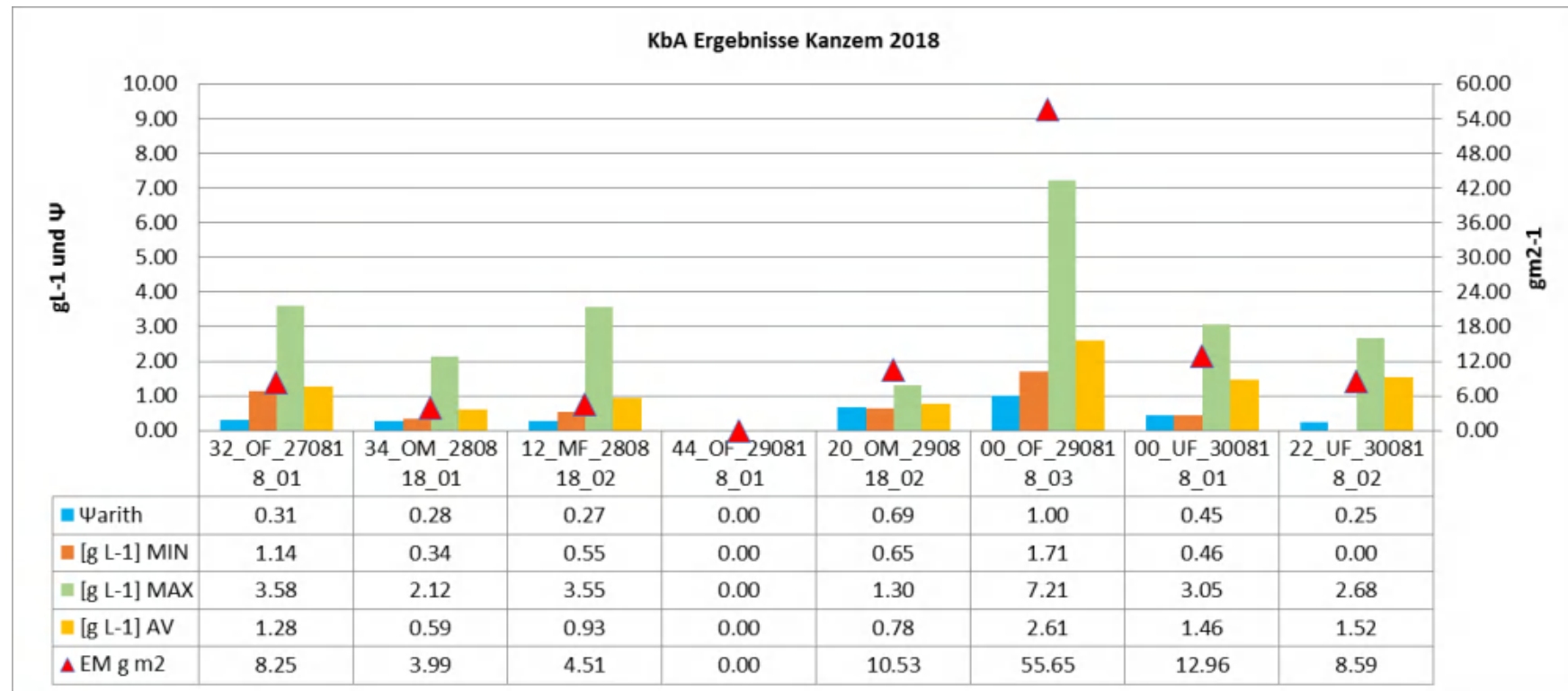
Hinweis:

Die Niederschlagswerte (RR_AMSK_2h) stammen von der Agrarmeteorologischen Station in Kanzem. Es handelt sich um 2-stündige Summen der Niederschlagsmenge.

Die Bodenfeuchte weist eine sehr große Amplitude im Tagesgang auf. Daher wird davon ausgegangen, dass sich der Sensor zu nah an der Oberfläche befindet.

B. Beregnungsversuche

Abb. 1: Gesamtübersicht der Beregnungsversuche mit ausgewählten Parametern (Quelle: Eigene Darstellung)



Erklärung:

Ψ_{arith}	Arithmetisches Mittel des Abflussbeiwertes je Beregnungsversuch
[g L-1] MIN	Minimale Konzentration der Erosionsfracht je Messintervall/Beregnungsversuch
[g L-1] MAX	Maximale Konzentration der Erosionsfracht je Messintervall/Beregnungsversuch
[g L-1] AV	Durchschnittliche Konzentration der Erosionsfracht je Messintervall/Beregnungsversuch
EMg m ²	Menge des Erosionsmaterials in Gramm pro Quadratmeter (Hochrechnung)

Beregnung
Nr. 1

ID 32_270818_01

Datum 27.08.18

Parameter
Lage

Vegetations-
bedeckung [%]

Steinbedeckung
[%]

Oberflächen-abfluss
[l*m⁻²·s⁻¹]

Abfluss-beginn
[s]

Erodiertes-material
[g*m⁻²·s⁻¹]

Code 32

20

55

6,44

280

8,25

Oben/ Fahrspur

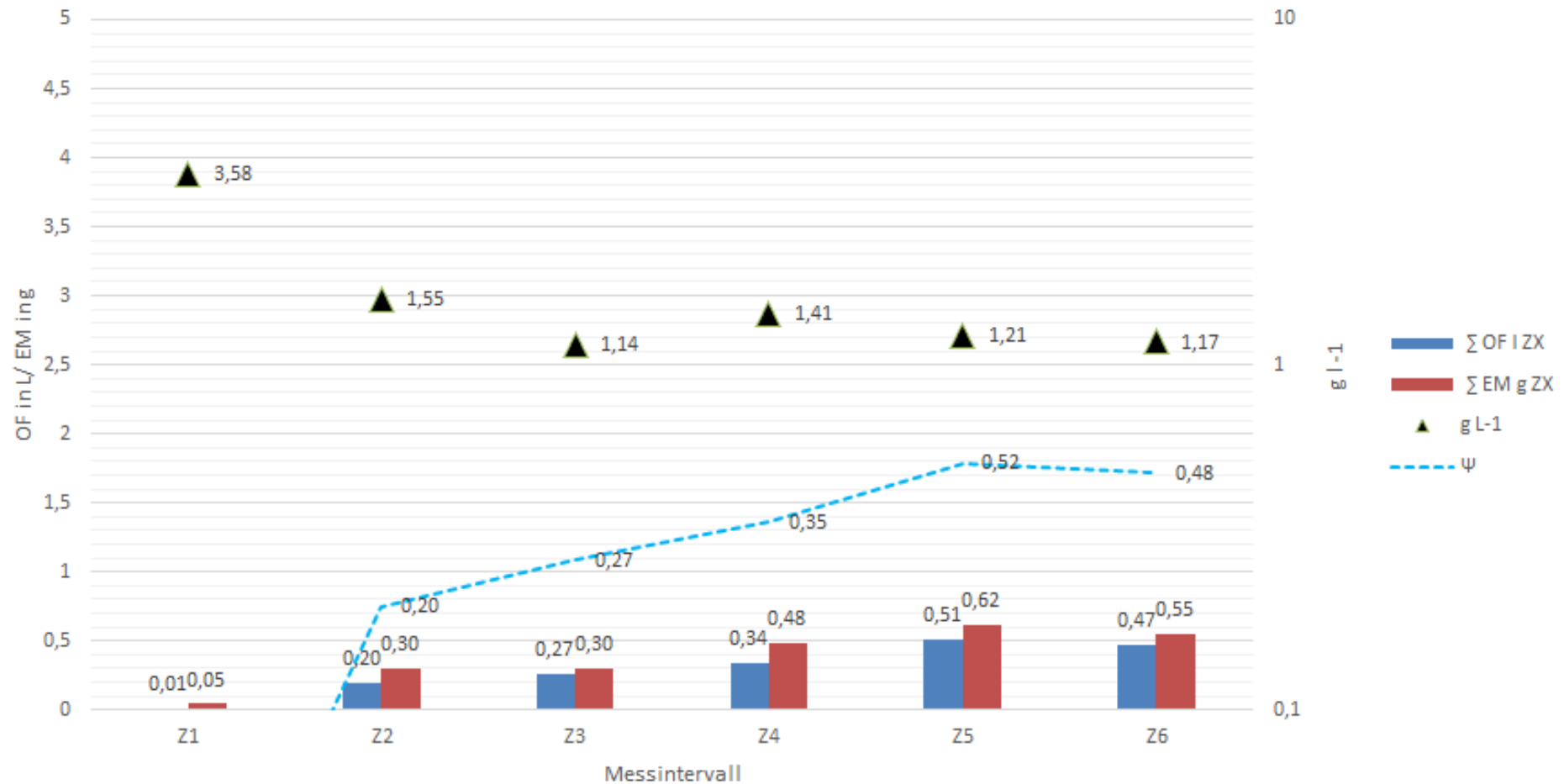


Befeuchtungsfront

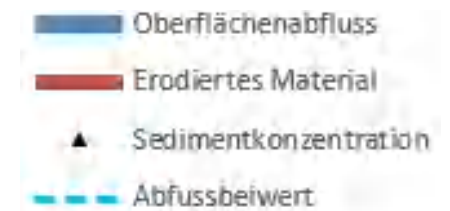
Breite [cm]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Tiefe[cm]	4,5	3	4,5	4	5	5,5	4	4,5	4,5	4,5	-	6	5

Abb. 2: Beregnung 32_270818_01 (Quelle: Eigene Darstellung)

Beregnung_OF_32_270818_01



Folgend entsprechen die Kürzel zur Vereinfachung:



Beregnung

ID 34_280818_01

Datum 28.08.18

Nr. 2

Parameter

Lage

Vegetations-
bedeckung [%]Steinbedeckung
[%]Oberflächen-abfluss
[l*m²⁻¹]Abfluss-beginn
[s]Erodiertes-material
[g*m²⁻¹]

Code 34

85

75

6,73

90

3,99

Oben/ Mittelspur

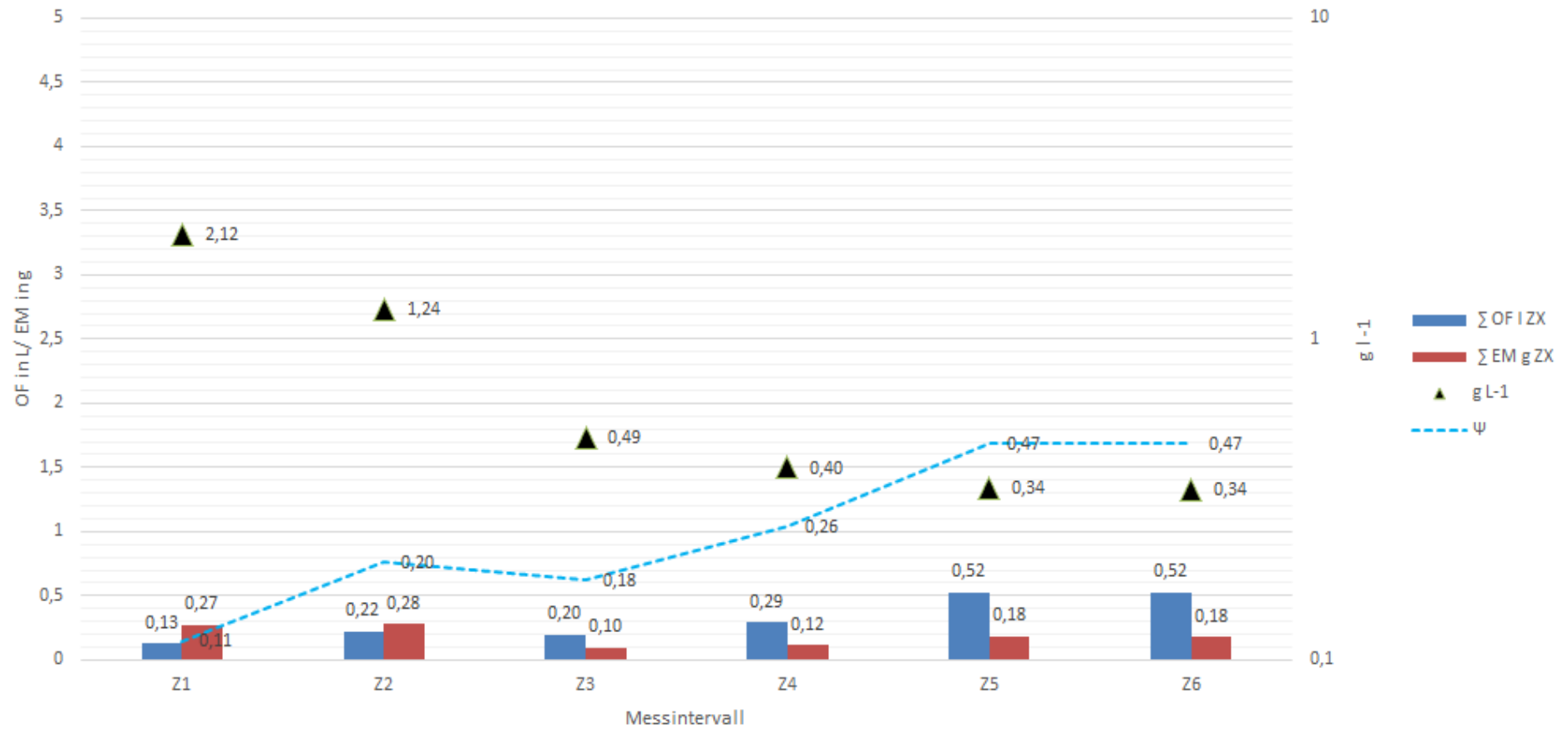


Befeuchtungsfront

Breite [cm]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Tiefe[cm]	7	3	3	30	8	3	6	5	10	30	30	30	30

Abb. 3: Berechnung 34_280818_01 (Quelle: Eigene Darstellung)

Berechnung_OM_34_280818_01



Beregnung
Nr. 3

ID 12_280818_02

Datum 28.08.18

Parameter
Lage

Vegetations-
bedeckung [%]

Steinbedeckung
[%]

Oberflächen-abfluss
[l*m²⁻¹]

Abfluss-beginn
[s]

Erodiertes-material
[g*m²⁻¹]

Code 12

5

95

4,87

140

4,51

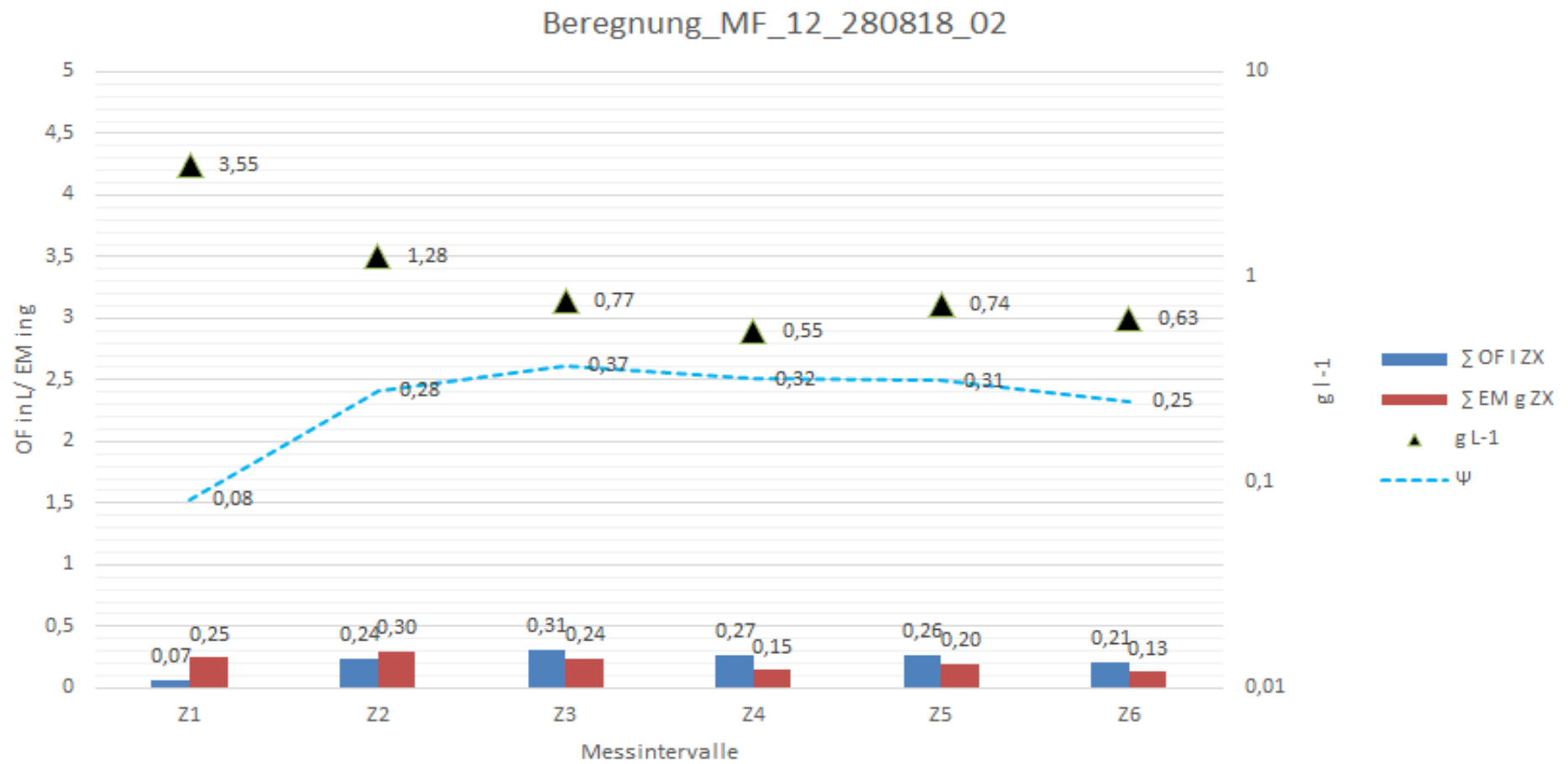
Mitte/ Fahrspur



Befeuchtungsfront

Breite [cm]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Tiefe[cm]	10	9	7	5,5	6	5	13	14	2,5	4	8	9	30

Abb. 4: Berechnung 12_280818_02 (Quelle: Eigene Darstellung)



Beregnung
Nr. 4

ID 44_290818_01

Datum 29.08.18

Parameter
Lage

Vegetations-
bedeckung [%]

Steinbedeckung
[%]

Oberflächen-abfluss
[l*m⁻²·s⁻¹]

Abfluss-beginn
[s]

Erodiertes-material
[g*m⁻²·s⁻¹]

Code 44

10

95

-

-

-

Oben/ Fahrspur



Befeuchtungsfront

Breite [cm]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Tiefe[cm]	5	6	6	8	8	9	7	4	26	28	28	28	28

Beregnung
Nr. 5

ID 20_290818_02

Datum 29.08.18

Parameter
Lage

Vegetations-
bedeckung [%]

Steinbedeckung
[%]

Oberflächen-abfluss
[l*m²-1]

Abfluss-beginn
[s]

Erodiertes-material
[g*m²-1]

Code 20

35

60

13,46

215

10,53

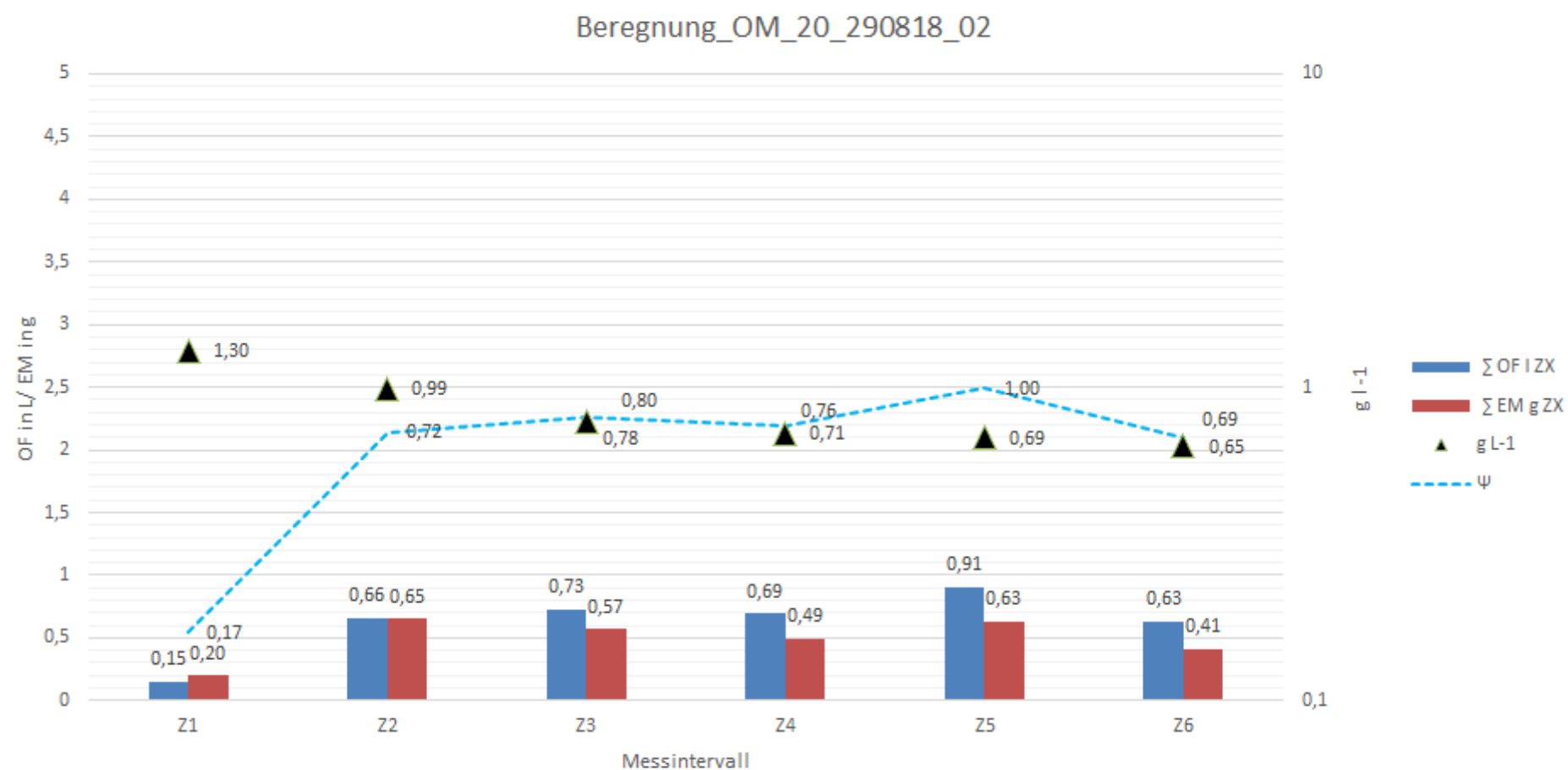
Oben/ Mittelspur



Befeuchtungsfront

Breite [cm]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Tiefe[cm]	14	10	9	8	10	3	2	2	2	2	10	13	14

Abb. 5: Berechnung 20_290818_02 (Quelle: Eigene Darstellung)



Beregnung
Nr. 6

ID 00_290818_03

Datum 29.08.18

Parameter
Lage

Vegetations-
bedeckung [%]

Steinbedeckung
[%]

Oberflächen-abfluss
[l*m⁻²·s⁻¹]

Abfluss-beginn
[s]

Erodiertes-material
[g*m⁻²·s⁻¹]

Code 00

5

80

21,29

120

55,65

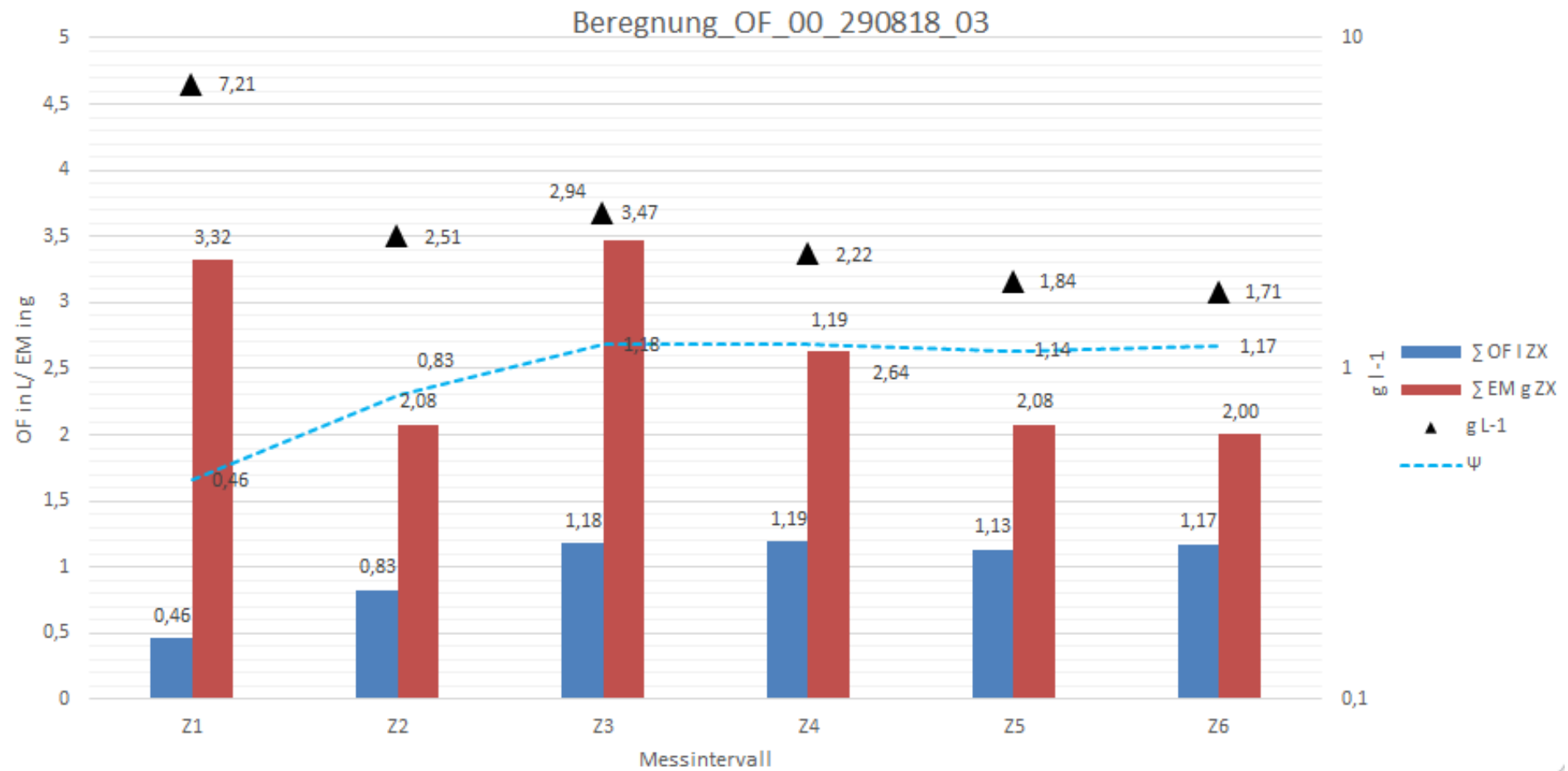
Oben/ Fahrspur



Befeuchtungsfront

Breite [cm]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Tiefe[cm]	30	30	28	20	15	10	9	6	7	7	5	4	3

Abb. 7: Beregnung 00_290818_03 (Quelle: Eigene Darstellung)



Beregnung
Nr. 7

ID 00_300818_01

Datum 30.08.18

Parameter
Lage

Vegetations-
bedeckung [%]

Steinbedeckung
[%]

Oberflächen-abfluss
[l*m⁻²]

Abfluss-beginn
[s]

Erodiertes-material
[g*m⁻²]

Code 00

30

60

8,89

89

12,96

Unten/ Fahrspur

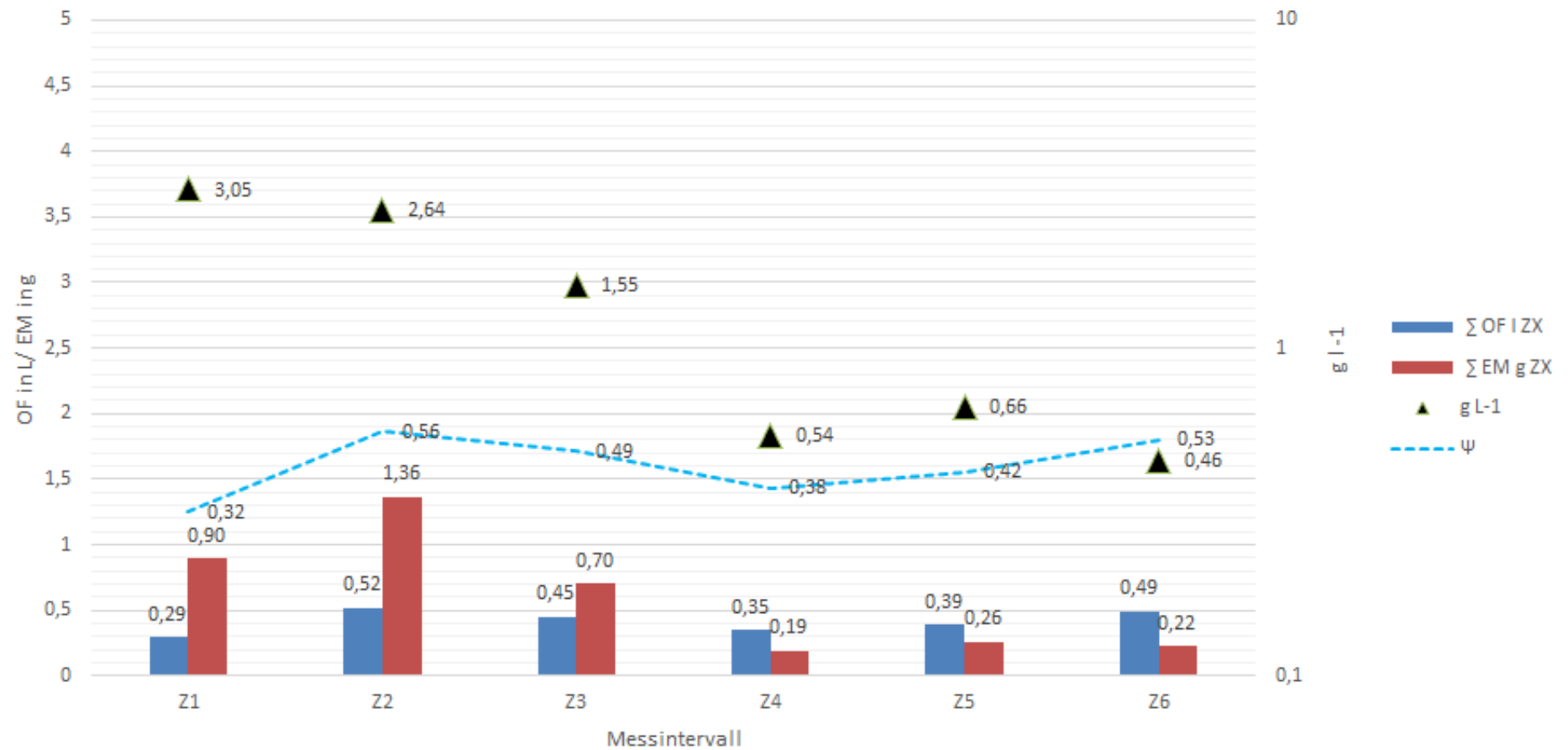


Befeuchtungsfront

Breite [cm]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Tiefe[cm]	10	5	4	18	18	7	5	10	14	7	6	18	20

Abb. 8: Berechnung 00_300818_01 (Quelle: Eigene Darstellung)

Berechnung_UF_00_300818_01



Beregnung
Nr. 8

ID 22_300818_02

Datum 30.08.18

Parameter
Lage

Vegetations-
bedeckung [%]

Steinbedeckung
[%]

Oberflächen-abfluss
[l*m⁻²·s⁻¹]

Abfluss-beginn
[s]

Erodiertes-material
[g*m⁻²·s⁻¹]

Code 22

10

80

5,65

547

8,59

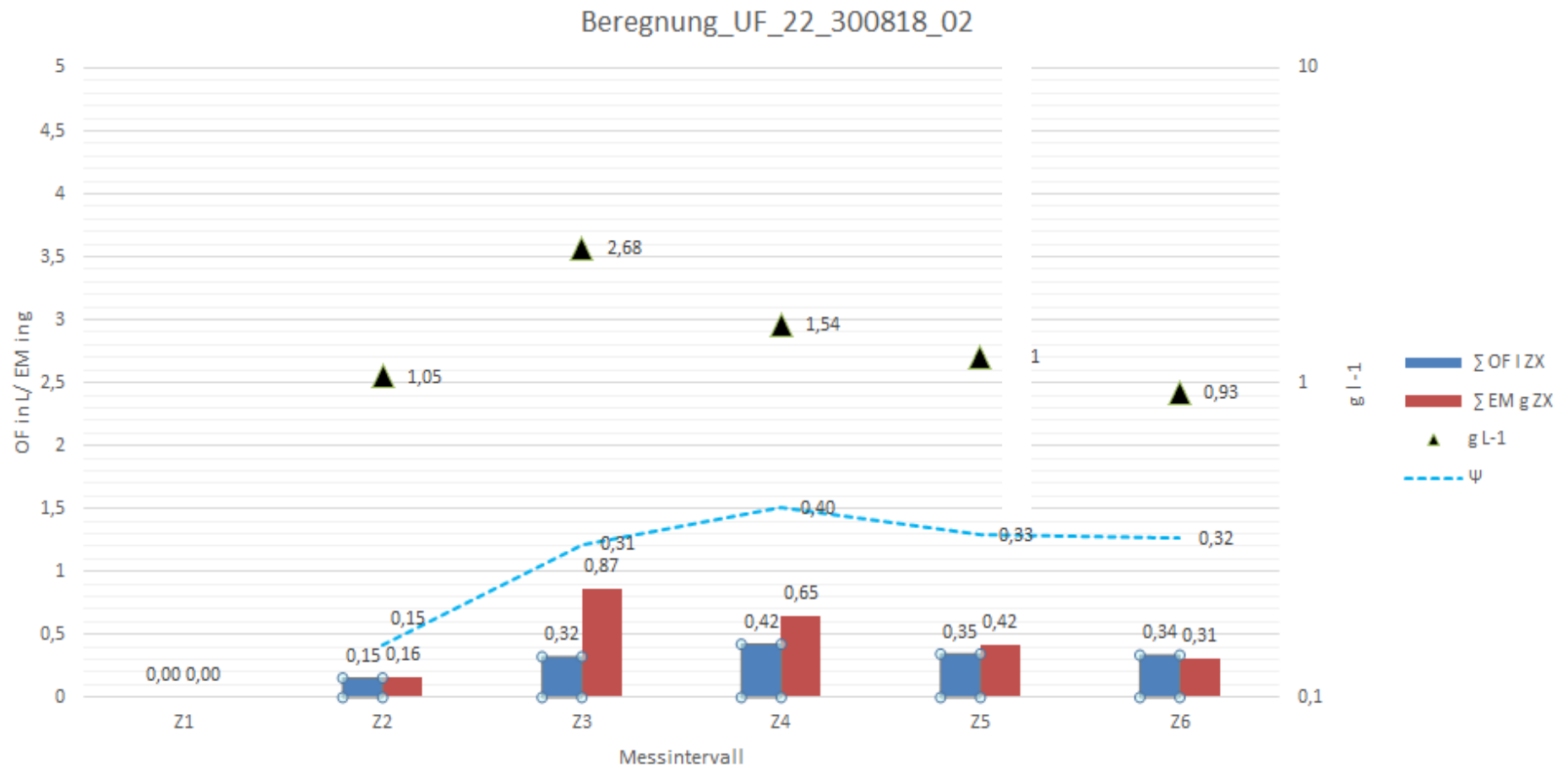
Unten/ Fahrspur



Befeuchtungsfront

Breite [cm]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Tiefe[cm]	30	30	30	30	30	30	7	7	30	30	30	30	30

Abb. 9: Beregnung 22_300818_02 (Quelle: Eigene Darstellung)



C. Bodentemperatur und Wetterstatistik

Abb. 1: Gesamtübersicht der Bodentemperatur von Sensor 1 bis 6 im Vergleich zur Lufttemperatur für August 2018 (Quelle: Eigene Darstellung)

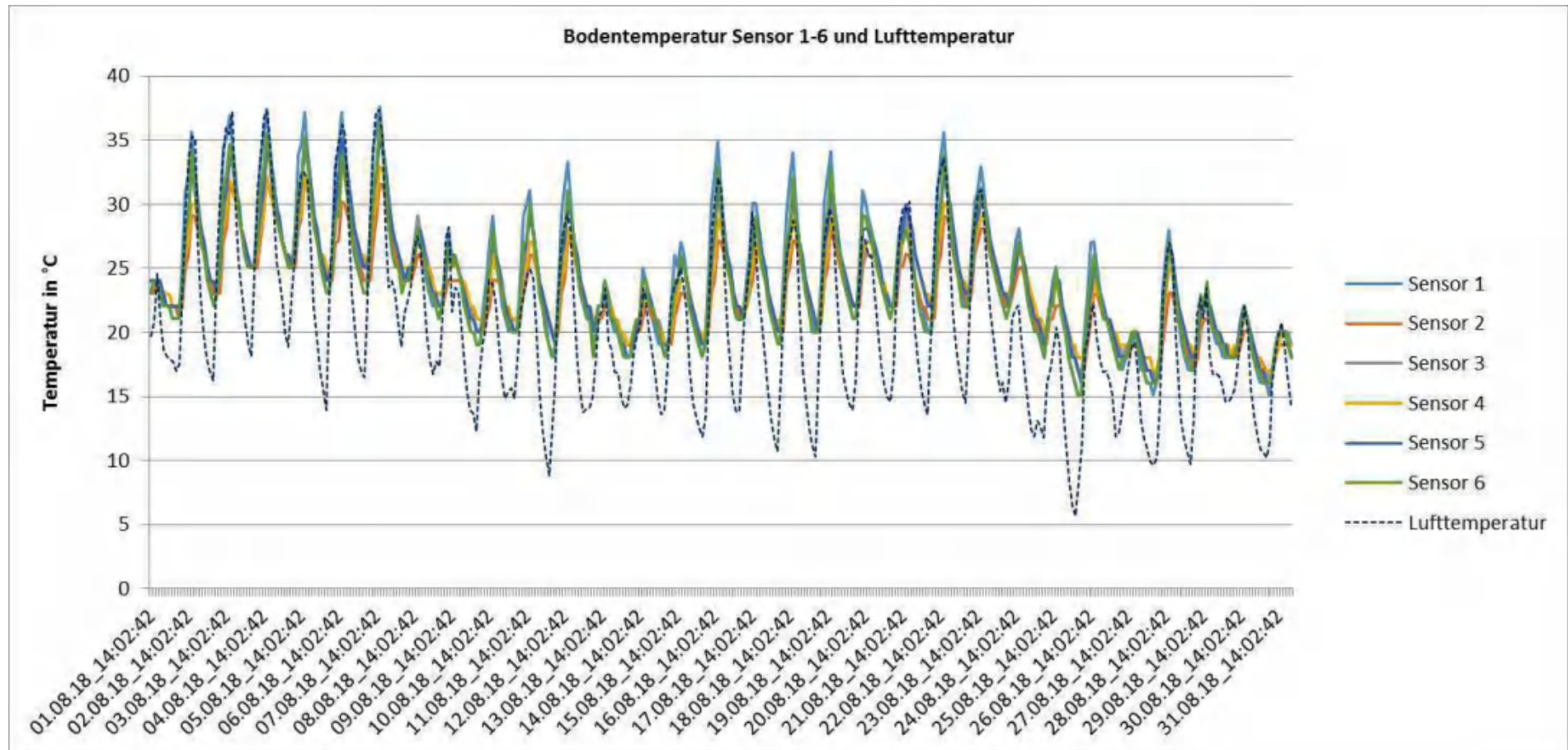


Abb. 2: Wetterstatistik August 2018 der Station Kanzem (Quelle: Agrarmeteorologie Rheinland Pfalz)

Monatswetter August 2018 : Kanzem (216 m ü. NN)					
Lufttemperatur					
	Mittelwert (2m Höhe)	20.6	°C		
	Vieljähriges Mittel (1981 - 1990 *)	17.1	°C		
	Abweichung zum vieljährigen Mittel	+ 3.5	K	(1 Kelvin = 1 °C)	
	Maximum	36.9	°C	am	07.08.2018
	Minimum	5.5	°C	am	26.08.2018
	Min. am Boden (20 cm Höhe)	6	°C	am	26.08.2018
	Max. Mittelwert seit 2005	21.1	°C	in	2015
	Min. Mittelwert seit 2005	16.3	°C	in	2006
	Klimat. interessante Tage				
	Sommertage	20	(T _{max} ≥ 25°C)		
Heiße Tage	11	(T _{max} ≥ 30°C)			
Vegetationstage	31	(T _Ø ≥ 5°C)			
Frosttage	0	(T _{min} < 0°C)			
Eistage	0	(T _{max} < 0°C)			
Niederschlag					
	Summe	51.7	mm		
	Vieljähriges Mittel (1981 - 1990 *)	71	mm		
	Abweichung zum vieljährigen Mittel	-19.3	mm	-27.2 %	
	Max. Tagesniederschlag	14	mm	am	29.08.2018
	Max. Summe seit 2005	204	mm	in	2006
	Min. Summe seit 2005	17.7	mm	in	2016
	Summe seit Jahresbeginn	518.9	mm		
	Vieljährige Summe seit Jahresbeginn	513.3	mm		
	Abweichung zum vieljährigen Mittel	+ 5.6	mm	+ 1.1 %	
Klimat. interessante Tage					
Regentage	12	(Σ > 0.1 mm)			
Sonnenscheindauer					
	Stunden	259	h		
	Vieljähriges Mittel (1981 - 1990 *)	195.8	h		
	Abweichung zum vieljährigen Mittel	+ 63.2	h	+ 32.3 %	

* Vieljähriges Mittel : DWD Trier-Petrisberg

D. Vegetationsmessungen

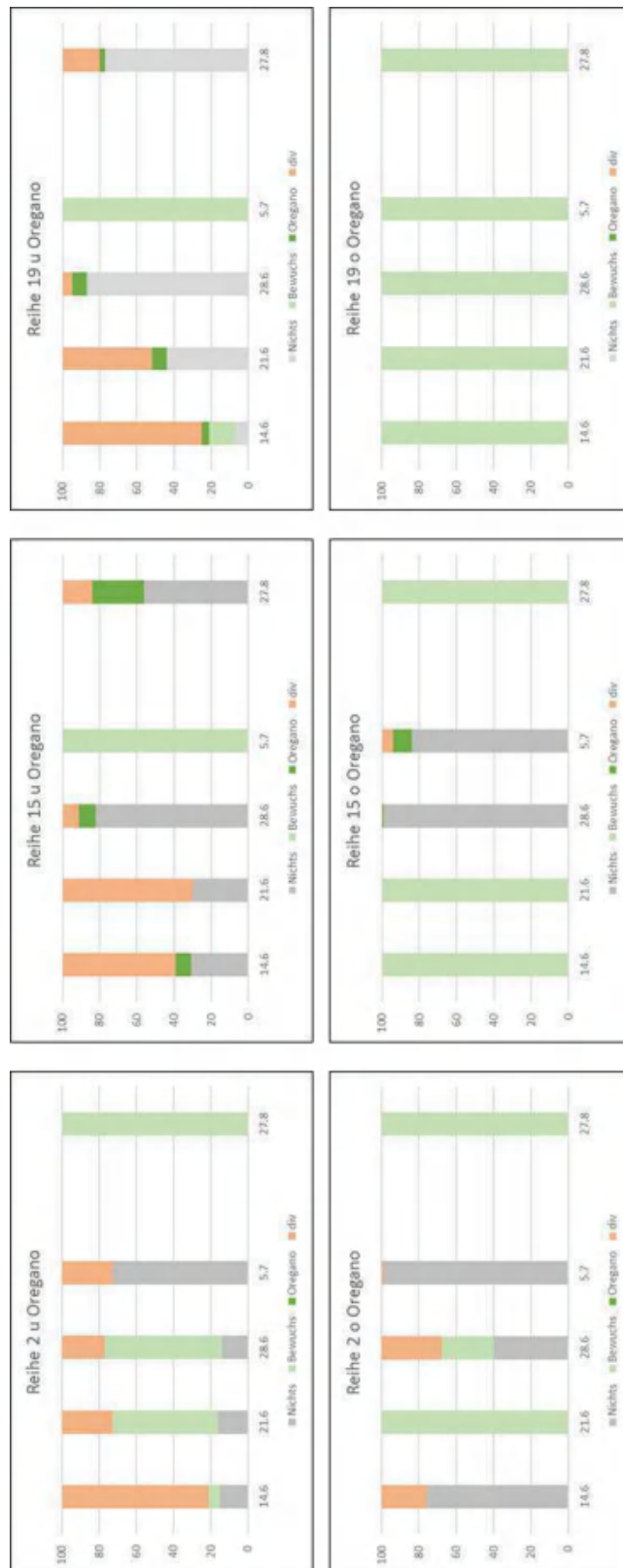


Abb. 1: Bewuchs Oregano (Quelle: Eigene Darstellung)

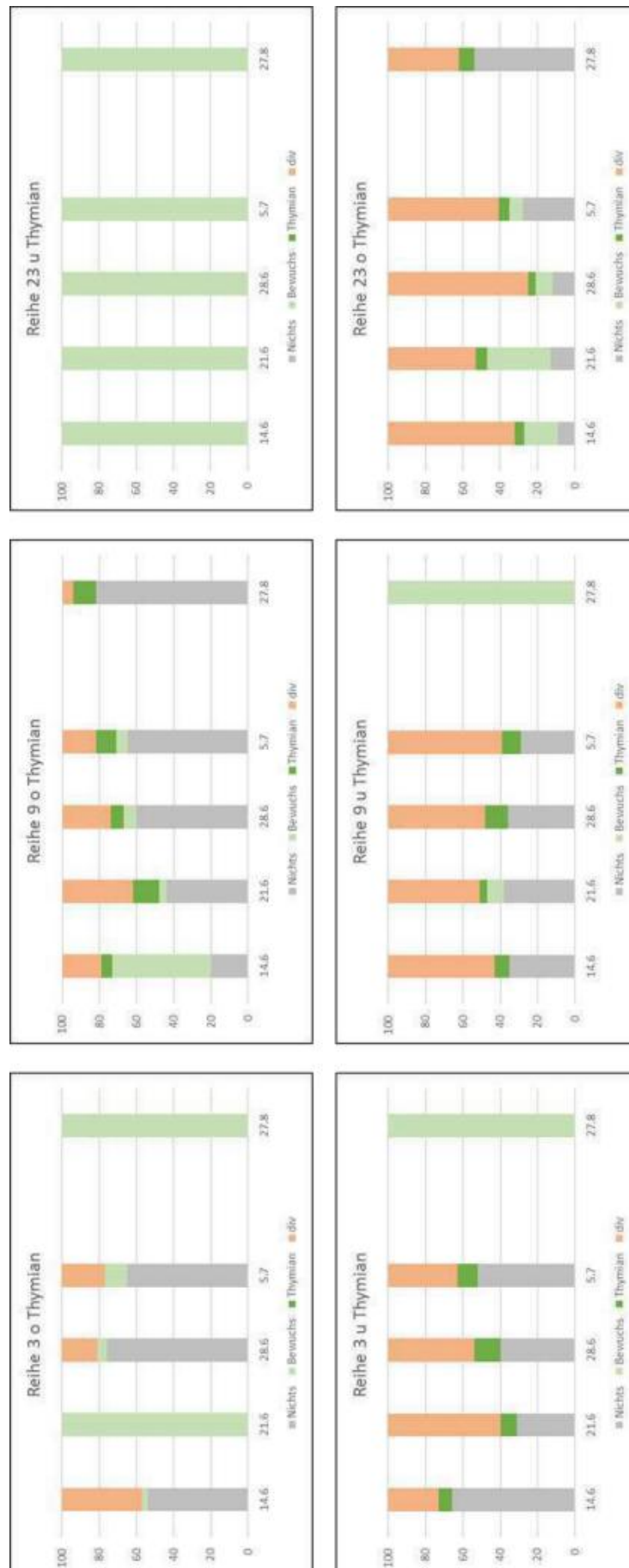


Abb. 2: Bewuchs Thymian (Quelle: Eigene Darstellung)

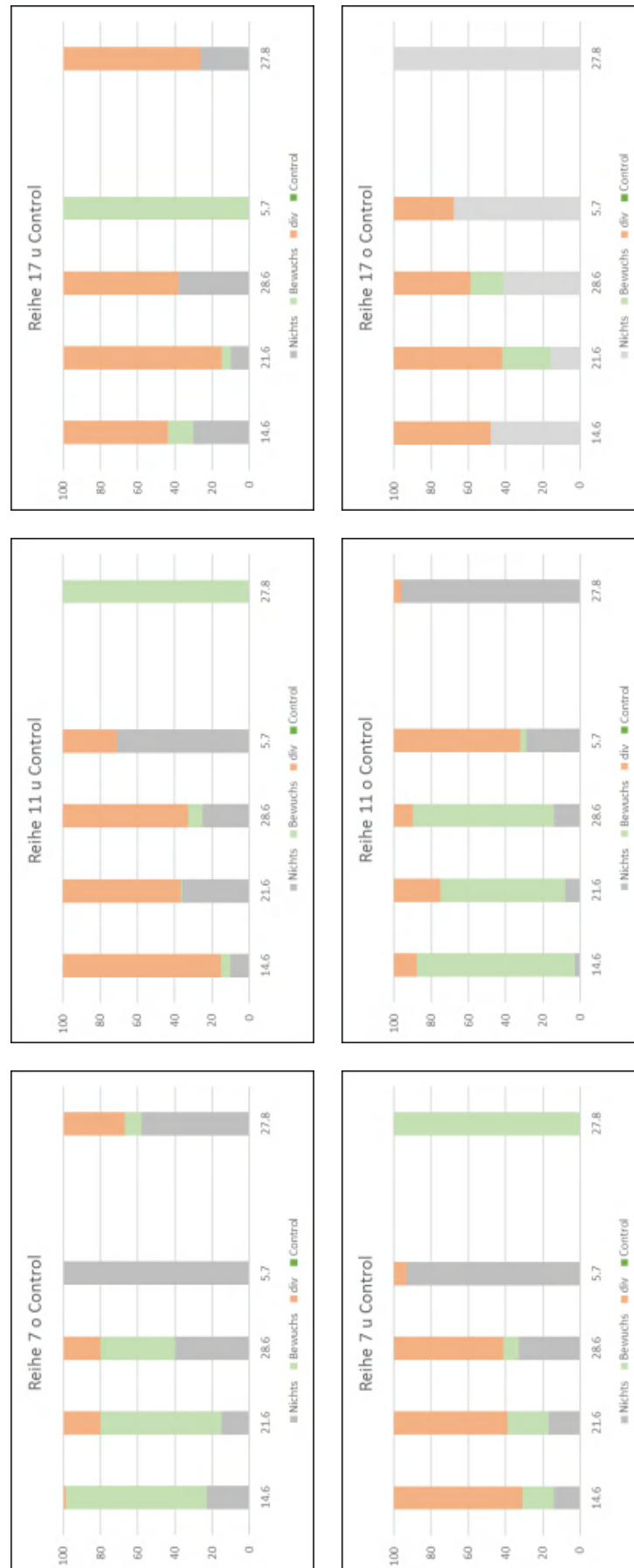


Abb. 3: Kontrollreihe mit Weinanbau ohne Kräuter (Quelle: Eigene Darstellung)

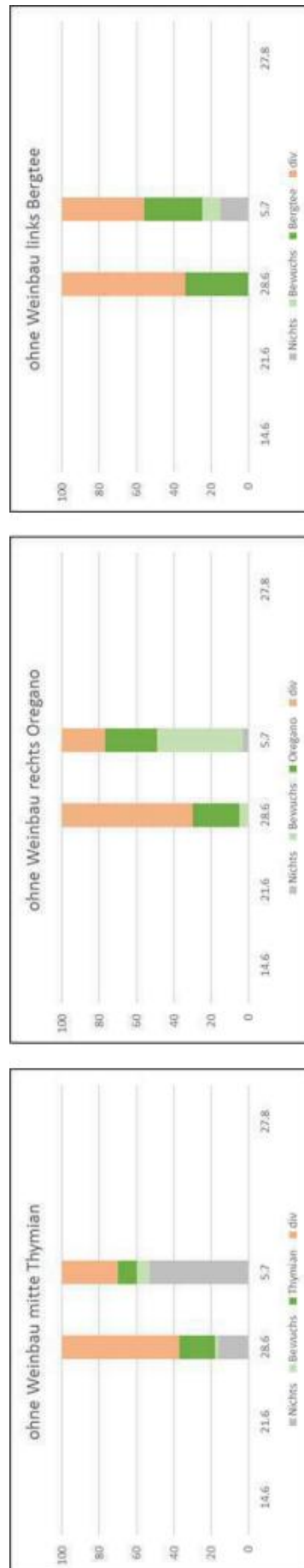


Abb. 4: Kontrollfläche ohne Weinbau mit Kräutern (Quelle: Eigene Darstellung)

E. Infiltrationsmessungen

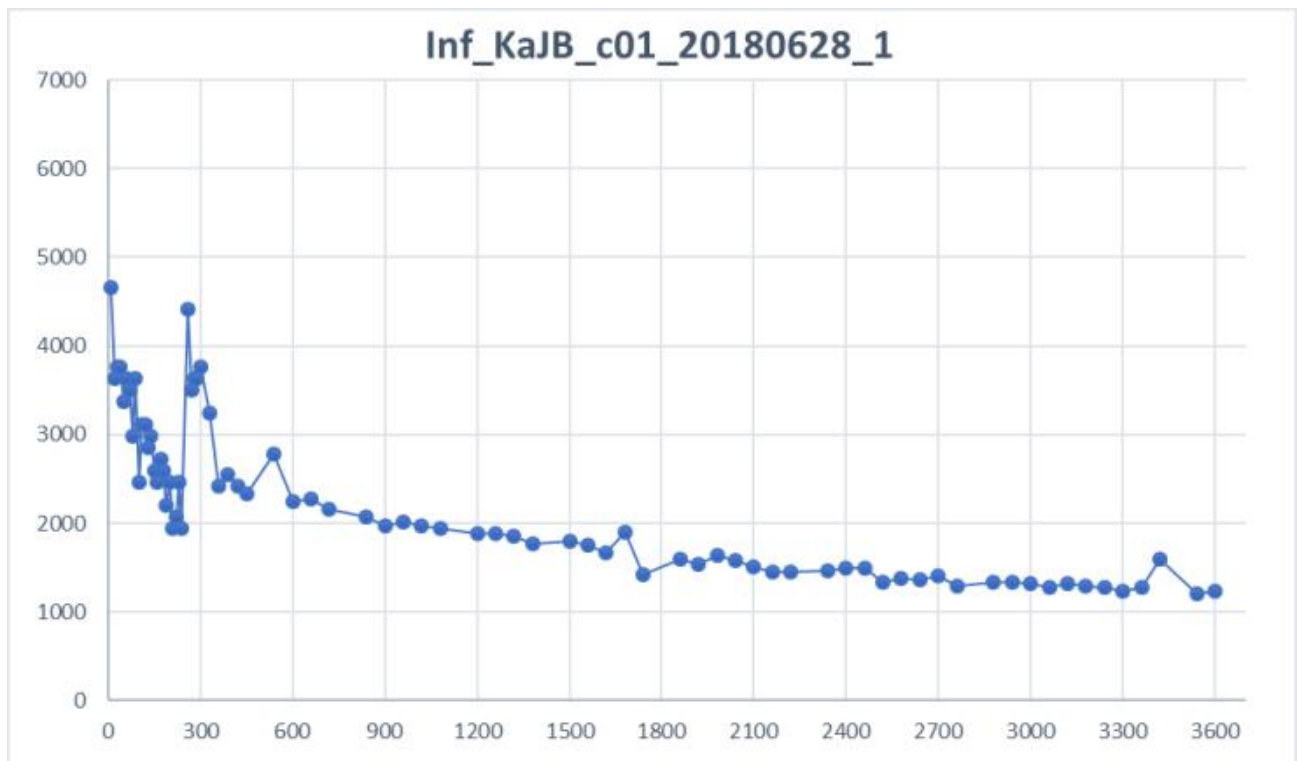


Abb. 1: SR-Messung c01_20180628_1 (Quelle: Eigene Darstellung)

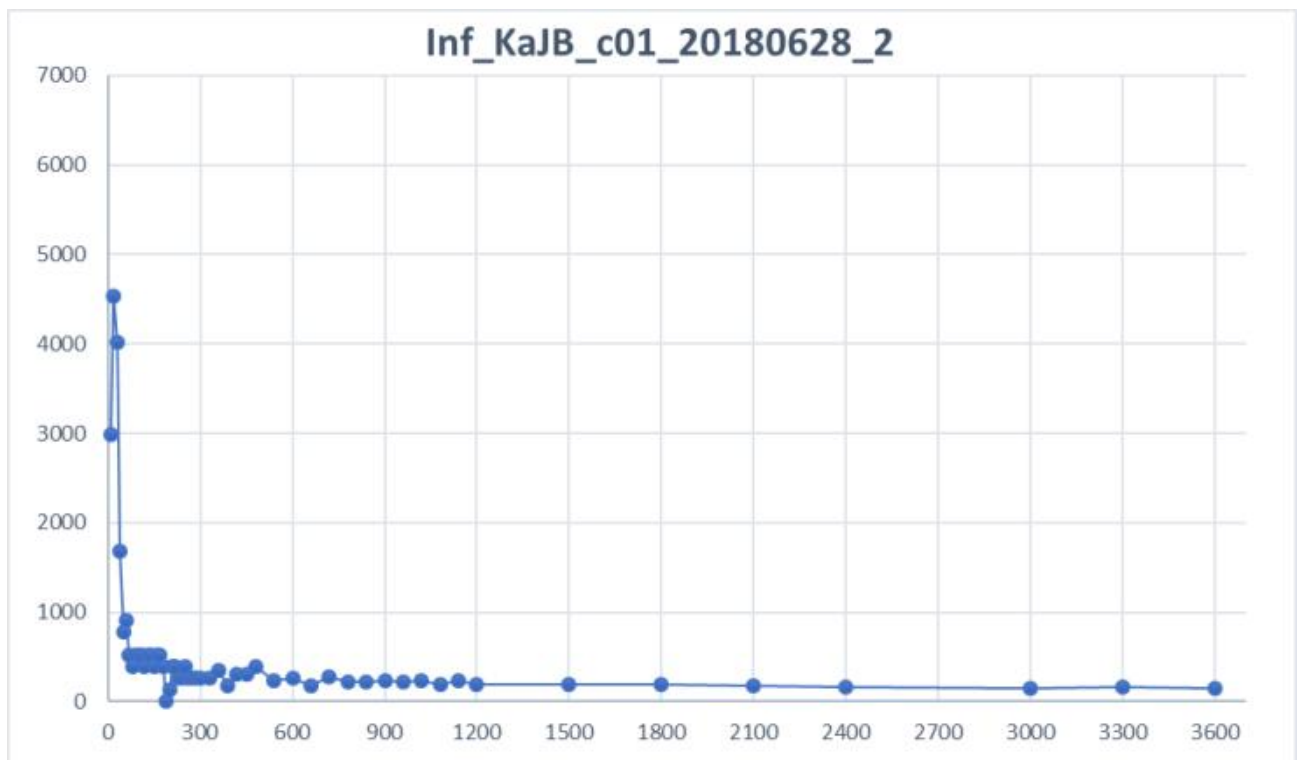


Abb. 2: SR-Messung c01_20180628_2 (Quelle: Eigene Darstellung)

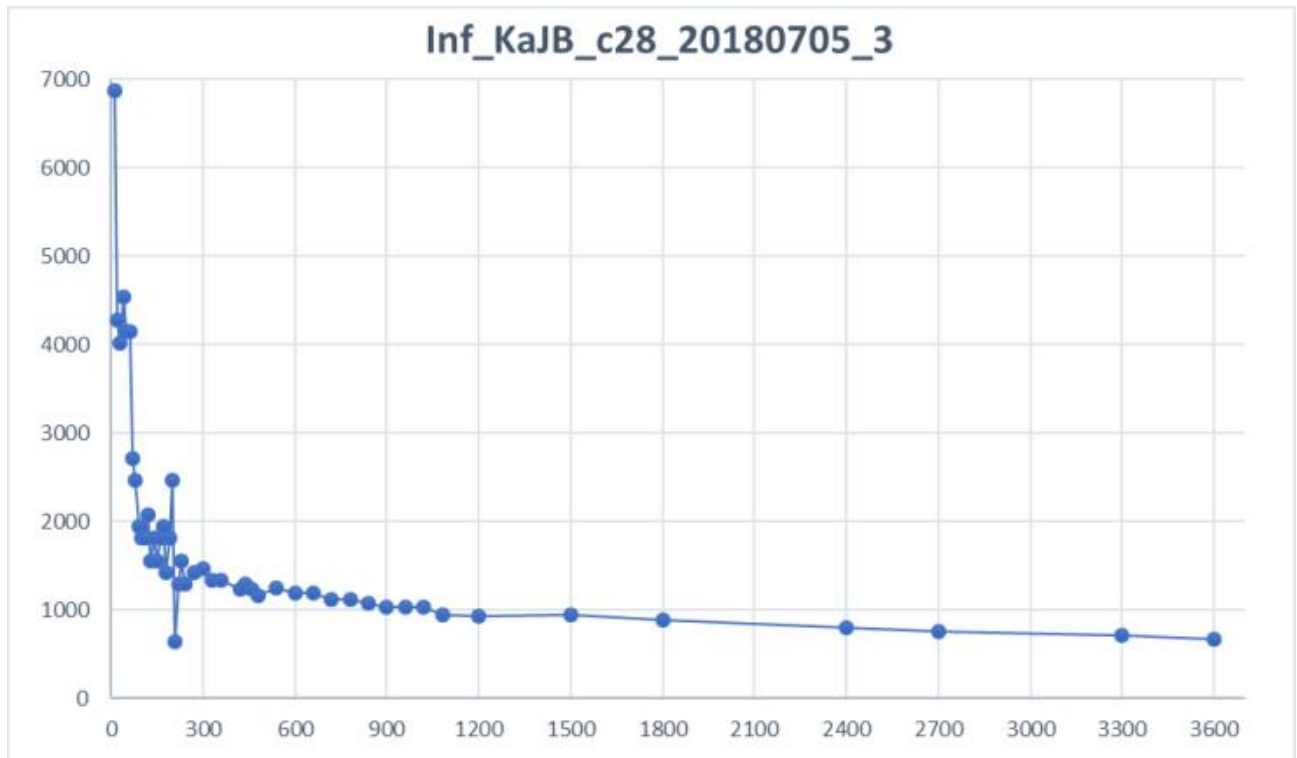


Abb. 3: SR-Messung c28_20180705_3 (Quelle: Eigene Darstellung)

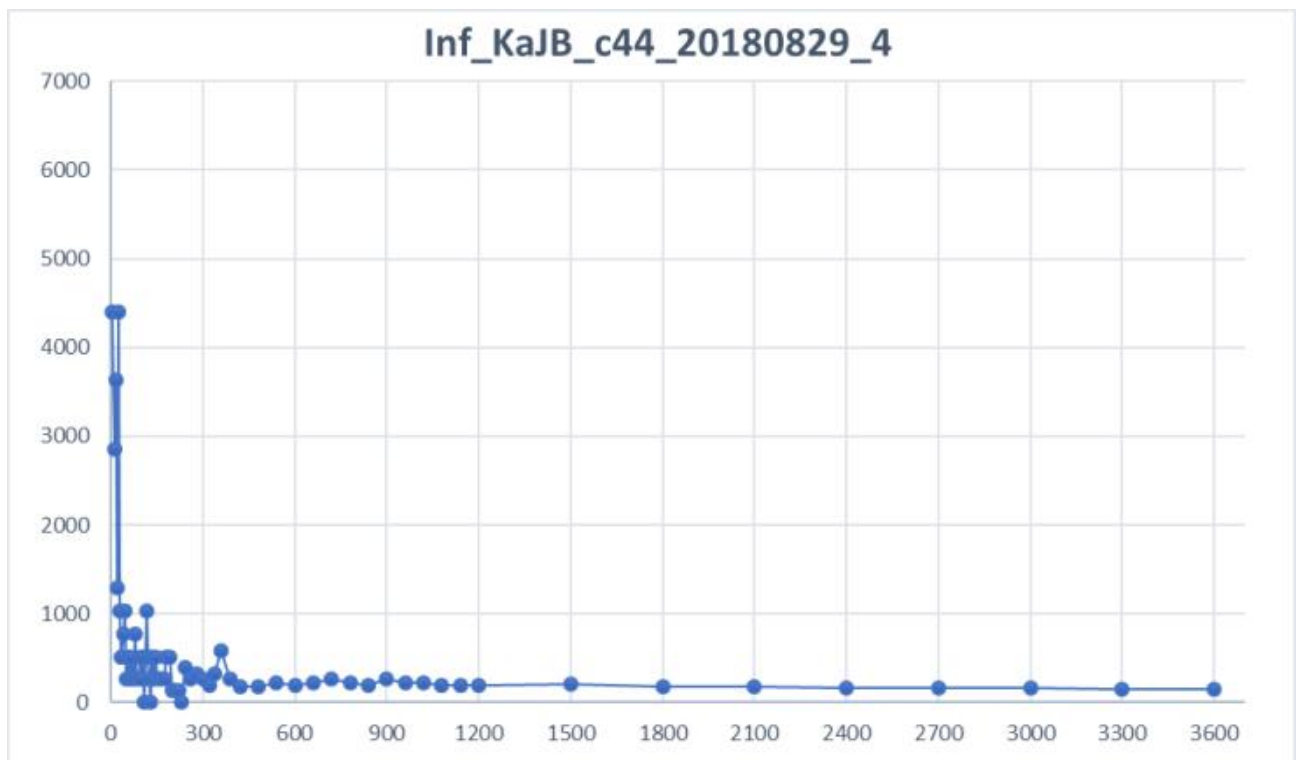


Abb. 4: SR-Messung c44_20180829_4 (Quelle: Eigene Darstellung)

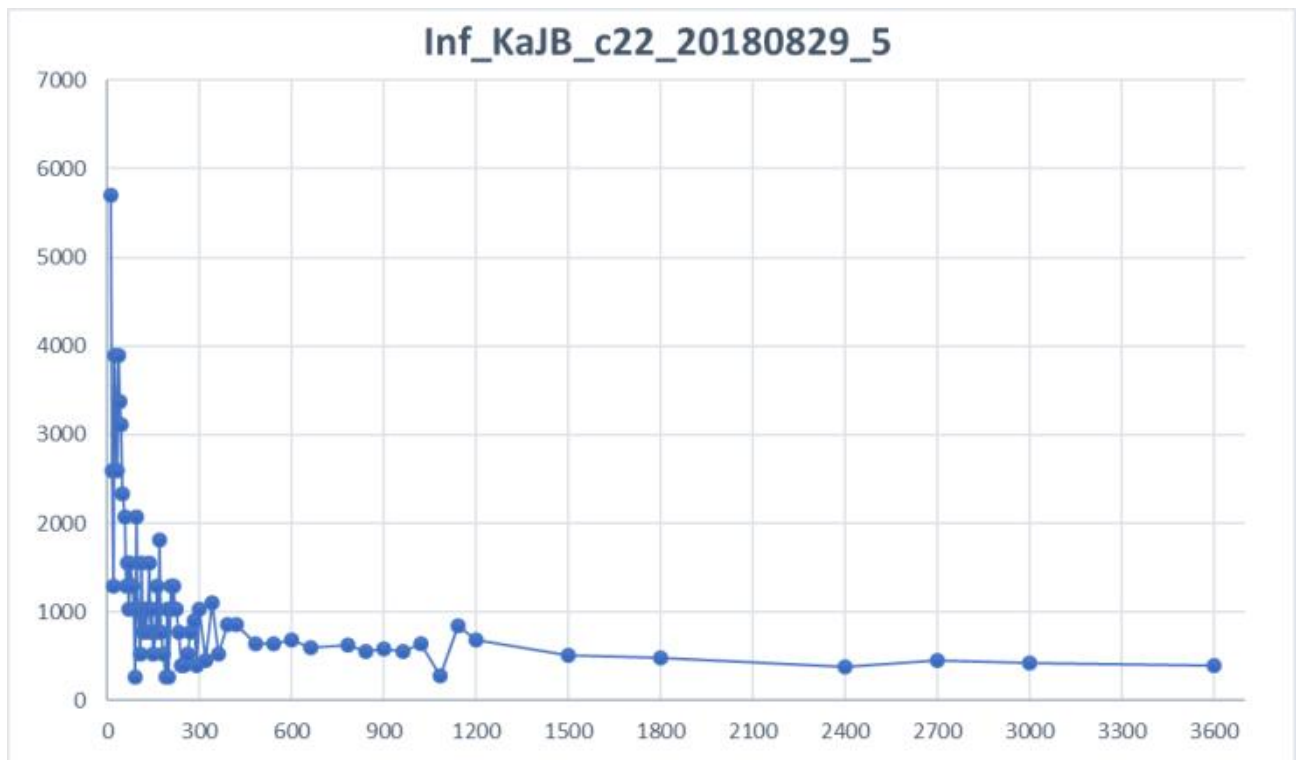


Abb. 5: SR-Messung c22_20180829_5 (Quelle: Eigene Darstellung)

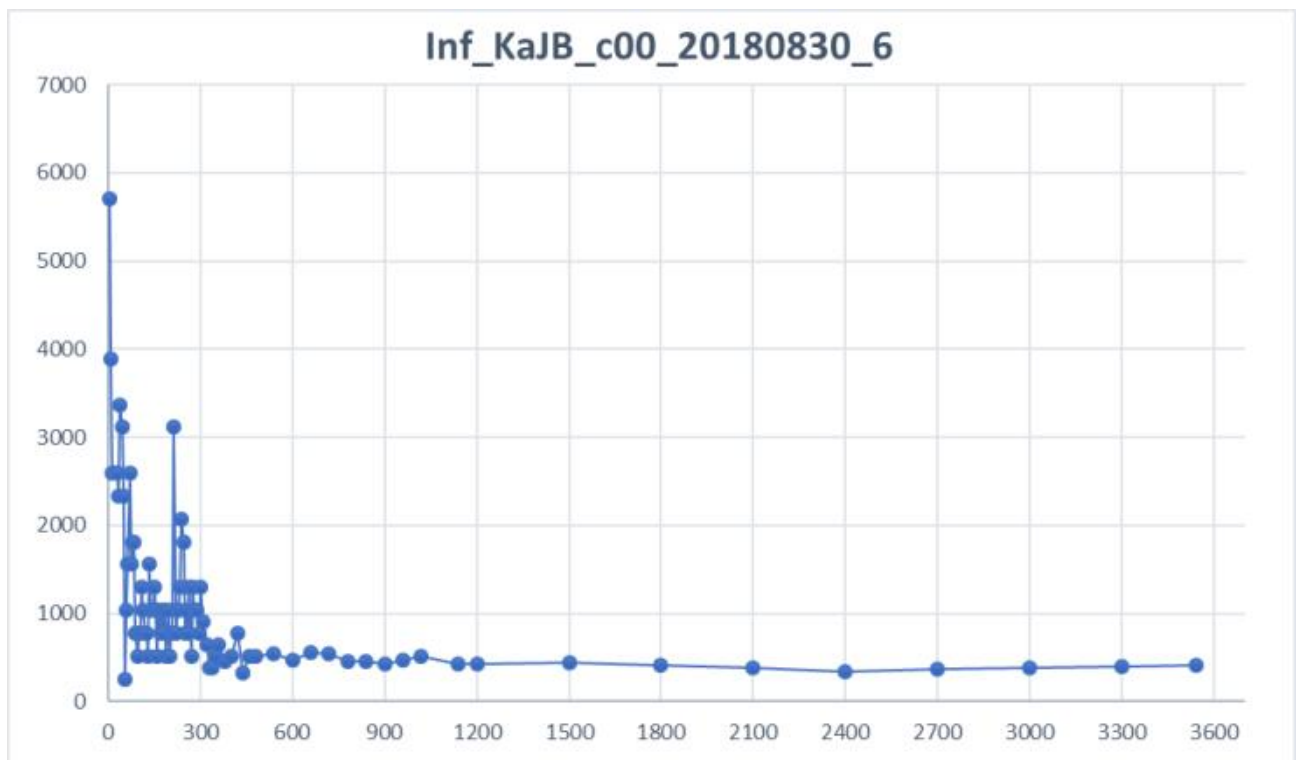


Abb. 6: SR-Messung c00_20180830_6 (Quelle: Eigene Darstellung)

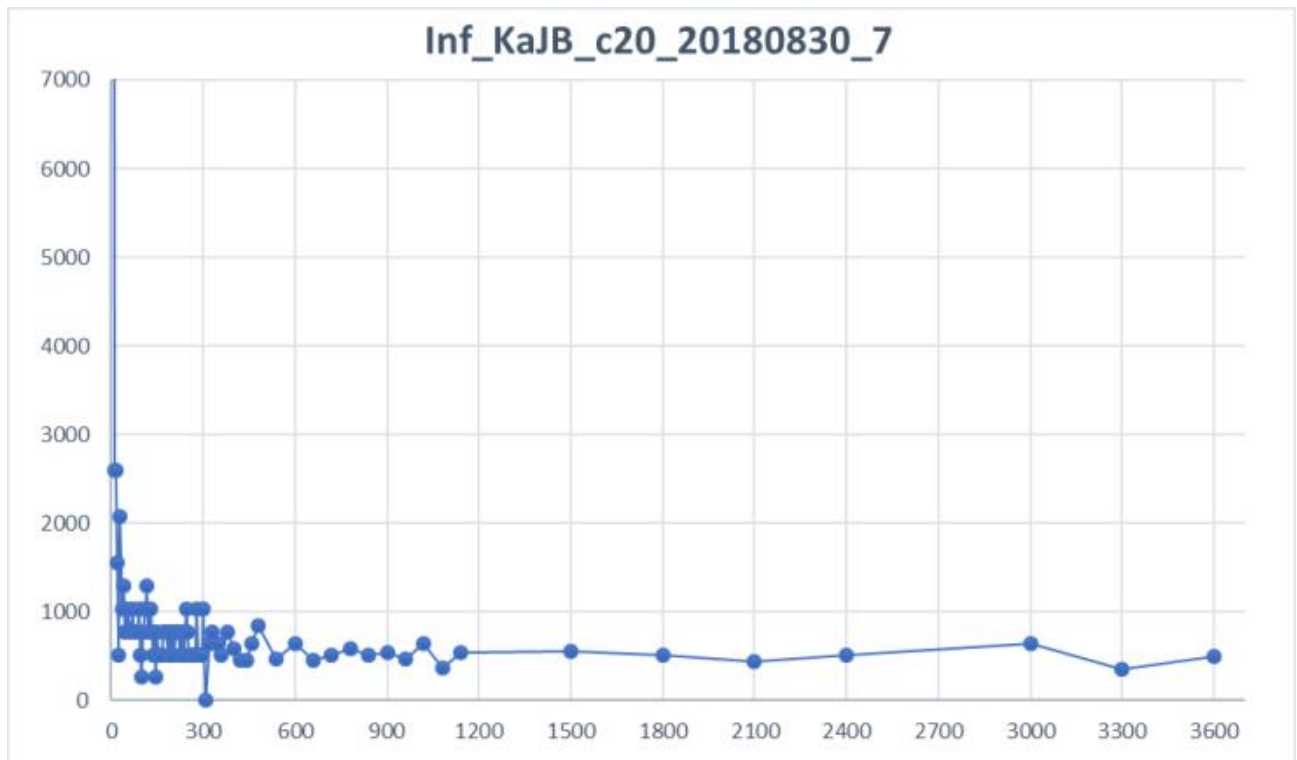


Abb. 7: SR-Messung c20_20180630_7 (Quelle: Eigene Darstellung)

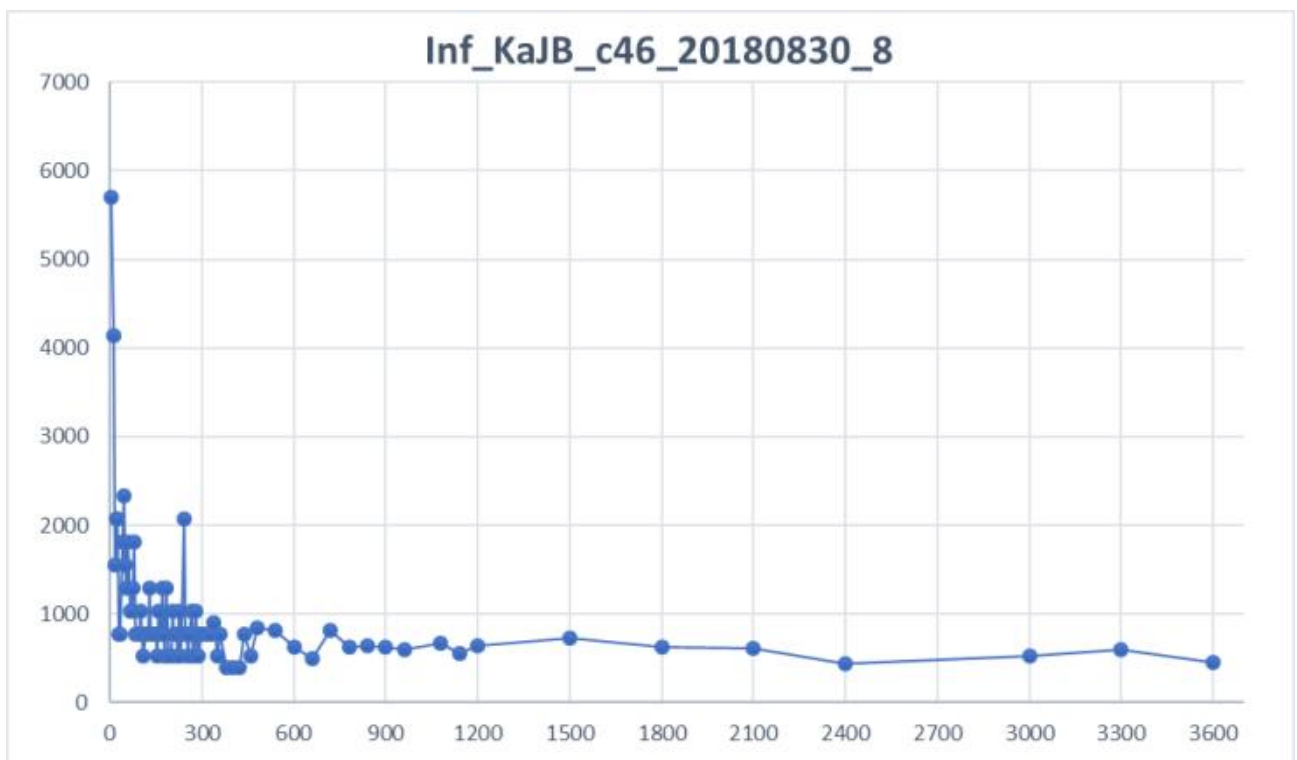
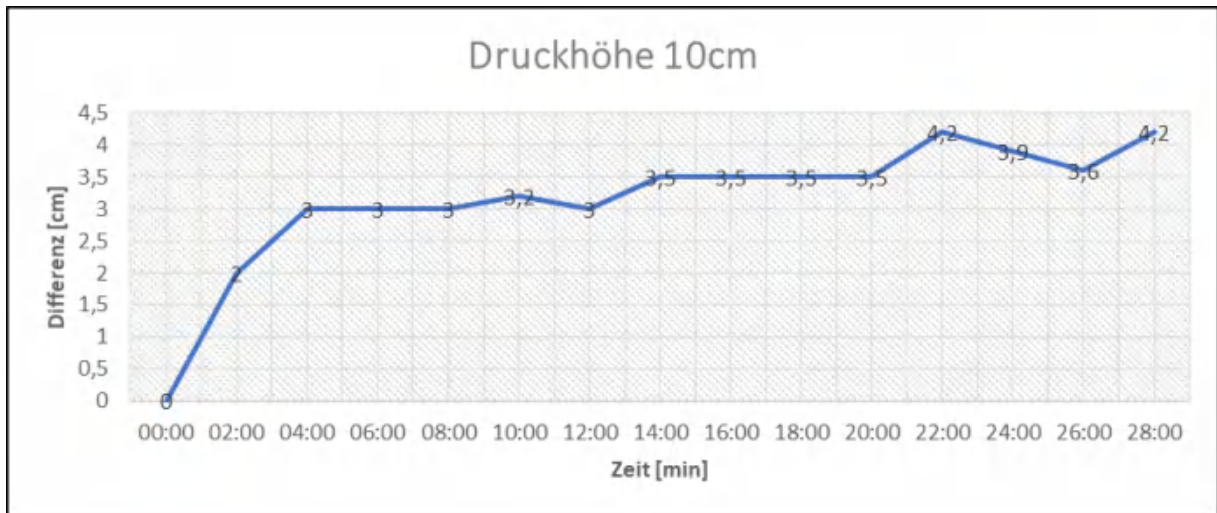


Abb. 8: SR-Messung c46_20180830_8 (Quelle: Eigene Darstellung)

F. Permeabilitätsmessungen

GP_KaJB_c06_z03_20180829_01

Abb. 1: Guelph-Messung c06_20180829_01 (Quelle: Eigene Darstellung)



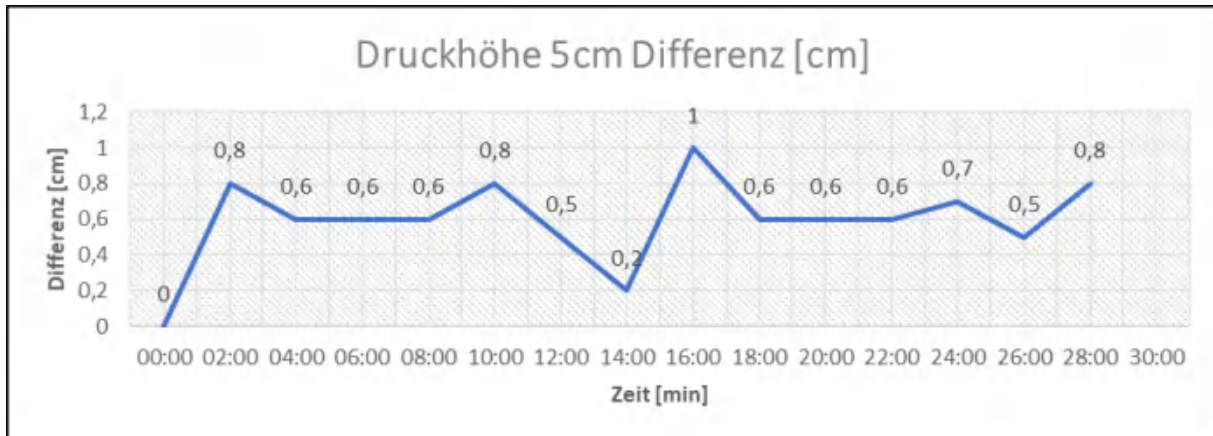
Druckhöhe 10cm: Steady State Rate = 3,5 cm/min

Tab. 1: Guelph-Auswertung c06_20180829_01

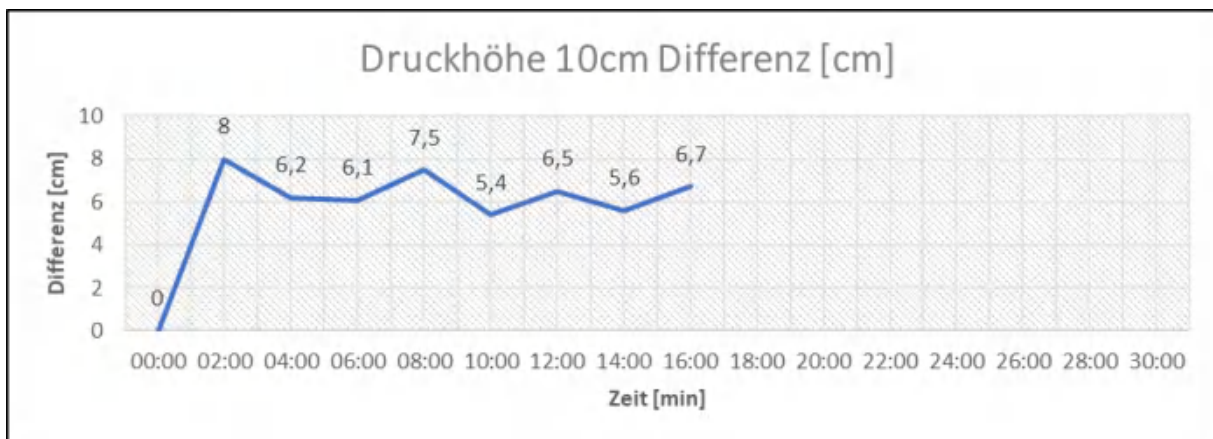
Druckhöhe	5cm	10cm
K_{fs} [cm/min]	/	1.93×10^{-3}
K_{fs} [mm/h]	/	1.158
Φ_m [cm ² /min]	/	1.16×10^{-3}

GP_KaJB_c06_z03_20180830_05

Abb. 2: Guelph-Messung c06_z03_20180830_05 (Quelle: Eigene Darstellung)



Druckhöhe 5cm: Steady State Rate = 0,6 cm/min



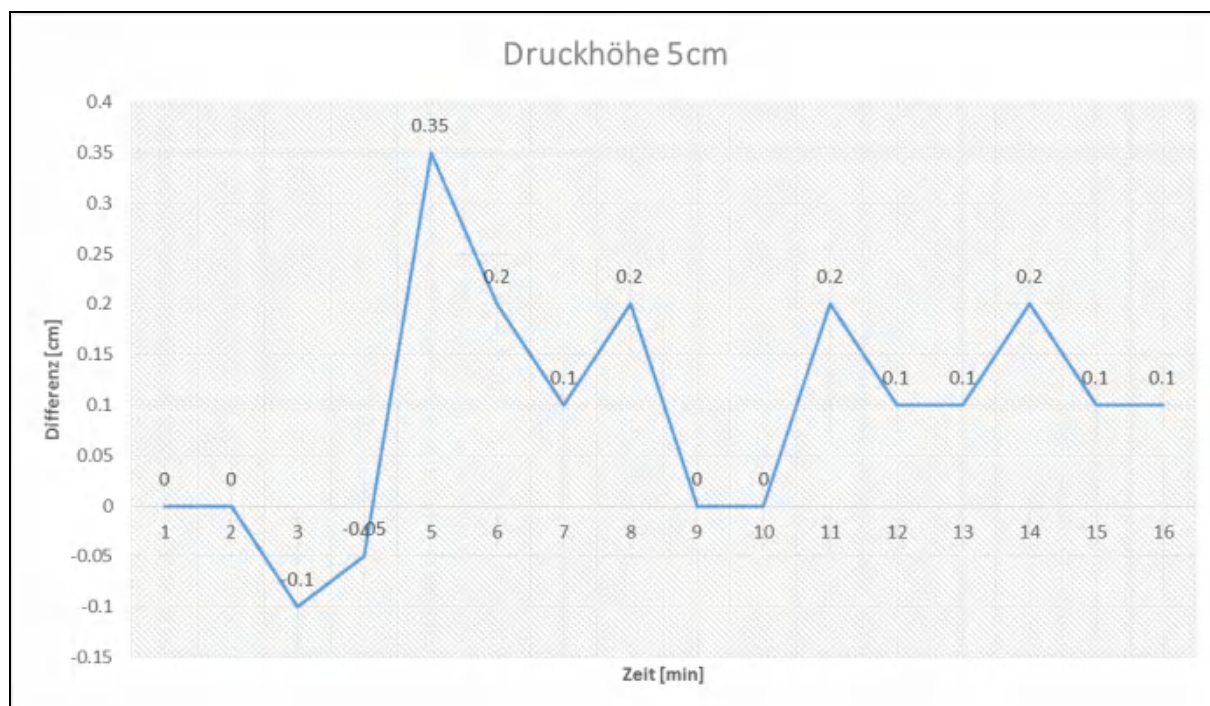
Druckhöhe 10 cm: Steady State Rate = 6,1 cm/min

Tab. 2: Guelph-Auswertung c06_z03_20180830_05

Druckhöhe	5cm	10cm
K_{fs} [cm/min]	3.9×10^{-3}	2.02×10^{-2}
K_{fs} [mm/h]	2.34	12.12
Φ_m [cm ² /min]	1.8×10^{-4}	9.36×10^{-4}

GP_KaJB_c24_z12_20180705_01

Abb. 3: Guelph-Messung c24_z12_20180705_01 (Quelle: Eigene Darstellung)



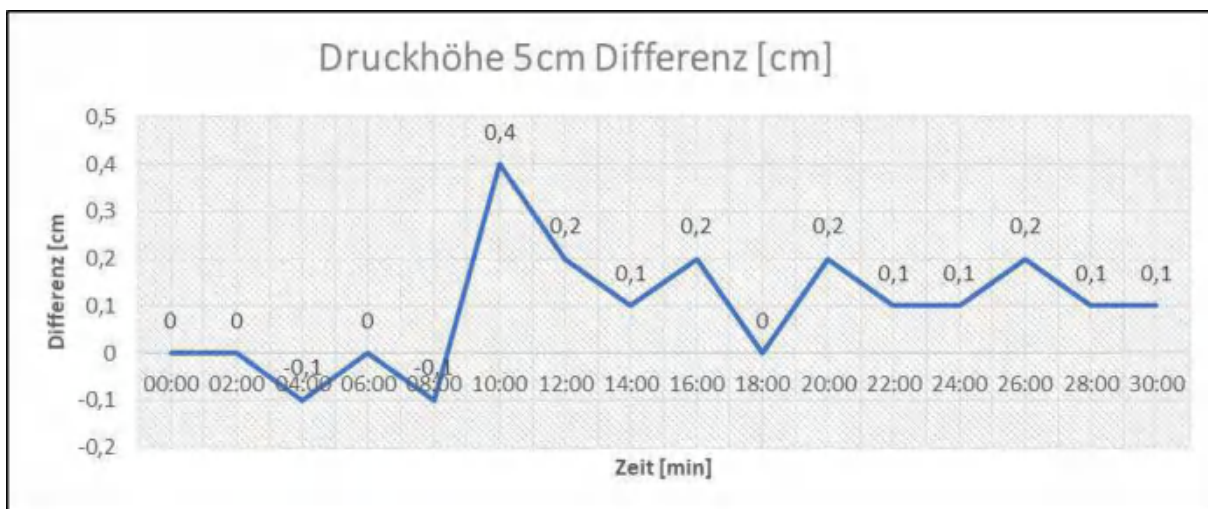
Druckhöhe 5cm: Steady State Rate = 0,1 cm/min

Tab. 3: Guelph-Auswertung c24_z12_20180705_01

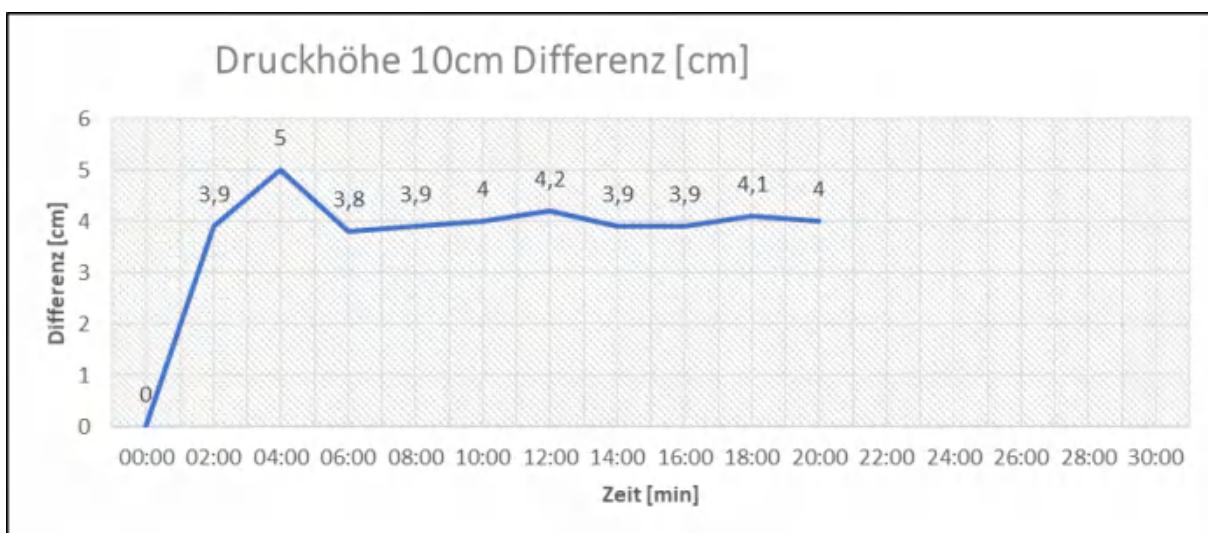
Druckhöhe	5cm	10cm
K_{fs} [cm/min]	6.50×10^{-4}	/
K_{fs} [mm/h]	$1,08 \times 10^{-6}$	/
Φ_m [cm ² /min]	3.01×10^{-5}	/

GP_KaJB_c24_z12_20180712_01

Abb. 4: Guelph-Messung c24_z12_20180712_01 (Quelle: Eigene Darstellung)



Druckhöhe 5cm: Steady State Rate = 0,1 cm/min



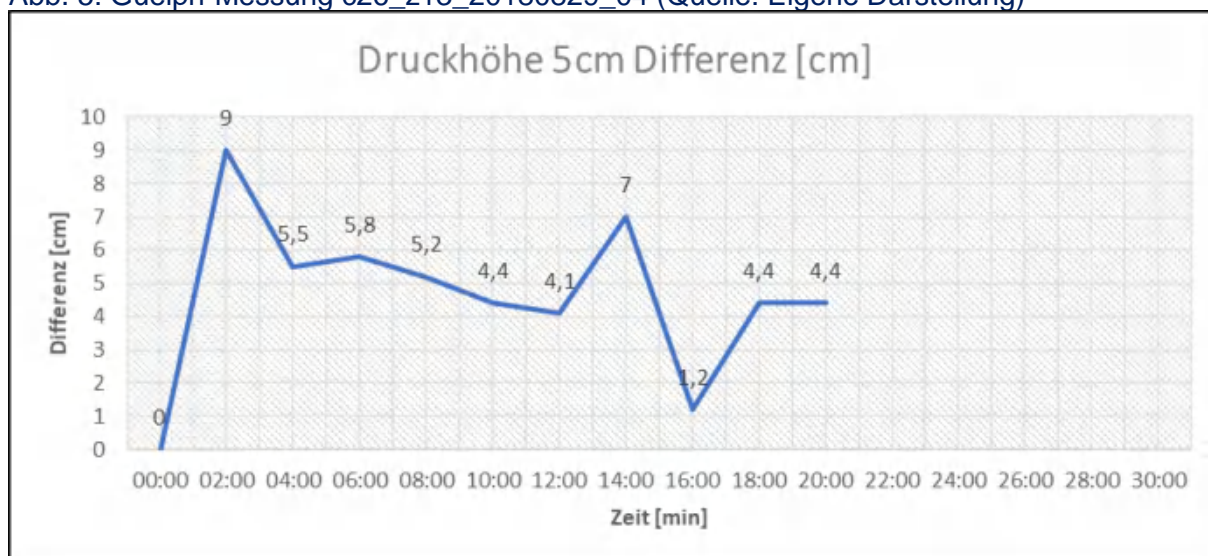
Druckhöhe 10cm: Steady State Rate = 3,9 cm/min

Tab. 4: Guelph-Auswertung c24_z12_20180712_01

Druckhöhe	5cm	10cm
K_{fs} [cm/min]	$6,5 \times 10^{-4}$	$1,29 \times 10^{-2}$
K_{fs} [mm/h]	0,39	7,74
Φ_m [cm ² /min]	$3,01 \times 10^{-5}$	$5,98 \times 10^{-4}$

GP_KaJB_c26_z13_20180829_04

Abb. 5: Guelph-Messung c26_z13_20180829_04 (Quelle: Eigene Darstellung)



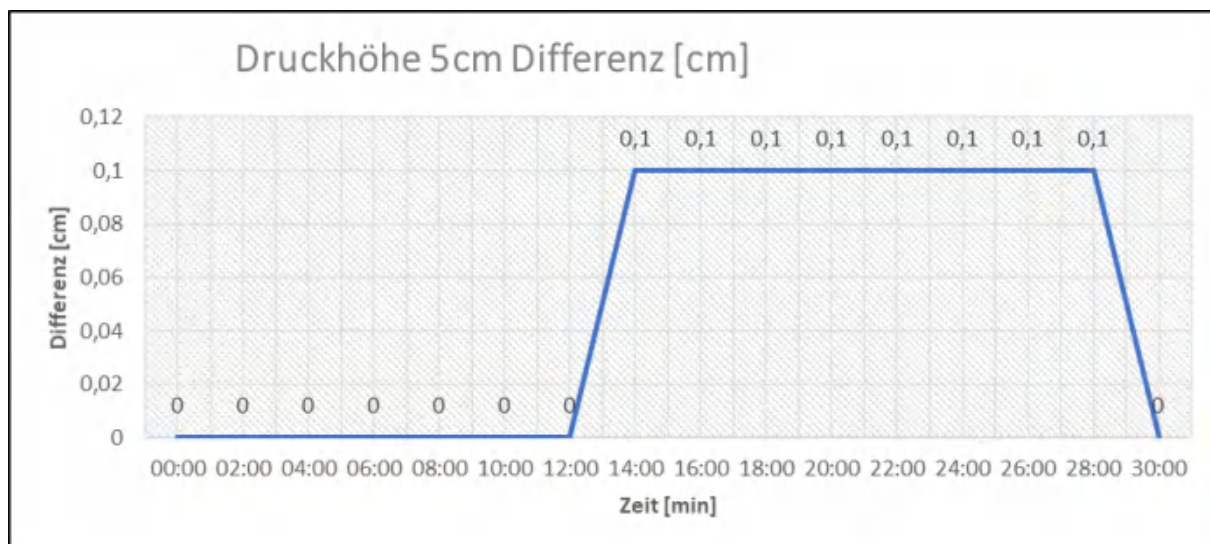
Druckhöhe 5cm: Steady State Rate = 4,4 cm/min

Tab. 5: Guelph-Auswertung c26_z13_20180829_04

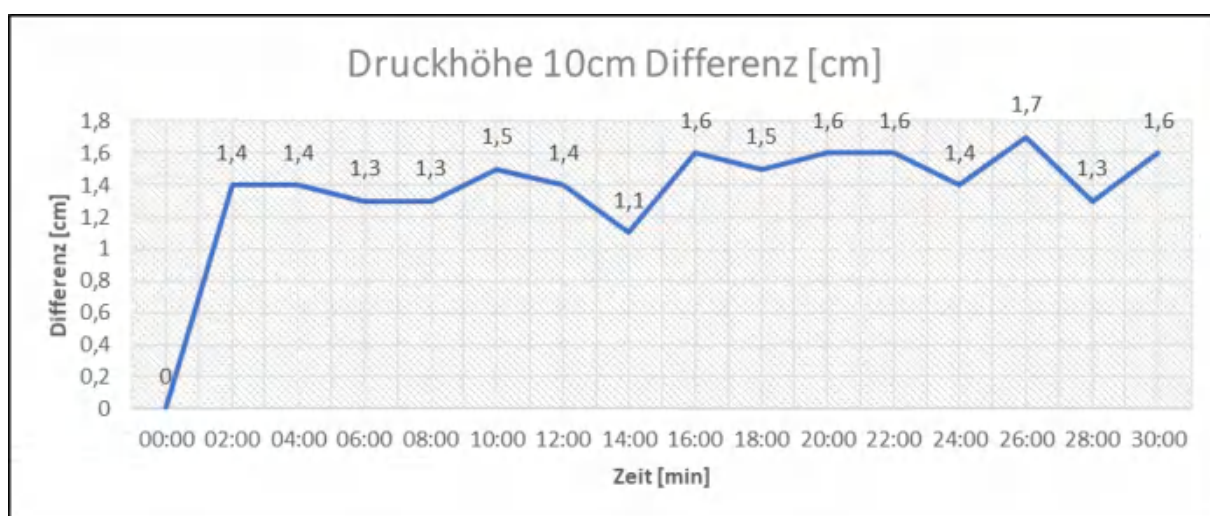
Druckhöhe	5cm	10cm
K_{fs} [cm/min]	$2,86 \times 10^{-2}$	/
K_{fs} [mm/h]	17,6	/
Φ_m [cm ² /min]	$1,32 \times 10^{-3}$	/

GP_KaJB_c26_z13_20180830_02

Abb. 6: Guelph-Messung c26_z13_20180830_02 (Quelle: Eigene Darstellung)



Druckhöhe 5cm: Steady State Rate = 0,1 cm/min



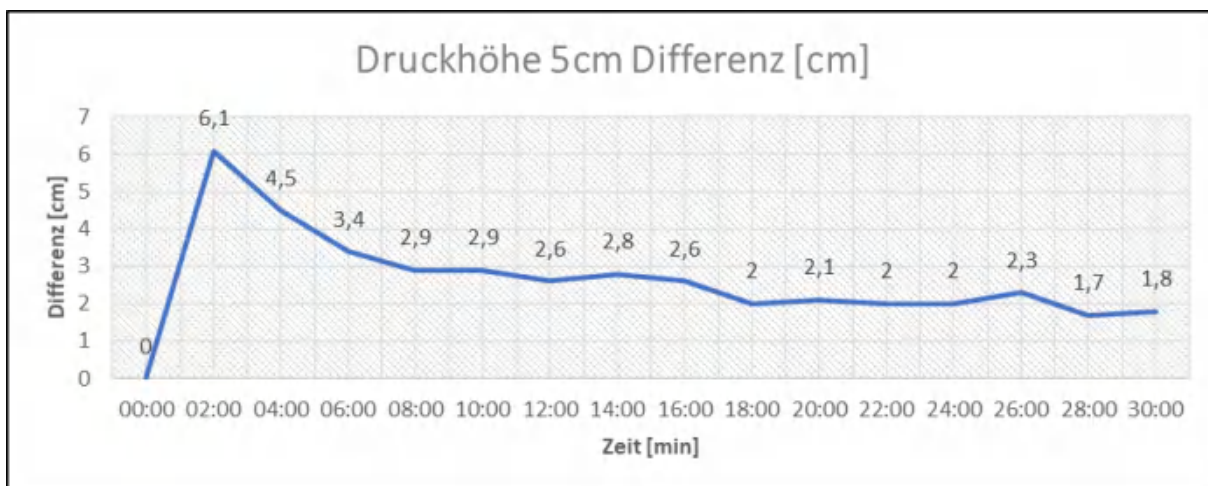
Druckhöhe 10cm: Steady State Rate = 1,6 cm/min

Tab. 6: Guelph-Auswertung c26_z13_20180830_02

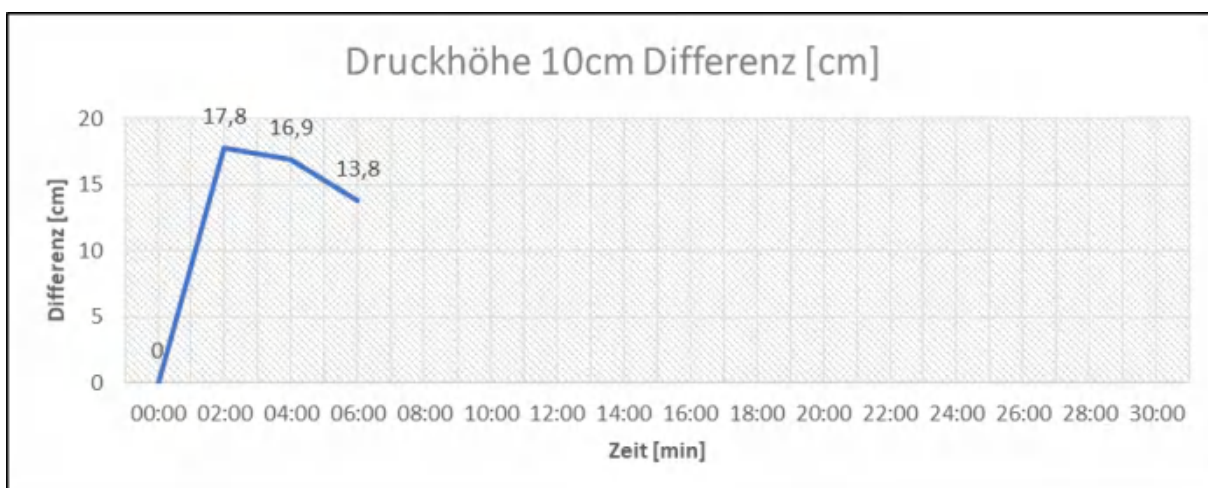
Druckhöhe	5cm	10cm
K_{fs} [cm/min]	$6,5 \times 10^{-4}$	$5,3 \times 10^{-3}$
K_{fs} [mm/h]	0,39	3,18
Φ_m [cm ² /min]	$3,01 \times 10^{-5}$	$2,45 \times 10^{-4}$

GP_KaJB_c42_z21_20180830_06

Abb. 7: Guelph-Messung c42_z21_20180830_06 (Quelle: Eigene Darstellung)



Druckhöhe 5cm: Steady State Rate = 2,0 cm/min



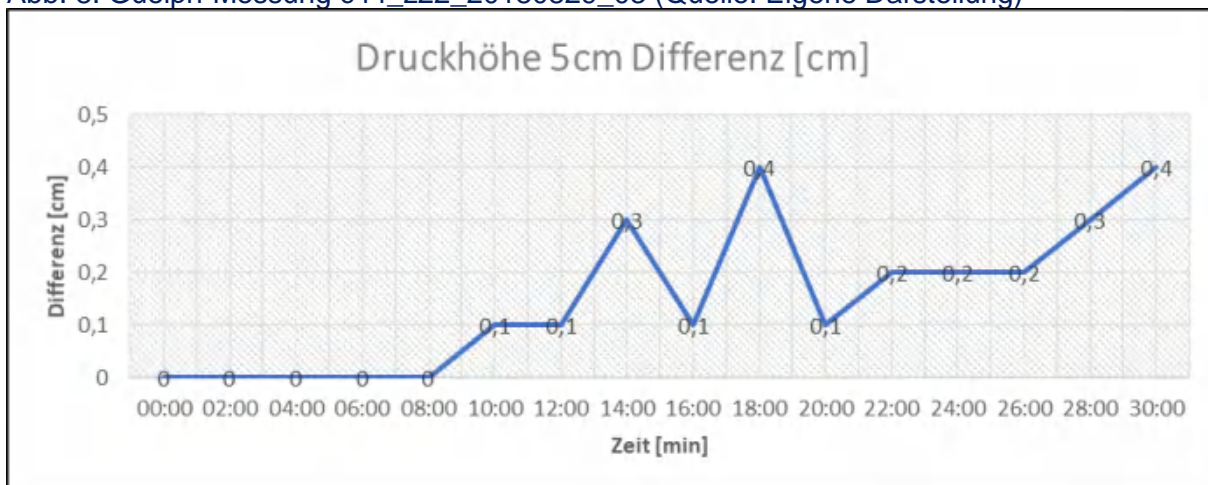
Druckhöhe 10cm: Steady State Rate = nicht möglich, da das Wasser durchgelaufen ist

Tab. 7: Guelph-Auswertung c42_z21_20180830_06

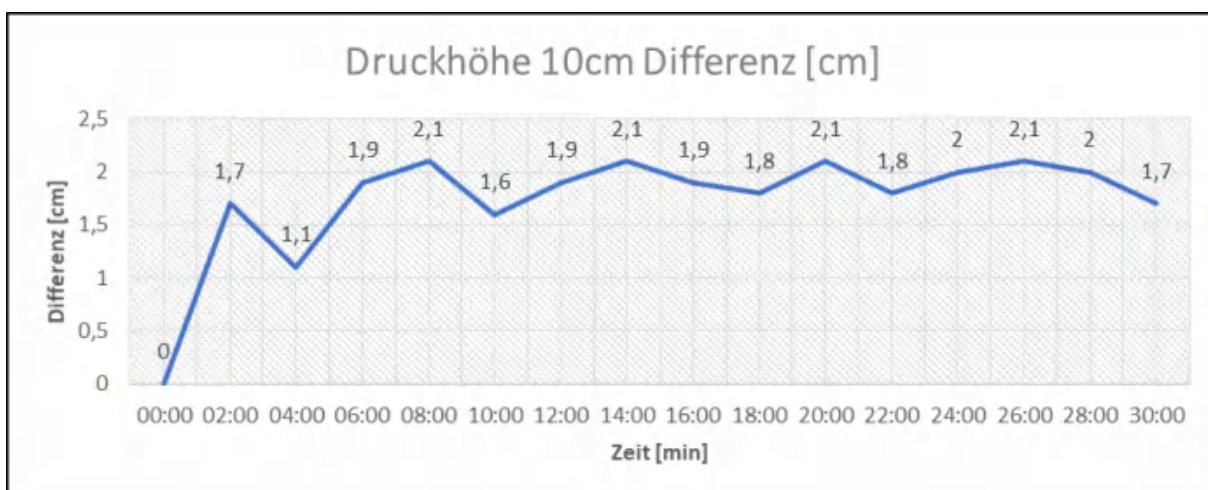
Druckhöhe	5cm	10cm
K_{fs} [cm/min]	$1,3 \times 10^{-2}$	/
K_{fs} [mm/h]	7,8	/
Φ_m [cm ² /min]	$6,02 \times 10^{-4}$	/

GP_KaJB_c44_z22_20180829_03

Abb. 8: Guelph-Messung c44_z22_20180829_03 (Quelle: Eigene Darstellung)



Druckhöhe 5cm: Steady State Rate = 0,2 cm/min



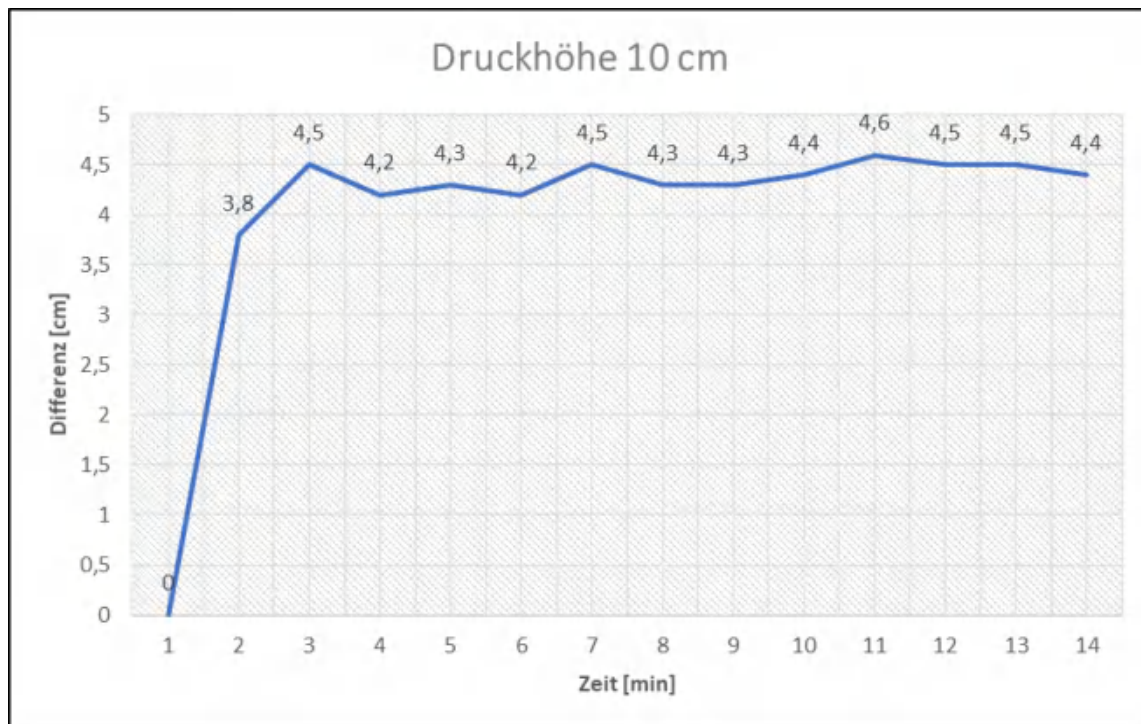
Druckhöhe 10cm: Steady State Rate = 2,0 cm/min

Tab. 8: Guelph-Auswertung c44_z22_20180829_03

Druckhöhe	5cm	10cm
K_{fs} [cm/min]	$1,3 \times 10^{-3}$	$6,63 \times 10^{-3}$
K_{fs} [mm/h]	0,78	3,978
Φ_m [cm ² /min]	$6,02 \times 10^{-5}$	$3,07 \times 10^{-4}$

GP_KaJB_c46_z23_20180621_01

Abb. 9: Guelph-Messung c46_z23_20180621_01 (Quelle: Eigene Darstellung)



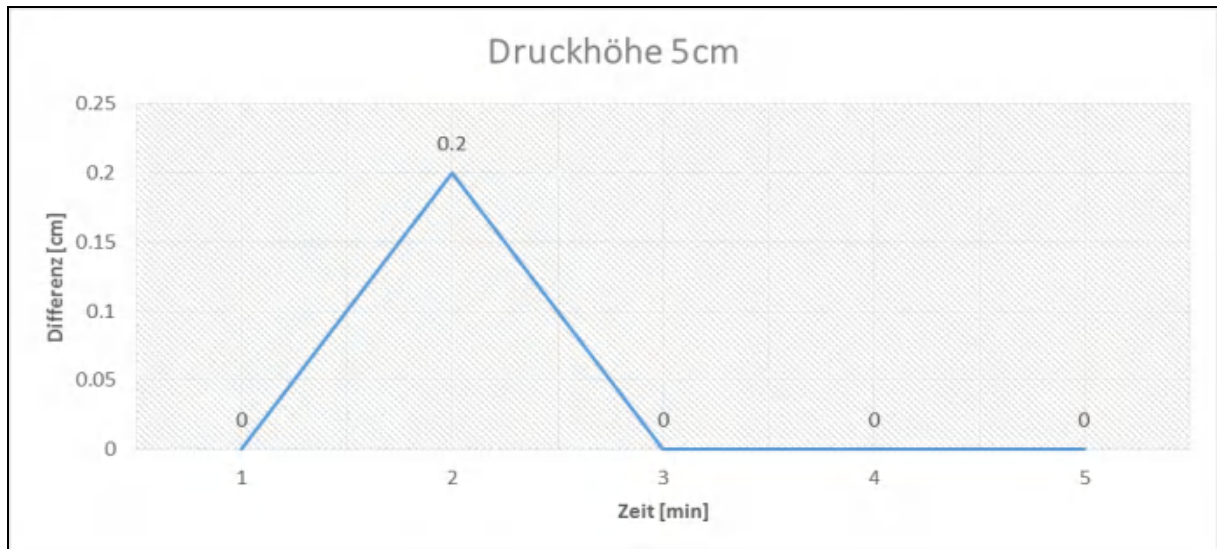
Druckhöhe 10cm: Steady State Rate = 4,3 cm/min

Tab. 9: Guelph-Auswertung c46_z23_20180621_01

Druckhöhe	5cm	10cm
K_{fs} [cm/min]	/	1.42×10^{-2}
K_{fs} [mm/h]	/	$2,36 \times 10^{-5}$
Φ_m [cm ² /min]	/	6.60×10^{-4}

GP_KaJB_c46_z23_20180621_02

Abb. 10: Guelph-Messung c46_z23_20180621_02 (Quelle: Eigene Darstellung)



Druckhöhe 5cm: Steady State Rate = 0 cm/min

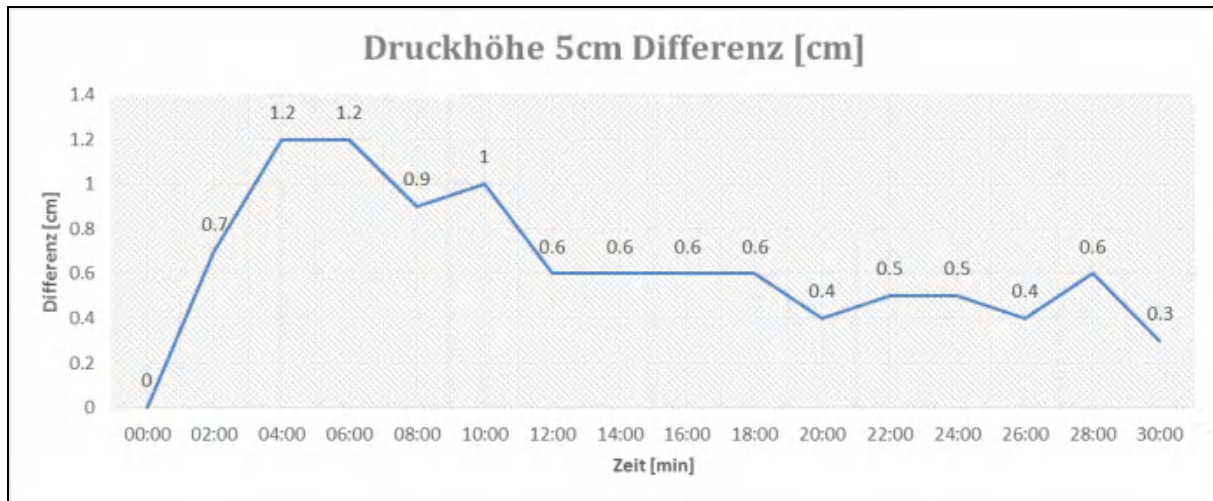


Tab. 10: Guelph-Auswertung c46_z23_20180621_02

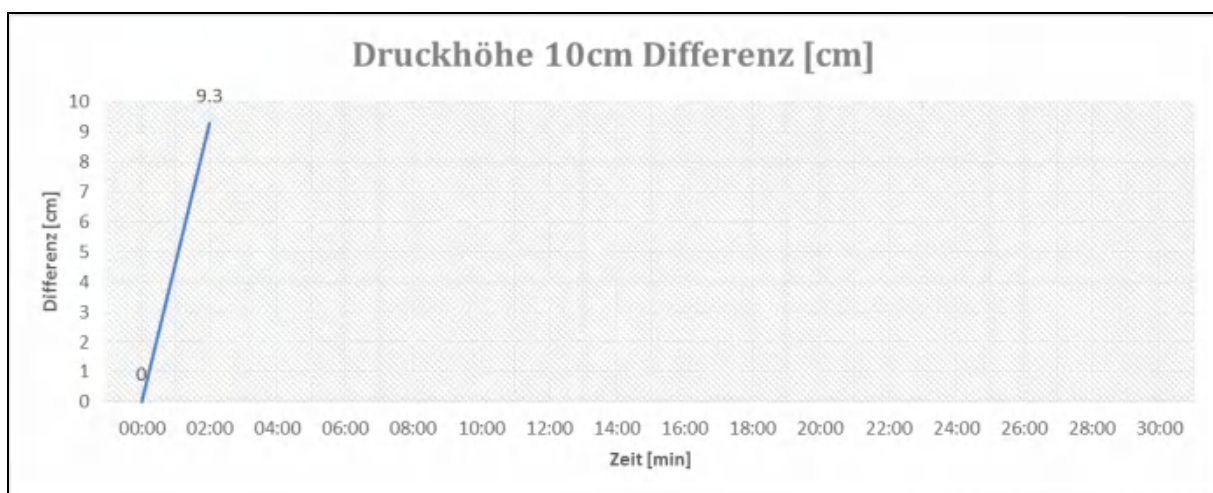
Druckhöhe	5cm	10cm
K_{fs} [cm/min]	/	1.66×10^{-3}
K_{fs} [mm/h]	/	$2,77 \times 10^{-6}$
Φ_m [cm ² /min]	/	7.67×10^{-5}

GP_KaJB_c46_z23_20180628_01

Abb. 11: Guelph-Messung c46_z23_20180628_01 (Quelle: Eigene Darstellung)



Druckhöhe 5cm: Steady State Rate = 0,6 cm/min



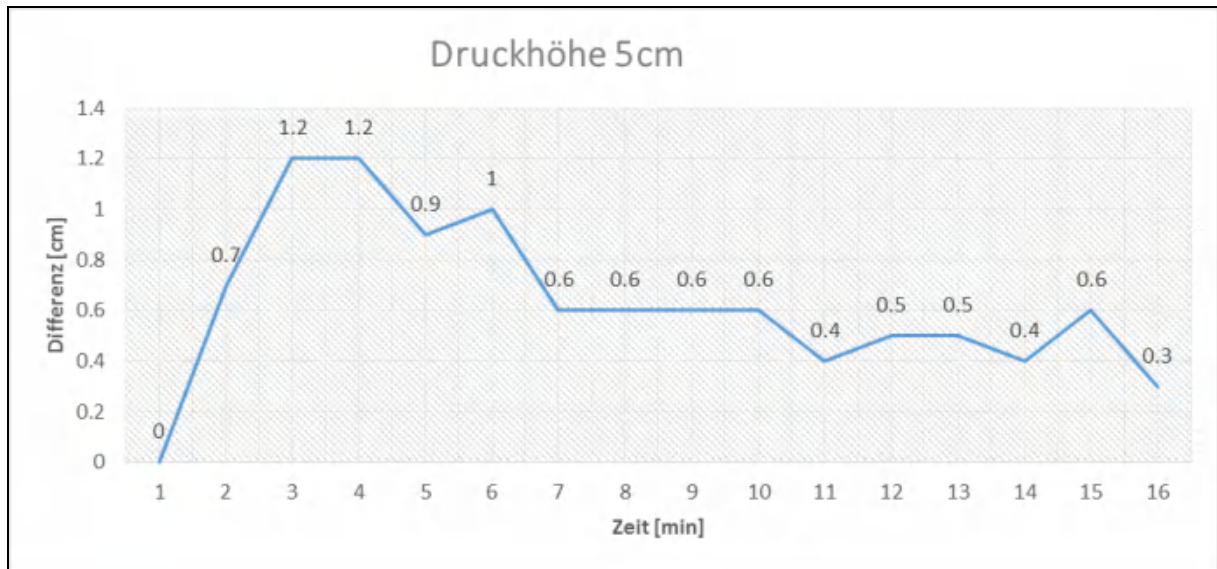
Druckhöhe 10cm: Steady State Rate = nicht möglich, da das Wasser durchgelaufen ist

Tab. 11: Guelph-Auswertung c46_z23_20180628_01

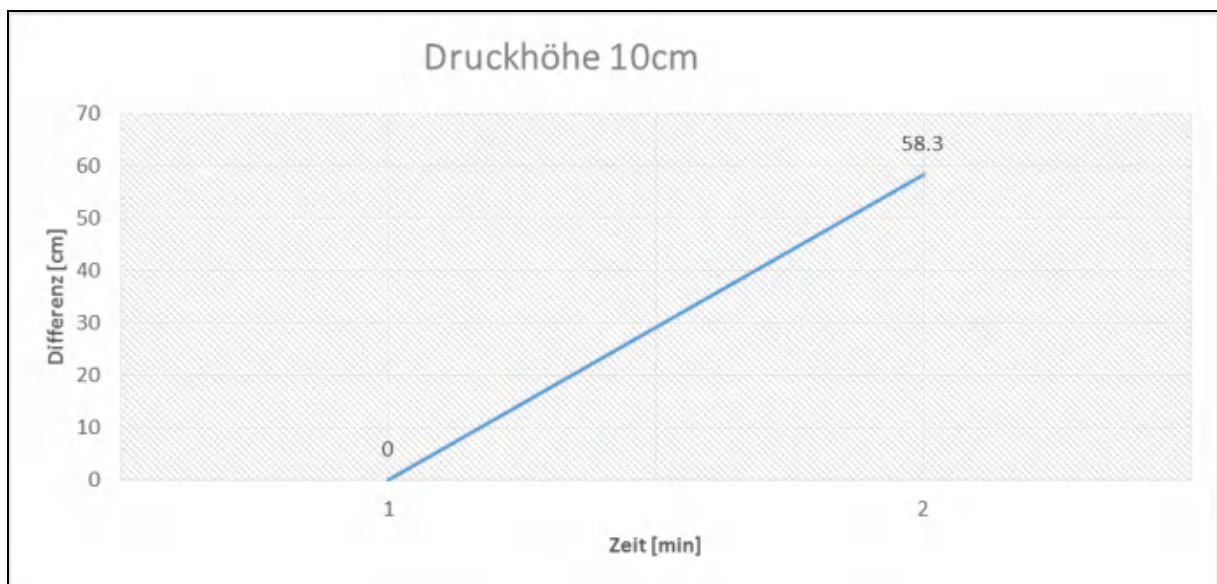
Druckhöhe	5cm	10cm
K_{fs} [cm/min]	$3,9 \times 10^{-3}$	/
K_{fs} [mm/h]	2.34	/
Φ_m [cm ² /min]	$1,8 \times 10^{-4}$	/

GP_KaJB_c46_z23_20180628_02

Abb. 12: Guelph-Messung c46_z23_20180628_02 (Quelle: Eigene Darstellung)



Druckhöhe 5cm: Steady State Rate = 0,6 cm/min



Druckhöhe 10cm: Steady State Rate = nicht möglich, da das Wasser durchgelaufen ist

Tab. 12: Guelph-Auswertung c46_z23_20180628_02

Druckhöhe	5cm	10cm
K_{fs} [cm/min]	3.90×10^{-3}	/
K_{fs} [mm/h]	$6,5 \times 10^{-6}$	/
Φ_m [cm ² /min]	1.80E-04	/

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichern wir, die vorliegende Arbeit selbstständig und unter ausschließlicher Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel erstellt zu haben.

Hinweis: Tabellen, die keine Quellen angeben, wurden selbst erstellt.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Franziska Beringhoff

Laura Hippchen

Odilie Jaschok

Nikolaos Kolaxidis

Marcel Scheuer

Norbert Schultes

Manuel Stoltz

Selina Walle

Trier, 31.03.2019

gez. i.V. Nikolaos Kolaxidis