



Erfassung von Erosionsprozessen in einem Maisbestand

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplomingenieur

eingereicht bei:

Institut für Bodenphysik und landeskulturelle Wasserwirtschaft

ao.Univ.Prof. DI Dr. Andreas Klik

von

Ing. Stefan Schuster, BSc – Matr.-Nr. 01040570

Wien, 05. September 2020





VORWORT

Der vorliegenden Arbeit vorangehend steht mein fachliches Interesse in den Bereichen der Wasserwirtschaft, Bodenphysik sowie Ackerbau. Um das Feld der kulturtechnischen Ausbildung möglichst breit zu fächern, fiel die Entscheidung auf den Fachbereich der landeskulturellen Wasserwirtschaft, nachdem die Bachelorarbeit im Bereich des Verkehrswesens angesiedelt war.

Folglich möchte ich mich für die große Unterstützung seitens des Betreuers ao.Univ.Prof. DI Dr. Andreas Klik, der Mitarbeiter Karl Haigner, Wisam Almohamed und DI Martina Faulhammer bedanken. Bei jeglichen Fragen, beim Aufbau im Feld und der Auswertung der Proben wurde mir mit Rat und Tat zur Seite gestanden.

Von der landwirtschaftlichen Fachschule Pyhra möchte ich Dipl.-HLFL Ing. Johannes Bartmann hervorheben und ihm für die Hilfe bei der Literaturrecherche danken.

Nicht zu vergessen bleibt die Hilfe für das Auslesen der Daten aus den „Flower Power®“-Geräten. Diese wurde mir von Gerhard Rab und Thomas Brunner, beide am Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt in Petzenkirchen tätig, angeboten.

Meine Freundin Alexandra sei besonders erwähnt, da sie mich immer und in jeder Lebenslage unterstützte und mir des Öfteren bei den Probenahmen geholfen hat.

Meiner gesamten Familie und vor allem meinem Papa möchte ich für ihre Geduld und ihre Unterstützung während meines Studiums danken.

Meiner Alma Mater, der Universität für Bodenkultur Wien und der Landwirtschaftlichen Fachschule Pyhra gebührt großer Dank für die Zurverfügungstellung der verwendeten Geräte, Computer sowie Programme in den EDV-Räumen und für das allzeit vorhandene Gefühl des Willkommenseins.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichwohl für beiderlei Geschlecht.

Ing. Stefan Schuster, BSc



EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch bei keinem anderen Prüfer als Prüfungsleistung eingereicht. Mir ist bekannt, dass Zuwiderhandeln geahndet wird („Verwendung unerlaubter Hilfsmittel“) und weitere rechtliche Schritte nach sich ziehen kann. Diese Arbeit wurde neben der gedruckten Version auch digital zur Prüfung der o.g. Erklärung bei dem zuständigen Prüfer hinterlegt.

Unterschrift Ing. Stefan Schuster, BSc



ABSTRACT DEUTSCH

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Untersuchung von Erosionsprozessen bei Mais im Gemeindegebiet der Marktgemeinde Pyhra in Niederösterreich auf Flächen der dort ansässigen Landwirtschaftlichen Fachschule.

Von Ende April 2019 bis Mitte Juni 2019 wurde der Aufbau der Erosionsplots auf den drei dafür vorgesehenen Ackerflächen durchgeführt. Es wurden drei unterschiedliche Bearbeitungsmethoden des Bodens untersucht: Konventionelle Bodenbearbeitung mit einem Pflug, Mulchsaat und Direktsaat. Die beiden letzten Methoden können zu den konservierenden Bodenbearbeitungsmethoden gezählt werden.

Von 28. Juni 2019 bis 13. September 2019 wurden im Wochenrhythmus, oder im Falle von sehr starken Niederschlägen im Anlassfall, Boden- und Wasserproben genommen, die Auffangrinne und Messgeräte gesäubert und anschließend im Labor am Institut analysiert.

Eine Analyse der Niederschläge lässt den Rückschluss zu, dass die stark erodierenden Niederschläge erst am Versuchsstandort stattfanden, als die Pflanzen schon einen guten Schutz für den darunter befindlichen Boden lieferten. Als der Boden noch nicht dicht bewachsen war, war der Aufbau der Messung aufgrund des Schlechtwetters noch nicht fertiggestellt.

Als wichtigste Beobachtung für die Bodenerosion lässt sich festhalten, dass die konventionelle Bearbeitungsmethode um ein Vielfaches mehr Boden erodiert als die Mulchsaat und die Direktsaat, welche auf einem ähnlichen Niveau liegen.

Die Erträge fallen im Beobachtungszeitraum bei der konventionellen Bearbeitung am besten aus. Dies lässt sich auch in Relation mit der Pflanzenbedeckung bestätigen. Ist die Variante mit mehr Pflanzen bedeckt gibt es höhere Erträge. Auf lange Sicht gesehen ist es jedoch wichtiger, den Boden zu schützen als die Erträge ohne Rücksicht auf Verluste des fruchtbaren Bodens zu optimieren.

Alle diese Ergebnisse decken sich mit den in der Theorie erarbeiteten Annahmen.

Keywords: Mais, Ackerbau, Bodenerosion, Bodenbearbeitung, Pflug, Mulchsaat, Direktsaat



ABSTRACT ENGLISH

This paper focuses on erosion processes in a corn field in the town of Pyhra in Lower Austria. The fields belong to the agricultural school in Pyhra.

In the beginning the three plots were built. Three different plots are equal to three different methods of ground working. These methods were: conventional working with a plow, mulch-till and zero-tillage. The last two methods are conservational ground working methods.

Samples were taken periodically with a one-week interval as well as depending on events from June 28th, 2019 to September 13th, 2019. After every visit to the plots they had to be cleaned and set up again for the next interval.

An analysis of the precipitation leads to the conclusion, that the strong rainfalls, that would erode much of the ground material appeared later in the observation period. This leads to hardly any erosion by very intense and powerful rainfalls, because the plant covers and the roots were strong enough to hold back erosion. When the plant cover was not sufficient, the setup at the site was not finished due to bad weather.

The main observation for ground erosion was, that conventional methods erode much more ground material than the mulch seeding and zero-tillage, which are about at the same level.

The crop yields on the other hand were lower for mulch seeding and especially zero-tillage. The yields come along with the observation of the vegetation cover, which means, that if there is more cover, more plants grow on this plot. In the long-term it is much more important to protect the soil against erosion than to optimize yields regardless of the loss of fertile soil.

All these results are consistent with the assumptions made in theory.

Keywords: corn, agriculture, ground erosion, ground working, plow, mulch till, zero-tillage



INHALT

Vorwort	I
Eidesstattliche Erklärung	II
Abstract Deutsch	III
Abstract English.....	IV
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	X
Abkürzungsverzeichnis.....	XI
1 Einleitung und Aufgabenstellung.....	1
1.1 Zielsetzung	2
1.2 Aufbau der Arbeit.....	3
2 Grundlagen	4
2.1 Begriffsdefinition – Boden.....	4
2.1.1 Funktionen des Bodens	5
2.1.2 Bodenerosion	7
2.1.3 Schutzmaßnahmen gegen Bodenerosion	13
2.1.4 Humus.....	14
2.2 Hydrologische Grundlagen	16
2.2.1 Wasserhaushalt	16
2.2.2 Niederschlag	16
2.2.3 Abfluss	17
2.2.4 Verdunstung.....	17
2.2.5 Bodenwasser	17
3 Ackerbau.....	19
3.1 Ackerbauliche Grundbegriffe	19
3.1.1 Bodenbearbeitung.....	19
3.1.2 Fruchtfolge	19
3.1.3 Bodenverdichtung im Pflanzenbau.....	21
3.1.4 Körnermais.....	23
3.1.5 Schädlinge	23
3.2 Systeme der Bodenbearbeitung	25
3.2.1 Konventionelle Bodenbearbeitung	25



3.2.2	Konservierende Bodenbearbeitung - Mulchsaat	26
3.2.3	Konservierende Bodenbearbeitung – Direktsaat.....	27
3.2.4	Vorteile der konservierenden Bodenbearbeitung	29
3.2.5	Nachteile der konservierenden Bodenbearbeitung	31
3.3	Ernte.....	34
3.4	Vergleiche der Bearbeitungsmethoden auf Dauerbeobachtungsflächen.....	34
4	Material und Methoden	36
4.1	Lage des Versuchsstandortes	36
4.2	Beschreibung des Versuchsstandortes	37
4.2.1	Bodenkundliche Grundlagen	37
4.2.2	Langjährige Reihe der Niederschläge	38
4.2.3	Temperaturdaten für Pyhra	39
4.3	Landwirtschaftliche Ausgangslage	40
4.4	Hydrologische Ausgangslage	41
4.5	Lage des Versuchsstandortes	42
4.6	Ablauf der Feldarbeiten	43
4.7	„Flower Power®“ Sensoren	46
4.8	Rain Intensity Summarization Tool (RIST)	48
5	Ergebnis und Diskussion.....	50
5.1	Analyse der Niederschläge.....	50
5.2	Bodenabtrag und Oberflächenabfluss	53
5.3	Bodenphysikalische und Wasseruntersuchungen	55
5.4	Kornverteilungskurve des Sediments	57
5.5	Auswertung „Flower Power®“	58
5.5.1	Sonneneinstrahlung	60
5.5.2	Bodenwassergehalt.....	63
5.5.3	Lufttemperatur	64
5.5.4	Düngerlevel	68
5.6	Erträge der Anbauvarianten	70
5.7	Diskussion	72
6	Zusammenfassung	73
7	Conclusion and Results	75
8	Literaturverzeichnis	77
	Anhang	79



ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2.1: 4 Phasen des Erosionsprozesses, Quelle: Derpsch, Roth et al., 1991	10
Abbildung 3.1: Überblick der Bodenbearbeitungssysteme, Quelle: Kreitmayer und Demmel (2014, S. 108)	19
Abbildung 3.2: Relativerträge und relative N-Zufuhr Dauerbeobachtungsfläche Oberacker, Zollikofen Quelle: Sturny, Chervet et al., 2007, S. 355)	35
Abbildung 4.1: Übersichtslageplan, Quelle: basemap.at	36
Abbildung 4.2: Veranschaulichung der Bodenhorizonte, Quelle: „bodenkarte.at“	37
Abbildung 4.3: Übersichtskarte mit den Erosionsplots und der Profilmessstelle Quelle: Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (2019)	38
Abbildung 4.4: Jahresniederschläge in Pyhra 1971-2015 Quelle: Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (2016)	39
Abbildung 4.5: Tagesmittel der Lufttemperatur, Quelle: Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (2016)	40
Abbildung 4.6: Niederschlagsmesswerte der Messstation der LFS Pyhra ab 1. April 2019	42
Abbildung 4.7: Aufbau des Versuchsstandortes mit Plot, Auffangrinne, Ableitung und Messhütte Aufnahme vom 6. Mai 2019, Pyhra	43
Abbildung 4.8: Das Eingraben der Auffangrinne von Plot 1 Aufnahme vom 25. April 2019, Pyhra	44
Abbildung 4.9: Prinzipskizze des Aufbaus der Messstelle	46
Abbildung 4.10: "Flower Power®"-Gerät zur Messung der Sonneneinstrahlung an Messhütte MS Aufnahme vom 5.Juli 2019, Pyhra	47
Abbildung 4.11: „Flower Power®“-Gerät in einem der Messplots, Aufnahme vom 5. Juli 2019, Pyhra	48
Abbildung 4.12: RIST-Oberfläche Input, Quelle: RIST 3.99	49
Abbildung 4.13: RIST-Oberfläche Output RUSLE, Quelle: RIST 3.99	49
Abbildung 5.1: Niederschlagswerte Hobo®-Niederschlagsmessgerät.....	50



Abbildung 5.2 Niederschlagsintensitäten 30 Minuten	51
Abbildung 5.3: Energie der Niederschlagsereignisse	52
Abbildung 5.4: Bodenerosivitätsfaktor der Niederschlagsereignisse	52
Abbildung 5.5: Summe des Bodenabtrags der Varianten am Versuchsstandort Pyhra [t/ha]	54
Abbildung 5.6: Niederschlag [mm] und daraus resultierender Bodenabtrag [t/ha]....	54
Abbildung 5.7: Stickstoffaustrag der untersuchten Varianten am Versuchsstandort Pyhra in kg/ha.....	55
Abbildung 5.8: Phosphorausstrag der untersuchten Varianten am Versuchsstandort Pyhra in kg/ha.....	56
Abbildung 5.9: Org. Kohlenstoffaustrag der untersuchten Varianten am Versuchsstandort Pyhra in kg/ha.....	56
Abbildung 5.10: Kornverteilungskurve der untersuchten Varianten am Versuchsstandort Pyhra	57
Abbildung 5.11: Bodenartendreieck mit den Ergebnissen der untersuchten Varianten	58
Abbildung 5.12: Lage der Flower-Power® Sensoren in den Plots der drei Bearbeitungsvarianten.....	59
Abbildung 5.13: Lage des Flower-Power® Sensors an der Messhütte MS	59
Abbildung 5.14: Maximal-, Durchschnitts- und Minimalwerte der Sonneneinstrahlung	61
Abbildung 5.15: Tagesmittelwerte der Sonneneinstrahlung	61
Abbildung 5.16: Tagesmittelwerte der Sonneneinstrahlung von 6:00 - 19:00 Uhr....	62
Abbildung 5.17: Tagesmittelwerte der Sonneneinstrahlung von 6:00 - 19:00 Uhr für Variante KS, MS und DS	62
Abbildung 5.18: Darstellung von Niederschlag und Bodenwassergehalt.....	63
Abbildung 5.19: Maximal-, Durchschnitts- und Minimalwerte der Bodenwassergehalt	64
Abbildung 5.20: Maximal-, Durchschnitts- und Minimalwerte der Lufttemperatur	65



Abbildung 5.21: Tagesmittelwerte der Lufttemperatur	66
Abbildung 5.22: Tagesmittelwerte der Lufttemperatur von 6:00 - 19:00 Uhr	66
Abbildung 5.23: Vergleich der Lufttemperaturen an Messhütte MS und der Messstation der LFS Pyhra	67
Abbildung 5.24: Vergleich der Ganglinien der Lufttemperaturen an Messhütte MS und der Messstation der LFS Pyhra	68
Abbildung 5.25: Maximum-, Durchschnitts- und Minimumwerte des Düngerlevels ..	69
Abbildung 5.26: Tagesmittelwerte des Düngerlevels.....	69



TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2.1: Erosions-Risiken, Quelle: Müller, Kreitmayer et al. (2014, S. 80)	11
Tabelle 2.2: Beziehung zwischen Porengröße und Bodenwasser- sowie -lufthaushalt, Quelle: Rippel, Brandhuber et al. (2014, S. 52)	18
Tabelle 4.1: Übersicht über alle Anbauvarianten an der LFS Pyhra 2019, Quelle: Bartmann (2019).....	40
Tabelle 5.1: Jahr, Anbau und Ertrag LFS Pyhra, Quelle: eigene Darstellung nach Bartmann (2019).....	71



ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BAW	Bundesamt für Wasserwirtschaft
cm	Zentimeter
C _{org}	organischer Kohlenstoff
DS	Konservierende Bodenbearbeitung mit Direktsaat
EU	Europäische Union
h _N	Niederschlagshöhe in mm
h _A	Abflusshöhe in mm
h _V	Verdunstungshöhe in mm
h _R	Rücklage in mm
h _B	Aufbrauch in mm
kg/ha	Kilogramm pro Hektar
KS	Konventionelle Bodenbearbeitung mit Pflug (konventionelle Saat)
LFS	Landwirtschaftliche Fachschule
l/s	Liter pro Sekunde
m ³ /s	Kubikmeter pro Sekunde
MJ/ha	Megajoule pro Hektar
MJ*mm/ha*h	Megajoule*Millimeter pro Hektar*Stunde (Einheit R-Faktor)
mm/h	Millimeter pro Stunde
MS	Konservierende Bodenbearbeitung mit Mulchsaat
nFK	nutzbare Feldkapazität
NÖ	Niederösterreich
N _{org}	organischer Stickstoff
t/ha	Tonnen pro Hektar
Q	Abfluss
USA	Vereinigte Staaten von Amerika



1 EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG

Fruchtbarer Boden ist eines der wichtigsten Güter auf dieser Welt, die es zu erhalten gilt. Unsere Nahrung wächst im und auf dem Boden und er gibt den Menschen Lebensraum. Daher sollte besonders in der Landwirtschaft bei exponierten Flächen darauf geachtet werden, dass der Boden geschützt wird.

Auf Flächen der LFS Pyhra im Bezirk St. Pölten-Land, NÖ, wurden zur Analyse der Bodenerosion bei unterschiedlichen Anbaumethoden ab 24. April 2019 drei Erosionsplots errichtet.

In diesem Feldversuch mit je 60 m² großen Plots wird der Bodenabtrag bei Mais mit unterschiedlicher Bodenbearbeitung gemessen. Weiters wurden bodenphysikalische Untersuchungen sowie Untersuchungen des Wassers des abgetragenen Bodens vorgenommen.

Die drei Varianten, welche analysiert wurden, sind:

- Konventionelle Bodenbearbeitung mit Pflug, Saatbettbereitung und ohne Begrünung
- Konservierende Bodenbearbeitung: Mulchsaat mit Kreiselegge und Sämaschine in abgefrostete oder totgespritzte Gründecke (Winterbegrünung 20 kg/ha)
- Minimalbodenbearbeitung: pfluglos, nur seichte Bearbeitung, Direktsaat in abgefrostete oder totgespritzte Gründecke (Winterbegrünung 10 kg/ha)

In der LFS Pyhra werden auch noch fünf andere Varianten der Bodenbearbeitung angewandt. Diese werden von 1 bis 8 durchnummeriert. In dieser Arbeit wird die Nummerierung der einzelnen Bearbeitungsmöglichkeiten von der LFS Pyhra übernommen. Daraus ergibt sich aus Gründen der besseren Übersicht und Vergleichsmöglichkeiten für

- Konventionelle Saat: Variante Nummer 1, im Folgenden KS
- Mulchsaat: Variante Nummer 5, im Folgenden MS
- Direktsaat: Variante Nummer 6, im Folgenden DS

Die Probenahmen erfolgen im Zeitraum zwischen 28. Juni 2019 und 13. September 2019 ereignisbezogen, aber zumindest wöchentlich. Ereignisbezogen bedeutet, dass



im Falle eines starken Niederschlags außerhalb des wöchentlichen Intervalls Proben genommen werden. Die genommenen Wasser- und Bodenproben werden im Labor am Institut für Bodenphysik und landeskulturelle Wasserwirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien auf verschiedene physikalische und chemische Parameter analysiert.

In jedem Plot werden „Flower Power®“-Geräte installiert. Diese messen die Lufttemperatur, die Sonneneinstrahlung, den Düngerlevel und den Bodenwassergehalt. Sie ergänzen die Auswertung der bereits etablierten Methoden.

1.1 ZIELSETZUNG

Das Ergebnis dieser Arbeit soll einen Vergleich der Auswirkungen der Bodenbearbeitung der unterschiedlichen Anbauarten auf die Erosion am selben Standort bei gleichen klimatologischen Verhältnissen ermöglichen.

Als Hauptziel wird der Vergleich der Bodenerosion der drei Bodenbearbeitungsvarianten definiert. Wie schneiden die einzelnen Bearbeitungsmethoden unter gleichen Bedingungen ab?

Weiters lassen sich aus den erodierten Bodenproben Erkenntnisse über die unterschiedlichen Nährstoffanteile in den Böden gewinnen. Die gesammelten Wasserproben runden das Gesamtbild über die chemischen Parameter, wie Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor ab.

Die Niederschlagsmessung ist ein wichtiges Element zur Bestimmung des Bodenabtrags und des Oberflächenabflusses. Die verschiedenen möglichen Niederschläge haben unterschiedliche Energien und Intensitäten und kein Niederschlagsereignis gleicht dem anderen, weswegen auch eine genaue Analyse der Niederschläge für den Bodenabtrag von sehr hoher Bedeutung ist.

Weiters ermöglichen die „Flower Power®“-Sensoren mit ihren Aufzeichnungen der Sonneneinstrahlung einen Vergleich der Bedeckung des Bodens durch den Pflanzenbestand. Unter einer dichteren Decke ist die Sonneneinstrahlung geringer. Als Referenz wurde an einer der Messhütten ein weiteres Gerät installiert.



1.2 AUFBAU DER ARBEIT

Die Arbeit lässt sich grob in vier Bereiche unterteilen. Den ersten Teil bilden das Vorwort, die eidesstattliche Erklärung, die Abstracts in Deutsch und Englisch sowie das Inhalts-, Abbildungs-, Tabellen- und Abkürzungsverzeichnis.

Im zweiten Teil wird auf die Aufgabenstellung und die Theorie hinter den Bearbeitungsmethoden eingegangen. Beginnend mit Kapitel 1 wird die genaue Aufgabenstellung und Zielsetzung sowie der Aufbau beschrieben. In Kapitel 2 werden die Grundlagen sowie Begriffe, die im Zusammenhang mit dem Thema Boden stehen, erarbeitet. Kapitel 3 wiederum behandelt die verschiedenen Systeme der Bodenbearbeitung sowie Grundlagen des Ackerbaus.

Der dritte Teil der vorliegenden Arbeit beginnt in Kapitel 4 mit der Erörterung des verwendeten Materials und der angewandten Methoden. Darin sind die Lage des Versuchsstandortes, der Aufbau der drei Plots und der Ablauf der Feldarbeiten dokumentiert. Kapitel 5 gibt die Ergebnisse der Auswertungen des Labors wieder. Es werden die chemischen und physikalischen Parameter der drei Bearbeitungsmethoden in Diagrammen verglichen. Weiters erfolgt die Auswertung der installierten „Flower Power®“-Sensoren. In den Unterkapiteln wird auf die jeweilig aufgenommenen Messwerte eingegangen und es wird versucht wissenschaftlich wertvolle Information aus den Messwerten abzuleiten.

Im vierten und letzten Abschnitt werden die Ergebnisse diskutiert sowie noch einmal zusammengefasst. Kapitel 6 fasst die wichtigsten Erkenntnisse der Arbeit zusammen. Kapitel 7 stellt abschließend die Zusammenfassung der Ergebnisse auf Englisch dar.

Im Anhang werden die Messprotokolle vom Feld sowie die einzelnen Tabellen der Excel-Auswertung der in Kapitel 5 ausgewerteten Diagramme angefügt.



2 GRUNDLAGEN

2.1 BEGRIFFSDEFINITION – BODEN

Boden ist die Basis für Leben. Er ist die Lebensgrundlage für Pflanzen und, direkt oder indirekt für Tiere und Menschen (Brunotte und Sommer, 2014).

Boden und Bodenschutz sind in Österreich rechtlich gesehen auf Landesebene angeordnet. Das bedeutet, dass es kein bundesweites Bodenschutzgesetz gibt und die Länder in der Verantwortung stehen. In dieser Arbeit wird der rechtliche Rahmen aufgrund des Standortes der Probenahmen und des Wohnortes des Autors mit dem NÖ Bodenschutzgesetz abgesteckt.

Die Ziele des NÖ Bodenschutzgesetzes laut §1 sind die nachhaltige Bodenfruchtbarkeit und die Bodengesundheit aller Böden, die nicht unter das Forstgesetz fallen, zu erhalten oder zu verbessern. Die Ziele sollen vor allem durch den Schutz vor Schadstoffbelastungen und durch eine Verhinderung von Bodenerosion und Bodenverdichtung erreicht werden (§1 Absatz 1, NÖ BSG, Land Niederösterreich, 2014).

Es gibt mehrere Bedrohungen für den Boden. Eine davon stellt die Erosion des Bodens durch Wind und Wasser dar. Aus dieser Erosion kann sich im weiteren Verlauf der Verlust von organischem Material ergeben, da die oberste Bodenschicht die meisten Organismen und Bodenlebewesen enthält (Klik, 2015a, S. 4).

Ein weiteres Risiko für den Boden stellt die Bodenkontamination dar. Eine Verseuchung des Bodens stellt einen schweren Mangel dar und macht ihn für Ackerbau, Tierproduktion, Siedlungen oder Infrastruktur unbenutzbar. Es können auch hohe Kosten bei der Entsorgung und Deponierung entstehen (Klik, 2015a, S. 4).

Die Versiegelung eines Bodens geschieht durch aktive Baumaßnahmen. Ein Negativbeispiel sind in diesem Zusammenhang riesige Parkplätze vor Einkaufszentren (Klik, 2015a, S. 4).

Wird der Boden bei der Bearbeitung zu stark verdichtet, kann das Wasser nicht mehr in den Bodenkörper infiltrieren und läuft oberflächlich ab (Klik, 2015a, S. 4).



Ein ebenfalls großes Problem können Überschwemmungen und Rutschungen für den Boden bedeuten (Klik, 2015a, S. 4).

2.1.1 Funktionen des Bodens

Der Boden hat natürliche Funktionen, Archivfunktionen sowie Nutzungsfunktionen zu erfüllen (Hauffe, 2015, S. 14).

NATÜRLICHE BODENFUNKTIONEN

Die natürlichen Funktionen stellen den Hauptgrund dar, warum Boden schützenswert ist. Zu den Funktionen zählen die Lebensgrundlage und der Lebensraum, Bestandteil des Naturhaushaltes und als Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium (Hauffe, 2015, S. 14).

Boden ist eine der wesentlichsten Komponenten von Ökosystemen und selbst **Lebensraum** für Organismen. Sollte der Boden nicht vorhanden sein, ist Bewuchs nur durch Pflanzen wie Moos oder Flechten möglich. Die Bodendecke muss eine gewisse Stärke aufweisen, um Hohlräume und Wurzelsysteme auszubilden damit Wasser und Nährstoffe aufgenommen werden können (Hauffe, 2015, S. 14).

Ohne die natürliche Bodenfruchtbarkeit als Basis für Land- und Forstwirtschaft wäre der Mensch nicht überlebensfähig (Hauffe, 2015, S. 15).

Die Funktion des Bodens als **Bestandteil des Naturhaushalts, von Wasser- und Nährstoffkreisläufen:**

Die Größe der Hohlräume im Boden variiert stark. Diese Hohlräume werden auch Poren genannt. Ein wichtiges Merkmal der Poren ist, dass die kleinsten Poren ständig gesättigt, also mit Wasser gefüllt, sind. Feine und mittlere Poren sind hingegen nur temporär und die Grobporen nur nach Extremwetterereignissen mit Wasser gefüllt. Der Wasserkreislauf besteht aus Niederschlag, Abfluss und Verdunstung. Zum Abfluss kann auch die Versickerung im Boden gezählt werden. Für Nährstoffkreisläufe sind die Bodenlebewesen von äußerster Wichtigkeit, denn sie wandeln abgestorbenes organisches Material um und machen es wieder nutzbar (Hauffe, 2015, S. 15).

Die wieder nutzbar gemachten Substanzen können für den **Aufbau** von neuen Medien verwendet werden. Aus ihnen kann Humus entstehen, der den fruchtbarsten Boden



darstellt. Der Boden kann als Filter agieren und reinigt das Wasser und ersetzt in seiner Funktion eine Trinkwasseraufbereitungsanlage (Hauffe, 2015, S. 15).

Der Boden stellt einen **Speicherraum** für Wasser, gelöste organische und anorganische Materialien dar (Klik, 2015b, S. 2).

Die Körnung, auch Textur genannt, eines Bodens gibt Aufschluss über die Filtereigenschaften. Bevorzugt wird ein nicht zu stark verdichteter Boden, denn das ergibt einen stabilen, porösen **Filterkörper** (Hauffe, 2015, S. 16).

Im Zusammenhang mit dem Bodengefüge steht auch die **Pufferfunktion**. Die Pufferung eines Bodens bestimmt die Resistenz gegen eine Änderung des pH-Wertes. Diese Funktion ist von großer Wichtigkeit, da Pflanzen und Bodenlebewesen auf Änderungen des pH-Wertes sehr sensibel reagieren (Rippel, Brandhuber et al., 2014, S. 60).

Die beschriebenen natürlichen Bodenfunktionen überschneiden sich stark, da sie alle in gewisser Weise voneinander abhängig sind (Hauffe, 2015, S. 14).

ARCHIVFUNKTIONEN

Die Formation der Bodenschichten lässt sich in einem Bodenarchiv festhalten (Hauffe, 2015, S. 17).

Als Archiv der Naturgeschichte können Böden bezeichnet werden, die in Hängen die Tendenz aufweisen Richtung Tal zu wandern. Diese Böden können in der Landwirtschaft nur als Wiese oder Weide genutzt werden (Hauffe, 2015, S. 17).

Neben der Naturgeschichte können die Böden auch Zeugen der Kulturgeschichte sein. Seit Jahrtausenden haben die Menschen Boden für vielfältige Bestimmungen verwendet. Früher waren es Schutzwälle, um sich vor Gegnern abzusichern, heute sind es Wälle und Deiche, um sich vor Umweltgefahren zu schützen. Auf Äckern lässt sich die Kulturgeschichte an deren Wölbung ablesen. Starre Pfluggeräte hatten einen Abtrag des Bodens zur Mitte der Parzelle zur Folge und so entstand über Jahrzehnte hinweg der gewölbte Acker (Hauffe, 2015, S. 17f).

NUTZUNGSFUNKTIONEN

Der Wert von Boden ist für die Menschheit beinahe unermesslich und universal (Hauffe, 2015, S. 18).



Alle Nutzungsfunktionen stören die zuvor erwähnten natürlichen Bodenfunktionen und Archivfunktionen in gewisser Weise (Hauffe, 2015, S. 18).

Das **Wohnen** gehört zu den Daseinsgrundfunktionen der Menschen. Zum Wohnen gehören die nötige Infrastruktur und die Möglichkeit einer Arbeit nachzugehen. Des Weiteren zählen Naherholungsgebiete zu den gewünschten Angeboten rund um Siedlungen (Hauffe, 2015, S. 18).

Der Boden dient auch als **Quelle für Ressourcen** im Baubereich. Für Gebäude, Straßen und andere Bautätigkeiten werden Rohstoffe aus der obersten Schicht der Erdkruste entnommen (Hauffe, 2015, S. 18).

Für die **Land- und Forstwirtschaft** sind fruchtbare Böden wichtig. Aufgrund Versiegelung durch Wohn- und Verkehrsflächen wird die landwirtschaftlich genutzte Fläche jährlich kleiner (Hauffe, 2015, S. 19).

Unter **sonstige Nutzung** fallen Flächen für Böden, die oft dem überregionalen Verkehrsbereich zugeordnet werden können. Genauso werden auch Flächen für Ver- und Entsorgung benötigt (Hauffe, 2015, S. 19).

2.1.2 Bodenerosion

Der wichtigste Begriff dieser Arbeit ist die **Bodenerosion**.

Laut Müller, Kreitmayer et al. (2014, S. 78) ist die Bodenerosion definiert als „*Abtrag und Umlagerung von Boden vor allem durch Wasser oder Wind*“.

Für Brunotte und Sommer (2014, S. 144) ist die Bodenerosion aufgrund von Standort (Hangneigung und -länge) und Klima (Eintrittswahrscheinlichkeit erosiver Niederschläge) verantwortlich für die Erosionsgefährdung von Böden. Weiters hängt die Bodenerosion direkt und indirekt von der Bodenbearbeitung ab.

In einem Land wie Österreich ist die **Wassererosion** stärker ausgeprägt als die **Winderosion**, die eher in Küstenregionen und Tiefebene zu beobachten ist. Anthropogen wird eine **Erosion durch Bearbeitung** erzeugt (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 79f).

Vor allem ungeschützter Boden oder frisch bearbeiteter Boden ist gefährdet, erodiert zu werden. Eine Bedeckung mit Pflanzen kann den Boden vor Schaden gegenüber Regentropfen oder Wind bewahren. Bei starker Zerkleinerung läuft der Verbund im



Boden Gefahr bei verhältnismäßig kleinen Belastungen Partikel zu verlieren. Umso länger die Strecke für den Oberflächenabfluss und die Kraft des Windes ist, desto höher ist deren abtragende Kraft (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 78).

Als Abhilfe können vorsorgend Reststoffe an der Oberfläche belassen werden, indem Ernterückstände liegen gelassen werden. Auch die Bestellung von Zwischenfrüchten kann Abhilfe schaffen (Brunotte und Sommer, 2014, S. 145).

Die Erosion gilt als eine natürliche Vorgangsweise, die durch die Natur oder vom Menschen beeinflussten Faktoren gesteuert wird (Klik, 2015a, S. 14).

Überblick über die verschiedenen Faktoren:

Es sind **klimatische und hydrologische Faktoren** zu beachten. Für die Erosion sind die Niederschlagshöhe und deren Intensität, der daraus resultierende Oberflächenabfluss und der entstehende Bodenwassergehalt wesentlich (Klik, 2015a, S. 14).

Die Länge eines Hanges sowie dessen Neigung und Form bestimmen ebenfalls über die erodierte Menge des Bodens. Diese Eigenschaften werden in den **morphologischen Faktoren** zusammengefasst (Klik, 2015a, S. 14).

Geologisch und bodenkundlich interessant sind die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Bodens. Weiters zählen zu dieser Kategorie die Textur und Struktur, die der Ackerboden aufweist und der Gehalt an organischer Substanz. Dieser Gehalt ist auch abhängig von der Stabilität im Boden und dem Wasserdurchlässigkeitsbeiwert (Klik, 2015a, S. 14).

Um nun einen Schutz vor Erosion zu bieten, können **vegetationsbedingte Faktoren** einen Einblick geben. Der Abbau der kinetischen Energie eines aufprallenden Regentropfens kann durch eine Pflanzendecke stark gemindert werden. Das System der Wurzeln beeinflusst dabei die Infiltration und erhöht deren Kapazität (Klik, 2015a, S. 14).

Der Bereich der **Bewirtschaftung** wirkt sich auch stark auf die Erosion aus. Die Art der Nutzung eines Feldes und dessen Lage entscheiden über die passenden Erosionsschutzmaßnahmen, die zu ergreifen sind (Klik, 2015a, S. 14).



UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION (USLE)

Formel 2.1: Universal Soil Loss Equation (Wischmeier und Smith, 1978)

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Die einzelnen Terme der USLE (Klik, 2015b, S. 71ff):

A: Mehrjähriger mittlerer jährlicher Bodenabtrag $\left[\frac{t}{ha*a}\right]$

R-Faktor $\left[\frac{kJ*mm}{ha*h}\right]$ – Regen- und Oberflächenabflussfaktor: Er gilt als Maßstab für die gebietseigene Erosivität der Niederschläge und hängt von der kinetischen Energie des Niederschlages sowie der maximalen 30-minütigen Intensität ab. Dadurch steht er in einer Wechselbeziehung mit der Niederschlagsintensität.

K-Faktor $\left[\frac{t}{ha*R}\right]$ – Bodenerodierbarkeitsfaktor: Dieser Faktor definiert den Widerstand des Bodens gegen die auftretenden erosiven Kräfte. Er wird über die Bodeneigenschaften definiert.

L-Faktor und S-Faktor – Hanglängen- und Hangneigungsfaktor: Diese beiden Faktoren werden gerne zusammengenommen zum LS-Faktor, da sie sehr stark voneinander abhängen.

C-Faktor – Bedeckungs- u. Bearbeitungsfaktor: Eine Bedeckung des Bodens sowie der Zustand des Oberbodens prägen die Sensitivität zur Erosion eines Bodens zu jeder Zeit während des Kulturanbaus.

P-Faktor – Erosionsschutzfaktor: Eine Berücksichtigung bereits getroffener erosionsmindernder Arbeiten.

Die Faktoren **R**, **K** und **S** vermitteln eine Vorstellung über das am Standort herrschende Erosionsrisiko. Die Bedrohung durch eine bewirtschaftend hervorgerufene Erosion wird durch die Faktoren **L**, **C** und **P** abgebildet (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 83).

WASSEREROSION

Starkregenereignisse mit bis zu 100 mm/h treffen den Boden mit bis zu doppeltem Tropfendurchmesser, 1,5-facher Geschwindigkeit und dem 100-fachen an kinetischer Fallenergie verglichen mit normalen Regenereignissen mit 4 mm/h (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 79).

Haben Regentropfen die Bodenoberfläche zerschlagen oder durch Verschlämmung versiegelt, ist das Infiltrieren in den Boden beeinträchtigt und es kommt zu Oberflächenabfluss. In Rillen und Rinnen wird die erodierende Kraft mit der Fließstrecke größer, weshalb größere Bodenpartikel mitgerissen werden. Mit



Abbildung 2.1 lässt sich der Bodenerosionsprozess einfach beschreiben. In (A) trifft der Regentropfen auf den Boden auf, in (B) wird die Oberfläche zerschlagen. (C) zeigt dann den leicht versiegelten Boden, der in (D) nicht mehr infiltriert werden kann und das Wasser muss oberflächlich abfließen (Brunotte und Sommer, 2014, S. 145).

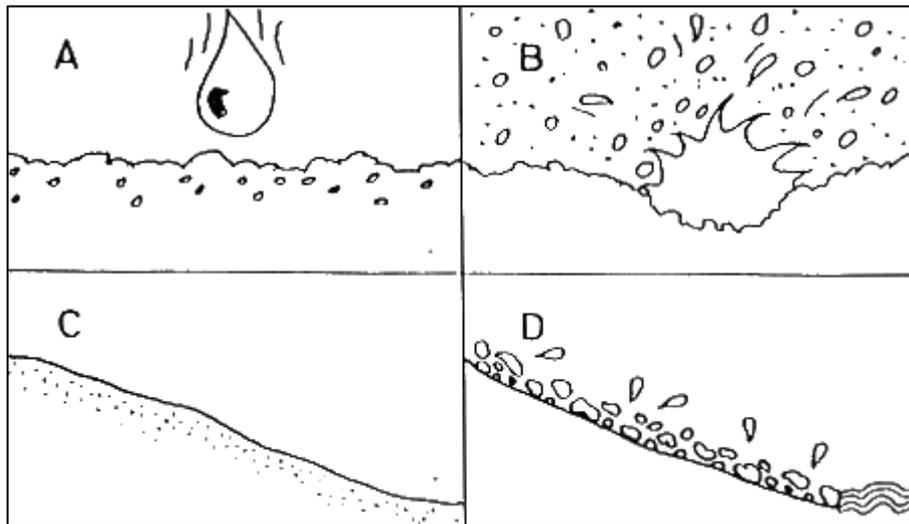


Abbildung 2.1: 4 Phasen des Erosionsprozesses, Quelle: Derpsch, Roth et al., 1991

Das oberflächlich abfließende Wasser kommt in Rinnen zusammen und daraus ergibt sich mit längerer Wegstrecke eine höhere Erosionskraft, die im späteren Verlauf auch größere Bodenteilchen abträgt. Die Hangneigung beeinflusst den Erosionsprozess aus Abbildung 2.1 ebenfalls mit – mit der Größe des Gefälles verringert sich die notwendige Länge (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 79).

Für lange Hänge genügen schon ca. 3 % Gefälle, um bei geeigneten Regenfällen und zu geringer Bedeckung des Bodens spürbare Schäden zu hinterlassen. Von der Wassererosion werden hauptsächlich schluffige und feinsandige Böden erfasst, da sie gegensätzlich zu Tonböden einen geringen inneren Verbund aufweisen (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 79).

Der Prozess der Wassererosion kann kleine Rillen zurücklassen oder in Ausnahmefällen Gräben mit bis zu 1 m Tiefe (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 79).

WINDEROSION

Von Winderosion sind besonders freie, exponierte Lagen in flachen Gebieten betroffen („Saltation“). Sollte der Bewuchs mit Pflanzen fehlen ist es für die Windkräfte leichter Bodenteilchen auszulösen. Bei Windgeschwindigkeiten ab 4 – 6 m/s (gemessen in 30 cm Höhe) kann der Prozess einsetzen (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 79).



Sind Bodenkörner einmal losgelöst, bewegen sie sich über die Oberfläche und bewirken durch Zusammenstöße noch mehr losgelöste Körner, die nun vom Wind angegriffen werden können. Die Zahl der in Bewegung befindlichen Bodenteilchen steigt exponentiell an (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 79).

Die Böden, die zum größten Teil durch Winderosion abgetragen werden, sind abgetrocknete Sandböden und trockene, puffige Moorböden (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 80).

Tabelle 2.1 liefert eine Übersicht über die Erosionsrisiken bei Wasser- und Winderosion.

Tabelle 2.1: Erosions-Risiken, Quelle: Müller, Kreitmayer et al. (2014, S. 80)

Einflussfaktor	Hohes Risiko für	
	Wassererosion	Winderosion
Bewuchs	Unbedeckter Boden im Frühjahr und Sommer (→ Starkregen)	Unbedeckter Boden im Frühjahr und Herbst (→ Stürme)
Relief	Lange, steile Hänge ohne Terrassierung, vorgegebene Abflussrinnen	Stark dem Wind ausgesetzte Lagen
Bodenart	Hoher Schluff- und Feinsandanteil (Lössboden)	Moorböden, mittel- und feinsandreiche Böden
Bodenstruktur	Verdichtete und verkrustete Böden (→ Oberflächenabfluss), stark gelockerte und fein bearbeitete Böden (→ geringer Erosionswiderstand)	Frostgare Böden, zu fein bearbeitete Böden, trockene Böden, „puffige“ Moorböden
Witterung	Starkregen, Dauerregen, Regen auf gefrorenen Boden	Herbst- und Frühjahrsstürme
Bewirtschaftung	In Hangrichtung bestellte Felder, einheitlich bestellte Gewanne bzw. Feldblöcke	Große, einheitlich bestellte Felder in Fluren ohne Windhindernisse



BEARBEITUNGSEROSION

Die Bearbeitungserosion kommt in Hanglagen zum Vorschein. Die Ursache für Bearbeitungserosion ist die Bodenverlagerung durch Bodenbearbeitungsgeräte (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 80).

Durch die Bodenbearbeitung kommt es bei jedem Anheben des Bearbeitungswerkzeuges zu einer geringen Verlagerung des Bodenmaterials bergabwärts (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 80).

Das Auftreten der Bearbeitungserosion liefert eine Erklärung, warum Felder an der oberen Grenze eine starke Erosion aufweisen, obwohl dort beinahe kein Wasser für die Erosion sorgen kann. Im Gegensatz zu den beiden anderen Erosionstypen verursacht die Bearbeitungserosion nur innerhalb der landwirtschaftlichen Nutzfläche Schäden (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 80).

AUSWIRKUNGEN DER BODENEROSION – ON SITE

Vor Ort sind die Effekte der Bodenerosion durch einen Verlust des fruchtbaren Oberbodens (Mutterboden) zu spüren. Der Abtrag des Mutterbodens bewirkt eine geringere Wurzeltiefe. Dadurch, dass dieser Prozess irreversibel ist, ist dieser fruchtbare Boden verloren. Mit dem Verlust des Oberbodens geht auch der Verlust an Nährstoffen, organischer Bodensubstanz und der Fruchtbarkeit des Bodens einher (Klik, 2015a, S. 12).

Bei zu feiner Bodenbearbeitung und nach Starkregenereignissen kann es zu Verschlämmungen kommen. Diese bewirken Verkrustungen oder eine Oberflächenverdichtung und die Pflanzen können nicht austreiben. Es kann auch vorkommen, dass durch höhere Erosion die Samen und Jungpflanzen ausgewaschen werden (Klik, 2015a, S. 12).

Zu den natürlichen Bodenfunktionen zählen die Speicher-, Filter- und die Pufferfunktion. Diese können durch einen Abtrag des Mutterbodens stark verringert werden. Die Speicherfunktion steht dabei auch im Zusammenhang mit der Luftkapazität des Bodens. Durch den Verlust wird auch die Luftkapazität geringer (Klik, 2015a, S. 12).

Die Pflanzen sind ohne den schützenden Boden den einwirkenden äußeren Kräften ausgeliefert. Dies führt zu Verletzungen der Pflanzen durch Sandkörner bei



Winderosion. Dabei stellt sich die Erosion wie ein Sandstrahlgebläse dar und schädigt die Pflanze. Des Weiteren ist die Photosyntheseleistung durch den Wind eingeschränkt (Klik, 2015a, S. 12).

AUSWIRKUNGEN DER BODENEROSION – OFF SITE

Außerhalb des angebauten Ackers gilt die Ablagerung von Sedimenten auf angrenzenden Feldern oder in naheliegenden Gewässern als ein Problembereich der Bodenerosion. Es kann auch passieren, dass Sedimente im Straßengraben deponiert werden und dessen Entwässerung dadurch beeinträchtigt wird (Klik, 2015a, S. 12).

Dabei können auch an den Straßen selbst Schäden entstehen oder an anderen Infrastruktureinrichtungen, wie z.B. Kanäle und Leitungen, die verschoben werden oder plötzlich freiliegen. Aus diesen Gründen kann es auch zu Verkehrsbehinderungen in der Nähe des betroffenen Feldes kommen (Klik, 2015a, S. 12).

Da beinahe jedes Feld in irgendeiner Art eine Verbindung zu einem Oberflächengewässer hat, werden an die Bodenteilchen gebundene Nährstoffe und andere Inhaltsstoffe des Bodens in die Gewässer ausgetragen. Daraus ergeben sich Probleme durch eine verschlammte Sohle im Gewässer, die Fischarten, die im Kies laichen wollen, das Laichen sehr schwer bis unmöglich macht. In einem See können die eingetragenen Nährstoffe zu Eutrophierung und verstärkter Algenblüte führen (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 80ff).

Der abgetragene Boden kann außerdem zu Verlandungen in Stauräumen führen oder in Rückhaltebecken, die nur im Ereignisfall durchflossen werden. Diese Verringerung des Stauraums stellt im Anlassfall eine ernsthafte Bedrohung für die zu schützenden Flächen und die Infrastruktur dar (Klik, 2015a, S. 15).

2.1.3 Schutzmaßnahmen gegen Bodenerosion

Um aktiv Maßnahmen gegen eine Erosion des Bodens einzusetzen bieten sich mehrere Möglichkeiten (Klik, 2015a, S. 18).

Zu diesen Möglichkeiten zählt zum einen eine Änderung der Fruchtfolge. Dabei ist zu beachten, welche Fruchtfolgen bisher angewandt wurden. Weiters sollten erosionshemmende Kulturarten angepflanzt werden. Solche Kulturen bieten zum Zeitpunkt der erosiven Niederschläge eine fast geschlossene Bedeckung des Bodens (Klik, 2015a, S. 19).



Zum anderen besteht die Option zur Änderung der Bodenbearbeitung. Wurde bisher mit dem Pflug gearbeitet, bietet ein Umstieg auf konservierende Bodenbearbeitung oder Direktsaat die Möglichkeit die Bodenerosion bedeutend zu verringern (Klik, 2015a, S. 25).

Weiters bietet eine Konturnutzung oder ein Anbau in Streifen die Gelegenheit, dass über diese verschiedenen Konturen oder Streifen weniger Boden erodiert wird (Klik, 2015a, S. 20).

Als technische Maßnahme besteht die Möglichkeit, den Hang derart zu verändern, dass Terrassen angelegt oder Retentionsmaßnahmen gesetzt werden. Beides kann die Erosion in einem Hang vermindern (Klik, 2015a, S. 24).

Eine andere technische Möglichkeit zum Schutz vor Erosion wäre das Errichten einer oder mehrerer begraster Abflussmulden, die dazu dient den Oberflächenabfluss erosionsfrei abzuleiten. Wichtig dabei ist, dass sie nicht befahren werden sollten, um eine mögliche Verdichtung zu verhindern (Klik, 2015a, S. 23).

2.1.4 Humus

Der Humus auf Ackerböden bildet sich aus Ernterückständen und toten Mikroorganismen im Boden, sowie toten Bodentieren hauptsächlich durch mikrobiellen Abbau. Daraus lässt sich ableiten, dass der Humus eine komplizierte Zusammensetzung organischer Stoffe verschiedenster Herkunft ist, die noch dazu unterschiedlich weit zerfallen sind (Rippel, Brandhuber et al., 2014, S. 61).

Aus Dauerfeldversuchen geht hervor, dass **Standortfaktoren** (Klima, Bodenkörnung, Bodenzusammensetzung, Grundwasser) und die **Bodenbewirtschaftung** (Fruchtfolge, Düngung, Bodenbearbeitung) den Gehalt und die Qualität von Humus wesentlich prägen (Rippel, Brandhuber et al., 2014, S. 61).

Die Bestandteile von Humus sind überwiegend Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Phosphor und Schwefel. Der organische Kohlenstoff sowie teilweise auch der organische Stickstoff sind ein sinnvoller Indikator für den Humusgehalt eines Bodens (Rippel, Brandhuber et al., 2014, S. 63).



VERHÄLTNIS C_{ORG}:N_{ORG}

Kohlenstoff ist der elementarste Faktor der organischen Bodensubstanz. Allein wäre er bereits genügend, um eine Aussage über den Humusgehalt im Boden zu treffen (Rippel, Brandhuber et al., 2014, S. 63).

Das C:N – Verhältnis ist der traditionelle Indikator für die Qualität von Humus. Es veranschaulicht den Zersetzungsgrad der organischen Bodensubstanz (Rippel, Brandhuber et al., 2014, S. 63).

BEDEUTUNG DES HUMUS IM ACKERBAU

Ein angemessener Humusgehalt ist die Grundlage für Bodenfruchtbarkeit und somit auch für die Ertragssicherung.

Die wichtigsten Aufgaben des Humus lt. Rippel, Brandhuber et al. (2014, S. 64):

- **Speichern von Nährstoffen:** Nährstoffquelle für die Pflanzen – organisch gebundene Elemente, wie Stickstoff oder Phosphor werden für die Pflanzen verfügbar gemacht. Humus ist eine Nahrungsquelle für Mikroorganismen im Boden. Es besteht ein direkter Zusammenhang zwischen Humusgehalt und mikrobieller Masse im Boden.
- **Verbessern der Bodenstruktur:** Humus verklebt die Bodenteilchen zu einem hohlraumreichen Bodenverband. Das prägt das Porensystem und wirkt sich auf den Luft- und Wasserhaushalt im Boden aus. Bodenschadverdichtungen können durch ideale Humusgehalte verhindert werden.
- **Ionenaustausch:** Humus kann wichtige Kationen und Anionen vor einem Austrag schützen.
- **Puffern:** Größere Veränderungen des pH-Wertes werden vermieden.
- **Wasser speichern:** Wasseranziehende Gruppen fangen Wasser ein und speichern es im Boden.
- **Filtern:** Verschiedenste Adsorptionsmechanismen beeinflussen die Auswaschung und den Abbau von Pflanzenschutzmitteln und Chemikalien.



2.2 HYDROLOGISCHE GRUNDLAGEN

2.2.1 Wasserhaushalt

In einem Einzugsgebiet gilt die erweiterte Wasserhaushaltsgleichung

Formel 2.2: Erweiterte Wasserhaushaltsgleichung (Lecher und Kresser, 2001, S. 49)

$$h_N = h_A + h_V + (h_R - h_B)$$

Die einzelnen Terme der Wasserhaushaltsgleichung sind die Niederschlagshöhe h_N , die Abflusshöhe h_A , die Verdunstungshöhe h_V , die Rücklage h_R und der Verbrauch h_B (Lecher und Kresser, 2001, S. 49).

Alle Größen werden in mm angegeben.

2.2.2 Niederschlag

Allgemein gesprochen ist Niederschlag ein Kondensationsprodukt, das von der Atmosphäre ausgehend den Boden trifft (Maniak, 2005, S. 15).

Wird die Temperatur feuchter Luft unter ihren Taupunkt gesenkt und tritt daraufhin Kondensation ein, bildet sich Niederschlag (Maniak, 2005, S. 15).

Bei advektiven Niederschlägen sind die Intensitäten gering bis mäßig mit länger andauernden Niederschlägen in einem großen Einzugsgebiet. Das Gebiet wird dabei gleichmäßig überregnet (Maniak, 2005, S. 16).

Konvektive Niederschläge dagegen sind von eher kurzer Dauer mit höheren Intensitäten in kleineren Gebieten. Dazu ist die Verteilung des Regens sehr ungleichmäßig. In besonders extremer Form wird bei konvektiven Niederschlägen von Starkregen gesprochen (Maniak, 2005, S. 16).

Starkregen zeichnen sich durch eine sehr kurze Dauer und eine starke Intensität aus. Die Niederschlagshöhe wird im Mittel an diesem Ort nur 1-2-mal im Jahr überschritten. Es ist bei Starkniederschlägen entscheidend, nicht nur die Höhe der Niederschläge, sondern auch die Dauer zu beachten (Fürst, 2017, S. 48).

Die Interzeption ist ein weiterer wichtiger Parameter, um die Niederschlagsbilanz richtig zu erstellen. Die Pflanzendecke fängt Niederschlag ab und verdunstet bzw. verbraucht dieses Wasser bevor es in den Wasserkreislauf eingerechnet werden kann.



Sollte die Interzeption weggelassen werden, kann dies zu größeren Fehlern in der Bilanz führen (Maniak, 2005, S. 16).

2.2.3 Abfluss

Im Allgemeinen ist Abfluss ein Volumen, das einen Querschnitt in einer gewissen Zeiteinheit durchfließt. Der Abfluss Q wird dabei in m^3/s oder l/s angegeben. Auf ein Einzugsgebiet bezogen ist der Abfluss an die Größe des Einzugsgebiets, den Niederschlag, das Klima, die Jahreszeit, die Morphologie sowie an die Versickerung und Verdunstung gebunden (Lecher und Kresser, 2001, S. 55).

Oberflächlicher Abfluss kann zu Schäden führen, sollte er sich seinen Weg durch Rillen und Rinnen bergab suchen ohne dabei ordentlich geleitet bzw. aufgefangen zu werden (Klik, 2015a, S. 28).

2.2.4 Verdunstung

An der Oberfläche des Wassers bzw. einer feuchten Pflanze werden Wasserteilchen in die Luft und umgekehrt transferiert. Es handelt sich um Verdunstung, wenn mehr Wasserteilchen aus der Oberfläche emigrieren als immigrieren und dadurch mehr Wasserdampf in der Luft entsteht. Das Gegenteil wäre die Kondensation (Maniak, 2005, S. 20).

Die **Evaporation** beschreibt die Verdunstung von freien Flächen, bei denen genügend Wasser verfügbar und die Luft nicht mit Wasserdampf gesättigt ist. Die **Transpiration** hingegen beschreibt die Übertragung von Wasser ausgehend von Pflanzen (Maniak, 2005, S. 21ff).

Gemeinsam ergeben Evaporation und Transpiration die **Evapotranspiration**. Sie stellt die Summe der transportierten Wasserdampfmenge von einer bewachsenen Bodenoberfläche dar (Maniak, 2005, S. 23).

2.2.5 Bodenwasser

Tabelle 2.2 gibt einen groben Überblick über die unterschiedlichen Bezeichnungen des im Boden vorhandenen Wassers. Haftwasser umschließt die Bodenpartikel als sehr feine Hülle und füllt die Mittel- und Feinporen. Das Wasser der Feinporen ist für Pflanzen nicht verfügbar und wird daher als Totwasser bezeichnet (Rippel, Brandhuber et al., 2014, S. 52).



Tabelle 2.2: Beziehung zwischen Porengröße und Bodenwasser- sowie -lufthaushalt,
Quelle: Rippel, Brandhuber et al. (2014, S. 52)

Poren		Bezeichnung des darin enthaltenen Bodenwassers	Bezeichnung der damit gegebenen Speicherkapazität		
Ø, mm	Bezeichnung		Luftkapazität		Gesamtporenvolumen
> 0,05	weite Grobporen	schnell bewegliches	Sickerwasser	Nutzbare Feldkapazität (nFK)	
0,05 - 0,01	enge Grobporen	langsam bewegliches			
0,01 - 0,0002	Mittelporen	pflanzenverfügbares	Haftwasser	Feldkapazität	
< 0,0002	Feinporen	Nicht pflanzenverfügbares			Totwasser

Niederschlagswasser kann entweder oberflächlich abfließen oder es kann in den Boden infiltrieren (Rippel, Brandhuber et al., 2014, S. 52).

Über die Grobporen erreicht das Sickerwasser bedingt durch die Schwerkraft das Grundwasser. Im Bereich des Grundwassers sind die Poren durchgehend mit Wasser gesättigt (Rippel, Brandhuber et al., 2014, S. 52f).

Die Feldkapazität beschreibt den Bereich des Bodenwassers, in dem die engen Grobporen, Mittelporen und die Feinporen das Wasser speichern. Die tatsächlich nutzbare Feldkapazität (**nFK**) ergibt sich aus dem Wasser der engen Grobporen und dem der Mittelporen (Rippel, Brandhuber et al., 2014, S. 53).

Die nutzbare Feldkapazität stellt im Pflanzenbau vor allem in niederschlagsärmeren Regionen eine, wenn nicht die wichtigste Größe im Bodenwasserhaushalt dar (Rippel, Brandhuber et al., 2014, S. 53).

Gibt es bei voller Feldkapazität noch Bereiche, die nicht mit Wasser gefüllt sind, werden diese zur Luftkapazität zusammengefasst (Rippel, Brandhuber et al., 2014, S. 53).

3 ACKERBAU

3.1 ACKERBAULICHE GRUNDBEGRIFFE

3.1.1 Bodenbearbeitung

Nach Kreitmayer und Demmel (2014, S. 107) schafft die Bodenbearbeitung die Grundlage für nachhaltigen und wirtschaftlichen Ackerbau. Die Bearbeitungsintensität kann verschiedenen Standortfaktoren wie Ertragsfähigkeit, Bearbeitbarkeit und Erosionsanfälligkeit angepasst werden. Des Weiteren gibt es verschiedene Systeme der Bodenbearbeitung, die in Abbildung 3.1 dargestellt werden.

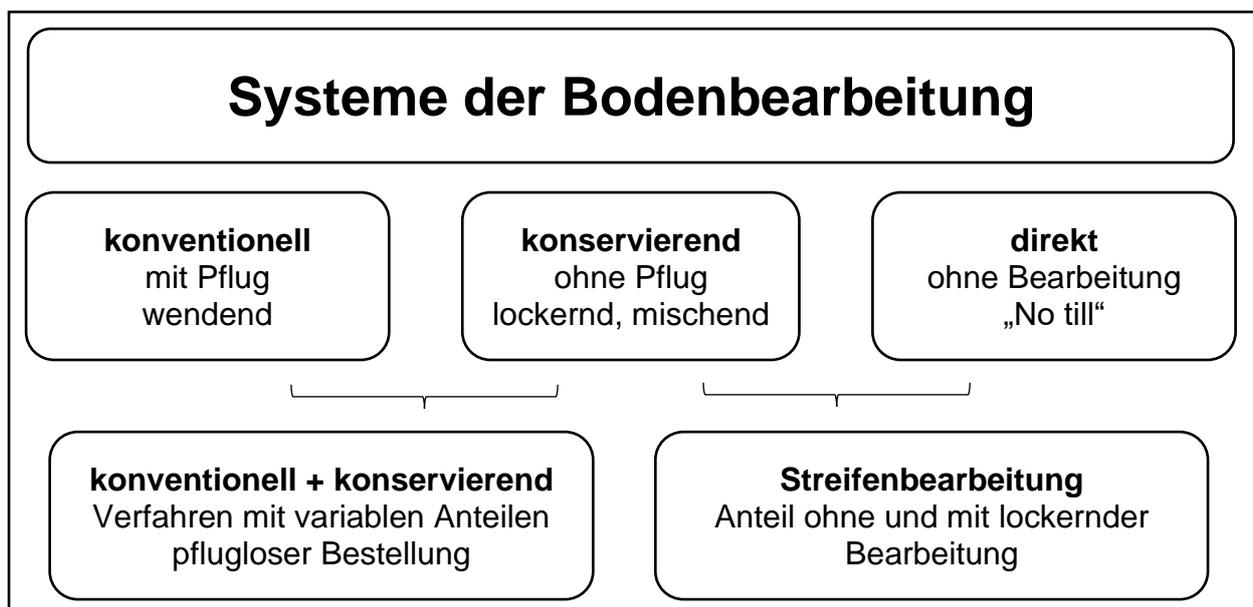


Abbildung 3.1: Überblick der Bodenbearbeitungssysteme, Quelle: Kreitmayer und Demmel (2014, S. 108)

3.1.2 Fruchtfolge

Abgestimmte Fruchtfolgen stellen eine unabdingbare Grundlage für eine dauerhaft gelungene Bestellung dar. Sollte die Fruchtfolgegestaltung Schwächen aufweisen, lassen sich diese nicht zur Gänze durch einen größeren Einsatz an Ressourcen beheben (Aigner, 2014, S. 185).

Fruchtfolgen, damit ist ein systematisches Anbauen unterschiedlicher Kulturen auf dem gleichen Acker gemeint, dienen der Erhaltung oder gar Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, Prävention gegen Unkräuter, Krankheiten und Schädlinge, reduzierten Kosten und Umweltschonung. Im Einzelnen sollen Wechsel zwischen



verschiedenen Typen eingehalten werden. Als Beispiele sind Winterungen und Sommerungen, Humusmehrer und Humuszehrer oder Flach- und Tiefwurzler zu nennen (Aigner, 2014, S. 185).

Durch ein geringeres Infektionsrisiko bei erfolgreicher Umsetzung sind gute Erträge bei geringerem Einsatz von Düngern und Pflanzenschutzmitteln realisierbar (Aigner, 2014, S. 185).

Ein Fruchtfolgesystem besteht aus mehreren Fruchtfolgegliedern. Dabei muss auf einen günstigen Zyklus Rücksicht genommen werden. Vorhergehende Arten haben Auswirkungen auf ihre Nachfolger. Die Vorfruchtwirkung kombiniert Effekte auf die Fruchtbarkeit des Bodens, vorkommende Bakterien und die Verunkrautung und ist mit der Wetterlage sowie der Art des Bodens verbunden. Manche Arten reagieren sensibel auf die Fruchtfolgegestaltung. Sie können auf andere Arten oder auch auf die gleiche Art reagieren. Das Maß der Reaktion auf die gleiche Art wird mit der Selbstverträglichkeit beschrieben. Bei einer hohen **Selbstverträglichkeit** können die Anbauabstände geringer gewählt werden als bei einer schlechten (Aigner, 2014, S. 185).

Für landwirtschaftlichen Ackerbau wurden Fruchtfolgesysteme erstellt, die eine Optimierung der Anbauabstände, der Fruchtarten und der Vielfalt im Anbau ermöglichen. Da diese Systeme stark von ihrem Standort abhängig sind, ist eine pauschale Nennung verschiedener Systeme nicht zielführend (Aigner, 2014, S. 185).

AUFGABEN EINER FRUCHTFOLGE

Die Fruchtfolge kann auf verschiedene Weisen die **Fruchtbarkeit im Boden fördern**. Einfluss auf eine bessere Fruchtbarkeit des Bodens haben die Zeit der Bodenruhe, die Zeit der Bodenbedeckung, die Wurzeltiefe, die Dichte der Wurzeln und die Intensität der Bodenbearbeitung. Die richtige Gestaltung der Fruchtfolge beeinflusst messbare Merkmale der Bodenfruchtbarkeit (Aigner, 2014, S. 186).

Eine wohlgestaltete Fruchtfolge wirkt gegen Verunkrautung, Krankheits- und Schädlingsbefall. Zu spät eingesetzte, reparierende Fruchtfolgegestaltung kann sehr lange dauern oder im schlechtesten Fall gar nicht funktionieren. Ein ausgeprägter Zwischenfruchtbestand kann zwischen der Ernte der Vorfrucht und der Saat der Nachfrucht eine gute Kontrolle gegen Unkraut darstellen (Aigner, 2014, S. 189f).



Schwer nachzuweisen ist im Zusammenhang mit Fruchtfolgen das Wurzelwachstum. Dabei hat die richtige Fruchtfolge sehr positive Auswirkungen auf die Anzahl und die Tiefe der Wurzeln. Die Wirkungen, die von den Wurzeln ausgehen sind als **allelopathische Wirkungen** bekannt (Aigner, 2014, S. 191).

Des Weiteren kann auf einem Feld durch eine Vielfältigkeit von Früchten der Befallsdruck verringert werden. Die Fruchtvielfalt lässt sich dabei noch um Sortenvielfalt erweitern (Aigner, 2014, S. 192).

Die Fruchtfolge ist neben der Bodenart ein wichtiger Faktor. Weite, extensive und humusmehrende Fruchtfolgen können die Verfügbarkeit und die Vielfalt von organischem Material verbessern. Sie fördern ein aktives und vielfältiges Bodenleben (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 103).

Reichhaltige Fruchtfolgen wirken positiv, da sie über einen längeren Zeitraum für eine geschlossene Pflanzendecke und die für die Bodenlebewesen wichtigen Nährstoffe sorgen können (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 103).

3.1.3 Bodenverdichtung im Pflanzenbau

Im Pflanzenbau ist es einerseits wichtig den Boden zu bearbeiten, um optimale physikalische Bedingungen zu schaffen, andererseits wird bei der Bodenbearbeitung durch Maschinen der Boden befahren und es kommt eventuell zu Schadverdichtungen (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 88).

Mit steigender Verdichtung steigt auch die Anzahl der Kornkontakte und das Porenvolumen sinkt (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 88).

Für die Bodenverdichtung gibt es 2 wichtige Parameter. Zum einen die **Bodenbelastung** und zum anderen die **Tragfähigkeit des Bodens** (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 88).

Die Bodenbelastung lässt sich mit der Belastung aus Radlast und dem Kontaktflächendruck in der Berührungsfläche Rad-Boden bestimmen. Praktisch ist der Kontaktflächendruck schwer anzugeben, daher wird er über den Reifeninnendruck angenähert. Der Kontaktflächendruck ist ca. das 1,25-fache des Reifeninnendrucks (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 88).



Die Tragfähigkeit eines Bodens steigt mit Trockenheit und Kompaktheit des Bodens. Ein feuchter und lockerer Boden ist ohne große Mühe verdichtbar (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 90).

Mögliche Auswirkungen von Schadverdichtungen sind laut Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 90:

- Wasserstau bei Nässe sowie zu geringer Wasserfluss bei Trockenheit
- Erhöhte Erosionsanfälligkeit
- Gestörte Boden- und Wurzelatmung bei hoher Feuchte
- Behinderte Wurzel ausbreitung
- Sauerstoffmangel für Pflanzenwurzeln und aerobe Bodenlebewesen

Mit gezielten Maßnahmen kann der Boden geschont und Bodenverdichtungen vermieden werden. Zu diesen Maßnahmen gehören (nach DLG-Merkblatt 344) (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 90):

VERBESSERUNG DER TRAGFÄHIGKEIT

Wird die Bodenbearbeitung auf ein Minimum reduziert, ermöglicht dies dem Boden eine natürliche Gestaltung der Bodenstruktur. Die richtige Fruchtfolgegestaltung und organische Düngung können dabei die biologische Aktivität verbessern. In diesem Zusammenhang kann eine gezielte Kalkung die gewünschten Ergebnisse erreichen (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 90).

VERMEIDUNG DES BEFAHRENS ZU NASSER BÖDEN

Dies ist eine der wichtigsten Lektionen, um ungewollte Schäden an der Bodenstruktur zu verhindern. Es muss möglich sein, das Feld in den trockeneren Perioden effektiv zu bearbeiten und in zu nassen Perioden Pausen einzulegen, ohne dabei zu große wirtschaftliche Schäden in Kauf nehmen zu müssen (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 90).

ANPASSUNG DES REIFENINNENDRUCKS AN DEN UNTERGRUND

Mit hohen Drücken gehen höhere Belastungen für den Boden einher. Am Feld sollte mit einem geringeren Reifeninnendruck als auf Asphalt gefahren werden. Ein zu hoher Druck wirkt sich negativ auf den Verbrauch und die Traktion aus. Besonders auf einem



lockeren und feuchten Boden, typisch für das Frühjahr, sollte der Innendruck im Reifen 1 bar nicht übersteigen (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 90).

GROÙE AUFSTANDSFLÄCHE DES FAHRWERKS

Kommt es zu hohen Gesamtlasten, sollten Fahrwerke mit großen Aufstandsflächen oder Radfahrwerke mit geringen Innendrücken zum Einsatz kommen. Es gibt die Möglichkeit Zwillingsräder an den Traktoren und Erntemaschinen zu montieren oder Fahrwerke mit mehreren Achsen (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 91).

BEVORZUGUNG NIEDRIGER RADLASTEN

Das Rad stellt die wichtigste und gewichtigste Verbindung des Gerätes mit dem Boden dar. Um die Tiefenwirkung zu reduzieren sollten Fahrzeuge optimal bereift werden, um den Boden zu schonen (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 91).

3.1.4 Körnermais

Mais (Körner- und Silomais) ist weltweit nach Weizen die Pflanze mit dem höchsten Anbauumfang. Durch seine erheblich höhere Energie ist Mais global gesehen die wichtigste Pflanze in der Nahrungsmittelproduktion (Müller, Kreitmayer et al., 2014, S. 91).

Die Vorteile von Körner- und Silomais sind eine billige Produktion durch simple Produktionsprozesse und eine quantitativ und qualitativ hohe Flächenleistung im Vergleich zu anderen Ackerfutterpflanzen (Eder und Brandhuber, 2014, S. 501).

Bei Körnermais ist der gesamte Prozess auf einen hohen Kornertrag ausgelegt. Das Ziel sind voll ausgebildete und trockene Körner, die ohne Schäden und Verunreinigungen gedroschen werden können (Eder und Brandhuber, 2014, S. 502).

Weltweit hat Körnermais die höchsten Produktionsmengen, in der EU ist er an zweiter Stelle hinter Weizen (Eder und Brandhuber, 2014, S. 502).

3.1.5 Schädlinge

Bei der konservierenden Bodenbearbeitung bleiben Pflanzenreste an der Oberfläche zurück, die für **Mäuse** als auch für Schnecken Nahrungsquelle und Unterschlupf sein können (Aichinger, 2003, S. 25).



Schnecken kommen in feuchten Jahren nach milden Wintern besonders häufig vor. Eine Abhilfe gegen die Tiere, die sich in Bodenhohlräumen aufhalten stellt ein- bis zweimaliges Walzen der Aussaatfläche dar. So werden die Bodenhohlräume und damit der Lebensraum der Ackerschnecken stark begrenzt (Weigand und Zellner, 2014, S. 529).

Bei einer geringeren Bearbeitung des Bodens bleibt für die Schädlinge mehr Platz zum Ausbreiten und für Nistplätze. Eine gezielte Bodenbearbeitung mit einem Grubber in 15 bis 30 cm Tiefe hilft, den Lebensraum zu verkleinern und keine zu großen Hohlräume entstehen zu lassen (Aichinger, 2003, 25f).

Laut Weigand und Zellner (2014, S. 528ff) gibt es noch einige andere Schädlinge, die beachtet werden müssen.

Als erstes wäre dabei die **Fritfliege** zu nennen. Sie legt die Eier im 1- bis 2-Laubblattstadium (1 – Blattentwicklung, 2 – Bestockung) in die Blatt-Tüte des Mais ab (Weigand und Zellner, 2014, S. 528).

Es bilden sich durch das Fressen der Larven maßgebliche Schadbilder. Diese können ein paar Löcher in der Blattspreite sein oder gar die totale Verkrüppelung der Pflanze darstellen. Bei einer sehr starken Infektion gibt es sogar die Möglichkeit, dass sich seitliche Triebe ausbilden. Diese sind jedoch nachteilig, da an den Seitentrieben keine sinnvoll nutzbaren Kolben wachsen. Mit einer Inkrustierung des Saatgutes ist es möglich, Fritfliegen erfolgreich abzuwehren (Weigand und Zellner, 2014, S. 528).

Einen der übelsten Schädlinge stellt der **Drahtwurm** dar. Am wohlsten fühlt sich die Larve des Saatschnellkäfers, wird Mais auf umgepflügtem Grünland gepflanzt. Da es drei bis 4 Jahre dauert, bis aus einem Drahtwurm ein Saatschnellkäfer entsteht muss beim Umpflügen davon ausgegangen werden, dass unterschiedlich alte Drahtwürmer im Boden vorhanden sind (Weigand und Zellner, 2014, S. 529).

Wie bei den Fritfliegen ist die Inkrustierung des Saatgutes eine gute Abwehrmöglichkeit (Weigand und Zellner, 2014, S. 529).

Der **Maiszünsler** ist ebenfalls ein gefährlicher Schädling für die Pflanze. Als Markenzeichen für eine Fraßtätigkeit gelten abgeknickte oder abgebrochene Maisfahnen. An den Punkten, an denen die Maisfahnen knicken oder brechen, gibt es zumeist Löcher. Über diese werden Bohrmehl oder Ausscheidungen entfernt. Die



Bohrgänge des Maiszünslers können vom Fahnenmast bis zum Grund des Stängels reichen und somit die ganze Pflanze befallen (Weigand und Zellner, 2014, S. 529).

Gegen den Maiszünslers werden verschiedene Verfahren eingesetzt. Diese können mechanisch, biologisch, chemisch oder gentechnisch sein (Weigand und Zellner, 2014, S. 529).

Beim **Westlichen Maiswurzelbohrer** handelt es sich um einen aus den USA via Belgrad eingeschleppten Schädling (Weigand und Zellner, 2014, S. 532).

Hier ist es nicht nur die Larve, die den Mais schädigt, sondern auch der Käfer selbst. Der Schaden, der von den Larven ausgeht, ist ungleich höher. Es werden wie der Name sagt, die Wurzeln angebohrt und teilweise bohren sich die Larven in die Wurzeln hinein (Weigand und Zellner, 2014, S. 531).

Als effektivste Bekämpfungsoption gilt eine mindestens 2-jährige Fruchtfolge von Mais, da die Larven erst im Folgejahr der Eiablage schlüpfen und auf Maispflanzen zum Überleben angewiesen sind (Weigand und Zellner, 2014, S. 532).

3.2 SYSTEME DER BODENBEARBEITUNG

Die Grenzen der verschiedenen Bodenbearbeitungsmethoden sind fließend (Kreitmayer und Demmel, 2014, S. 108).

3.2.1 Konventionelle Bodenbearbeitung

Eine konventionelle Bodenbearbeitung ist durch einen alljährlichen Einsatz des Pfluges gekennzeichnet. Die Grundbodenbearbeitung erfolgt in Tiefen von 20 – 40 cm. Hier machen die verschiedenen Quellen unterschiedliche Angaben, aber alle liegen im oben genannten Bereich (Aichinger, 2003, S. 5) und (Kreitmayer und Demmel, 2014, S. 108).

Beim Pflügen sollen die Pflanzenrückstände in den Boden eingearbeitet werden. Der Effekt des Überschüttens sorgt für einen hohen Grad an Bodenhygiene (Kreitmayer und Demmel, 2014, 108f).

Nach dem Einsatz des Pfluges ist der Boden überlockert und es entstehen große Hohlräume. Für anschließend angebaute Kultur ist es wichtig, den Boden wieder zu verfestigen – diese Aufgaben fallen unter „Sekundärbodenbearbeitung“ (Aichinger, 2003, S. 5).



Das sichtbarste Merkmal des Pflügens ist der „reine Tisch“. Dieser wird vom Pflug hergestellt und so können konventionelle Sämaschinen mit Schleppscharen zur Bestellung verwendet werden (Aichinger, 2003, S. 5).

Für die biologische Landwirtschaft ist die Verwendung des Pflugs von entscheidender Bedeutung, denn ohne eine Bearbeitung mit dem Pflug können Unkräuter und Schädlinge nicht entfernt werden, da der Einsatz von Agrarchemie verboten ist (Kreitmayer und Demmel, 2014, S. 109).

3.2.2 Konservierende Bodenbearbeitung - Mulchsaat

Die konservierende Bodenbearbeitung, in diesem Fall als Mulchsaat bezeichnet, setzt auf eine Bodenbearbeitung ohne Pflug (Kreitmayer und Demmel, 2014, S. 109).

Die Begriffsdefinition der Mulchsaat gestaltet sich im deutschsprachigen Raum mitunter schwierig. Das bloße Weglassen des Pfluges ohne Rücksichtnahme auf die verbleibenden Pflanzenreste auf der Oberfläche gilt in vielen Regionen bereits als Mulchsaat. In den Vereinigten Staaten ist der Begriff genauer abgegrenzt. „Conservation Tillage“ gilt dann, wenn nach der Aussaat zumindest 30 % des Bodens mit Pflanzenresten bedeckt sind. Der Wert wurde nicht beliebig gewählt. Bei 30 % Bedeckung nimmt die Wassererosion im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung mit dem Pflug um die Hälfte ab (Derpsch, 2009, S. 2).

Das Ziel konservierender Bodenbearbeitung ist es natürliche Ressourcen durch integrierte Bewirtschaftung der verfügbaren Boden-, Wasser- und biologischen Ressourcen in Kombination mit externen Inputs zu erhalten, zu verbessern und effizienter zu nutzen (Derpsch und Benites, 2003, S. 3).

Konservierende Bodenbearbeitungsmethoden tragen zum Umweltschutz sowie zur Verbesserung und Erhaltung der landwirtschaftlichen Produktion bei. Sie können auch als ressourcenschonende Landwirtschaft bezeichnet werden. Die Landwirtschaft erhält eine dauerhafte oder semipermanente organische Bodenbedeckung. Dies kann eine wachsende Ernte oder ein toter Mulch sein. Die Aufgabe der Bodenbedeckung ist es, den Boden physisch vor Sonne, Regen und Wind zu schützen und Bodenlebewesen zu füttern (Derpsch und Benites, 2003, S. 3).

Die Bearbeitungstiefe liegt bei diesem Verfahren bei 2 bis 15 cm. Pflanzenreste, die an der Oberfläche angereichert werden, erhöhen den Humus- und Nährstoffgehalt und



werden mit Erde vermischt. Bis 15 cm Tiefe wird von der Lockerung der Oberkrume gesprochen, was darüber hinausgeht ist die zweite Intensitätsstufe und als Lockerung von Ober- und Unterkrume bekannt (Kreitmayer und Demmel, 2014, S. 109) und (Aichinger, 2003, S. 6).

Die Bodenbearbeitung kann direkt in einem Schritt mit der Aussaat erfolgen oder separat durchgeführt werden. Für die Mulchsaat gibt es verschiedene Gerätetypen (Grubber, Scheibeneggen, Kreiselgrubber, et al.) (Aichinger, 2003, S. 6).

Es bleibt aber festzuhalten, dass die Bearbeitung sehr flexibel gestaltet werden kann (Kreitmayer und Demmel, 2014, S. 109).

Die notwendige Lockerungsintensität, wie sie schon weiter oben beschrieben wird, und deren Tiefe richtet sich nach der noch vorhandenen Strohmenge und Strohbeschaffenheit sowie den Anforderungen der Folgekultur betreffend Krume und Saatbett (Kreitmayer und Demmel, 2014, S. 109).

Daraus ergeben sich Wechsel in den Lockerungstiefen und diese können Verdichtungszone gegensteuern (Kreitmayer und Demmel, 2014, S. 109).

3.2.3 Konservierende Bodenbearbeitung – Direktsaat

Ein führender Experte auf dem Gebiet der Direktsaat ist Rolf Derpsch.

Direktsaat ist ein Aussaatssystem, bei dem das Saatgut nach der Ernte der Vorfrucht direkt in den unbearbeiteten Boden gelegt wird (Derpsch, 2009, S. 1).

Bei der Direktsaat wird auf Bodenbearbeitung verzichtet und es bleibt eine permanente Mulchschicht zurück, die den Boden schützt. Im englischen Sprachraum ist das Verfahren unter no-tillage, zero-tillage oder direct tillage bekannt. Im französischen Sprachraum ist die Direktsaat unter agriculture de couverture du sol bekannt (Derpsch, 2009, S. 1).

Für Derpsch (2009, S. 1) ist die französische Bezeichnung treffender, da die stetige Bodenbedeckung mit Pflanzenresten das treffendste Merkmal des Verfahrens darstellt.

Nach Derpsch (2009, S. 1f) ist eine kontinuierliche und dauerhafte Direktsaat anzustreben. Wenn im Abstand von ein paar Jahren der Boden bearbeitet wird,



können sich nicht die nötigen Pflanzenrückstände der Vorfrucht oder eine Bedeckung des Bodens entwickeln. Diese sollen jedoch ungehindert an der Bodenoberfläche verbleiben können.

Die Bodenmikroorganismen und die Bodenfauna übernehmen die Bodenbearbeitungsfunktion und den Nährstoffausgleich im Boden. Die mechanische Bodenbearbeitung stört diesen Prozess nur (Derpsch und Benites, 2003, S. 3).

Somit sind keine oder nur minimale Bodenbearbeitung und Direktsaat wichtige Elemente von konservierender Bodenbearbeitung. Eine abwechslungsreiche Fruchtfolge ist auch wichtig, um Krankheits- und Schädlingsprobleme zu vermeiden. Anstatt Biomasse wie Gründüngung, Deckfrucht oder Ernterückstände vom Feld abzuziehen und anderswo zu verwenden, sollen diese auf der Bodenoberfläche zurückgelassen werden (Derpsch und Benites, 2003, S. 3).

Die tote Biomasse dient als physikalischer Schutz der Bodenoberfläche und als Substrat für die Bodenfauna. Auf diese Weise wird die Mineralisierung reduziert und ein geeigneter Bodengehalt an organischer Substanz aufgebaut und aufrechterhalten (Derpsch und Benites, 2003, S. 3).

Untersuchungen sollen zudem ergeben haben, dass die Direktsaat im Vergleich mit konventionellen Bodenbearbeitungsarten positiven Einfluss auf die chemischen, physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften hat. Die Verbesserungen ergeben sich aus der Minimierung der Erosion und aus der Sicherung der Bodenstruktur, in der die Menge an organischer Materie zunimmt (Derpsch, 2009, S. 2).

Allgemein ist mit der Direktsaat der gleiche Ertrag möglich wie mit konventioneller Bodenbearbeitung. Es kann jedoch vorkommen, dass die Erträge geringer ausfallen. Die wichtigsten Ursachen werden nachfolgend erwähnt (Derpsch, 2009, S. 2f):

Als erste Ursache sind **fehlende Kenntnisse** wie die Direktsaat praktisch umzusetzen ist zu erwähnen. Der erforderliche Ablauf wurde nicht oder falsch umgesetzt.

Der **fehlende Systemansatz** in der Ausführung. Der Boden wurde zwar nicht bearbeitet, aber alle anderen Handlungsschritte wurden wie bisher durchgeführt.

Die Direktsaat wurde auf einem Boden mit **zu geringer Bedeckung** durch Pflanzenreste durchgeführt.



Die nächste Ursache wäre **mangelnde Übung** des Traktorfahrers für die richtige Aussaat. Dazu gehören falsche Einstellungen am Traktor und der Sämaschine oder falsches Befahren.

Die Sämaschine ist für den Zweck der Direktsaat **nicht praktikabel**.

Ungenügende Unkrautuntersuchung mit zu schwachem Einsatz von Herbiziden.

Die **Düngung mit Stickstoff** ist im Anfangsstadium **nicht** wie gefordert **erhöht** worden.

3.2.4 Vorteile der konservierenden Bodenbearbeitung

Für die Mulch- und Direktsaat gilt, dass sie im besten Fall den oberflächlichen Abfluss von Wasser verhindern und dadurch die Nährwerte im Boden geschützt und das Wasser effektiv verwendet wird (Derpsch und Benites, 2003, S. 1).

Der zeitliche Aufwand zur Bearbeitung des Bodens ist um ein Vielfaches geringer, da das Pflügen des Bodens zu den zeitintensivsten Aufgaben zählt. Dadurch lässt sich auch bei den Traktorstunden sowie beim Treibstoffverbrauch erheblich einsparen (Derpsch und Benites, 2003, S. 2).

BODENEROSION

Die Probleme der in Kapitel 2.1.2 beschriebenen drei Arten der Erosion (Wassererosion, Winderosion und Bearbeitungserosion) können durch die bestehenbleibende Pflanzendecke minimiert werden (Aichinger, 2003, S. 10).

So kann die Mulchauflage für ein stabileres Bodengefüge sorgen und das Verhältnis von Gewicht zu Oberfläche der Bodenteilchen stärken. Aus diesem Grund fallen Schäden bei Mulch- und Direktsaat in Bezug auf Winderosion minimal gegenüber der konventionellen Saat aus (Aichinger, 2003, S. 10).

Einen weiteren Vorteil der durchgängigen Bodenaufgabe stellt die Aufnahme der Energie des Niederschlags dar. Die verringerte Kraft schont den Boden und dieser kann unter der Auflage der dauerhaft konservierend bearbeiteten Böden ein Grobporensystem entwickeln. Dadurch kann das Niederschlagswasser schneller in den Boden eindringen. Die Entwicklung eines funktionierenden Grobporensystems kann nach dem letzten Einsatz eines Pfluges bis zu fünf Jahre dauern (Aichinger, 2003, S. 11).



Für die Bearbeitungserosion gilt, dass sie bei weniger Bearbeitung ebenfalls kaum auftreten kann (Aichinger, 2003, S. 11).

HUMUSGEHALT IM OBERBODEN

Der Anteil an organischer Bodensubstanz ist bei Mulch- und Direktsaat im Gegensatz zur konventionellen Bodenbearbeitung höher. Ein einmaliger Einsatz des Pfluges kann jedoch durch Mischen der oberen Bodenschichten mit den darunterliegenden den Humusgehalt senken (Aichinger, 2003, S. 11).

WASSERVERDUNSTUNG

Konventionelle Bodenbearbeitung befördert Erde aus unteren Bodenschichten an die Oberfläche, an der sie abhängig von der Wetterlage abtrocknet. Daraus lässt sich ableiten, dass jede Form der Bearbeitung des Bodens den Wassergehalt in der behandelten Schicht senkt. Jedoch kann der Boden auch vor Wasserverlust bewahrt werden, indem die Kapillarwirkung durchbrochen wird. Diese Unterbrechung sorgt dafür, dass das Wasser tiefergelegener Bodenschichten nicht an die Oberfläche gelangt und dort unwirksam verdunstet wird (Aichinger, 2003, S. 12).

Entscheidend für die Wasserverdunstung und -einsparung ist die Einstellung der Bearbeitungstiefe der Geräte. Zur effektiven Unterbrechung der Kapillarwirkung genügt eine Tiefe von 2 bis 4 cm (Aichinger, 2003, S. 12).

WASSERSPEICHERVERMÖGEN

Vorrangig beruht das Wasserspeichervermögen eines Bodens auf der Art und der Struktur des Bodens. Dabei kann die Sätechnik und die Strategie ebenfalls einen Effekt auf das Speichervermögen ausüben. An der Oberfläche verbliebene Erntereste verhindern eine Verschlämmung und dadurch ist es dem Wasser bei stärkeren Niederschlägen möglich, in tiefere Bodenschichten einzudringen, anstatt oberflächlich abzufließen. Das Porensystem entscheidet über das Speichervermögen und wieviel des Wassers in trockeneren Perioden freigesetzt wird. In noch tiefer gelegenen Schichten wird festgelegt, ob das Wasser gespeichert werden kann oder ins Grundwasser abfließt (Aichinger, 2003, S. 14).

Speziell bei der Direktsaat ist es für das Bodengefüge wichtig, den Druck der Geräte auf den Boden niedrig zu halten. Daher sollten alle Bearbeitungsgeräte mit Niederdruckreifen ausgestattet sein (Aichinger, 2003, S. 15).



FLÄCHENLEISTUNG UND ENERGIEVERBRAUCH

Der Einsatz des Pfluges und die Nachbearbeitung sind sehr zeitintensiv und gehen mit großem Energieaufwand einher. Es ergibt sich für konservierende Bodenbearbeitung eine weit höhere Flächenleistung, da mit den Geräten nicht wendender Bodenbearbeitung weniger Boden bewegt wird. Ergänzend zu erwähnen ist, dass die Bearbeitungsfläche nach der Bearbeitung durch nicht wendende Geräte feiner ist. So ergibt sich eine Energieeinsparung in der Nachbearbeitung (Aichinger, 2003, S. 16).

EINSTIEGSMÖGLICHKEITEN - UMSTELLUNG

Ein Umstieg von konventioneller Bodenbearbeitung zu konservierender Bodenbearbeitung sollte nur nach und nach geschehen. Die Bearbeitungstiefe wird dabei allmählich verringert. Der Übergang kann zwischen zwei und sechs Jahren dauern. Zu beachten ist, dass bei vermehrtem Schädlingsbefall eine Abkehr anzudenken ist und wieder auf konventionelle Bodenbearbeitung mit Pflug umgestellt werden sollte. Weiters gilt es zu berücksichtigen, dass die Maschinen eventuell angepasst werden müssen (Aichinger, 2003, S. 17).

Zu Beginn sollten nur einzelne Feldschläge umgestellt werden, um Erfahrung in der Bearbeitung zu erhalten. Nicht alle Böden sind für eine konservierende Behandlung geeignet und so kann das Risiko minimiert werden (Aichinger, 2003, S. 19).

3.2.5 Nachteile der konservierenden Bodenbearbeitung

Generell lässt sich sagen, dass die konservierenden Bearbeitungsmethoden komplexer sind als die konventionelle Bearbeitung mit dem Pflug. Personal muss geschult werden und die Flächen, die bearbeitet werden, weisen in den ersten Jahren der Implementierung von konservierender Bearbeitung nicht die gleichen Erträge auf wie noch vor der Umstellung.

FUSARIEN – MYKOTOXINE

Die Grundlage für eine ausgezeichnete Qualität von Nahrungsmitteln ist ein heiler Pflanzenbestand. Bei der konservierenden Bodenbearbeitung ist das Aufkommen von Fusarienpilzen genau zu beachten. Deren Menge hängt stark vom Wetter ab und in feuchteren Gebieten ist ein größeres Vorkommen wahrscheinlicher. Es sollten präventive Schritte unternommen werden, um in ausgesprochen feuchten Jahren keine Probleme mit Krankheiten zu haben (Aichinger, 2003, S. 22).



Mykotoxine sind giftige Stoffwechselprodukte. Sie können von Fusarienpilzen produziert werden und greifen Leber, Nieren oder Galle an und können die Funktion des Verdauungstraktes stören. Bei Körnermais besteht das größte Risiko für Infektionen (Aichinger, 2003, S. 22).

Der Pflug ist immer noch die beste Variante im Kampf gegen Fusarien und Mykotoxine. Für konservierende Bearbeitungsmethoden empfiehlt sich neben dem Einsatz verschiedener Maßnahmen und einer ordentlichen Strohzerkleinerung die Einsetzung von Fungiziden als begleitender Schritt (Aichinger, 2003, S. 23).

TIERE

Die Pflanzenreste bieten Tieren an der Oberfläche gute Nistmöglichkeiten. Eine geringe Häcksellänge sowie eine einheitliche Verteilung des Strohs sollten diese Möglichkeiten minimieren (Aichinger, 2003, S. 25).

Es gibt mehrere kombinierbare Arbeitsschritte, um die Schäden durch Mäuse oder Schnecken gering zu halten. Dazu zählen laut Aichinger (2003, S. 25f):

- Willentlich tiefe Bodenbearbeitung
- Anwalzen der oberflächennahen Hohlräume zur Verringerung der Nistplätze
- Ausbringen von Branntkalk
- Verwendung von Schneckenkorn

UNKRÄUTER – UNGRÄSER

Die jeweilige Ausbildung von Unkräutern und Ungräsern hängt von den Standortfaktoren ab (Aichinger, 2003, S. 27).

Bei konservierender Bodenbearbeitung ist es wichtig zu wissen, welche Unkräuter sich im Boden befinden, da sich diese im Gegensatz zu konventioneller Bearbeitung anders entwickeln und teilweise schwerer zu behandeln sind, da nur mit chemischen Pflanzenschutzmitteln gearbeitet werden soll. Im Extremfall ist der Einsatz des Pfluges anzudenken (Aichinger, 2003, S. 27).

Es kann vorkommen, dass sich Unkräuter und Ungräser bei zu schwacher Häckselung oder zu großem Bestand an Pflanzenresten im Spritzschatten befinden und so nicht begossen werden (Aichinger, 2003, S. 27).



Unkrautbekämpfung kann mechanisch oder chemisch betrieben werden. Es ist auch variabel ob vor oder nach der Aussaat Schritte gesetzt werden (Aichinger, 2003, S. 28).

RESISTENZBILDUNGEN

Tiere und Pflanzen können sich an veränderte Lebensgrundlagen anpassen. Daraus können neue Eigenschaften entstehen (= Mutation) (Aichinger, 2003, S. 30).

Nimmt die Intensität der Bodenbearbeitung ab, ergibt sich daraus mehr Unkrautdruck. Das bedeutet vor allem bei der Direktsaat den Einsatz von Herbiziden. Bei der Direktsaat wird die Unkrautbekämpfung beinahe ausnahmslos chemisch bestritten. Durch häufige Anwendung von Pflanzenschutzmitteln wird das Risiko der Resistenzbildung erhöht (Aichinger, 2003, S. 30).

Als Abhilfe gilt eine genaue Abwechslung der Wirkstoffe, diese verursacht aber hohe Kosten (Aichinger, 2003, S. 30).

KEIMUNG – JUGENDENTWICKLUNG

Die Grundlage für eine homogene Keimung bildet ein einheitliches Saatbett. Folgende Anforderungen sind wesentlich nach Aichinger (2003, S. 31):

- Durchgehend gleiche Ablagetiefe der Saat
- Homogene Bedeckung mit feiner Erde
- Keine Pflanzenrückstände in den Saatrillen
- Gleichmäßiger Andruck
- Keine tiefen Fahrspuren oder verdichtete Zonen im Boden
- Gleichmäßige Distribution von Pflanzenresten

BODENDRUCK

Ein schwacher, homogener Bodendruck bewirkt eine schwache Verdichtung des Bodens. Das hat bei allen Bearbeitungsmethoden die gleichen Effekte auf das Bodengefüge (Aichinger, 2003, S. 33).

Ein stärkerer Bodendruck wirkt sich jedoch unterschiedlich auf das Bodengefüge aus (Aichinger, 2003, S. 33).



Direkt nach dem Einsatz des Pfluges ist ein Boden sehr stark aufgelockert, weshalb sich daraus eine geringe Tragfähigkeit des Bodens ergibt (Aichinger, 2003, S. 33).

3.3 ERNTE

Ist an der Spindelansatzstelle des Kornes ein schwarzer Punkt sichtbar, hat das *Maiskorn seine physiologische Reife erreicht* (Eder und Brandhuber, 2014, S. 532).

Körnermais ist für den Zeitpunkt der Ernte flexibler als Silomais. Empfehlenswert ist ein Trockenmasse-Gehalt von 60 %. Ab diesem Wert kann ohne Verluste gedroschen werden. Ist der Wert höher, erhöhen sich auch die Verluste (Eder und Brandhuber, 2014, 532f).

Für Körnermais gilt, dass er gleich nach der Ernte angemessen konserviert wird, denn ohne eine Aufbereitung kann er nicht eingelagert werden (Eder und Brandhuber, 2014, S. 533).

Der Erntezeitpunkt ist ein Abwägen zwischen Trocknungskosten und möglichen Verlusten durch Pflanzenbruch (Eder und Brandhuber, 2014, S. 533).

3.4 VERGLEICHE DER BEARBEITUNGSMETHODEN AUF DAUERBEOBACHTUNGSFLÄCHEN

In Zollikofen im Kanton Bern existiert seit 1994 eine Dauerbeobachtungsfläche. Dort werden die Anbausysteme Direktsaat und Pflug mit den gleichen Fruchtfolgen, ausschließlich mineralischer Düngung und ohne Bracheperioden verglichen (Sturny, Chervet et al., 2007, S. 350).

Die Ergebnisse der letzten Jahre legen nahe, dass die Direktsaat nach einigen Jahren der Anpassung und Verfeinerung höhere Erträge und geringere Bodenbeeinträchtigungen liefern kann. Die Produktions- und Energiekosten können bei Einsatz der Direktsaat verringert werden. Eine anfängliche Umstellungsphase ist aber zu erwarten und es gibt kein Patentrezept wie ein Boden bearbeitet werden soll. Das ist in Feinarbeit für den jeweiligen Standort auszukundschaften. Daher empfiehlt es sich, diese Tests auf kleinen Flächen zu beginnen, bevor der gesamte Betrieb umgestellt wird (Sturny, Chervet et al., 2007, S. 350).



Es wird auch von Problemen mit Schnecken als Schädlingen in der Direktsaat berichtet, jedoch weist der Boden nach 6-jähriger konservierender Bearbeitung ein deutlich besseres Gefüge auf als die Variante mit dem Pflug, sodass hier die Vorteile die Nachteile deutlich überwiegen. In Abbildung 3.2 sind die relativen Erträge und die relative Stickstoffzufuhr der Direktsaat im Vergleich zur Pflugbearbeitung (entspricht 100 %) dargestellt. In den ersten Jahren ist es wichtig, die Stickstoffzufuhr zu erhöhen und dann stellen sich gleiche und sogar bessere Erträge der Direktsaat ein (Sturny, Chervet et al., 2007, S. 355).

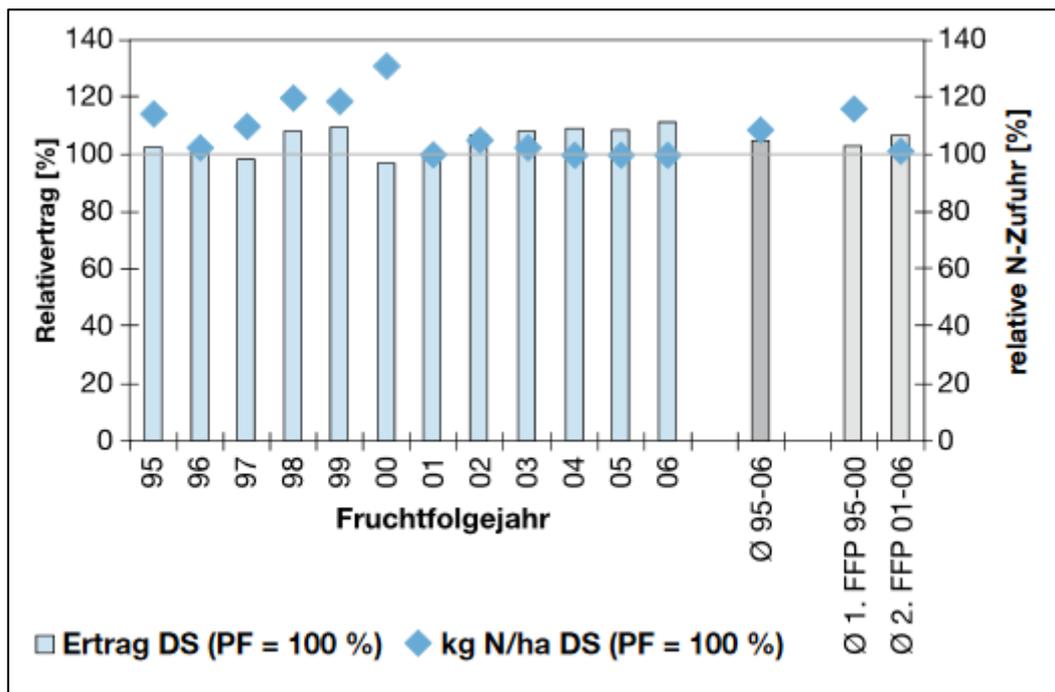


Abbildung 3.2: Relativerträge und relative N-Zufuhr Dauerbeobachtungsfläche Oberacker, Zollikofen
Quelle: Sturny, Chervet et al., 2007, S. 355)

4 MATERIAL UND METHODEN

4.1 LAGE DES VERSUCHSSTANDORTES

Der Versuchsstandort befindet sich südöstlich der niederösterreichischen Landeshauptstadt St. Pölten. Im Gemeindegebiet der Marktgemeinde Pyhra im Bezirk St. Pölten-Land liegt er auf einer Seehöhe von ca. 330 m. ü. A. (sh. Abbildung 4.1).

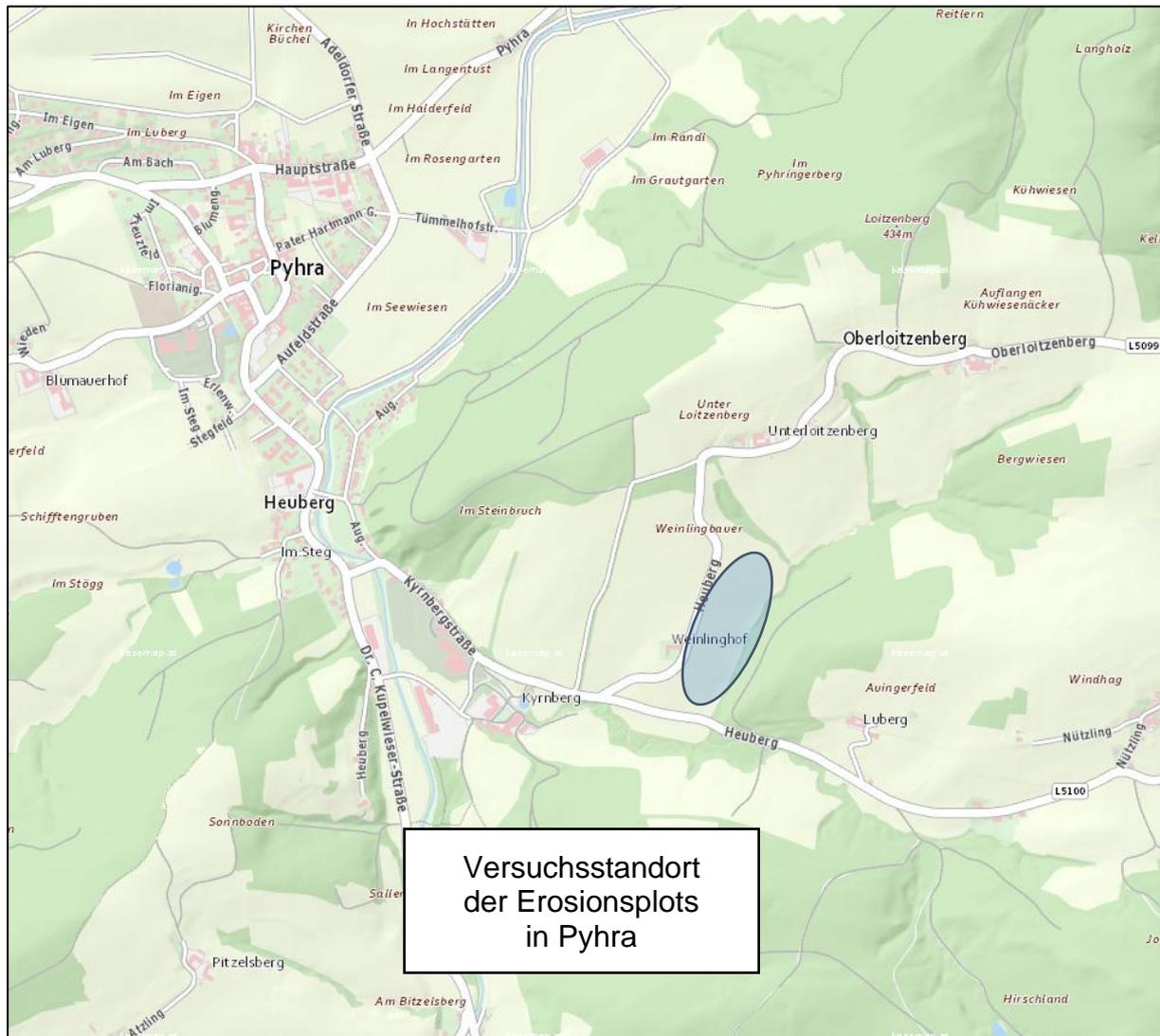


Abbildung 4.1: Übersichtslageplan, Quelle: basemap.at

Die jeweiligen Plots weisen eine Länge von 15 m und eine Breite von 4 m auf, woraus sich eine Fläche von 60 m² pro Plot ergibt.

4.2 BESCHREIBUNG DES VERSUCHSSTANDORTES

4.2.1 Bodenkundliche Grundlagen

Für die Ermittlung der bodenkundlichen Grundlagen liegen Daten des Online-Portals „bodenkarte.at“ vor. Das Ausgangsmaterial in diesem Gebiet ist feines

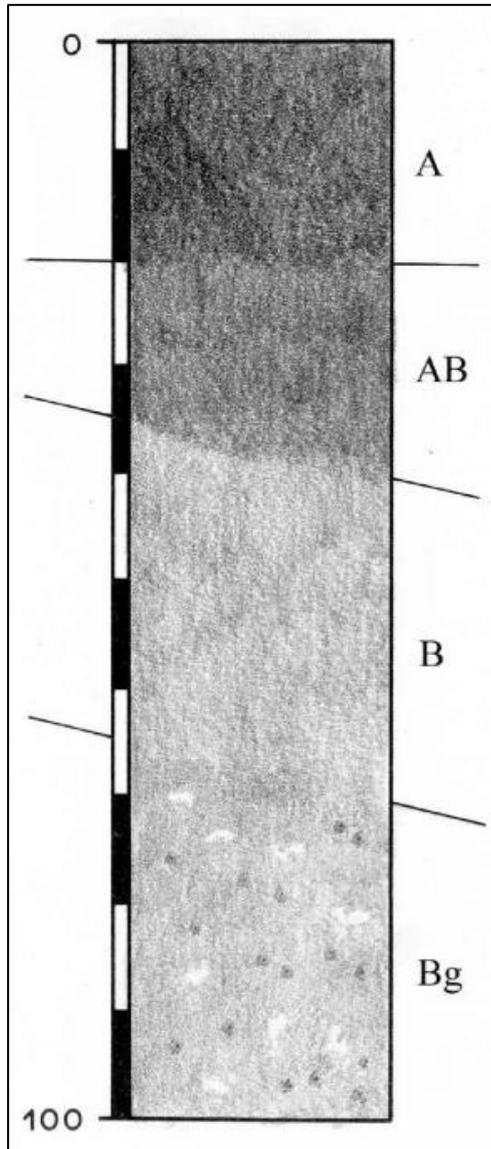


Abbildung 4.2: Veranschaulichung der Bodenhorizonte, Quelle: „bodenkarte.at“

Verwitterungsmaterial. Die vorkommenden Bodentypen sind Typischer Pseudogley sowie Lockersediment-Braunerde.

In Abbildung 4.2 sind die Horizonte des Bodenprofils ID 64 - K98 dargestellt.

Der Horizont A befindet sich in einer Tiefe von 0 bis 20 cm, besitzt einen Humusanteil nach Walkley von 2,8 % und der pH-Wert beträgt 5.

Im Horizont AB ist in der Tiefe von 20 bis 35 cm ein Humusanteil von 2,7 % anzufinden, bei einem pH-Wert von 4,8.

Der Horizont B erstreckt sich von 35 bis 70 cm mit einem Humusanteil von 0,9 % und einem pH-Wert von 4,7

In diesen drei Horizonten spricht man von sandigem Lehm (sL) und sie werden als sauer eingestuft.

Im Horizont Bg ist von 70 bis 200 cm ein Humusanteil von 0,5 % vorhanden bei einem pH-Wert von 4,2. Dadurch ergibt sich ein stark saurer Boden und es ist lehmiger Sand (IS) anzutreffen.

In Abbildung 4.3 ist die Gründigkeit des Bodens ersichtlich (tiefgründig – blau | mitteltiefgründig – grün | mittelgründig: gelb). Die Eigenschaften des Bodens an der Messstelle sind für den Ackerbau gut geeignet. Durch eine tiefgründige Mächtigkeit des ungehindert für Pflanzen durchwurzelbaren Raumes (>70 cm), wechselfeuchten bis gut versorgten Wasserverhältnissen sowie einer geringen bis mäßigen



Durchlässigkeit ergeben sich sehr gute Bedingungen für den Ackerbau (Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, 2019).

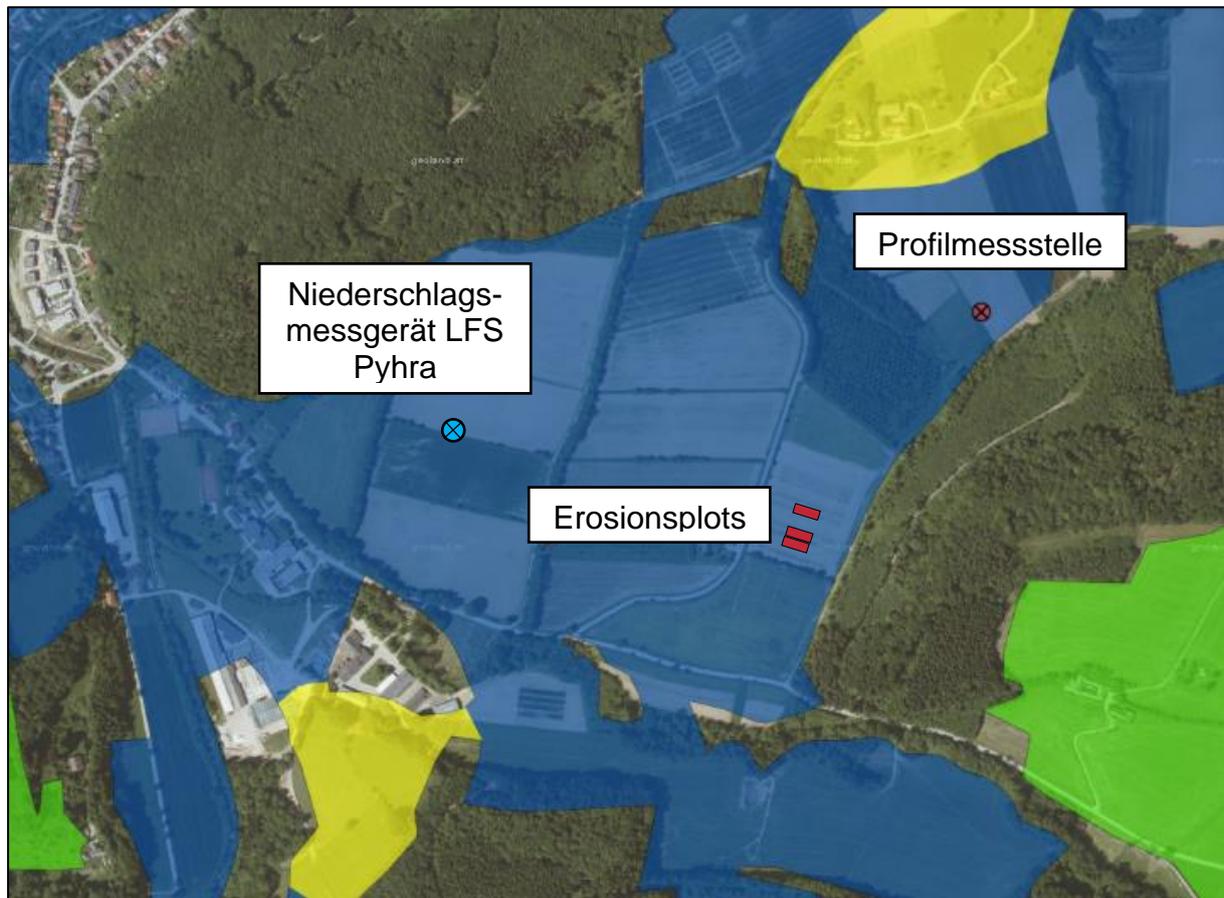


Abbildung 4.3: Übersichtskarte mit den Erosionsplots und der Profilmessstelle

Quelle: Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (2019)

Nahe zum Versuchsstandort befindet sich eine Profilmessstelle mit der Bezeichnung ID 64 - K 98. Die Profilmessstelle befindet sich wie der Versuchsstandort im Ackerland (Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, 2019).

Die Aussagen über die Profilmessstelle können somit auf den Versuchsstandort übertragen werden. Als Bodentyp wird in der „bodenkarte.at“ eine schwach vergleyte, kalkfreie Lockersediment-Braunerde angegeben (Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, 2019).

4.2.2 Langjährige Reihe der Niederschläge

Die Jahressummen der Niederschläge wurden online via ehyd.gv.at bezogen. Die Niederschlagswerte am Versuchsstandort sind in den letzten knapp 50 Jahren immer



wieder von trockenen Jahren mit ungefähr 600 mm Jahresniederschlag gekennzeichnet. Es ist ein Trend zu erkennen, dass Extremwerte öfter auftreten, ob dies nun trockene oder nasse Jahre sind. In diesem Jahrtausend traten 6 von 7 Fällen auf, bei denen die Niederschlagssummen über 1000 mm lagen. Man könnte das als ein Zeichen des veränderten Klimas sehen (Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, 2020).

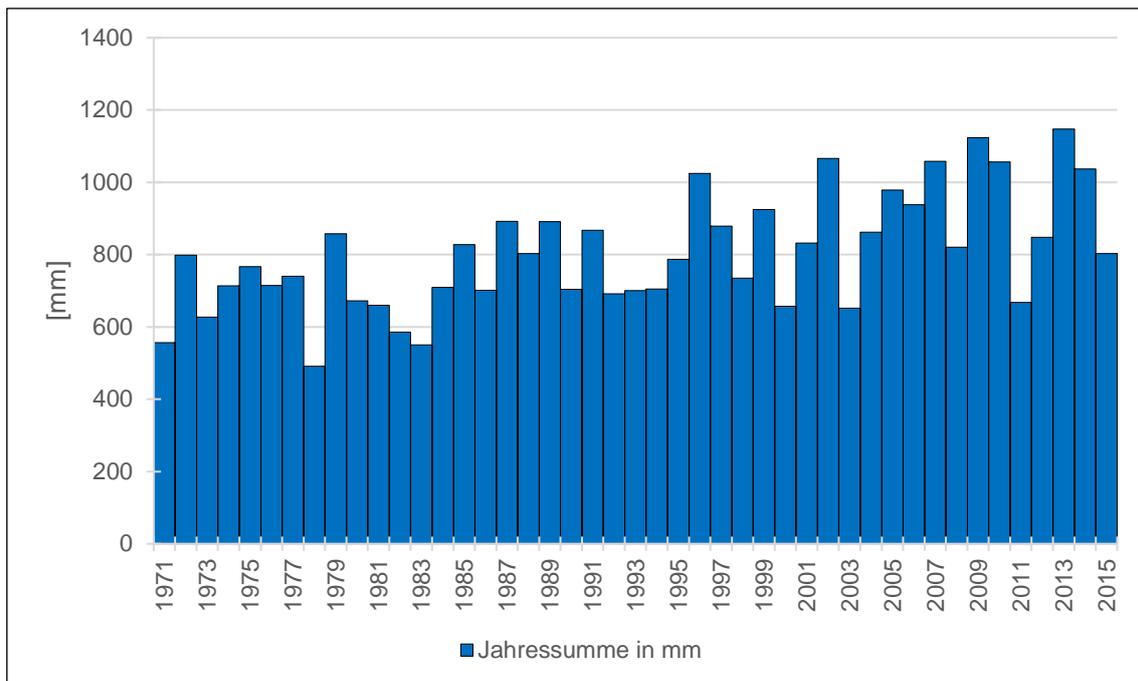


Abbildung 4.4: Jahresniederschläge in Pyhra 1971-2015
Quelle: Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (2016)

4.2.3 Temperaturdaten für Pyhra

Die Temperaturdaten des Standortes in Pyhra wurden aus dem Hydrographischen Jahrbuch Österreichs entnommen und sind in Abbildung 4.5 ersichtlich. Die relevanten Monate der Ablesung sind von Mai bis Mitte September. Im Mai wurden zwar noch keine Bodenproben analysiert, aber die Niederschlagsmessung und somit die Auswertung der Niederschläge war bereits in Betrieb.

Das Berichtsjahr war 2016, somit sind die blauen Werte des Berichtsjahres nur bedingt relevant. Für diese Arbeit sind die langjährigen Beobachtungen von Bedeutung. Als Spitzenwert im Monat Juni für den Tagesmittelwert der Temperatur ergeben sich 28,6 °C. Eine bemerkenswerte Beobachtung ist weiters, dass die größten Tagesmittelwerte in 9 der 12 Monate des Jahres im neuen Jahrtausend erreicht



wurden, wobei nur in 2 von 12 Monaten die niedrigsten Tagesmittelwerte ab dem Jahr 2000 registriert wurden.

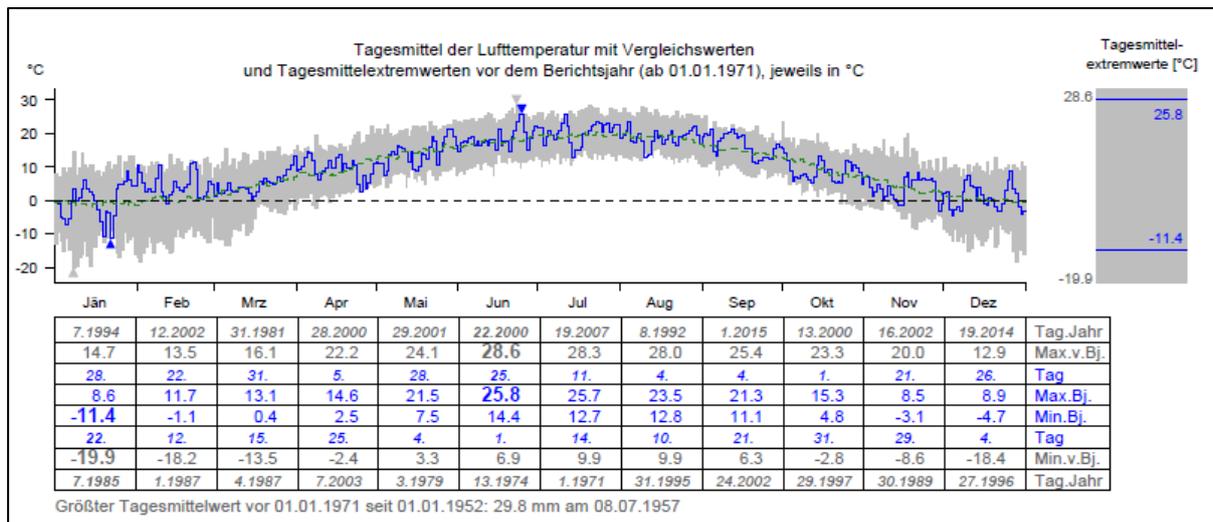


Abbildung 4.5: Tagesmittel der Lufttemperatur,
Quelle: Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (2016)

4.3 LANDWIRTSCHAFTLICHE AUSGANGSLAGE

An der LFS in Pyhra werden seit dem Jahr 1994 dokumentierte Erosionsversuche durchgeführt.

An den Äckern nahe der LFS unterhalb des „Weinlinghofes“ werden acht verschiedene Varianten des Anbaus praktiziert. Tabelle 4.1 gibt eine Zusammenfassung der Varianten wieder.

Tabelle 4.1: Übersicht über alle Anbauvarianten an der LFS Pyhra 2019, Quelle: Bartmann (2019)

Nr.	Name der Variante	Beschreibung der Variante
1 KS	Konventionell A Pflugfurche, keine Gründecke	wendende Bearbeitung mit Pflug, keine Gründecke im Herbst, konventionelle Saatbettbereitung
2	Konventionell B Pflugfurche, danach Gründecke	wendende Bearbeitung mit Pflug, Gründecke im Herbst (Phacelia, Senf, Kresse), konventionelle Saatbettbereitung
3	Konservierend A keine Gründecke	2x seicht mischende Bearbeitung, keine Gründecke im Herbst, konventionelle Saatbettbereitung



Nr.	Name der Variante	Beschreibung der Variante
4	Konservierend B Gründercke mit N-Zehrrern	2x seicht mischende Bearbeitung N-zehrende Gründercke im Herbst (Senf, Ölrctich, Mungo, Phazelia, ...) Mulchsaat
5 MS	Konservierend C Gründercke mit Leguminosen	2x seicht mischende Bearbeitung Leguminosen-Gründercke im Herbst (Platterbse, Saatwicke, Alex.-Klee, ...) Mulchsaat
6 DS	Direktsaat A in abfrostende Gründercke	keine Bearbeitung, Gründercke im Herbst (Phacelia, Senf, Kresse), Direktsaat nach Totalherbizid
7	Direktsaat B in Winterbegrünung	keine Bearbeitung, Winterung im Herbst (Grünroggen, W-Gerste...) Direktsaat nach Totalherbizid
8	Direktsaat C in Sommergerste	keine Bearbeitung, Sommergerste im zeitigen Frühjahr Direktsaat nach Totalherbizid

Die Varianten KS, MS und DS sind mit Messhäusern und darin befindlichen Niederschlagsmessrädern ausgerüstet. An diesen werden die Ablesungen der Bodenerosion durchgeführt. Im Messhaus der Variante MS befindet sich der Datenlogger zur Aufnahme der Zeitpunkte, zu denen sich die Messräder drehen. Durch die Zeitreihe zurück bis zum Jahr 1994 ist die Fruchtfolge sehr gut nachgewiesen.

Die farbliche Kennzeichnung der Varianten in Tabelle 4.1 wird in den Diagrammen von Kapitel 5 ebenfalls verwendet.

Eine Übersicht über die einzelnen Fruchtfolgen und deren Erträge gibt es zum Ende der Arbeit in Tabelle 5.1.

4.4 HYDROLOGISCHE AUSGANGSLAGE

In Abbildung 4.6 ist erkennbar, dass es im Jahr 2019 einen sehr feuchten Monat Mai gab. Leider ist dieser Zeitraum nicht in den Messungen der bodenphysikalischen Parameter und den Wasserproben mitaufgenommen worden, da der Aufbau am Versuchsstandort noch nicht abgeschlossen war und der Regen die Aufbauarbeiten stark behinderte.

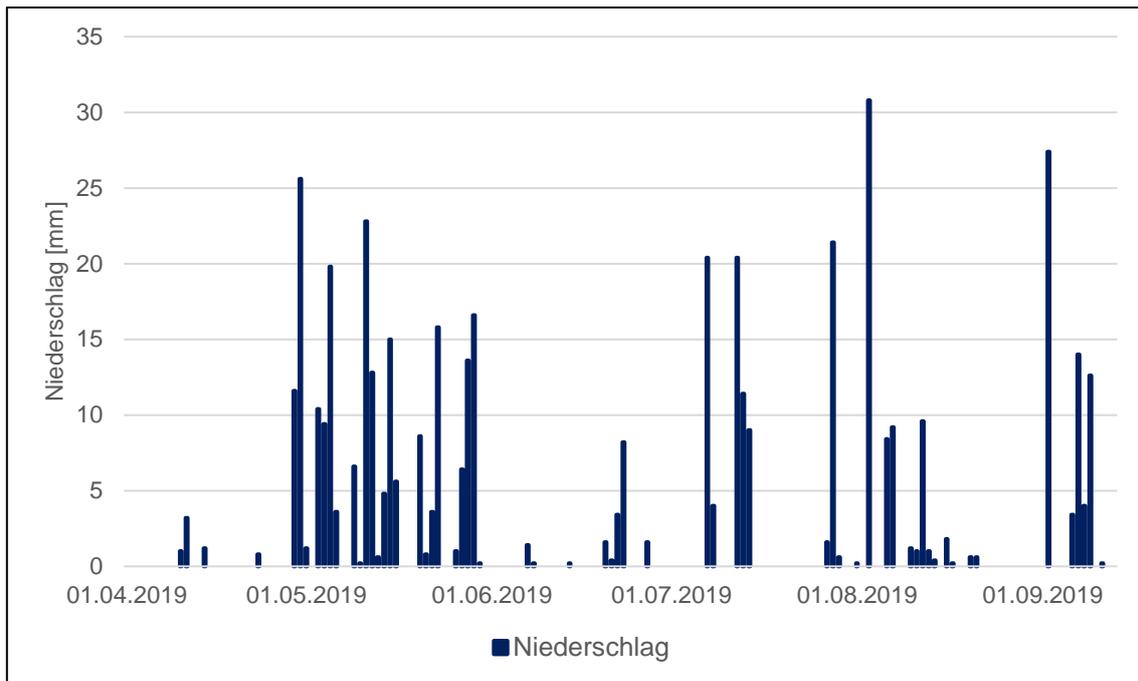


Abbildung 4.6: Niederschlagsmesswerte der Messstation der LFS Pyhra ab 1. April 2019

Erst mit Ende Juni können aussagekräftige Vergleiche mit den Werten der Messstation der LFS Pyhra angestellt werden.

4.5 LAGE DES VERSUCHSSTANDORTES

Zu Beginn wurden die Erosionsplots so angelegt, dass die daran anschließenden Rohre mit einem Gefälle von 2 % in der Messhütte über dem Niederschlagsmessgerät enden.

Der Hang weist im Bereich der Erosionsplots eine Neigung von ca. 17,5 % auf.

Die drei Messstellen wurden identisch aufgebaut. Drei Plots zu je 15 m x 4 m ergibt für jeden Plot eine Fläche von 60 m². Über ca. 15 m lange Rohre sind die Auffangrinnen der Plots mit den Messhäuschen und damit den Messrädern verbunden.

An der Hangoberseite und seitlich begrenzen Chromstahlbleche die Fläche, an der Hangunterseite ist eine Auffangrinne installiert, die den Oberflächenabfluss und den erodierten Boden über das Rohr in die Messhütte leitet. In Abbildung 4.7 ist der Aufbau dargestellt.

Zur Messung des Oberflächenabflusses wird in jeder Hütte ein Messrad verwendet. Nach einer geeichten Abflussmenge von 5 Litern dreht sich das Messrad und erzeugt dabei einen elektromagnetischen Impuls, der mit zugehörigem Zeitpunkt von der

elektronischen Datenerfassung, die in der mittleren Hütte installiert ist, aufgezeichnet wird.



Abbildung 4.7: Aufbau des Versuchsstandortes mit Plot, Auffangrinne, Ableitung und Messhütte
Aufnahme vom 6. Mai 2019, Pyhra

Danach fließt das Wasser in einen Teilungstrichter, in dem der Abfluss in einem Verhältnis von 1:19 geteilt wird. Außerhalb der Messhütte ist ein Kunststoffbehälter mit einem Volumen von 120 Litern installiert und in diesem wird der kleinere Teil des Abflusses gesammelt. Der Rest läuft in die Wiese.

Im Labor wird von der Probe aus dem Kunststoffbehälter die Sedimentkonzentration und über die Abflusshöhe die gesamte Sedimentmenge rückgerechnet.

4.6 ABLAUF DER FELDARBEITEN

Die Aufbauarbeiten in Pyhra begannen am 25. April 2019.

Begonnen wurde mit der Positionierung der Auffangrinnen. Abbildung 4.8 zeigt das Eingraben der Rinne auf Plot 1. Um mit einem Gefälle von 2 ‰ in der bereits vorhandenen Messhütte zu enden, wurde mittels Schnur die Position ermittelt. Es wurden bei diesem Arbeitsschritt ebenso die Rohre verlegt, die dann später den Oberflächenabfluss zum Messrad transportieren.



Abbildung 4.8: Das Eingraben der Auffangrinne von Plot 1
Aufnahme vom 25. April 2019, Pyhra

Danach wurden die Rinnen eingegraben und die Chromstahlbleche zur Abgrenzung der Plots eingeschlagen. In der Zwischenzeit wurde die Verkabelung für die Messräder hergestellt und in der Hütte MS wurde die elektronische Datenerfassung aufgebaut. Die Datenerfassung funktionierte ab dem 3. Mai 2019, auch wenn die Rohre zu diesem Tag noch nicht fertig installiert waren.

Im nächsten Schritt wurden die Rohre auf Holzpfählen aufgebockt, damit der Abfluss der Rinne bis zur Messhütte einwandfrei funktionieren konnte.

In der Messhütte wurden die Trichter unten an den Messrädern befestigt und die Abläufe (einer in den Kunststoffbehälter mit 120 Liter Volumen, der andere ins Freie) installiert.

Zu erwähnen bleibt, dass es in der Phase des Aufbaus viele Regentage gab und es dadurch zu einigen Verzögerungen kam.

Ab dem 28. Juni 2019 wurde wöchentlich eine Ablesung des Datenschreibers in Messhütte MS sowie Proben von Wasser und Boden genommen. Die Wasserproben wurden dem nachstehenden Kunststoffbehälter mit dem Volumen von 120 Litern entnommen. Die Bodenproben wurden direkt an der Auffangrinne eingesammelt und danach wurde alles gereinigt.



Für das Ablesen des Datenschreibers war es wichtig, dass die serielle Schnittstelle richtig konfiguriert wurde, um via HyperTerminal® eine Verbindung zum Controller herzustellen.

Es wurde nicht nur wöchentlich abgelesen, denn es war auch vorgesehen, dass im Anlassfall (starker Regen oder Gewitter) sofort Ablesungen und Probenahmen durchgeführt wurden.

Dies führte dazu, dass in besonders trockenen Wochen gar keine Ablesung gemacht werden konnte und in der Woche mit dem meisten Niederschlag wurden innerhalb von 3 Tagen 2 mal die Proben am Versuchsstandort entnommen.

Die großen Regenereignisse des Jahres 2019 konnten leider nicht aufgenommen werden, da sie den Aufbau verzögerten und somit nicht in die Messung der Boden- und Wasserproben miteinbezogen werden konnten.

Beendet wurden die Probenahmen am 13. September 2019. Insgesamt wurden neun Probenahmen durchgeführt. Diese wurden in den Labors der Universität für Bodenkultur Wien am Institut für Bodenphysik und landeskulturelle Wasserwirtschaft ausgewertet.

Abbildung 4.9 zeigt den prinzipiellen Aufbau am Versuchsstandort. Der abgegrenzte Plot sowie das aufgeständerte Ableitungsrohr in das Messhaus treffen auf das Messrad und in weiterer Folge wird der Großteil des Niederschlagswassers ins Freie abgeleitet und ein kleiner Teil im Behälter aufgefangen und später im Labor analysiert.

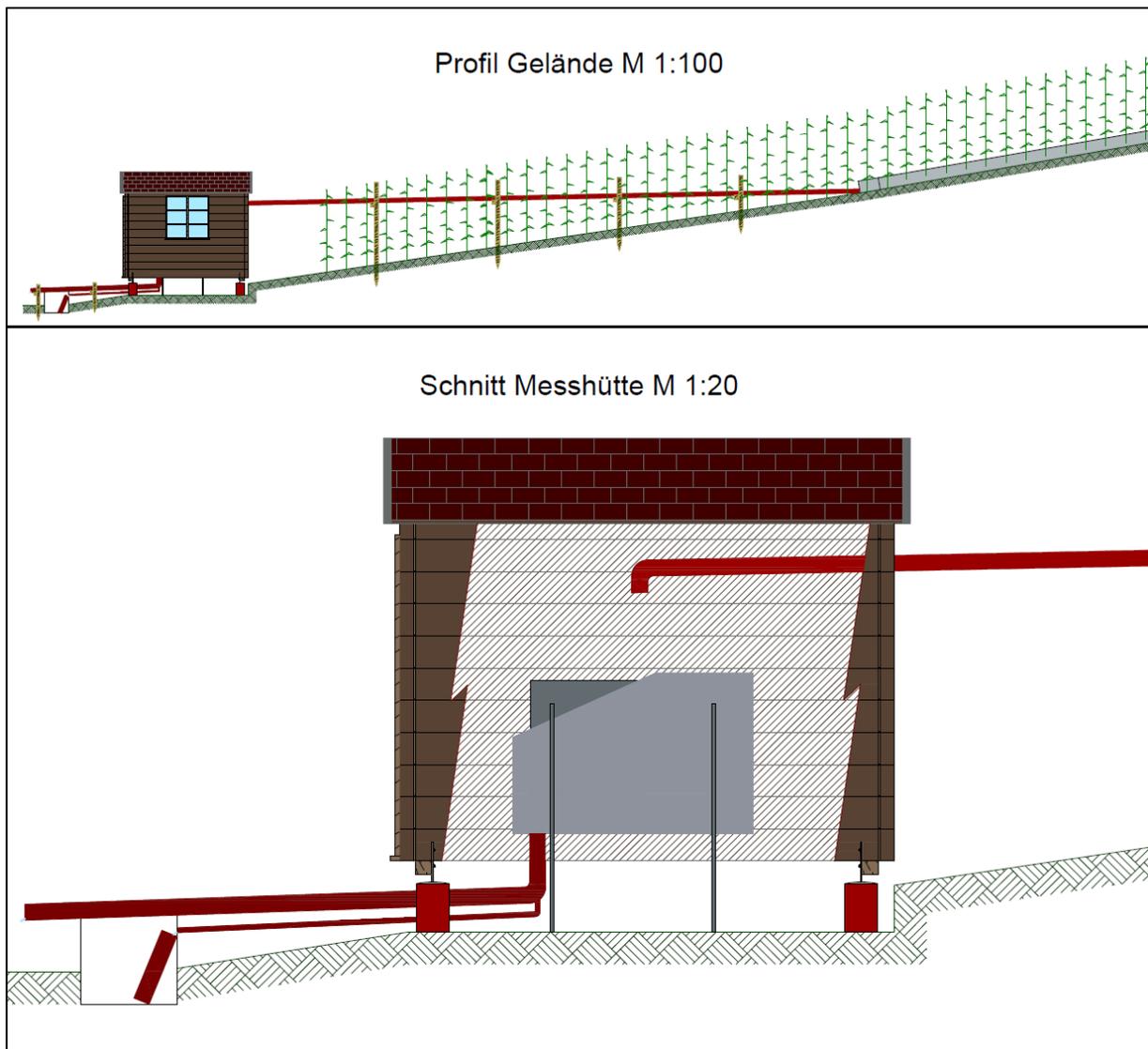


Abbildung 4.9: Prinzipskizze des Aufbaus der Messstelle

Anzumerken bleibt, dass wie unter Kapitel 3.1.5 angegeben, Mäuse und in einem speziellen Fall ein Maulwurf, Opfer der glatten Metalloberfläche der Auffangrinne wurden. Ihr einziger Ausweg war durch das Rohr, weshalb sie schließlich ins Messrad gefallen und ertrunken sind. Bei Variante KS war dies nicht zu beobachten, nur bei den Varianten mit konservierender Bodenbearbeitung und ohne Bodenbearbeitung.

Der Pflug dürfte den Lebensraum für Nagetiere also nachweislich zerstören.

4.7 „FLOWER POWER®“ SENSOREN

Vom Institut wurden weitere Messgeräte zur Ermittlung des Bodenwassergehalts, des Düngungsgrads des Bodens, der Sonneneinstrahlung und der Lufttemperatur zur Verfügung gestellt.



Die Einbautiefe für die Messung betrug ca. 10 cm.

Die Messwerkzeuge werden von der Firma Parrot vertrieben. Die Daten der „Flower Power®“-Geräte werden über eine Smartphone-App via Bluetooth abgerufen. Die App bietet einen ersten Überblick über die aufgenommenen Werte und stellt auch selbst Diagramme dar.

Diese Diagramme sind in der App zwar ansehnlich aufbereitet aber nicht für wissenschaftliche Zwecke zu gebrauchen.

Es gibt jedoch die Möglichkeit über das Backend der Firma Parrot die Daten aus den Geräten auszulesen. Die App lädt ihre Daten auf die Server der Firma hoch und anschließend ist es online mit dem in der App angelegten Benutzer möglich, die Daten als .csv-Dateien auszulesen. Dadurch lassen sich aussagekräftigere Diagramme erstellen.

Abbildung 4.10 zeigt das Gerät, das nur zur Licht- und Temperaturmessung verwendet wurde, da die bodennahen Sensoren durch die Überdeckung mit Mais keine zuverlässigen Aussagen für die gesamte Sonneneinstrahlung zulassen.



Abbildung 4.10: "Flower Power®"-Gerät zur Messung der Sonneneinstrahlung an Messhütte MS
Aufnahme vom 5.Juli 2019, Pyhra

Abbildung 4.11 wiederum zeigt eines der Geräte, die im Boden den Bodenwassergehalt sowie die Lufttemperatur und den Düngungsgrad des Bodens



messen. Die dort gemessene Sonneneinstrahlung ist ein Indikator für die Bedeckung des Bodens durch Pflanzen.



Abbildung 4.11: „Flower Power®“-Gerät in einem der Messplots, Aufnahme vom 5. Juli 2019, Pyhra

4.8 RAIN INTENSITY SUMMARIZATION TOOL (RIST)

Das Rain Intensity Summarization Tool bietet viele Möglichkeiten zur Auswertung der Niederschlagsereignisse.

In Abbildung 4.12 sind die Eingaben zu erkennen, die für eine Berechnung erforderlich sind und Abbildung 4.13 spezifiziert die Berechnungen für eine Ausgabe via RUSLE.

Besonderes Augenmerk bei der Verwendung von RIST ist auf die richtig spezifizierten Eingaben zu legen. Die Daten kommen mit Datum, Uhrzeit und einem „Tip“. Ein „Tip“ steht für eine Kippung und bedeutet bei den Hobo®-Messungen, dass 0,1 mm Niederschlag gefallen sind. Die Hobo®-Messungen wurden mit dem Institutseigenen Niederschlagsmessgerät („Hobo®“) durchgeführt. Diese lassen sich zu 0,1 Liter pro Quadratmeter umrechnen. So wird Zeile für Zeile durchgearbeitet, bis sämtliche Kippungen im Beobachtungszeitraum analysiert und die zusammenhängenden Niederschläge berechnet wurden.

Abbildung 4.12: RIST-Oberfläche Input, Quelle: RIST 3.99

Abbildung 4.13: RIST-Oberfläche Output RUSLE, Quelle: RIST 3.99

5 ERGEBNIS UND DISKUSSION

5.1 ANALYSE DER NIEDERSCHLÄGE

Mit dem Programm „Rain Intensity Summarization Tool“, kurz „**RIST**“ genannt, ist es möglich die Niederschläge, genauer zu analysieren. Die Aufzeichnungen der Niederschläge stammen vom institutseigenen Hobo®-Niederschlagsmessgerät.

Eingangswerte sind die Kippungen und die zugehörige Uhrzeit. Bei der Uhrzeit gilt es darauf zu achten, dass sie nicht dem englischen Format, sondern dem in Österreich üblichen Format ohne a.m. und p.m. (ante bzw. post meridiem) folgt.

Die Berechnung der Werte erfolgte mit der „Revised Universal Soil Loss Equation“, kurz „**RUSLE**“. Aus der Berechnung ergeben sich über die Kippungen des Messgerätes der gefallene Niederschlag, Intensitäten für Ereignisse unterschiedlicher Dauer sowie die Energie des gefallenen Niederschlags und dessen Erosivitätsfaktor R. Der R-Faktor ist in der USLE in Kapitel 2.1.2 beschrieben.

Die Aufzeichnungen der Niederschläge des Messgerätes reichen vom 22. März 2019 bis zum 3. August 2019. In Abbildung 5.1 sind die Niederschlagsereignisse mit hohen Niederschlagssummen im Mai, die vor dem Fertigstellen des Aufbaus am Versuchsstandort niedergingen, gut ersichtlich.

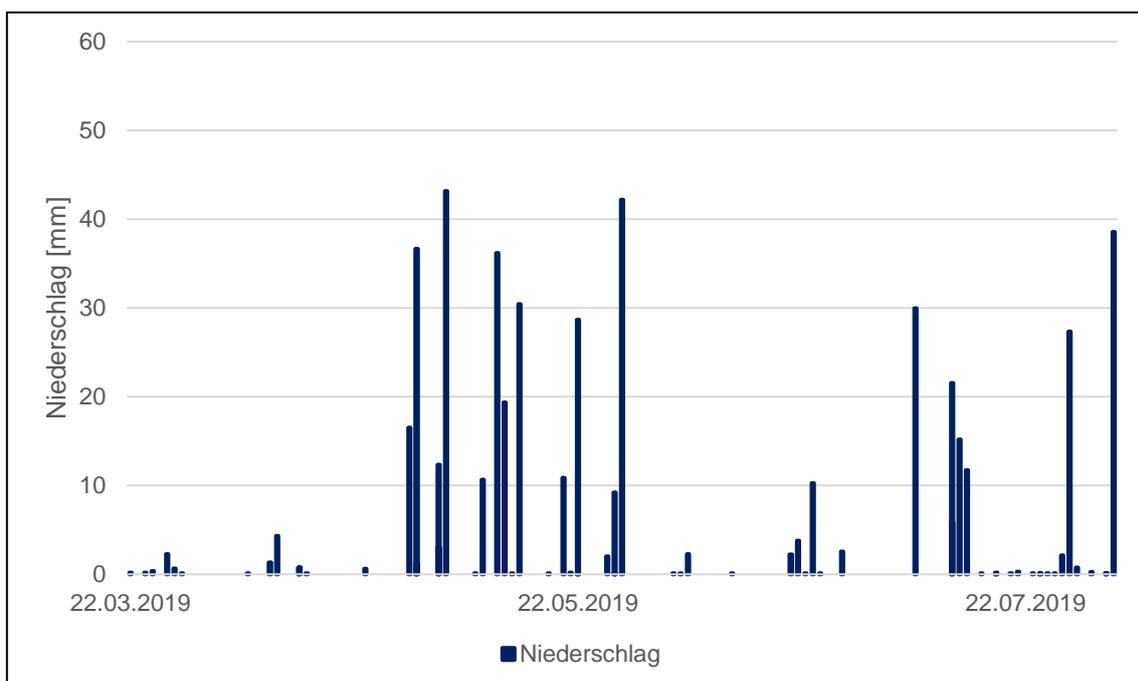


Abbildung 5.1: Niederschlagswerte Hobo®-Niederschlagsmessgerät



Die Intensität der jeweiligen Niederschläge lässt sich über das Maximum in 30 Minuten sehr gut beschreiben. Würde ein Regenereignis 30 Minuten dauern, dann würden die in Abbildung 5.2 dargestellten Niederschlagshöhen pro Stunde erreicht werden.

In Abbildung 5.2 wurde der Niederschlag mit breiteren Linien dargestellt, um einen besseren Zusammenhang der einzelnen Ereignisse mit den daraus resultierenden Intensitäten bieten zu können. Dadurch lässt sich der Rückschluss ziehen, dass die Niederschläge im April und Mai eher advektiven Charakters (vgl. Kapitel 2.2.2) waren und es im Juli, vor allem aber zum Ende der Beobachtungen mit dem Hobo®-Messgerät konvektive Niederschläge mit hohen Intensitäten gab.

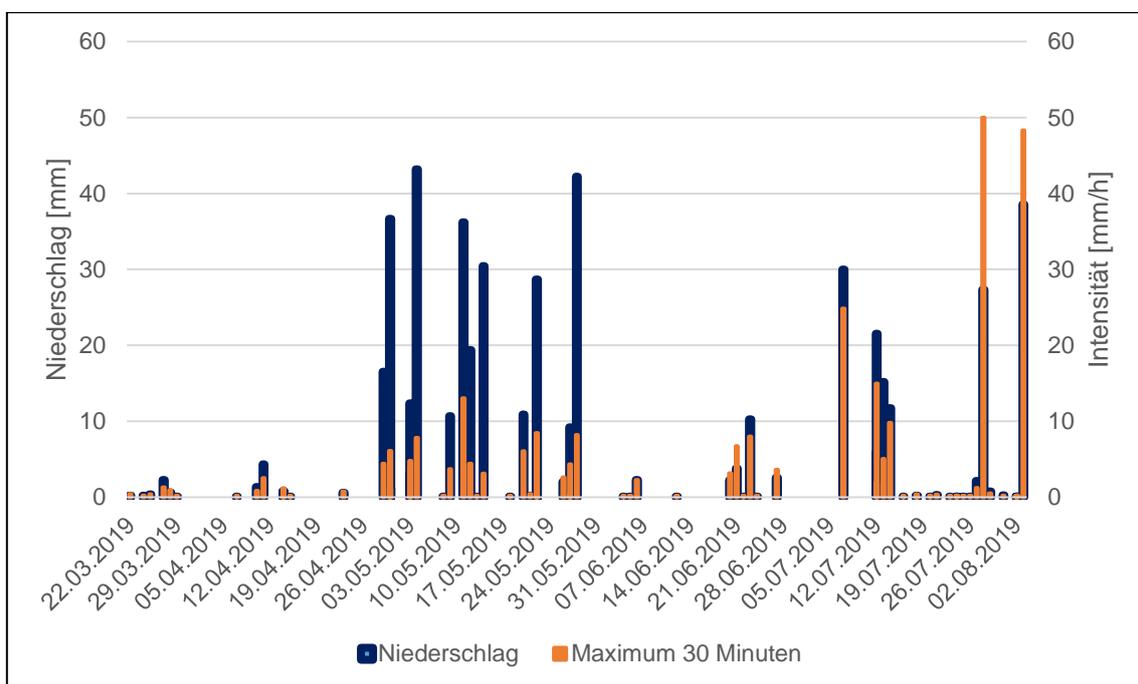


Abbildung 5.2 Niederschlagsintensitäten 30 Minuten

Die Energie, mit der die Niederschläge auf den Boden trafen, ist in Abbildung 5.3 zu erkennen. Die Energie der Niederschläge unterscheidet sich von den Intensitäten besonders bei den Niederschlägen im April und Mai. Sind die Werte für die Intensitäten noch geringer, so ist die Energie in diesen beiden Monaten um einiges höher. Gegen Ende der aufgezeichneten Niederschläge sind Niederschläge mit großen Intensitäten und hoher Energie dokumentiert, die einen entsprechenden Erosivitätsfaktor R ergeben. Durch den späten Zeitpunkt war der Boden bereits dicht bewachsen und diese Ereignisse führten zu keinem erhöhten Bodenabtrag.

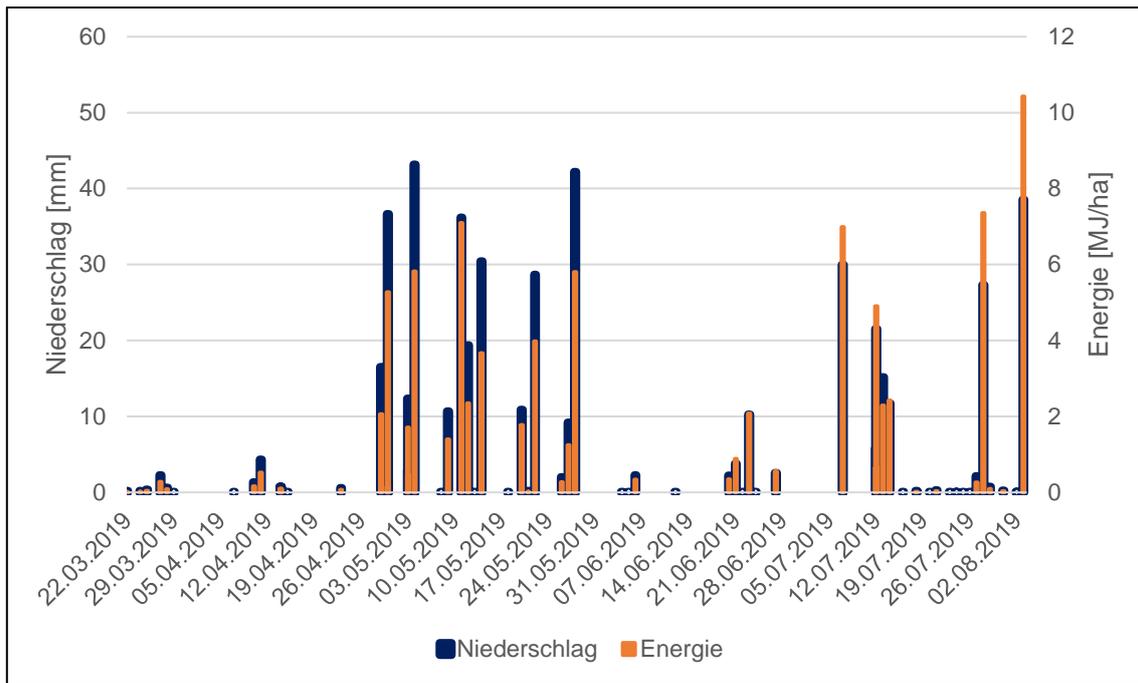


Abbildung 5.3: Energie der Niederschlagsereignisse

Aus der Intensität und der Energie lässt sich der Bodenerosivitätsfaktor R ableiten.

In Abbildung 5.4 ist anhand der Einheit des R-Faktors der Zusammenhang der Energie und Intensität zu erkennen. Das Ergebnis der Multiplikation der beiden Faktoren bildet den Bodenerosivitätsfaktor. Für die Bodenerosion sind wieder die Niederschläge Ende Juli und Anfang August maßgebender, ähnlich zu den Intensitäten in Abbildung 5.2.

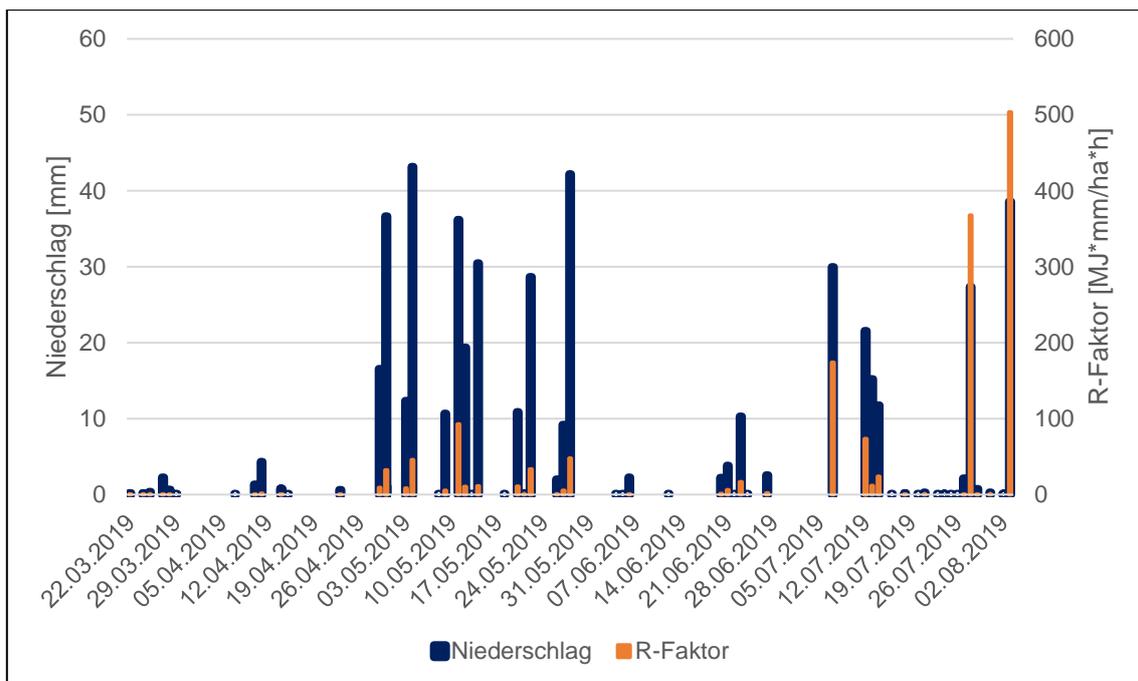


Abbildung 5.4: Bodenerosivitätsfaktor der Niederschlagsereignisse



5.2 BODENABTRAG UND OBERFLÄCHENABFLUSS

Während des Untersuchungszeitraumes vom 28. Juni 2019 bis 13. September 2019 fiel an 27 Tagen insgesamt 270,2 mm Niederschlag. Es wurden zwar bei jeder wöchentlichen Beobachtung Erosionstätigkeiten registriert, jedoch in minimalem Ausmaß.

Der Mangel an beobachteten starken erosiven Ereignissen lässt sich durch den späten Aufbau aufgrund des schlechten Wetters begründen. In dieser Zeit war noch eine sehr schwache Pflanzendecke vorhanden und es wären mehr erosive Ereignisse aufgezeichnet worden, doch der Aufbau konnte erst spät fertiggestellt werden.

In der Zeit der Ablesung war die Pflanzendecke schon dicht genug und die Pflanzen ausreichend im Boden verwurzelt, sodass der Bodenabtrag nur noch gering war. Dafür kann man die Tendenzen unter den einzelnen Varianten gut erkennen.

In Abbildung 5.5 wird ersichtlich, wie stark der Boden erodiert werden kann bei Flächen, die konventionell mit dem Pflug bearbeitet werden, im Vergleich zu jenen Flächen, die konservierend bearbeitet wurden. Es handelt sich dabei um die fünffache Menge, jedoch sind die Werte absolut gesehen sehr niedrig und beinahe vernachlässigbar.

Anfang August ist es möglich, den Niederschlag aus Kapitel 5.1 mit Energie und Intensität mit dem beobachteten Bodenabtrag in Abbildung 5.6 in ein Verhältnis zu bringen. Die Aufzeichnung von Bodenabtrag und Niederschlägen am 28. Juni 2019 enthält alle Ereignisse, die mit Beendigung des Aufbaus vor diesem Datum stattgefunden haben. In der Ablesung am 12. Juli 2019 ist laut Niederschlagsanalyse eines der drei erosivsten Ereignisse (vom 7. Juli 2019) während des Untersuchungszeitraumes abgebildet. Durch den anhaltenden Regen wurde nur zwei Tage später erneut eine Ablesung durchgeführt und für die Variante KS ein sehr ähnlicher Wert aufgenommen. Variante KS hat in allen Beobachtungen den höchsten Bodenabtrag und am 6. September ist trotz durchschnittlichem Niederschlags von 32 mm ein hochgerechneter Bodenabtrag von 0,09 t/ha das Maximum. Das kann an den drei Wochen ohne nennenswerten Niederschlag und Abfluss liegen, jedoch ist dieser Wert trotz des Bewuchses mit Maispflanzen erstaunlich hoch im Vergleich zum 28. Juni 2019.

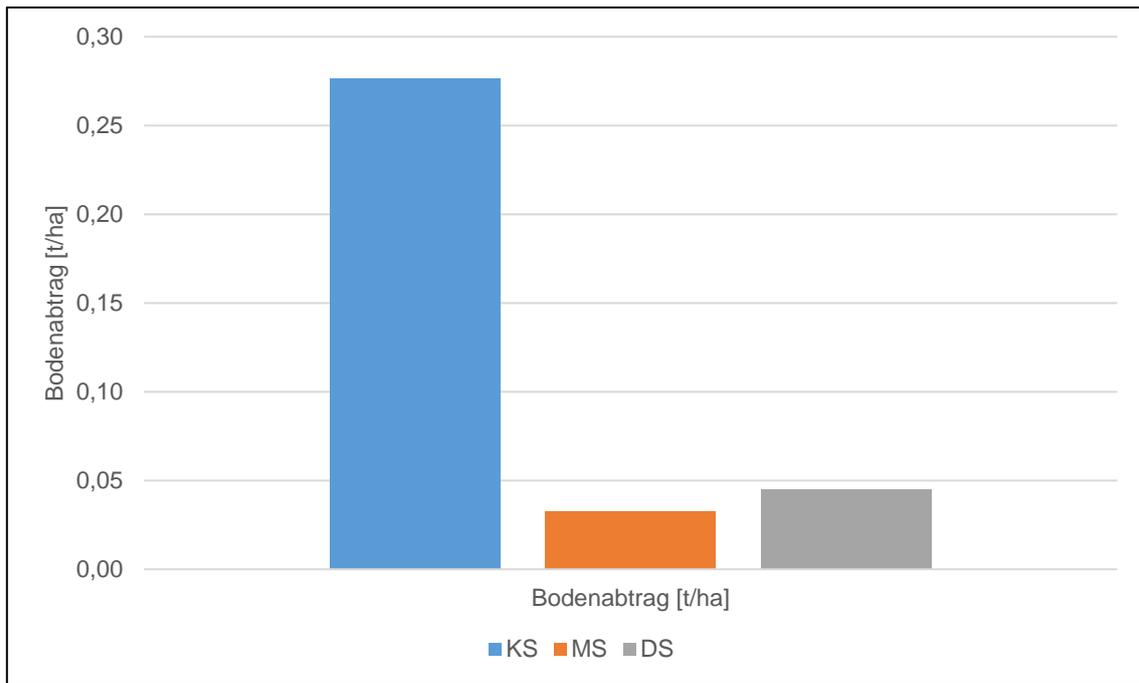


Abbildung 5.5: Summe des Bodenabtrags der Varianten am Versuchsstandort Pyhra [t/ha]

In Abbildung 5.6 wird der zwischen den Ablesungen aufgezeichnete Niederschlag mit den aufgetretenen Bodenabträgen dargestellt. Es zeigen sich einige Unregelmäßigkeiten in den Aufzeichnungen und ein eindeutiger Trend lässt sich ebenfalls nicht ableiten. So wurde in der Woche von 14. Juli 2019 bis 19. Juli 2019 kein Niederschlag dokumentiert, jedoch gab es mehr Bodenabtrag als in den darauffolgenden Wochen mit mehr Niederschlag.

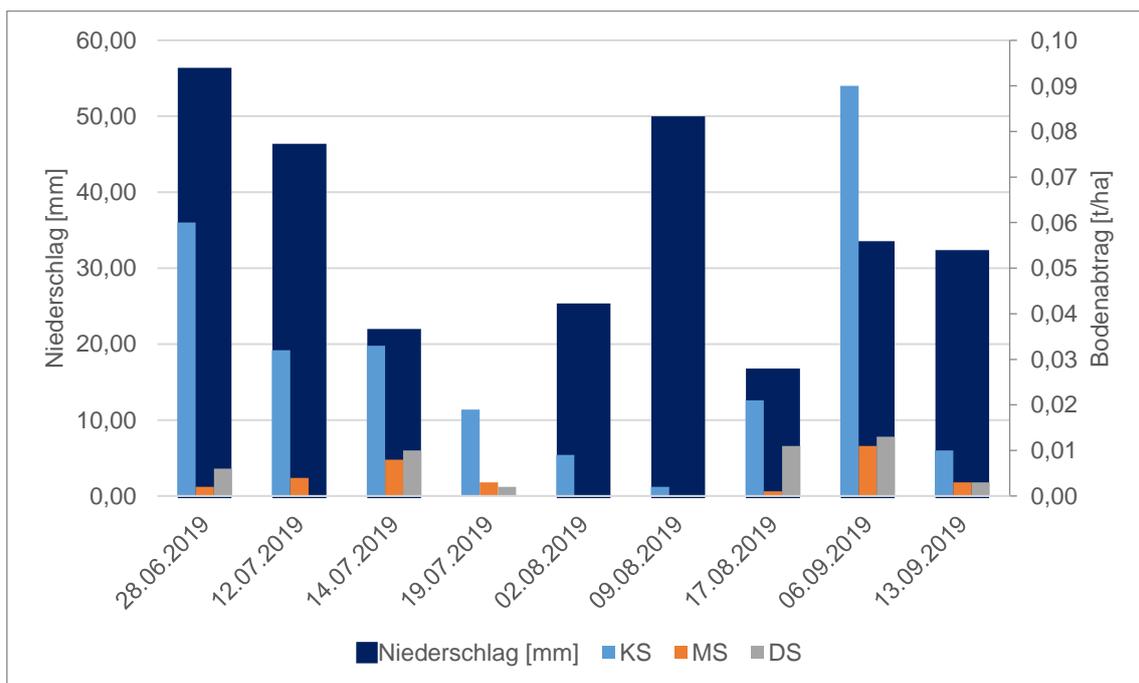


Abbildung 5.6: Niederschlag [mm] und daraus resultierender Bodenabtrag [t/ha]



Mögliche Erklärungen für die so nicht zu erwartenden Aufzeichnungen können zum einen Fehler in der Installation sein und zum anderen unterschiedliche Standorte der jeweiligen Messgeräte.

Gegen Ende der Beobachtungen waren, als Beispiel für Probleme der Installation, Ablaufrohre nicht mehr mit der Auffangrinne verbunden.

Die Niederschlagsaufzeichnung wurde in Abbildung 5.6 vom Niederschlagsmessgerät der LFS Pyhra zur Verfügung gestellt, da die Aufzeichnungen des institutseigenen Regenschreibers („Hobo®“), der sich näher an der Versuchsstelle befindet, nur bis zum 3. August 2019 reichen. Durch diese Entfernung (ca. 500 m) kann es zu kleinräumigen Unterschieden in den Niederschlagssummen gekommen sein.

5.3 BODENPHYSIKALISCHE UND WASSERUNTERSUCHUNGEN

Variante DS mit der Direktsaat zeigt ein hohes Aufkommen an Stickstoffaustrag, wie Abbildung 5.7 zeigt. In den anderen gemessenen Kategorien ist die Variante DS viel näher an den Werten von MS. Als Erklärung für den höheren Stickstoffaustrag bei der Direktsaat kann die Annahme herangezogen werden, dass die stetige Erhöhung der Stickstoffzufuhr in den ersten Jahren unbedingt notwendig ist. Ansonsten nimmt dieser Parameter zu stark ab, wie der höhere Austrag in Abbildung 5.7 belegt.

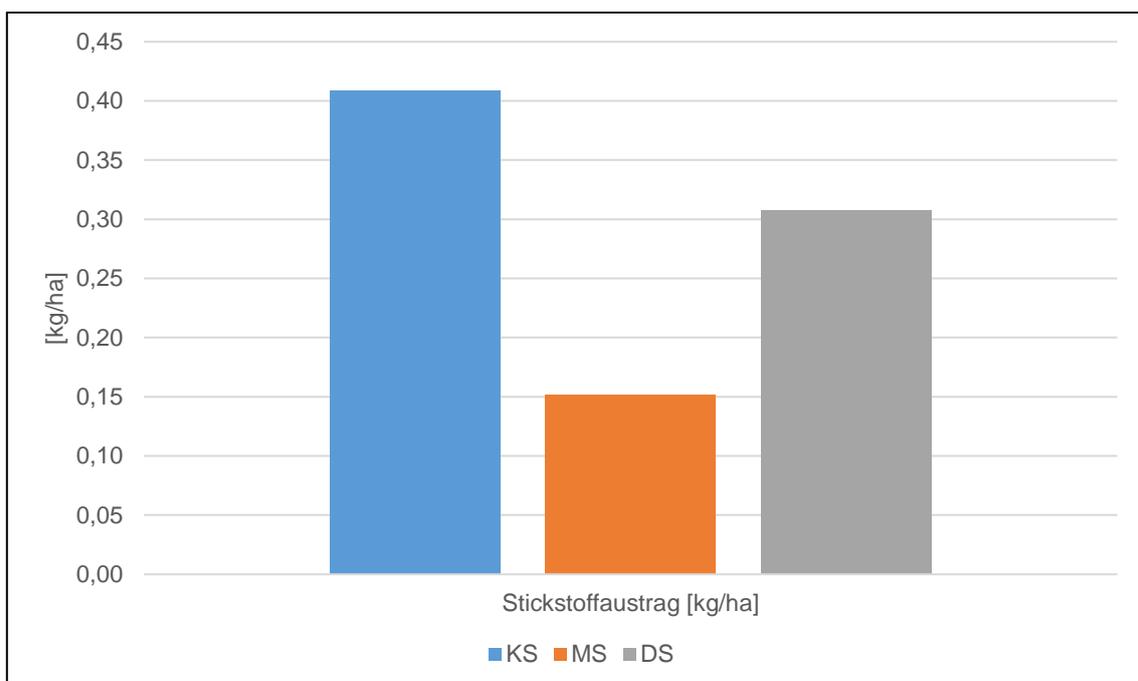


Abbildung 5.7: Stickstoffaustrag der untersuchten Varianten am Versuchsstandort Pyhra in kg/ha



Die Abbildung 5.8 sowie Abbildung 5.9 bestätigen die Eindrücke der Theorie, da hier Mulch- und Direktsaat auf einem sehr ähnlichen Niveau liegen und die konventionelle Bearbeitung mit dem Pflug weit über den Vergleichswerten liegt.

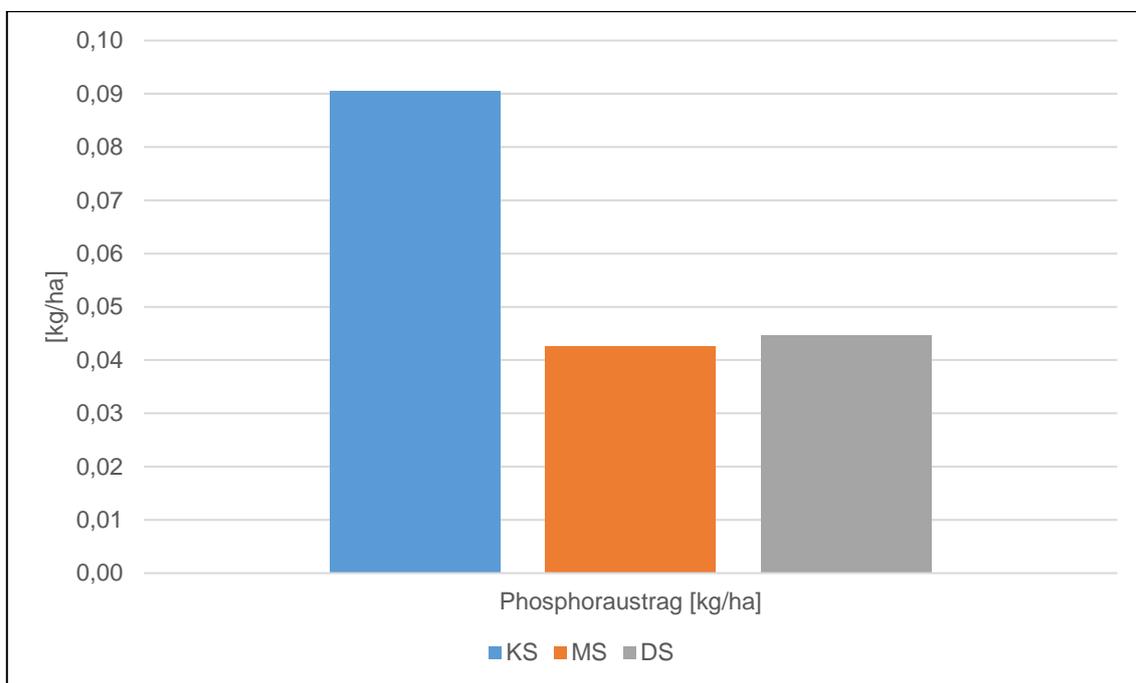


Abbildung 5.8: Phosphoraustrag der untersuchten Varianten am Versuchsstandort Pyhra in kg/ha

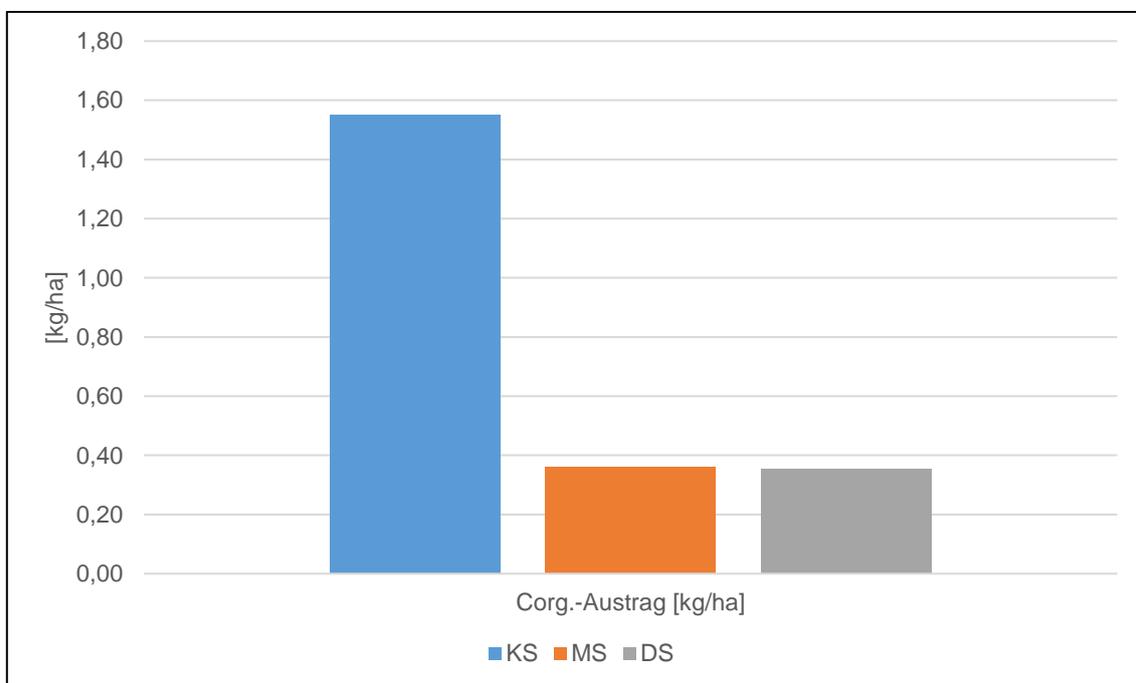


Abbildung 5.9: Org. Kohlenstoffaustrag der untersuchten Varianten am Versuchsstandort Pyhra in kg/ha

5.4 KORNERTEILUNGSKURVE DES SEDIMENTS

Die Kornverteilungskurve in Abbildung 5.10 für die jeweiligen Plots am Versuchsstandort ergibt sehr ähnliche Ergebnisse.

Die Analyse der Kornverteilung wurde am Institut durchgeführt und die Daten später wie in Abbildung 5.10 aufbereitet. Es lässt sich erkennen, dass bei Variante KS geringere Korndurchmesser einen höheren Anteil haben als in Variante MS und Variante DS. Aber im Grunde genommen sind die Kurven der drei Varianten sehr ähnlich und ohne besondere Auffälligkeiten. Man kann am Versuchsstandort laut Kornverteilungskurve von einem schluffigen Sand ausgehen.

Die kleinen Korngrößen von unter 2 mm lassen zu, von einem Feinboden zu sprechen. Hohe Sand- und Schluffanteile bewirken eine eher größere Gefahr der Erosion, dafür sind die Böden leichter bearbeitbar als Böden mit hohen Anteilen von Ton. Das Nährstoffspeichervermögen ist für diese Böden als gering bis mittel einzustufen.

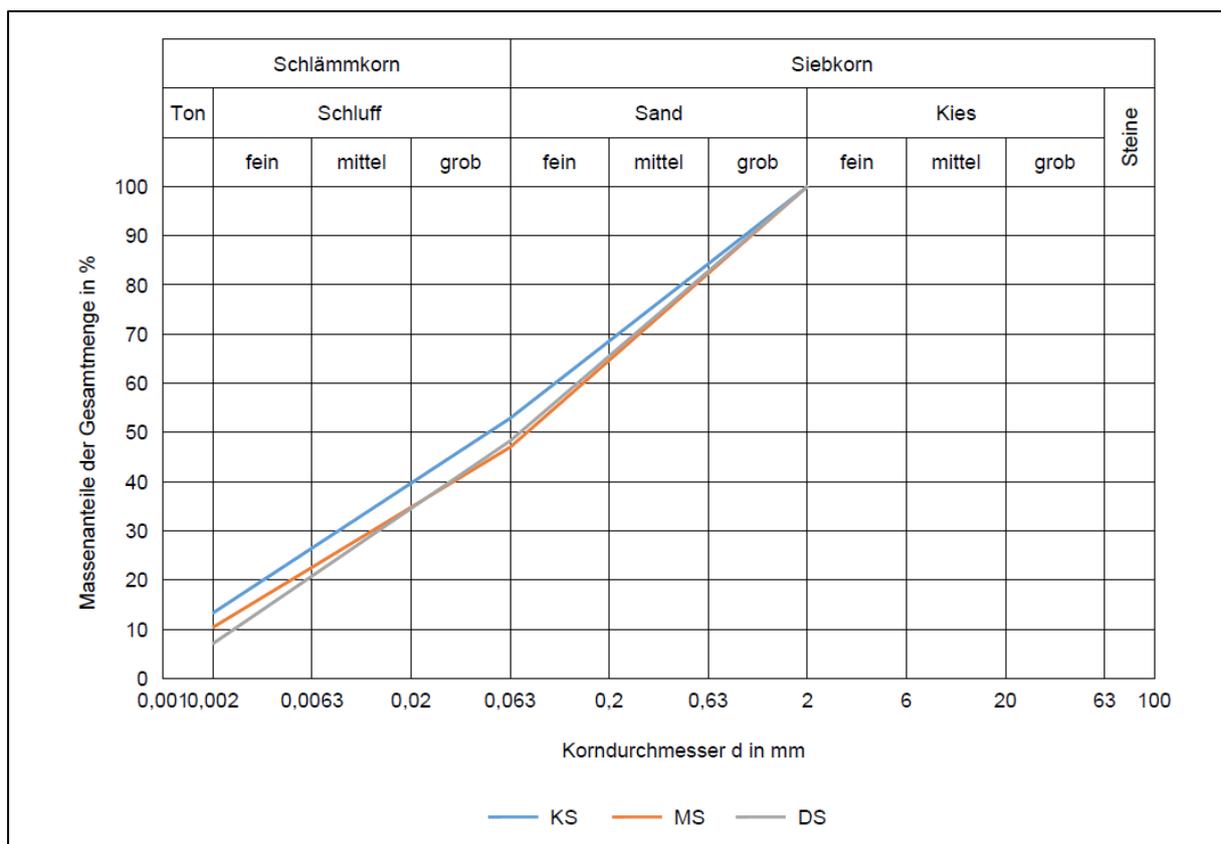


Abbildung 5.10: Kornverteilungskurve der untersuchten Varianten am Versuchsstandort Pyhra

Für die Kornverteilung wurden Säckchen mit allen Probenahmen vom Versuchsstandort für die einzelnen Varianten gemischt.



Aus jeder Probenahme wurde eine in Relation zur Gesamtmasse passende Menge entnommen.

Die genaue Einteilung der Böden kann man mit dem Bodenartendreieck in Abbildung 5.11 erkennen. Für die Variante KS ergibt sich bei Anteilen von 13,3 % Ton, 39,6 % Schluff und 47,1 % Sand ein stark lehmiger Sand, wohingegen die Variante MS einem mittel lehmigen Sand entspricht und die Variante DS einen stark schluffigen Sand darstellt. Diese Beobachtung deckt sich in etwa mit den Kornverteilungskurven.

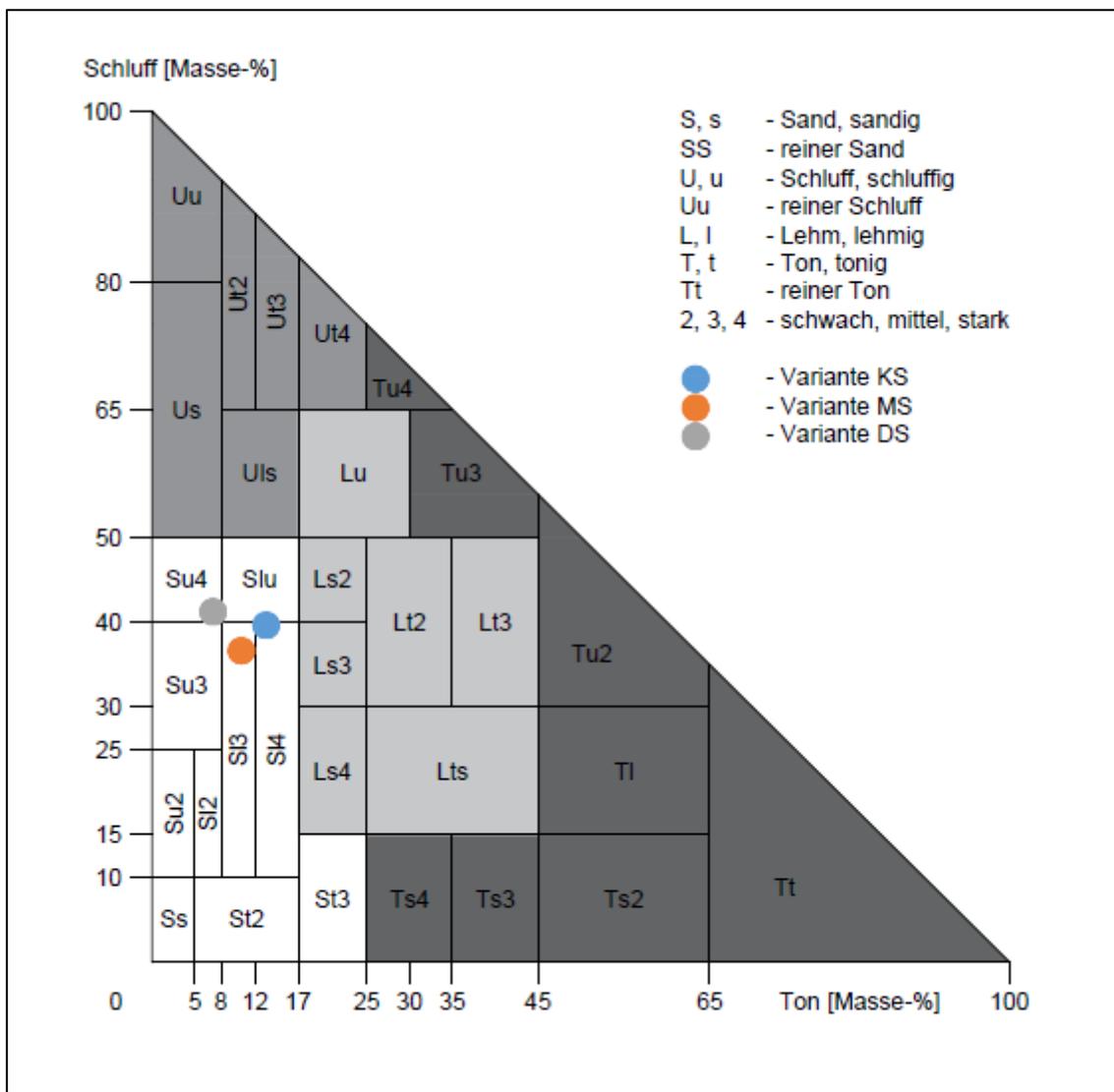


Abbildung 5.11: Bodenartendreieck mit den Ergebnissen der untersuchten Varianten

5.5 AUSWERTUNG „FLOWER POWER®“

Die Daten, die die vier „Flower Power®“-Geräte geliefert haben, werden in diesem Kapitel genauer diskutiert. Die Geräte waren vom 5. Juli 2019 bis zum 13. September 2019 im Einsatz. Die genaue Position kann für die Sensoren im

Boden und in den jeweiligen Plots Abbildung 5.12 entnommen werden. In jedem Plot wurden die Sensoren auf dieselbe Weise im Boden installiert. Abbildung 5.13 zeigt die Position des Sensors an der Messhütte, die sich in der Mitte befindet. Dies ist der Sensor, der die Referenz für die Sonneneinstrahlung und Temperaturwerte darstellt.

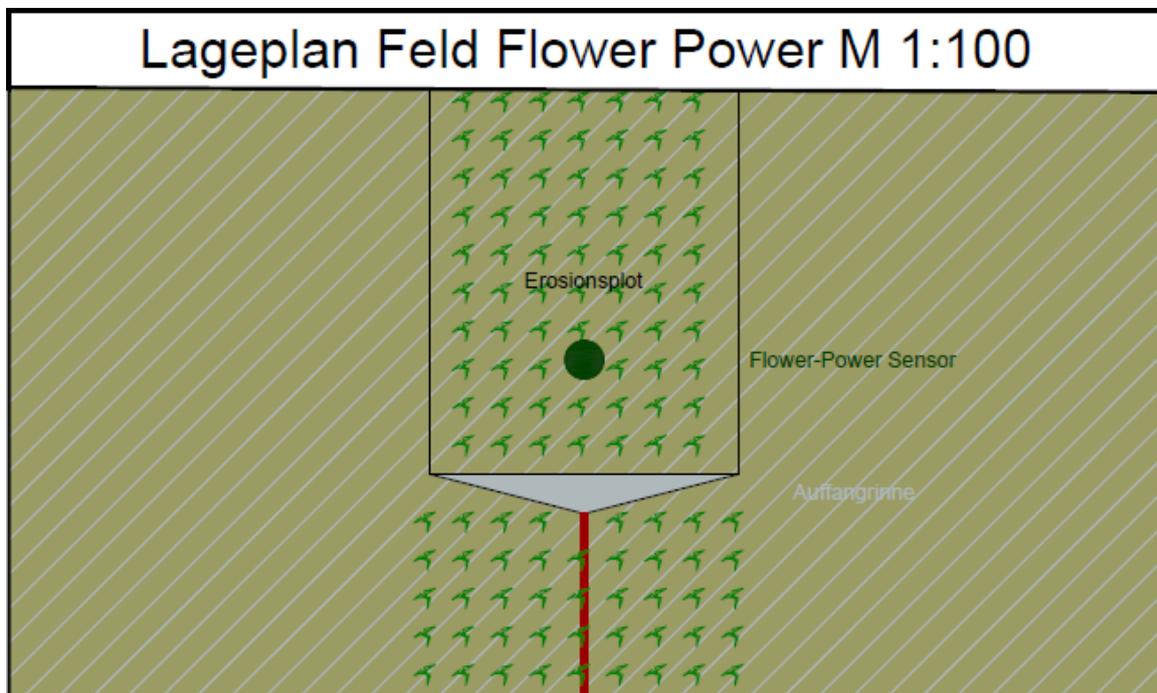


Abbildung 5.12: Lage der Flower-Power® Sensoren in den Plots der drei Bearbeitungsvarianten

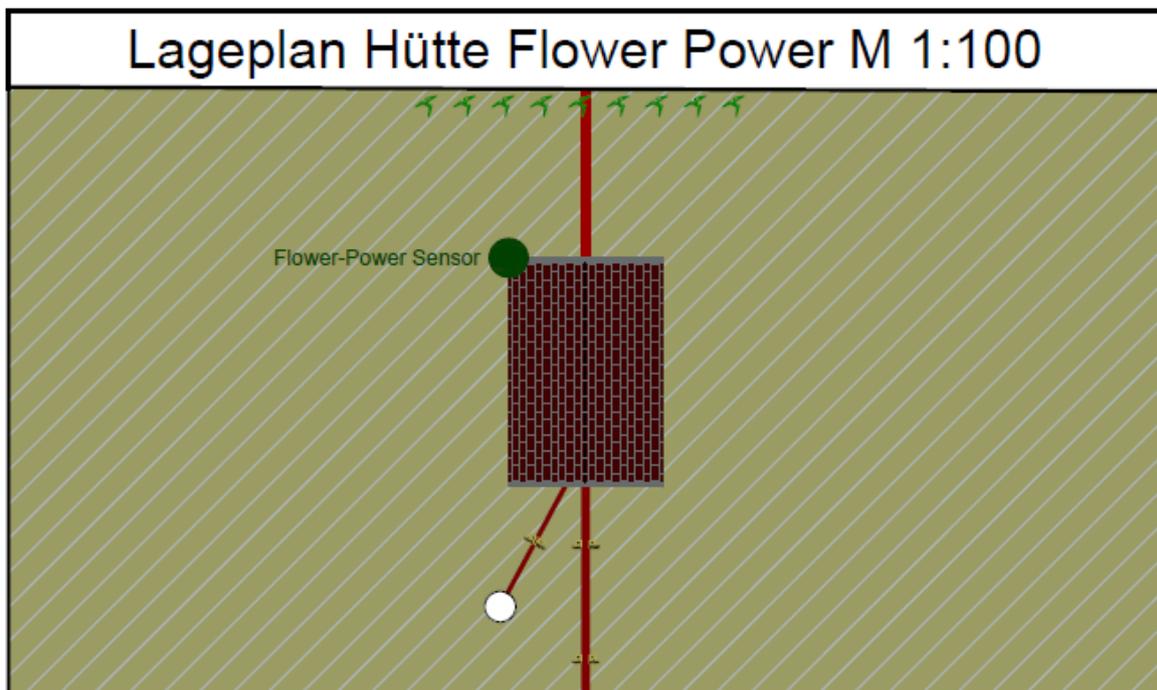


Abbildung 5.13: Lage des Flower-Power® Sensors an der Messhütte MS



5.5.1 Sonneneinstrahlung

Die Messung der Sonneneinstrahlung wurde auf allen drei Plots sowie auf der Messhütte der Variante MS (Variante mit konservierender Bodenbearbeitung der Mulchsaat) durchgeführt.

Die Einheit, mit der die Sonneneinstrahlung von „Flower Power®“ aufgezeichnet wird ist mol/(m²*d). Formel 5.1 ist eine gute Annäherung an den Wert in Kilolux und wurde von Thomas Brunner am Bundesamt für Wasserwirtschaft in Petzenkirchen erarbeitet. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Werte der App in mol/(m²*s) auf den Servern der Firma Parrot eingetragen werden. Formel 5.1 lässt eine bessere Vergleichbarkeit mit anderen Aufzeichnungen zu. Ein Lux ist laut Definition ein Lumen pro Quadratmeter. Es ist die SI-Einheit der Beleuchtungsstärke.

Formel 5.1: Umrechnungsformel der Flower-Power® Messerte in klx

$$\text{Wert in klx} = \frac{\frac{\text{Messwert mol} * 53,93}{15 * 60}}{24 * 60 * 60} \cdot 10000$$

Die dargestellten Daten der App sprengen jede vernünftige Skala der Sonneneinstrahlung für Lux. Für sonnige Tage errechnet die App ein Maximum von bis zu 813 Kilolux. Diese Werte sind bei weitem zu hoch. Für einen klaren Sonnentag in Mitteleuropa kann man in der Mittagssonne von Werten ausgehen, die ungefähr 90 Kilolux betragen. Mit dem errechneten Maximum an der Messhütte von 96,51 Kilolux sollte die angegebene Formel 5.1 eine gute Näherung an die tatsächlich vorkommenden Werte darstellen.

Abbildung 5.14 zeigt deutlich, dass der Wert der Hütte über den anderen Messwerten liegt, was auf den immer dichteren und höheren Bewuchs mit Maispflanzen zurückzuführen ist.

Höhere Werte in den Varianten lassen auf eine weniger geschlossene Pflanzendecke rückschließen. Dies deckt sich mit den Angaben der jährlichen Erträge in der später folgenden Tabelle 5.1 auf Seite 71.

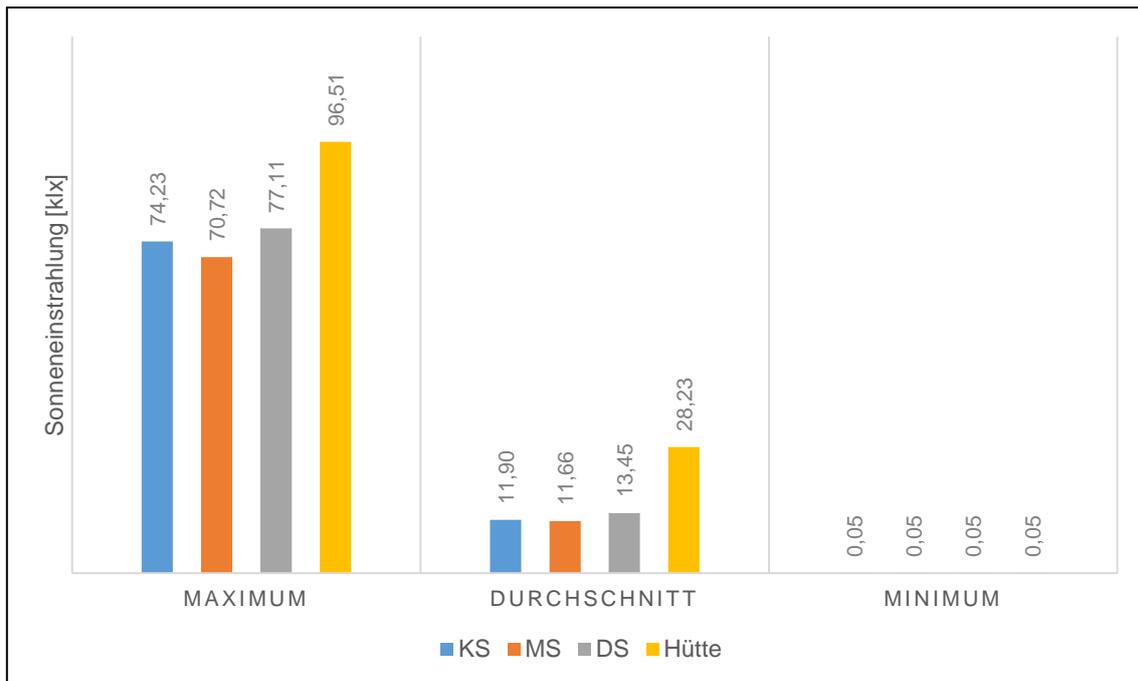


Abbildung 5.14: Maximal-, Durchschnitts- und Minimalwerte der Sonneneinstrahlung

Die Unterschiede zwischen den Plots sind kaum erwähnenswert. Die „Flower Power®“-Geräte wurden auf jedem Plot gleich positioniert. Interessant zu sehen ist in Abbildung 5.15 und Abbildung 5.16 jedoch, dass Variante DS höhere Werte an für den Lichteinfall aufweist als Variante KS und Variante MS. Bei höheren Messungen an der Hütte steigen auch die Ablesungen der Variante DS deutlich höher als bei den anderen Varianten in Abbildung 5.16.

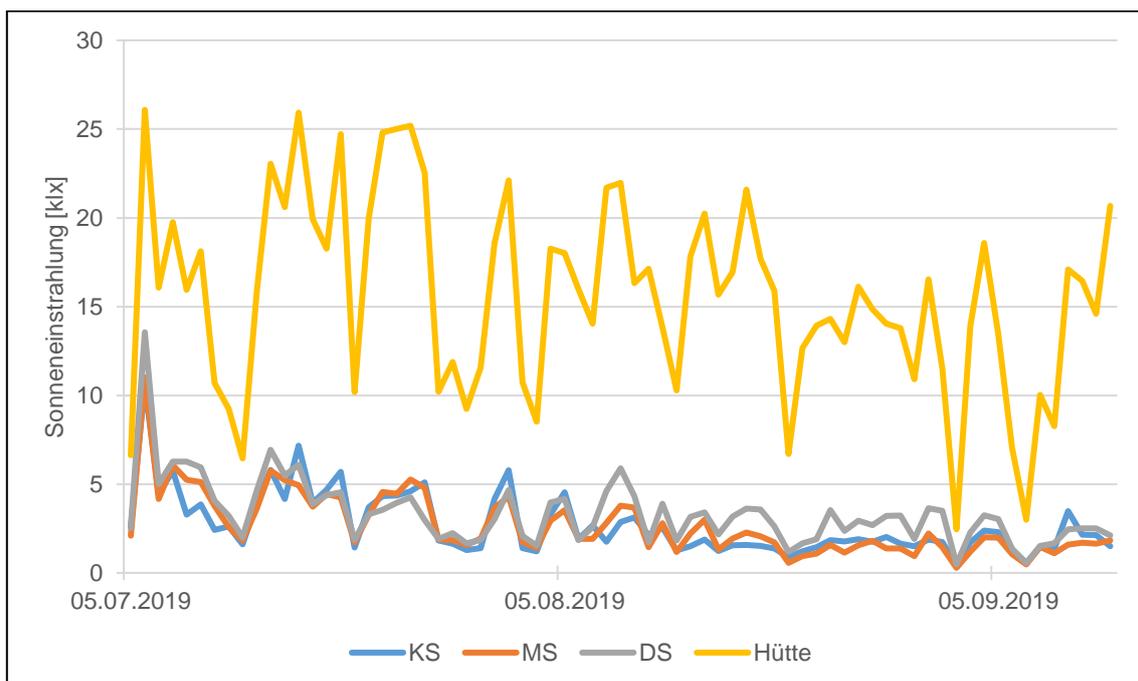


Abbildung 5.15: Tagesmittelwerte der Sonneneinstrahlung

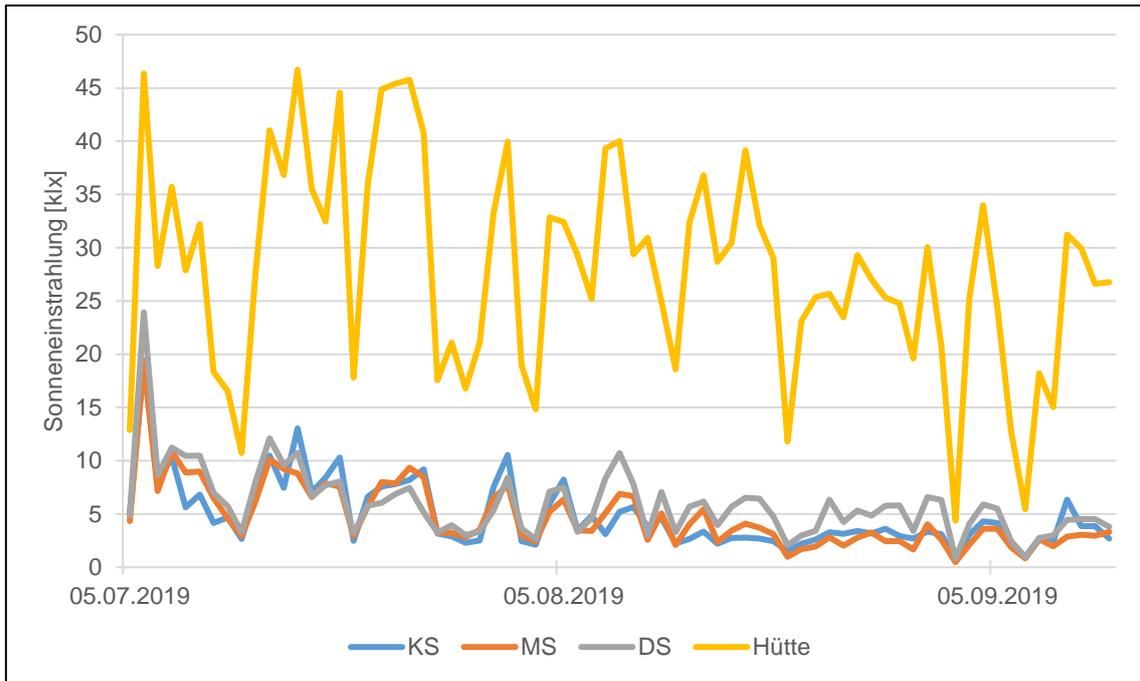


Abbildung 5.16: Tagesmittelwerte der Sonneneinstrahlung von 6:00 - 19:00 Uhr

Abbildung 5.17 zeigt eine Ganglinie, die für die Sonneneinstrahlung auf den Plots repräsentativer ist, da zu den angegebenen Uhrzeiten eine Sonneneinstrahlung vorhanden war. Frühere bzw. spätere Werte verfälschen die Amplitude der täglichen durchschnittlichen Sonneneinstrahlung.

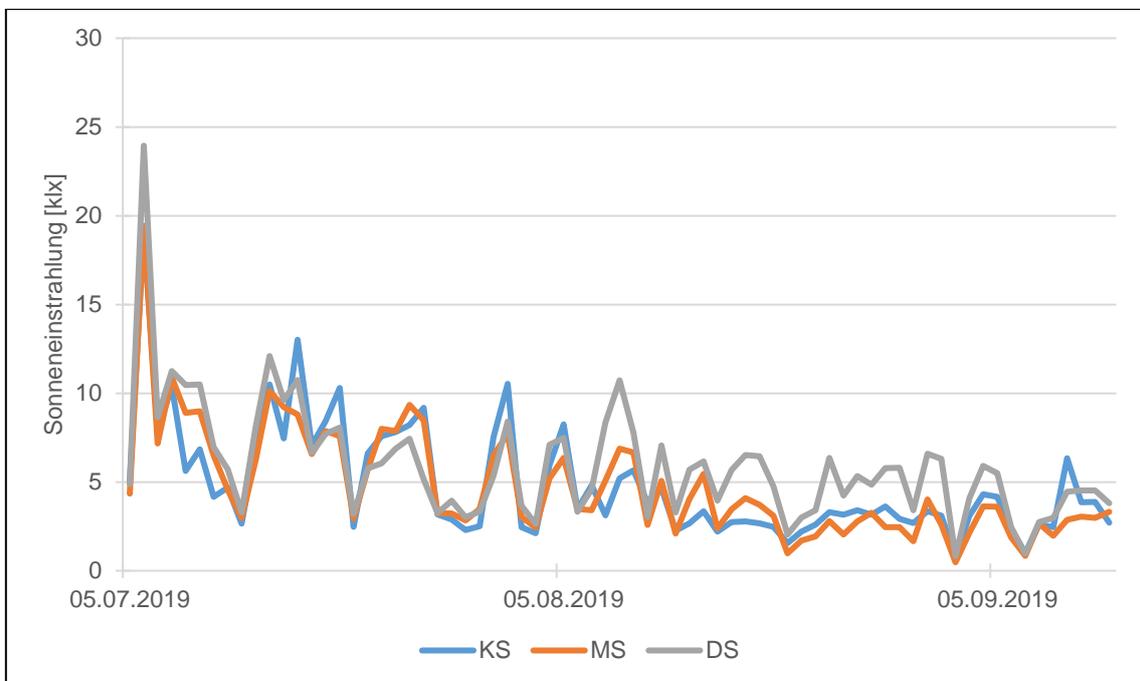


Abbildung 5.17: Tagesmittelwerte der Sonneneinstrahlung von 6:00 - 19:00 Uhr für Variante KS, MS und DS

5.5.2 Bodenwassergehalt

Abbildung 5.18 zeigt den Zusammenhang von Niederschlagsereignissen und der Reaktion des Wassergehalts im jeweiligen Boden der Varianten.

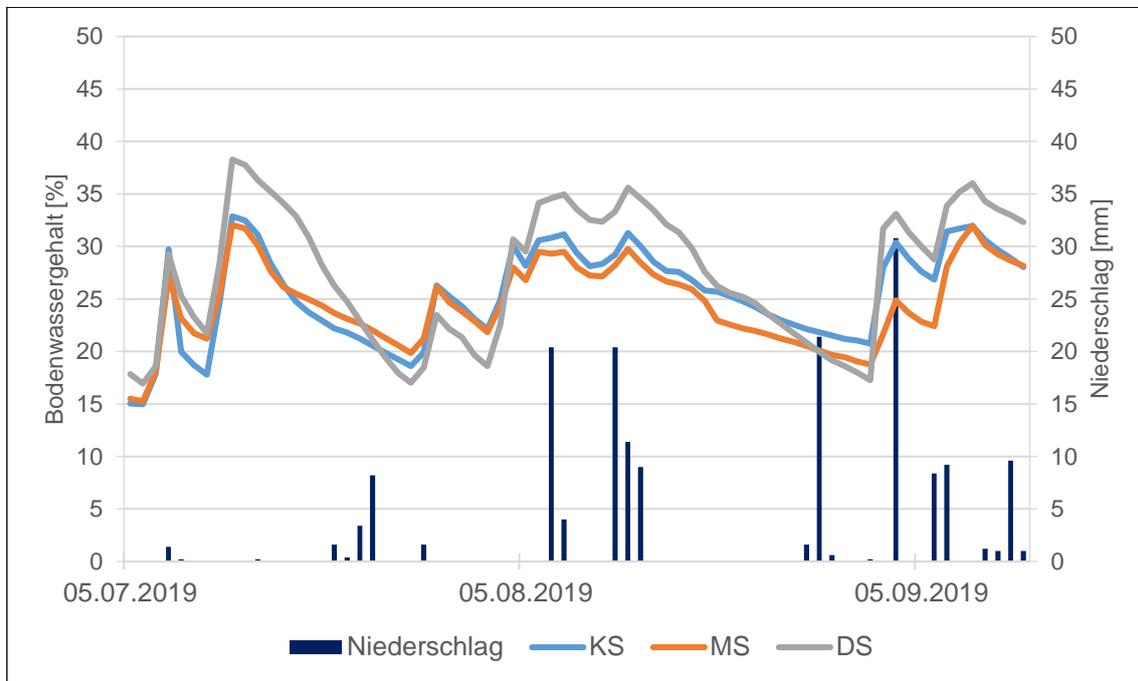


Abbildung 5.18: Darstellung von Niederschlag und Bodenwassergehalt

Der Wassergehalt wird als Prozentwert angegeben.

Auf jedes Niederschlagsereignis folgt eine Steigerung des Bodenwassergehalts. Besonders Variante DS, die Direktsaat, reagiert am stärksten auf Ereignisse. Die Werte sind höher und die Kurve fällt in niederschlagsfreien Zeiten steiler ab als in den beiden anderen Varianten. Daraus lässt sich schließen, dass die Pflanzendecke nicht so dicht ist und das Wasser schnell infiltriert und in niederschlagsarmen Zeiten der Boden schneller austrocknet.

Der Bodenwassergehalt ist in Variante DS zu fast jedem Zeitpunkt höher als in den anderen beiden beobachteten Varianten. Dieser Eindruck lässt sich auch mit Abbildung 5.19 bestätigen, die zeigt, dass die Direktsaat bei Maximum, Durchschnitt und Minimum die höchsten Werte aufweist.

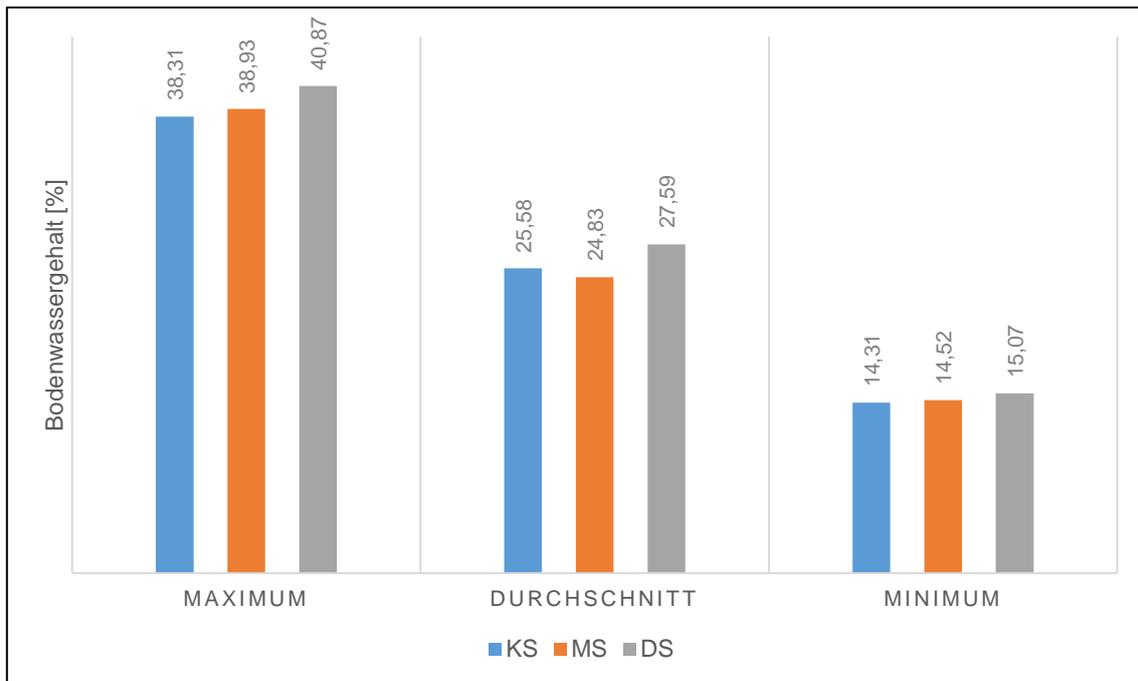


Abbildung 5.19: Maximal-, Durchschnitts- und Minimalwerte der Bodenwassergehalt

Der Bodenwassergehalt wurde nur mit den Sensoren in den drei Messplots gemessen, um einen Vergleich zwischen den Varianten anstellen zu können. In jedem Plot befand sich dabei ein Sensor.

5.5.3 Lufttemperatur

Die Richtigkeit der Aufzeichnung der Temperaturen der „Flower Power®“-Geräte ist fraglich. Die Maximalwerte sind zu hoch, wenn sie mit den Aufzeichnungen der Wetterstation der LFS Pyhra verglichen werden. Dadurch ergeben sich starke Auswirkungen auf die Durchschnittstemperatur, wie Abbildung 5.20 zeigt.

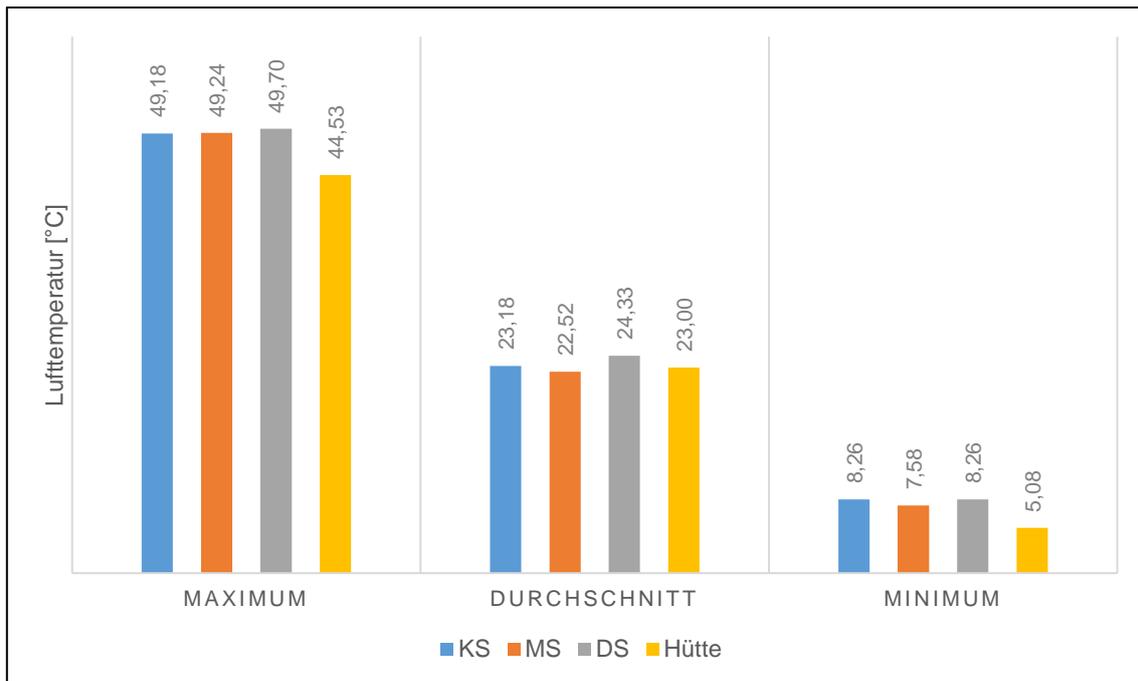


Abbildung 5.20: Maximal-, Durchschnitts- und Minimalwerte der Lufttemperatur

Zum Vergleich zwischen den Varianten und der Messung auf dem Dach der Messhütte MS zeigen Abbildung 5.21 und Abbildung 5.22 die durchschnittlichen Tageswerte. In Abbildung 5.21 sind die Werte von 0:00 Uhr bis 24:00 Uhr gemittelt. In Abbildung 5.22 sind die Werte von 6:00 Uhr bis 19:00 Uhr, um einen Eindruck der Temperaturen untertags und während der Sonneneinstrahlung zu erhalten.

Hier gilt Ähnliches wie für den Bodenwassergehalt, jedoch umgekehrt proportional. Die Temperaturen sind bei mehr Überdeckung durch die Pflanzen etwas geringer. Besser sichtbar wird dieser Trend in Abbildung 5.22, hier ist die Messung an der Messhütte ab Mitte Juli beinahe durchgehend Spitzenreiter.

Bodennah sind die einzelnen Werte, die in Abbildung 5.20 abgebildet sind, höher als bei der Messung auf der Hütte. Das betrifft vor allem die Maximal- und Minimalwerte. Daraus lässt sich schließen, dass in der Nacht die Werte an der Hütte tiefer fallen als bei den Geräten, die im Boden angeordnet wurden.

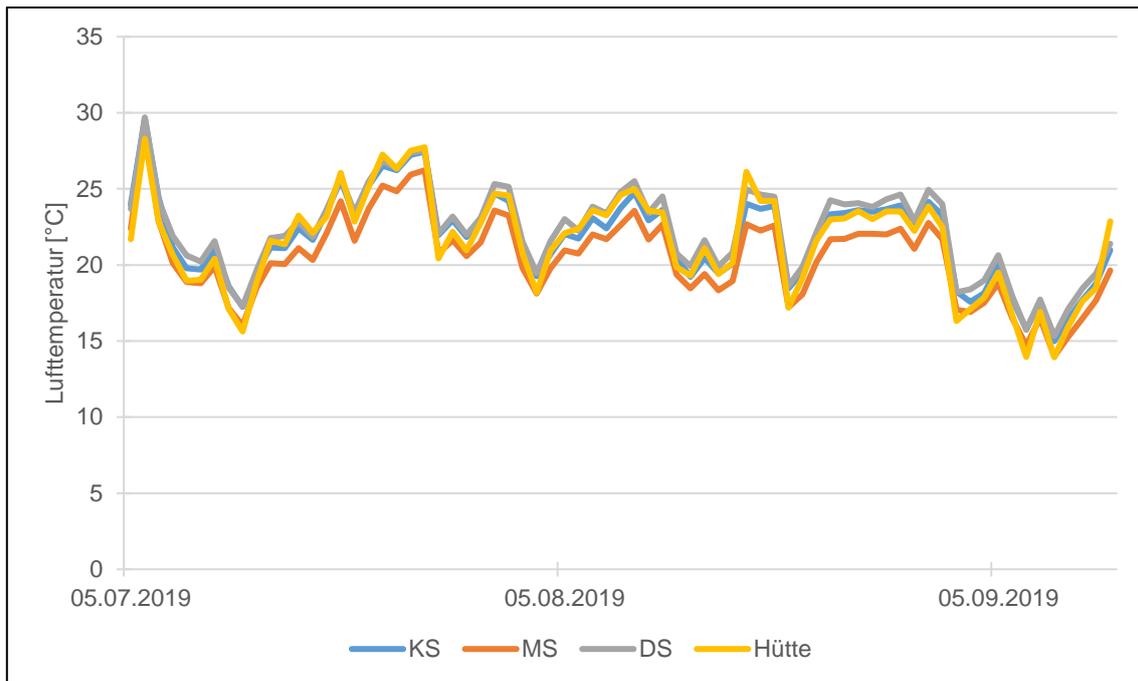


Abbildung 5.21: Tagesmittelwerte der Lufttemperatur

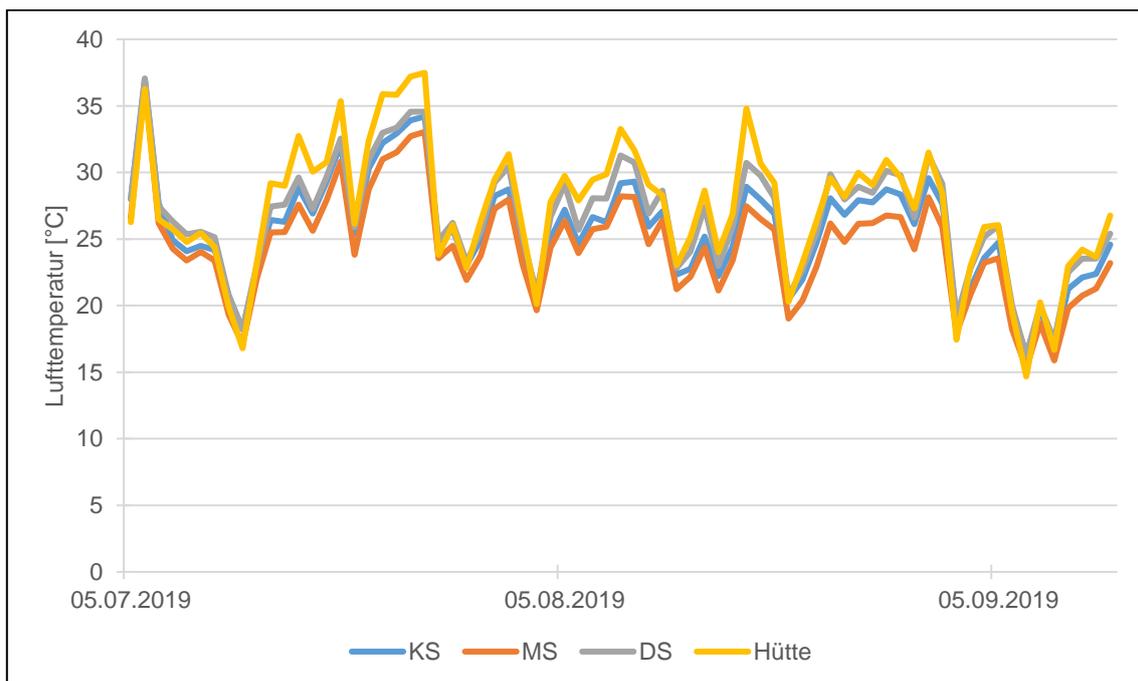


Abbildung 5.22: Tagesmittelwerte der Lufttemperatur von 6:00 - 19:00 Uhr

Es bleibt wie zu Beginn des Kapitels zu erwähnen, dass die Temperaturen zu hoch sind. Als Vergleich für die zu hohen Temperaturen dient die Aufzeichnung der Wetterstation der LFS Pyhra.

In Abbildung 5.23 sticht besonders eklatant der Unterschied in der Maximaltemperatur hervor. 10 Grad Celsius deuten auf zu hohe Werte hin. Im Durchschnitt sind die Werte dann nur noch um ca. 3 Grad Celsius höher, wodurch es möglich ist, diese Messwerte



für Aussagen heranzuziehen. Der Durchschnitt wird auch deshalb niedriger sein, da die minimalen Werte unter jenen der Messstation liegen. So lässt sich die Aussage tätigen, dass die „Flower Power®“-Geräte an jedem Ende der Skala gewisse Abweichungen produzieren, wodurch der Durchschnitt vom realen Wert nicht stark abweicht.

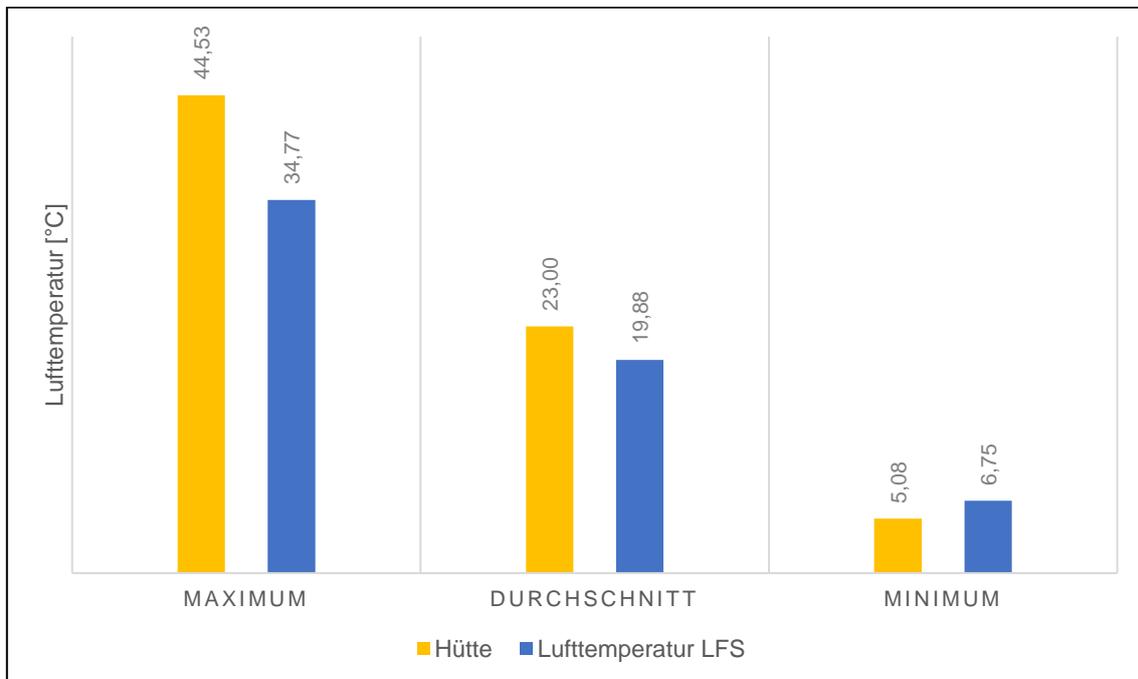


Abbildung 5.23: Vergleich der Lufttemperaturen an Messhütte MS und der Messstation der LFS Pyhra
Abbildung 5.24 zeigt den Vergleich der Ganglinien der Mittelwerte der Lufttemperaturen von 0:00 Uhr bis 24:00 Uhr. Daraus lässt sich schließen, dass der Trend der „Flower Power®“-Aufzeichnungen stimmt, jedoch die absoluten Werte der Lufttemperaturmessung zu hoch liegen.

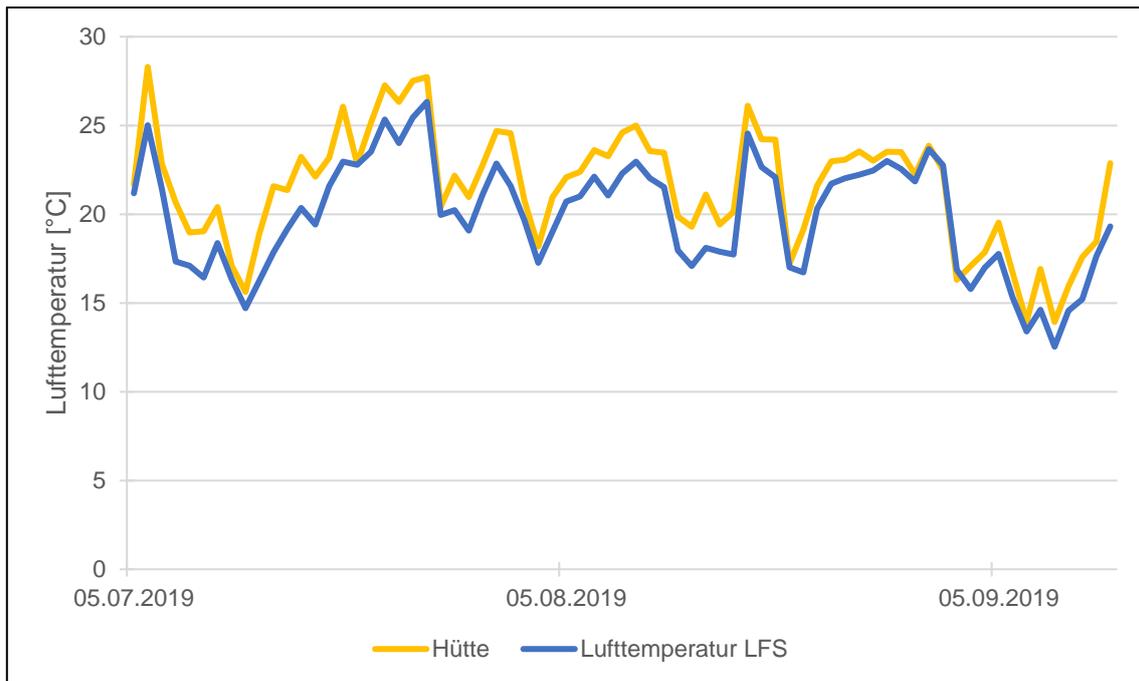


Abbildung 5.24: Vergleich der Ganglinien der Lufttemperaturen an Messhütte MS und der Messstation der LFS Pyhra

5.5.4 Düngerlevel

Der Düngerlevel wurde wie der Bodenwassergehalt nur in den Messplots gemessen. Die Einheit mit der „Flower Power®“ die Messungen des Levels aufzeichnet ist Dezi Siemens pro Meter. Die SI-Einheit der elektrischen Leitfähigkeit ist Siemens pro Meter. Somit bestimmt „Flower Power®“ den Gehalt des Düngers über die elektrische Leitfähigkeit.

In Abbildung 5.25 ist der erhöhte Düngerlevel der DS-Variante gegenüber den beiden anderen Varianten zu erkennen.

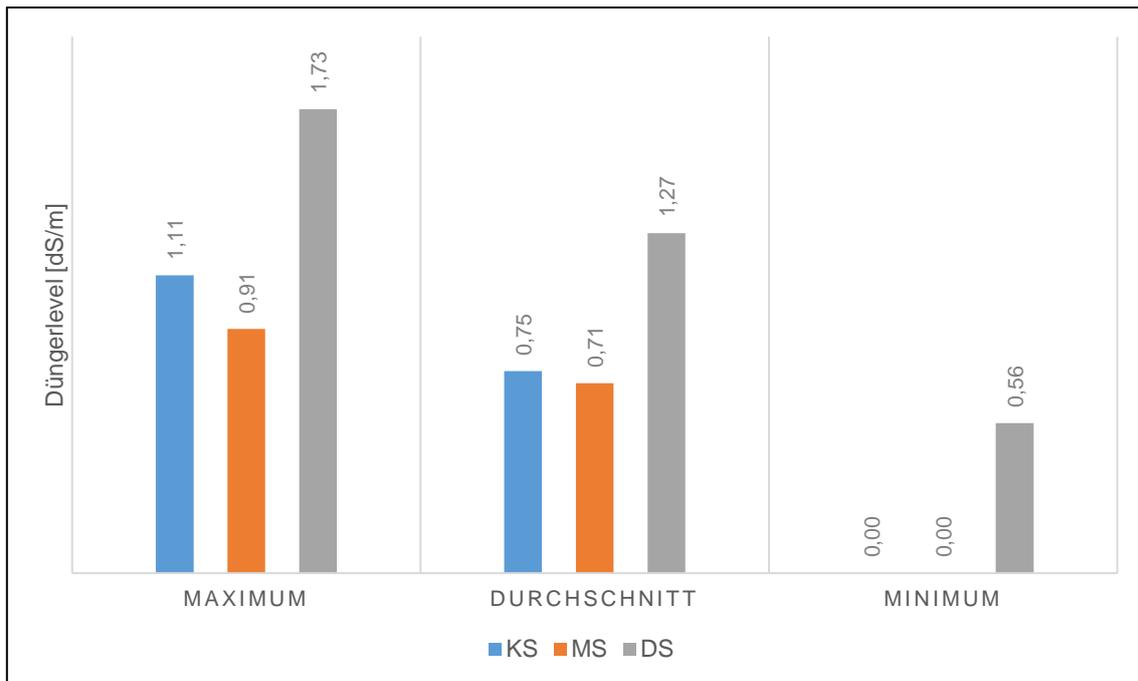


Abbildung 5.25: Maximum-, Durchschnitts- und Minimumwerte des Düngerlevels

Die Datenlogger benötigten zu Beginn eine kurze Zeit, um sich auf die Levels einzustellen. Ersichtlich ist das Anlaufverhalten in Abbildung 5.26.

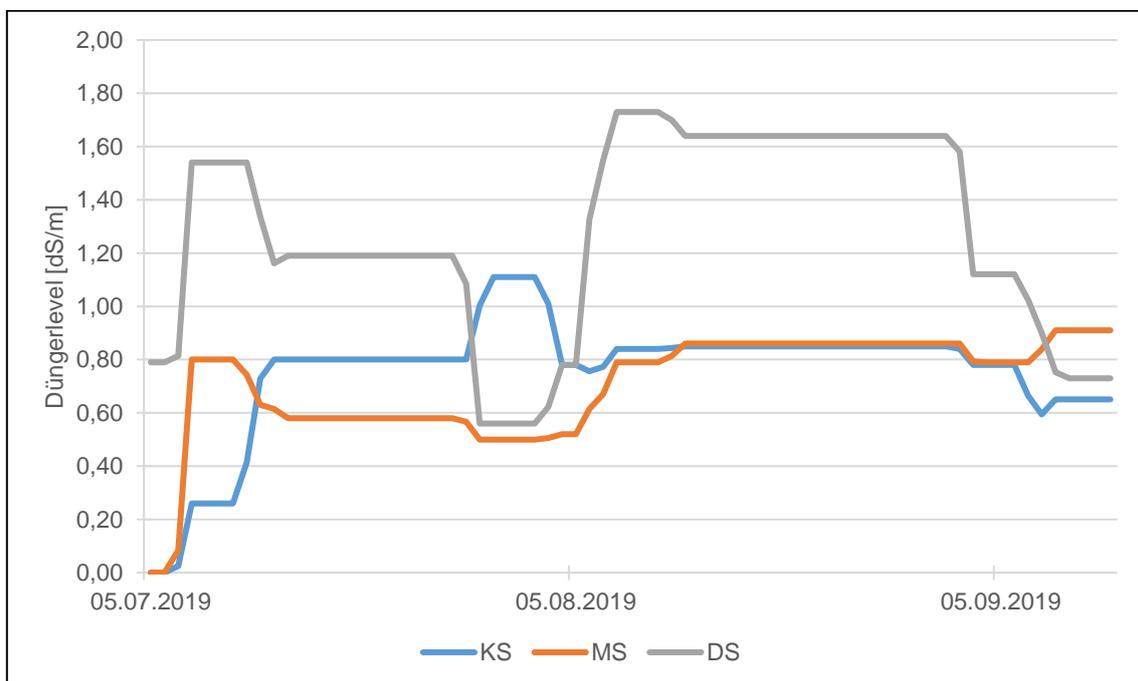


Abbildung 5.26: Tagesmittelwerte des Düngerlevels

Danach steigen die Werte auf die tatsächlich im Boden vorhandenen Werte an. Variante DS erfährt einen kurzen Einbruch, aber nach einer Woche mit niedrigeren Werten als Variante KS steigt das Düngerlevel auf das Doppelte von Variante KS und



Variante MS an. Zum Ende der Aufzeichnungen sinkt das Level wieder stark und zum ersten Mal ist das Level von Variante MS, der Mulchsaat, am höchsten.

5.6 ERTRÄGE DER ANBAUVARIANTEN

In Tabelle 5.1 ist ersichtlich, dass bis 2011 nur Körnermais und Winterweizen alternierend angebaut wurden und die Fruchtfolge bestimmt haben. Im Untersuchungsjahr 2019 wurde wieder Körnermais angebaut.

Die Erträge waren über die Jahre gesehen sehr unterschiedlich. Variante KS mit dem Pflug und der konventionellen Bodenbearbeitung kann als Nullvariante bezeichnet werden.

Zu Vergleichszwecken wurde in jedem Jahr bei allen Varianten die gleiche Saat ausgesät.

Interessant zu beobachten ist, dass seit 2011 die KS-Variante zumeist einen höheren Ertrag liefert als die beiden anderen Varianten. Ein Grund dafür könnte sein, dass die Berechnung mit 2011 geändert wurde. Danach waren keine extremen Ausschläge mehr zu beobachten. Es ging sogar soweit, dass die MS-Variante im Jahr 2002 mit Körnermais 41 % mehr Ertrag geliefert hat als die Nullvariante mit konventioneller Bodenbearbeitung.

In den letzten Jahren zeigt sich der Trend, dass die konventionelle Bodenbearbeitung die besten Erträge liefert. Die Mulchsaat liegt oft nur knapp zurück, während die Direktsaat starken Schwankungen unterliegt. Es lässt sich erkennen, dass das neue Berechnungsmodell die Erträge für Mulchsaat und Direktsaat stark zurückgehen hat lassen.

Variante MS besticht in allen beobachteten bodenphysikalischen und chemischen Parametern mit geringen Austrägen und in der Wirtschaftlichkeit sind die Erträge um nur 11 % hinter jenen der Variante KS zurück.



Tabelle 5.1: Jahr, Anbau und Ertrag LFS Pyhra, Quelle: eigene Darstellung nach Bartmann (2019)

Jahr	Anbau	KS Ertrag in kg/ha	MS Ertrag in % von KS	DS Ertrag in % von KS
1994	Körnermais	6.175	-9 %	+4 %
1995	Winterweizen	4.606	+6 %	+10 %
1996	Körnermais	5.500	+13 %	0 %
1997	Winterweizen	4.600	+3 %	-8 %
1998	Körnermais	6.900	+15 %	+24 %
1999	Winterweizen	7.300	+12 %	-11 %
2000	Körnermais	7.400	-10 %	+1 %
2001	Winterweizen	8.180	+14 %	+9 %
2002	Körnermais	7.221	+41 %	+21 %
2003	Winterweizen	3.911	+13 %	+11 %
2004	Körnermais	4.458	+9 %	+8 %
2005	Winterweizen	4.888	+11 %	+7 %
2006	Körnermais	8.764	+12 %	+18 %
2007	Winterweizen	5.553	+25 %	+27 %
2008	Körnermais	9.503	-6 %	-35 %
2009	Winterweizen	7.025	+2 %	+10 %
2010	Körnermais	10.500	+20 %	+17 %
2011	Winterweizen	7.854	+2 %	-7 %
2012	Winterraps	4.357	-17 %	-35 %
2013	Winterweizen	5.755	-4 %	-22 %
2014	Körnermais	10.108	-6 %	-11 %
2015	Winterweizen	6.798	-3 %	-2 %
2016	Wintergerste	8.736	-2 %	-7 %
2017	Körnermais	13.049	-8 %	-15 %
2018	Winterweizen	6.564	+3 %	+2 %
2019	Körnermais	11.016	-11 %	-32 %



5.7 DISKUSSION

Der Bodenabtrag war im Beobachtungszeitraum sehr gering, da die für die Erosion wirkungsvollsten Niederschläge im Jahr 2019 schon im Mai stattfanden und später die Pflanzen bereits gut verwurzelt und auch die Pflanzendecke dichter waren. Aufgrund des noch nicht fertigen Aufbaus im Mai, ergaben sich geringe Messungen für den Bodenabtrag in diesem Jahr.

Für die chemischen Parameter des Bodens und des Wassers bleibt festzuhalten, dass sich die Annahmen der Theorie im Grunde bestätigen. Die konventionelle Bodenbearbeitung verliert mehr Nährstoffe durch Bodenerosion als die bodenschonenden Varianten, da der Boden bei der Bearbeitung zu stark aufgelockert und in der Folge abgetragen wird.

Die Kornverteilung des Sediments der jeweiligen Varianten ist sehr ähnlich und am Versuchsstandort lässt sich ein lehmiger Sand (KS, MS) bzw. schluffiger Sand (DS) bestimmen.

Als die Pflanzendecke ab Mitte Juli geschlossen war konnten auch stärkere Niederschläge, mit der Ausnahme eines Ereignisses, kaum noch Boden erodieren.

Die „Flower-Power®“-Sensoren sind eine gute Ergänzung zu den etablierten Methoden. Die Temperaturwerte sind mit Vorsicht zu genießen, da sie an beiden Enden der Skala zu hohe bzw. zu niedrige Werte aufweisen. Hat man aber eine Referenz, ist auch die Temperaturmessung, vor allem in den Plots, interessant zu beobachten. Der wichtigste Wert der Sensoren ist aber für diese Arbeit die über eine Formel korrigierte Sonneneinstrahlung, da sie einen guten Überblick über die Bedeckung des Bodens mit Pflanzen gibt. Es lässt sich einfach feststellen, auf welchen Plots die Pflanzen schnell genug wachsen um den Boden, in dem sie verwurzelt sind, zu schützen.

Die Anbaumethoden betreffend lässt sich nun folgende abschließende Feststellung machen: Die Untersuchungen der Parameter des Bodens und des Wassers legen nahe, dass die Variante der Mulchsaat ökologisch und ökonomisch am verträglichsten ist.



6 ZUSAMMENFASSUNG

In einem Feldversuch wurden vom 28. Juni 2019 bis zum 13. September 2019 auf Flächen der LFS Pyhra, NÖ, Untersuchungen des Bodenabtrages bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung durchgeführt. Die Aufbauarbeiten wurden von schlechtem Wetter behindert, wodurch sich eine erhebliche Verspätung für den Beginn der Aufzeichnungen der Daten ergab.

Die Energie (MJ/ha) und die Intensitäten (mm/h) der Niederschläge hatten unterschiedliche Verteilungen. Waren es im Mai noch geringe Intensitäten, so war die Energie dieser Niederschläge schon hoch. Bei den letzten beobachteten Niederschlägen Ende Juli und Anfang August waren sowohl Intensität als auch Energie der Niederschläge hoch.

Aus den beiden Faktoren Energie und Intensität ergibt sich der R-Faktor der USLE. Die Mai-Niederschläge sind dabei nicht so stark erosiv wie jene Ende Juli und Anfang August.

Der gemessene Bodenabtrag ist mit Werten zwischen 0,03 und 0,28 t/ha während der Messperiode insgesamt sehr gering, trotzdem kann man feststellen, dass der Bodenabtrag bei der konventionellen Pflugbearbeitung fünffach höher ausfällt als bei Mulch- oder Direktsaat.

Der Trend des Bodenabtrags spiegelt sich auch in den Nährstoffausträgen von Phosphor und organischem Kohlenstoff wider. Wobei es zu erwähnen gilt, dass die Variante KS das Doppelte des Phosphorausstrags (0,09 kg/ha) der Varianten MS und DS (0,045 kg/ha) erreicht, während die Werte beim Austrag des organischen Kohlenstoffs (1,60 kg/ha) sogar der vierfachen Höhe der Messwerte der beiden konservierenden Bearbeitungsmethoden (0,35 kg/ha) entsprechen.

Beim Stickstoffaustrag ergibt sich ein etwas anderes Bild. Die Variante MS erzielt weiter sehr niedrige Werte (0,15 kg/ha) beim Austrag, indes sind sie bei der DS-Variante doppelt so hoch (0,30 kg/ha). Die Variante KS liegt dreimal höher (0,40 kg/ha) als die Variante MS.

Damit bestätigen sich die in der Theorie getroffenen Annahmen, dass ein erhöhter Bodenabtrag bei konventioneller Bodenbearbeitung zu erwarten ist. Durch die späte Fertigstellung des Versuchsstandortes wurden die Niederschläge im Mai nicht erfasst.



Diese wären gerade für die Erosion zu Beginn des Pflanzenwachstums ein wichtiger Indikator gewesen.

Mit den Aufzeichnungen der „Flower Power®“-Geräte kann eine Schätzung über die Dichte der Pflanzendecke auf den einzelnen Plots abgegeben werden. Hier zeigt sich in Korrelation mit den Erträgen von Dipl.-HLFL Ing. Johannes Bartmann, dass der mit Direktsaat bearbeitete Plot den geringsten Bewuchs mit Pflanzen hat und dadurch auch die geringsten Erträge liefert. Somit können Aussagen über die Pflanzenbedeckung mit den Werten der Sonneneinstrahlung und den Erträgen belegt werden.

Die Erkenntnis, dass die Variante mit der Pflugbearbeitung die besten Erträge liefert, wird von dem Umstand überschattet, dass bei ihr auch am meisten Boden erodiert wird.

Die Rückgänge in den Erträgen lassen sich weniger mit der Bodenerosion als mit den Bearbeitungsmethoden selbst erklären. Die geringeren Erträge könnten ihren Ursprung im Druck durch Unkraut begründet wissen, mit dem die konventionelle Bearbeitung beinahe keine Probleme hat.

Die Fruchtfolge auf den Ackerflächen der LFS Pyhra scheint sinnvoll zu sein, da die Erträge nicht zu stark schwanken. Des Weiteren können diese Schwankungen mit dem jeweiligen Wetter im Anbaujahr erklärt werden. Durch die genaue Aufzeichnung und Hingabe zum Detail von Dipl.-HLFL Ing. Johannes Bartmann besteht an der Schlüssigkeit der verwendeten Fruchtfolgen kein Zweifel.

Beruhend auf den Erkenntnissen der Arbeit lässt sich der Einsatz der Mulchsaat empfehlen. Sie liefert bei geringem Bodenabtrag noch immer akzeptable Werte in den Erträgen und unterliegt nicht so starken Schwankungen wie die Direktsaat. Der Vorteil der Mulchsaat gegenüber der konventionellen Bearbeitung mit dem Pflug ist ein weitaus geringerer Bodenabtrag und somit wichtiger Schutz der Humusschicht.

Eine Schonung des Bodens bei gleichzeitig geringem Rückgang der Erträge ist in diesem Fall der beste Kompromiss.



7 CONCLUSION AND RESULTS

Investigations of the impact of different soil tillage methods on soil erosion took place in a field trial at the LFS Pyhra in Lower Austria from 28th of June until 13th of September 2019. The start of the experiments was delayed due to bad weather conditions, therefore the investigations started later than planned.

Energy and intensity of the rainfall were seen very differently over the observation period. The intensity was at a very low level in May, whereas the energy has always been at a higher level. At the end of July and beginning of August the intensity was like the energy at a high level.

These two factors make up the R-factor in the USLE. Precipitation in May had less power for erosion than in July and August.

The measured values for ground erosion are very low between 0,03 and 0,28 t/ha and year, but it can be said, that conventional methods erode five times more soil than conservational ones.

The trend for soil erosion can also be seen when looking at nitrogen, phosphorus and organic carbon losses. It is interesting to see, that the KS variant has twice the amount of phosphorus loss as MS and DS (0,09 kg/ha to 0,045 kg/ha), while four times the amount of organic carbon loss (1,60 kg/ha to 0,35 kg/ha).

Nitrogen is a different story. Variant MS has got the lowest loss (0,15 kg/ha), DS doubles MS (0,30 kg/ha) and KS nearly triples MS (0,40 kg/ha).

The obtained results show that conventional methods lead to higher rates of erosion. The conventional method has got the highest crop yields, but it also has the by far highest erosion.

This confirms the assumptions made in theory that increased soil erosion is to be expected with conventional tillage. Due to the late completion of the test site, the precipitation in May was unfortunately not recorded. These would have been an important indicator for the erosion at the beginning of plant growth.

With records done with the „Flower Power®“ devices the vegetation cover can be determined for each method. It shows a strong correlation between earnings and the vegetation cover. Therefore plot 6 shows the least vegetation cover and the smallest



rate for earnings. The statistics for the earnings are provided by Johannes Bartmann. Statements about the vegetation cover can be proven by the values for solar radiation and the earnings.

The shortcomings of variant MS and DS can be explained with the differences of the various systems. If there are any weeds, the biggest issue could be, that these weeds interfere with the semen in those plots. Variant KS does not have such problems due to a total turnover.

The crop sequence at the LFS Pyhra seems logical, because there are no big fluctuations in earnings over the years. Small fluctuations depend on the year, the crops were done.

The detailed and dedicated work by Johannes Bartmann does not let come up any concerns at all.

Based on the results by this paper, the use of mulch seed can be recommended. With low soil erosion, it still delivers acceptable values in earnings and is not subject to strong fluctuations such as direct seeding. The advantage of mulch seeding compared to conventional plow cultivation is that there is far less ground erosion and therefore important protection of humus.

Protecting the soil while having slightly reduced earnings looks like it is the best compromise in this case.



8 LITERATURVERZEICHNIS

Aichinger, Andreas (2003): Konventionelle Bodenbearbeitung, Mulchsaat und Direktsaat im praktischen Vergleich. A-TEKK Beratung. Prinzersdorf.

Aigner, Alois (2014): Fruchtfolgegestaltung. In: Landwirtschaftlicher Pflanzenbau. München: BLV Buchverlag GmbH & Co. KG.

Bartmann, Johannes (2019): Aufzeichnungen der LFS Pyhra zum Erosionsversuch. Pyhra.

Brunotte, Joachim; Sommer, Claus (2014): Intelligenter Pflanzenbau. Hasbergen-Gaste: Amazonen-Werke, H. Dreyer GmbH & Co. KG.

Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (2019): ebod. Bodenkarte.at. Online verfügbar unter <https://bodenkarte.at>.

Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (2016): Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2016. Wien: Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus.

Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (2020): eHYD. Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus. Wien. Online verfügbar unter ehyd.gv.at.

Derpsch, Rolf (2009): Direktsaat für eine nachhaltige Landwirtschaft in Europa. Tulln.

Derpsch, Rolf; Benites, Jose (2003): Situation of Conservation Agriculture in the world. World Congress on Conservation Agriculture. Iguassu Falls, Brazil.

Derpsch, Rolf; Roth, Christian; Sidiras, N.; Köpke, Ulrich (1991): Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e prepare conservacionista do solo. In: *Sonderpublikation der GTZ, No. 245*.

Eder, Joachim; Brandhuber, Robert (2014): Getreide und Maisbau - Mais. In: Landwirtschaftlicher Pflanzenbau. München: BLV Buchverlag GmbH & Co. KG.

Fürst, Josef (2017): Gewässerkunde und Hydrometrie LVA 816.100.

Hauße, Hans-Karl (2015): Boden, Böden, Bodenschutz. Stuttgart: Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg.



- Klik, Andreas (2015a): Bodenerosion - Ursachen, Auswirkungen und Gegenmaßnahmen. Langenlois.
- Klik, Andreas (2015b): Landeskulturelle Wasserwirtschaft LVA 815.102. Wien.
- Kreitmayer, Josef; Demmel, Markus (2014): Bodenbearbeitung. In: Landwirtschaftlicher Pflanzenbau. München: BLV Buchverlag GmbH & Co. KG.
- Land Niederösterreich (2014): NÖ Bodenschutzgesetz. NÖ BSG, vom 11.04.2014.
- Lecher, Kurt; Kresser, Werner (2001): Wasserhaushalt, Gewässer, Hydrometrie. In: Kurt Lecher, Hans-Peter Lühr und Ulrich C. E. Zanke (Hg.): Taschenbuch der Wasserwirtschaft. Berlin: Parey Buchverlag.
- Maniak, Ulrich (2005): Hydrologie und Wasserwirtschaft. Braunschweig: Springer-Verlag.
- Müller, Christa; Kreitmayer, Josef; Brandhuber, Robert; Beck, Robert; Walter, Roswitha (2014): Bodenschutz - Erosion, Verdichtung, Humusgehalt, Bodenleben. In: Landwirtschaftlicher Pflanzenbau. München: BLV Buchverlag GmbH & Co. KG.
- Rippel, Rudolf; Brandhuber, Robert; Beck, Robert; Walter, Roswitha; Müller, Christa (2014): Bodenkundliche Grundlagen. In: Landwirtschaftlicher Pflanzenbau. München: BLV Buchverlag GmbH & Co. KG.
- Sturny, Wolfgang G.; Chervet, Andreas; Maurer-Troxler, Claudia; Ramseier, Lorenz; Müller, Moritz; Schafflützel, Roland et al. (2007): Direktsaat und Pflug im Systemvergleich - eine Synthese. In: *AGRARForschung*, 2007, S. 350–357.
- Weigand, Stephan; Zellner, Michael (2014): Krankheiten und Schädlinge, Wachstumsregler. In: Landwirtschaftlicher Pflanzenbau. München: BLV Buchverlag GmbH & Co. KG.
- Wischmeier, Walter H.; Smith, Dwight D. (1978): Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning (Agriculture handbook).



ANHANG

- Anhang I:
Feldprotokolle
- Anhang II:
Ausgewertete Tabellen für Bodenabtrag, Oberflächenabfluss, ausgetragenen Stickstoff, Kohlenstoff und Phosphor
- Anhang III:
Ausgewertete Tabellen der „Flower-Power®“ Geräte für Sonneneinstrahlung, Bodenfeuchte, Lufttemperatur und Düngemittel



ANHANG I

Feldprotokolle



PROTOKOLL EROSIONSMESSSTELLE PYHRA

Datum: 28.06.2019
 Wetter: sonnig
 Höhe Pflanzen: ~ 80 cm
 Boden (feucht/trocken): trocken
 Zustand der Messstelle (Schaden, Erosionen, Behälterüberlauf.): sehr gut

MESSUNGEN

- a. Messhütte
- b. Wetterstationen
- c. Sammelbehälter
- d. Rinne

a. Messhütte

MESSRAD

	Var 1	Var 5	Var 6
Inhalt Messrad	2,5 [l]	2 [l]	2 [l]
Position Messrad	2 [Nr.]	3 [Nr.]	3 [Nr.]
Umdrehungen Schnur	0 [Anz.]	1 [Anz.]	1 [Anz.]

b. Wetterstationen

NIEDERSCHLAGSSCHREIBER

Niederschlagshöhe (Keil) / [mm]
 Ges. Menge Reg.schr. / [l]

c. Sammelbehälter

WASSER/SED. PROBEN

	Var 1	Var 5	Var 6
Probenflasche Nr.	PY_1B2806	PY_5B2806	PY_6B2806
Flasche Chemie Nr.			
Filterung Wasser	[l]	[l]	[l]
Filter Sed. (trocken)	[g]	[g]	[g]
Filter	[g]	[g]	[g]

d. Rinne

SEDIMENTPROBEN

	Var 1	Var 5	Var 6
Proben Nr.	PY_1R2806	PY_5R2806	PY_6R2806
Probe feucht	[g]	[g]	[g]
Probe trocken	272 [g]	8,2 [g]	27 [g]
Probensack	[g]	[g]	[g]



PROTOKOLL EROSIONSMESSSTELLE PYHRA

Datum: 05.07.2019
 Wetter: sonnig
 Höhe Pflanzen: 150 130 120
 Boden (feucht/trocken): trocken 20-24%
 Zustand der Messstelle (Schaden, Erosionen, Behälterüberlauf.): keine Messung, kein Niederschlag

MESSUNGEN

- a. Messhütte
- b. Wetterstationen
- c. Sammelbehälter
- d. Rinne

a. Messhütte

MESSRAD

	Var 1	Var 5	Var 6
Inhalt Messrad	_____/_____[l]	_____/_____[l]	_____/_____[l]
Position Messrad	_____/_____[Nr.]	_____/_____[Nr.]	_____/_____[Nr.]
Umdrehungen Schnur	_____/_____[Anz.]	_____/_____[Anz.]	_____/_____[Anz.]

b. Wetterstationen

NIEDERSCHLAGSSCHREIBER

Niederschlagshöhe (Keil) _____/_____[mm]
 Ges. Menge Reg.schr. _____/_____[l]

c. Sammelbehälter

WASSER/SED. PROBEN

	Var 1	Var 5	Var 6
Probenflasche Nr.	_____/_____	_____/_____	_____/_____
Flasche Chemie Nr.	_____	_____	_____
Filterung Wasser	_____[l]	_____[l]	_____[l]
Filter Sed. (trocken)	_____[g]	_____[g]	_____[g]
Filter	_____[g]	_____[g]	_____[g]

d. Rinne

SEDIMENTPROBEN

	Var 1	Var 5	Var 6
Proben Nr.	_____/_____	_____/_____	_____/_____
Probe feucht	_____[g]	_____[g]	_____[g]
Probe trocken	_____/_____[g]	_____/_____[g]	_____/_____[g]
Probensack	_____[g]	_____[g]	_____[g]

**PROTOKOLL EROSIONSMESSSTELLE PYHRA**

Datum: 12.07.2019
 Wetter: leichter Regen
 Höhe Pflanzen: 150 130 120
 Boden (feucht/trocken): trocken 20-24% Variante 6 keine Messung
 Zustand der Messstelle (Schaden, Erosionen, Behälterüberlauf..): Installation korrigiert

MESSUNGEN

- a. Messhütte
- b. Wetterstationen
- c. Sammelbehälter
- d. Rinne

a. Messhütte**MESSRAD**

	Var 1		Var 5		Var 6	
Inhalt Messrad	1,5	[l]	4,5	[l]	/	[l]
Position Messrad	3	[Nr.]	1	[Nr.]	/	[Nr.]
Umdrehungen Schnur	0	[Anz.]	0	[Anz.]	/	[Anz.]

b. Wetterstationen**NIEDERSCHLAGSSCHREIBER**

Niederschlagshöhe (Keil) / [mm]
 Ges. Menge Reg.schr. / [l]

c. Sammelbehälter**WASSER/SED. PROBEN**

	Var 1		Var 5		Var 6	
Probenflasche Nr.	PY_1B1207		PY_5B1207		/	
Flasche Chemie Nr.						
Filterung Wasser	0,45	[l]	1	[l]		[l]
Filter Sed. (trocken)		[g]		[g]		[g]
Filter		[g]		[g]		[g]

d. Rinne**SEDIMENTPROBEN**

	Var 1		Var 5		Var 6	
Proben Nr.	/		/		/	
Probe feucht		[g]		[g]		[g]
Probe trocken	/	[g]	/	[g]	/	[g]
Probensack		[g]		[g]		[g]



PROTOKOLL EROSIONSMESSSTELLE PYHRA

Datum: 14.07.2019
 Wetter: trocken, kurz zuvor Regen
 Höhe Pflanzen: 180 170 155
 Boden (feucht/trocken): trocken
 Zustand der Messstelle (Schaden, Erosionen, Behälterüberlauf.): sehr gut

MESSUNGEN

- a. Messhütte
- b. Wetterstationen
- c. Sammelbehälter
- d. Rinne

a. Messhütte

MESSRAD

	Var 1		Var 5		Var 6	
Inhalt Messrad	1	[l]	2,5	[l]	1,5	[l]
Position Messrad	2	[Nr.]	1	[Nr.]	4	[Nr.]
Umdrehungen Schnur	0	[Anz.]	0	[Anz.]	0	[Anz.]

b. Wetterstationen

NIEDERSCHLAGSSCHREIBER

Niederschlagshöhe (Keil) / [mm]
 Ges. Menge Reg.schr. / [l]

c. Sammelbehälter

WASSER/SED. PROBEN

	Var 1		Var 5		Var 6	
Probenflasche Nr.	PY_1B1407		PY_5B1407		PY_6B1407	
Flasche Chemie Nr.						
Filterung Wasser	0,4	[l]	0,35	[l]	0,05	[l]
Filter Sed. (trocken)		[g]		[g]		[g]
Filter		[g]		[g]		[g]

d. Rinne

SEDIMENTPROBEN

	Var 1		Var 5		Var 6	
Proben Nr.	PY_1R1407		PY_5R1407		PY_6R1407	
Probe feucht		[g]		[g]		[g]
Probe trocken	146,47	[g]	36,52	[g]	43,09	[g]
Probensack		[g]		[g]		[g]



PROTOKOLL EROSIONSMESSSTELLE PYHRA

Datum: 15.07.2019
 Wetter: trocken
 Höhe Pflanzen: 200 180 170
 Boden (feucht/trocken): trocken
 Zustand der Messstelle (Schaden, Erosionen, Behälterüberlauf..) sehr gut, keine Messungen

MESSUNGEN

- a. Messhütte
- b. Wetterstationen
- c. Sammelbehälter
- d. Rinne

a. Messhütte

MESSRAD

	Var 1	Var 5	Var 6
Inhalt Messrad	/ [l]	/ [l]	/ [l]
Position Messrad	/ [Nr.]	/ [Nr.]	/ [Nr.]
Umdrehungen Schnur	/ [Anz.]	/ [Anz.]	/ [Anz.]

b. Wetterstationen

NIEDERSCHLAGSSCHREIBER

Niederschlagshöhe (Keil) / [mm]
 Ges. Menge Reg.schr. / [l]

c. Sammelbehälter

WASSER/SED. PROBEN

	Var 1	Var 5	Var 6
Probenflasche Nr.	/	/	/
Flasche Chemie Nr.			
Filterung Wasser	/ [l]	/ [l]	/ [l]
Filter Sed. (trocken)	/ [g]	/ [g]	/ [g]
Filter	/ [g]	/ [g]	/ [g]

d. Rinne

SEDIMENTPROBEN

	Var 1	Var 5	Var 6
Proben Nr.	/	/	/
Probe feucht	/ [g]	/ [g]	/ [g]
Probe trocken	/ [g]	/ [g]	/ [g]
Probensack	/ [g]	/ [g]	/ [g]

**PROTOKOLL EROSIONSMESSSTELLE PYHRA**

Datum: 19.07.2019
 Wetter: trocken
 Höhe Pflanzen: 200 180 170
 Boden (feucht/trocken): trocken
 Zustand der Messstelle (Schaden, Erosionen, Behälterüberlauf..) *sehr gut*

MESSUNGEN

- a. Messhütte
- b. Wetterstationen
- c. Sammelbehälter
- d. Rinne

a. Messhütte**MESSRAD**

	Var 1		Var 5		Var 6	
Inhalt Messrad	2	[l]	1,5	[l]	0,5	[l]
Position Messrad	1	[Nr.]	1	[Nr.]	2	[Nr.]
Umdrehungen Schnur	0	[Anz.]	0	[Anz.]	0	[Anz.]

b. Wetterstationen**NIEDERSCHLAGSSCHREIBER**

Niederschlagshöhe (Keil) / [mm]
 Ges. Menge Reg.schr. / [l]

c. Sammelbehälter**WASSER/SED. PROBEN**

	Var 1		Var 5		Var 6	
Probenflasche Nr.	PY_131907		PY_531907		PY_631907	
Flasche Chemie Nr.						
Filterung Wasser	0,12	[l]	0,3	[l]	0,04	[l]
Filter Sed. (trocken)		[g]		[g]		[g]
Filter		[g]		[g]		[g]

d. Rinne**SEDIMENTPROBEN**

	Var 1		Var 5		Var 6	
Proben Nr.	PY_121907		PY_521907		PY_621907	
Probe feucht		[g]		[g]		[g]
Probe trocken	86,35	[g]	14,87	[g]	8,46	[g]
Probensack		[g]		[g]		[g]



PROTOKOLL EROSIONSMESSSTELLE PYHRA

Datum: 02.08.2019
 Wetter: bewölkt/trocken
 Höhe Pflanzen: 220 200 180
 Boden (feucht/trocken): trocken Vegetation sehr hoch
 Zustand der Messstelle (Schaden, Erosionen, Behälterüberlauf..) bei den Hütten

MESSUNGEN

- a. Messhütte
- b. Wetterstationen
- c. Sammelbehälter
- d. Rinne

a. Messhütte

MESSRAD

	Var 1	Var 5	Var 6
Inhalt Messrad	0,5 [l]	2 [l]	1 [l]
Position Messrad	3 [Nr.]	2 [Nr.]	4 [Nr.]
Umdrehungen Schnur	0 [Anz.]	0 [Anz.]	0 [Anz.]

b. Wetterstationen

NIEDERSCHLAGSSCHREIBER

Niederschlagshöhe (Keil) / [mm]
 Ges. Menge Reg.schr. / [l]

c. Sammelbehälter

WASSER/SED. PROBEN

	Var 1	Var 5	Var 6
Probenflasche Nr.	PY_1B0208	PY_5B0208	PY_6B0208
Flasche Chemie Nr.			
Filterung Wasser	0,35 [l]	0,55 [l]	0,04 [l]
Filter Sed. (trocken)	[g]	[g]	[g]
Filter	[g]	[g]	[g]

d. Rinne

SEDIMENTPROBEN

	Var 1	Var 5	Var 6
Proben Nr.	PY_1R0208	/	PY_6R0208
Probe feucht	[g]	[g]	[g]
Probe trocken	4,41 [g]	/ [g]	4,99 [g]
Probensack	[g]	[g]	[g]



PROTOKOLL EROSIONSMESSSTELLE PYHRA

Datum: 09.08.2019
 Wetter: sonnig
 Höhe Pflanzen: 220 200 180
 Boden (feucht/trocken): trocken bis leicht feucht
 Zustand der Messstelle (Schaden, Erosionen, Behälterüberlauf..) sehr gut

MESSUNGEN

- a. Messhütte
- b. Wetterstationen
- c. Sammelbehälter
- d. Rinne

a. Messhütte

MESSRAD

	Var 1	Var 5	Var 6
Inhalt Messrad	0,5 [l]	0,5 [l]	2 [l]
Position Messrad	4 [Nr.]	1 [Nr.]	4 [Nr.]
Umdrehungen Schnur	0 [Anz.]	1 [Anz.]	0 [Anz.]

b. Wetterstationen

NIEDERSCHLAGSSCHREIBER

Niederschlagshöhe (Keil) / [mm]
 Ges. Menge Reg.schr. / [l]

c. Sammelbehälter

WASSER/SED. PROBEN

	Var 1	Var 5	Var 6
Probenflasche Nr.	PY_1B0208	PY_5B0208	PY_6B0208
Flasche Chemie Nr.			
Filterung Wasser	0,5 [l]	0,05 [l]	0,4 [l]
Filter Sed. (trocken)	[g]	[g]	[g]
Filter	[g]	[g]	[g]

d. Rinne

SEDIMENTPROBEN

	Var 1	Var 5	Var 6
Proben Nr.	/	/	/
Probe feucht	[g]	[g]	[g]
Probe trocken	/ [g]	/ [g]	/ [g]
Probensack	[g]	[g]	[g]

**PROTOKOLL EROSIONSMESSSTELLE PYHRA**

Datum: 17.08.2019
 Wetter: trocken
 Höhe Pflanzen: 225 215 200
 Boden (feucht/trocken): trocken
 Zustand der Messstelle (Schaden, Erosionen, Behälterüberlauf..) *sehr gut*

MESSUNGEN

- a. Messhütte
- b. Wetterstationen
- c. Sammelbehälter
- d. Rinne

a. Messhütte**MESSRAD**

	Var 1	Var 5	Var 6
Inhalt Messrad	0,5 [l]	2 [l]	1 [l]
Position Messrad	3 [Nr.]	2 [Nr.]	4 [Nr.]
Umdrehungen Schnur	0 [Anz.]	0 [Anz.]	0 [Anz.]

b. Wetterstationen**NIEDERSCHLAGSSCHREIBER**

Niederschlagshöhe (Keil) / [mm]
 Ges. Menge Reg.schr. / [l]

c. Sammelbehälter**WASSER/SED. PROBEN**

	Var 1	Var 5	Var 6
Probenflasche Nr.	PY_1B1708	PY_5B1708	PY_6B1708
Flasche Chemie Nr.			
Filterung Wasser	0,9 [l]	0,05 [l]	0,3 [l]
Filter Sed. (trocken)	[g]	[g]	[g]
Filter	[g]	[g]	[g]

d. Rinne**SEDIMENTPROBEN**

	Var 1	Var 5	Var 6
Proben Nr.	PY_1R1708	PY_5R1708	PY_6R1708
Probe feucht	[g]	[g]	[g]
Probe trocken	67,93 [g]	3,68 [g]	48,64 [g]
Probensack	[g]	[g]	[g]



PROTOKOLL EROSIONSMESSSTELLE PYHRA

Datum: 06.09.2019
 Wetter: bewölkt
 Höhe Pflanzen: 230 225 210
 Boden (feucht/trocken): feucht Ableitungsrohr bei Variante 1
 Zustand der Messstelle (Schaden, Erosionen, Behälterüberlauf..) hat sich gelöst

MESSUNGEN

- a. Messhütte
- b. Wetterstationen
- c. Sammelbehälter
- d. Rinne

a. Messhütte

MESSRAD

	Var 1	Var 5	Var 6
Inhalt Messrad	1 [l]	0 [l]	1 [l]
Position Messrad	2 [Nr.]	2 [Nr.]	4 [Nr.]
Umdrehungen Schnur	0 [Anz.]	0 [Anz.]	0 [Anz.]

b. Wetterstationen

NIEDERSCHLAGSSCHREIBER

Niederschlagshöhe (Keil) / [mm]
 Ges. Menge Reg.schr. / [l]

c. Sammelbehälter

WASSER/SED. PROBEN

	Var 1	Var 5	Var 6
Probenflasche Nr.	/	PY_5B0609	PY_6B0609
Flasche Chemie Nr.			
Filterung Wasser	/ [l]	0,6 [l]	0,3 [l]
Filter Sed. (trocken)	[g]	[g]	[g]
Filter	[g]	[g]	[g]

d. Rinne

SEDIMENTPROBEN

	Var 1	Var 5	Var 6
Proben Nr.	PY_1R0609	PY_5R0609	PY_6R0609
Probe feucht	[g]	[g]	[g]
Probe trocken	21,12 [g]	3,94 [g]	5,89 [g]
Probensack	[g]	[g]	[g]

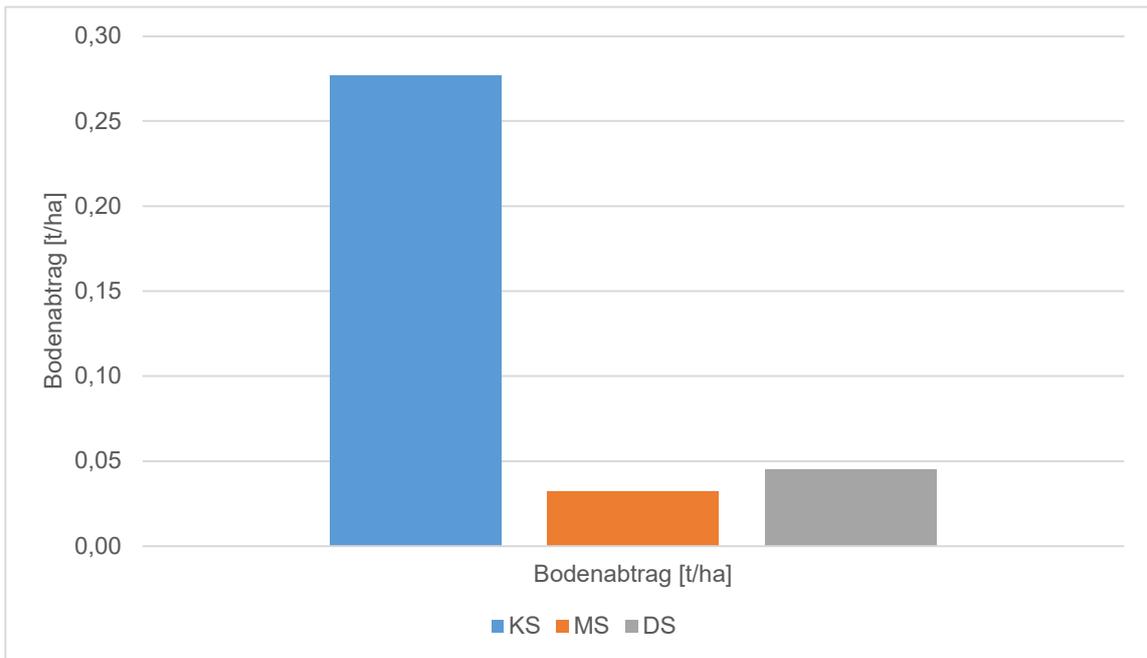


ANHANG II

Ausgewertete Tabellen für
Bodenabtrag, Oberflächenabfluss,
ausgetragenen Stickstoff,
Kohlenstoff und Phosphor

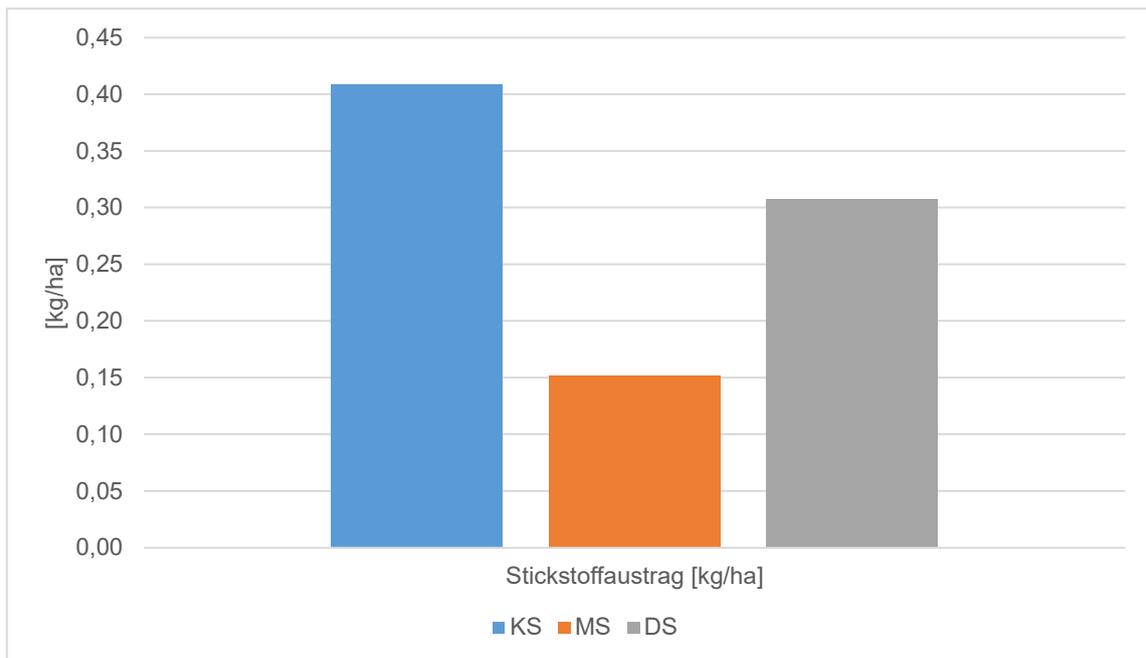


Pyhra			Vegetationsperiode 2019						
R-Faktor [kJ/m ² · mm/h]			Bodenabtrag [t/ha]						
Pos	Zeitraum		R	KS		MS		DS	
	von	bis		60m ²	1m ²	60m ²	1m ²	60m ²	1m ²
1		28 06 19		0,06	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
2	28 06 19	12 07 19		0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	12 07 19	14 07 19		0,03	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
4	14 07 19	19 07 19		0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	19 07 19	02 08 19		0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	02 08 19	09 08 19		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	09 08 19	17 08 19		0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
8	17 08 19	06 09 19		0,09	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
9	06 09 19	13 09 19		0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Summen			0,00	0,28	0,00	0,03	0,00	0,05	0,00



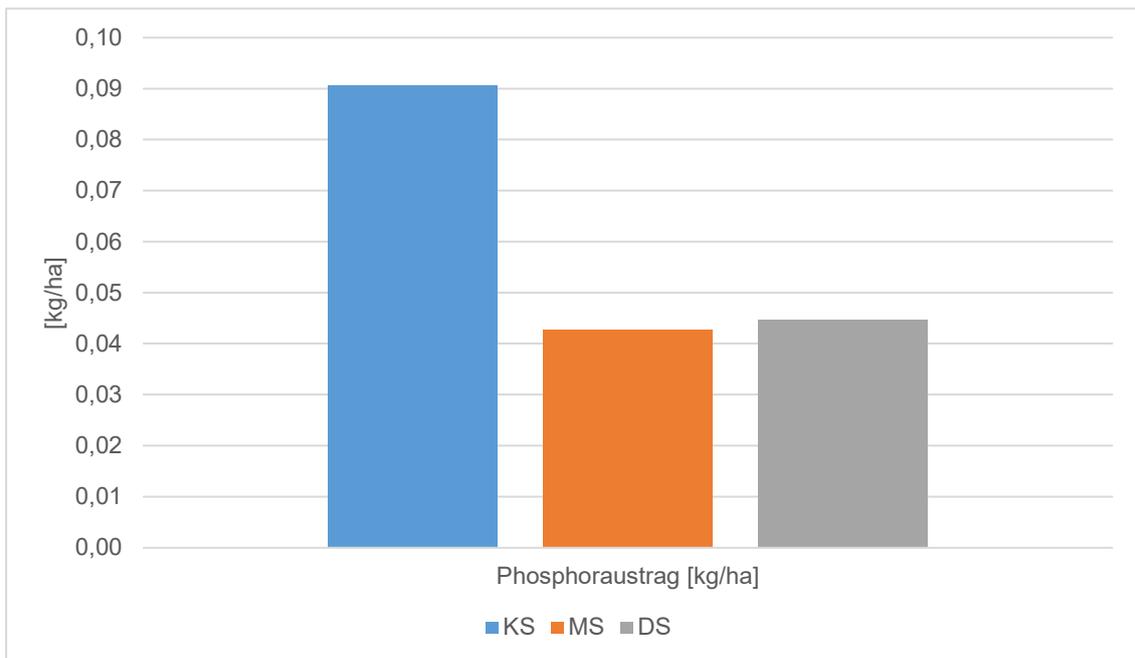


		Pyhra Vegetationsperiode 2019							
Stickstoffaustrag [kg/ha]									
Pos	Zeitraum		NS [mm]	KS		MS		DS	
	von	bis		60m ²	1m ²	60m ²	1m ²	60m ²	1m ²
1		28 06 19	54,80	0,00		0,00		0,00	
2	28 06 19	12 07 19	44,80	0,08		0,01		0,00	
3	12 07 19	14 07 19	20,40	0,07		0,03		0,08	
4	14 07 19	19 07 19	0,00	0,06		0,02		0,05	
5	19 07 19	02 08 19	23,80	0,04		0,03		0,03	
6	02 08 19	09 08 19	48,40	0,03		0,00		0,05	
7	09 08 19	17 08 19	15,20	0,00		0,02		0,00	
8	17 08 19	06 09 19	32,00	0,11		0,03		0,07	
9	06 09 19	13 09 19	30,80	0,02		0,01		0,03	
Summen			270,20	0,41	0,00	0,15	0,00	0,31	0,00



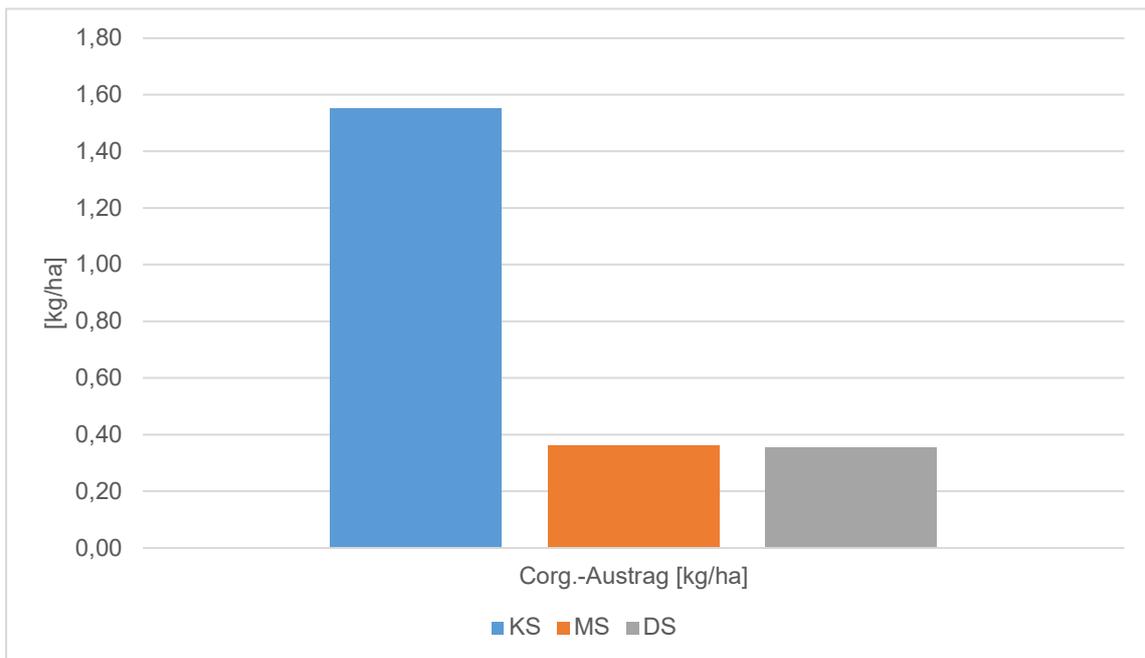


		Pyhra Vegetationsperiode 2019							
Phosphoraustrag [kg/ha]									
Pos	Zeitraum		NS [mm]	KS		MS		DS	
	von	bis		60m ²	1m ²	60m ²	1m ²	60m ²	1m ²
1		28 06 19	54,80	0,00		0,02		0,01	
2	28 06 19	12 07 19	44,80	0,02		0,00		0,00	
3	12 07 19	14 07 19	20,40	0,03		0,01		0,01	
4	14 07 19	19 07 19	0,00	0,02		0,00		0,00	
5	19 07 19	02 08 19	23,80	0,01		0,00		0,01	
6	02 08 19	09 08 19	48,40	0,00		0,00		0,00	
7	09 08 19	17 08 19	15,20	0,00		0,00		0,00	
8	17 08 19	06 09 19	32,00	0,00		0,00		0,01	
9	06 09 19	13 09 19	30,80	0,01		0,00		0,00	
Summen			270,20	0,09	0,00	0,04	0,00	0,04	0,00





		Pyhra		Vegetationsperiode 2019					
Corg.-Austrag [kg/ha]									
Pos	Zeitraum		NS [mm]	KS		MS		DS	
	von	bis		60m ²	1m ²	60m ²	1m ²	60m ²	1m ²
1		28 06 19	54,80	0,00		0,00		0,00	
2	28 06 19	12 07 19	44,80	0,23		0,04		0,00	
3	12 07 19	14 07 19	20,40	0,13		0,08		0,06	
4	14 07 19	19 07 19	0,00	0,15		0,03		0,02	
5	19 07 19	02 08 19	23,80	0,11		0,00		0,00	
6	02 08 19	09 08 19	48,40	0,02		0,00		0,00	
7	09 08 19	17 08 19	15,20	0,00		0,00		0,00	
8	17 08 19	06 09 19	32,00	0,82		0,18		0,24	
9	06 09 19	13 09 19	30,80	0,09		0,04		0,03	
Summen			270,20	1,55	0,00	0,36	0,00	0,35	0,00





ANHANG III

Ausgewertete Tabellen der „Flower-
Power“ Geräte für
Sonneneinstrahlung, Bodenfeuchte,
Lufttemperatur und Düngemittel



AUSWERTUNG Sonneinstrahlung Tagesmittel				
KS	MS	DS	Hütte	
05.07.2019	2,62	2,25	2,53	6,63
06.07.2019	10,60	11,02	13,56	26,08
07.07.2019	4,46	4,16	5,00	16,07
08.07.2019	5,75	6,07	6,27	19,76
09.07.2019	3,28	5,24	6,28	15,94
10.07.2019	3,86	5,11	5,94	18,12
11.07.2019	2,42	3,76	4,05	10,70
12.07.2019	2,63	2,58	3,21	9,24
13.07.2019	1,61	1,83	2,01	6,44
14.07.2019	3,96	3,62	4,64	15,81
15.07.2019	5,80	5,76	6,93	23,05
16.07.2019	4,17	5,23	5,50	20,60
17.07.2019	7,16	4,93	6,09	25,92
18.07.2019	3,94	3,74	3,88	19,92
19.07.2019	4,69	4,43	4,39	18,26
20.07.2019	5,69	4,26	4,55	24,72
21.07.2019	1,43	1,71	1,87	10,19
22.07.2019	3,69	3,26	3,29	19,98
23.07.2019	4,32	4,56	3,55	24,80
24.07.2019	4,37	4,46	3,94	25,01
25.07.2019	4,60	5,27	4,25	25,18
26.07.2019	5,11	4,79	2,98	22,55
27.07.2019	1,82	1,88	1,92	10,21
28.07.2019	1,64	1,84	2,24	11,88
29.07.2019	1,28	1,57	1,67	9,24
30.07.2019	1,40	1,93	1,86	11,57
31.07.2019	4,17	3,67	3,04	18,56
01.08.2019	5,78	4,30	4,66	22,12
02.08.2019	1,40	1,73	2,09	10,73
03.08.2019	1,22	1,41	1,55	8,53
04.08.2019	3,30	2,94	3,97	18,26
05.08.2019	4,54	3,53	4,17	18,01
06.08.2019	1,90	1,92	1,84	15,99
07.08.2019	2,67	1,92	2,59	14,04
08.08.2019	1,75	2,82	4,62	21,71
09.08.2019	2,87	3,79	5,88	21,96
10.08.2019	3,12	3,68	4,32	16,33
11.08.2019	2,13	1,46	1,73	17,13
12.08.2019	2,57	2,80	3,90	13,85
13.08.2019	1,26	1,18	1,83	10,27
14.08.2019	1,50	2,23	3,15	17,83
15.08.2019	1,87	3,00	3,41	20,24
16.08.2019	1,23	1,33	2,18	15,68
17.08.2019	1,56	1,93	3,17	16,95
18.08.2019	1,58	2,28	3,63	21,60
19.08.2019	1,51	2,07	3,58	17,70
20.08.2019	1,37	1,72	2,62	15,89
21.08.2019	0,88	0,57	1,18	6,70
22.08.2019	1,22	0,95	1,66	12,65
23.08.2019	1,45	1,08	1,90	13,92
24.08.2019	1,85	1,57	3,54	14,31
25.08.2019	1,76	1,15	2,37	13,00
26.08.2019	1,90	1,55	2,95	16,12
27.08.2019	1,76	1,81	2,68	14,86
28.08.2019	2,02	1,37	3,21	14,04
29.08.2019	1,65	1,38	3,23	13,78
30.08.2019	1,51	0,95	1,92	10,90
31.08.2019	1,87	2,23	3,64	16,55
01.09.2019	1,74	1,45	3,49	11,53
02.09.2019	0,44	0,29	0,48	2,45
03.09.2019	1,72	1,20	2,27	13,90
04.09.2019	2,38	2,00	3,25	18,59
05.09.2019	2,30	1,99	3,03	13,45
06.09.2019	1,29	1,05	1,36	7,02
07.09.2019	0,56	0,48	0,55	3,00
08.09.2019	1,45	1,47	1,53	10,03
09.09.2019	1,37	1,11	1,66	8,26
10.09.2019	3,48	1,59	2,46	17,09
11.09.2019	2,14	1,70	2,51	16,44
12.09.2019	2,14	1,65	2,51	14,59
13.09.2019	1,51	1,84	2,11	20,68



AUSWERTUNG Sonneinstrahlung Tagesmittel 6-19 Uhr					
	KS	MS	DS	Hütte	
05.07.2019		5,07	4,34	4,89	12,90
06.07.2019		19,05	19,44	23,95	46,36
07.07.2019		7,84	7,17	8,65	28,29
08.07.2019		10,38	10,89	11,25	35,71
09.07.2019		5,62	8,90	10,47	27,88
10.07.2019		6,84	8,99	10,49	32,22
11.07.2019		4,17	6,51	6,97	18,34
12.07.2019		4,69	4,57	5,71	16,54
13.07.2019		2,65	2,98	3,28	10,73
14.07.2019		7,01	6,25	8,11	27,88
15.07.2019		10,50	10,11	12,10	41,02
16.07.2019		7,46	9,22	9,61	36,83
17.07.2019		13,02	8,81	10,75	46,72
18.07.2019		7,06	6,58	6,64	35,51
19.07.2019		8,43	7,87	7,71	32,46
20.07.2019		10,30	7,59	8,07	44,56
21.07.2019		2,48	2,94	3,19	17,80
22.07.2019		6,61	5,69	5,77	35,91
23.07.2019		7,59	7,99	6,06	44,86
24.07.2019		7,82	7,87	6,88	45,42
25.07.2019		8,21	9,34	7,45	45,76
26.07.2019		9,19	8,48	5,16	40,79
27.07.2019		3,17	3,23	3,25	17,56
28.07.2019		2,89	3,23	3,96	21,10
29.07.2019		2,30	2,83	3,01	16,79
30.07.2019		2,52	3,49	3,34	21,08
31.07.2019		7,53	6,48	5,36	33,22
01.08.2019		10,53	7,72	8,40	39,96
02.08.2019		2,45	3,03	3,66	18,97
03.08.2019		2,12	2,43	2,64	14,82
04.08.2019		5,95	5,21	7,11	32,83
05.08.2019		8,25	6,37	7,49	32,42
06.08.2019		3,46	3,48	3,33	29,32
07.08.2019		4,81	3,41	4,60	25,21
08.08.2019		3,12	5,08	8,36	39,32
09.08.2019		5,21	6,89	10,73	40,01
10.08.2019		5,65	6,67	7,79	29,38
11.08.2019		3,83	2,57	3,03	30,94
12.08.2019		4,64	5,07	7,06	24,98
13.08.2019		2,26	2,10	3,29	18,57
14.08.2019		2,68	4,03	5,69	32,37
15.08.2019		3,36	5,45	6,16	36,81
16.08.2019		2,20	2,39	3,95	28,68
17.08.2019		2,75	3,46	5,68	30,49
18.08.2019		2,79	4,09	6,52	39,14
19.08.2019		2,68	3,72	6,45	32,05
20.08.2019		2,47	3,11	4,76	29,05
21.08.2019		1,55	0,98	2,05	11,82
22.08.2019		2,20	1,71	3,00	23,11
23.08.2019		2,61	1,94	3,42	25,35
24.08.2019		3,30	2,80	6,36	25,69
25.08.2019		3,15	2,04	4,24	23,45
26.08.2019		3,42	2,79	5,33	29,32
27.08.2019		3,16	3,26	4,85	27,02
28.08.2019		3,62	2,45	5,79	25,33
29.08.2019		2,93	2,46	5,80	24,79
30.08.2019		2,69	1,67	3,41	19,59
31.08.2019		3,36	4,03	6,59	30,06
01.09.2019		3,11	2,60	6,31	20,78
02.09.2019		0,76	0,48	0,82	4,37
03.09.2019		3,08	2,13	4,08	25,24
04.09.2019		4,31	3,62	5,90	33,98
05.09.2019		4,16	3,61	5,50	24,47
06.09.2019		2,32	1,88	2,45	12,77
07.09.2019		0,99	0,84	0,97	5,44
08.09.2019		2,60	2,65	2,74	18,23
09.09.2019		2,46	1,98	2,99	15,04
10.09.2019		6,35	2,87	4,45	31,22
11.09.2019		3,86	3,05	4,53	29,94
12.09.2019		3,87	2,98	4,53	26,61
13.09.2019		2,71	3,31	3,81	26,77



AUSWERTUNG Bodenfeuchte Tagesmittel			
KS	MS	DS	Hütte
05.07.2019	15,05	15,51	17,85
06.07.2019	14,97	15,25	16,94
07.07.2019	17,87	18,05	18,62
08.07.2019	29,74	27,11	29,25
09.07.2019	19,97	23,18	25,29
10.07.2019	18,71	21,74	23,26
11.07.2019	17,80	21,23	21,75
12.07.2019	24,56	25,39	28,32
13.07.2019	32,88	32,05	38,28
14.07.2019	32,49	31,71	37,75
15.07.2019	31,13	30,09	36,34
16.07.2019	28,41	27,66	35,25
17.07.2019	26,37	26,13	34,12
18.07.2019	24,75	25,51	32,89
19.07.2019	23,70	24,97	30,85
20.07.2019	22,94	24,38	28,23
21.07.2019	22,21	23,65	26,26
22.07.2019	21,80	23,11	24,74
23.07.2019	21,23	22,64	22,90
24.07.2019	20,56	22,01	21,12
25.07.2019	19,89	21,29	19,43
26.07.2019	19,24	20,59	17,95
27.07.2019	18,60	19,86	17,03
28.07.2019	19,91	21,22	18,47
29.07.2019	26,29	26,17	23,47
30.07.2019	25,28	24,68	22,16
31.07.2019	24,30	23,81	21,35
01.08.2019	23,08	22,86	19,61
02.08.2019	22,13	21,82	18,60
03.08.2019	24,91	24,34	22,55
04.08.2019	30,06	28,00	30,69
05.08.2019	28,16	26,78	29,51
06.08.2019	30,57	29,49	34,13
07.08.2019	30,82	29,30	34,61
08.08.2019	31,17	29,49	34,98
09.08.2019	29,37	27,99	33,54
10.08.2019	28,13	27,25	32,54
11.08.2019	28,35	27,15	32,34
12.08.2019	29,21	28,21	33,31
13.08.2019	31,28	29,77	35,61
14.08.2019	30,03	28,44	34,57
15.08.2019	28,56	27,35	33,46
16.08.2019	27,67	26,66	32,11
17.08.2019	27,58	26,41	31,35
18.08.2019	26,83	25,95	29,85
19.08.2019	25,81	24,83	27,62
20.08.2019	25,68	22,97	26,25
21.08.2019	25,28	22,55	25,57
22.08.2019	24,79	22,19	25,22
23.08.2019	24,24	21,96	24,59
24.08.2019	23,54	21,60	23,53
25.08.2019	22,99	21,23	22,61
26.08.2019	22,56	20,90	21,75
27.08.2019	22,14	20,51	20,85
28.08.2019	21,82	20,10	19,95
29.08.2019	21,51	19,68	19,14
30.08.2019	21,20	19,44	18,59
31.08.2019	21,04	19,02	17,97
01.09.2019	20,73	18,76	17,26
02.09.2019	27,97	21,64	31,70
03.09.2019	30,38	24,87	33,11
04.09.2019	28,86	23,68	31,37
05.09.2019	27,60	22,83	30,02
06.09.2019	26,83	22,39	28,77
07.09.2019	31,45	28,10	33,87
08.09.2019	31,70	30,37	35,22
09.09.2019	31,94	31,99	36,02
10.09.2019	30,62	30,14	34,30
11.09.2019	29,68	29,24	33,54
12.09.2019	28,88	28,64	32,99
13.09.2019	28,05	28,16	32,30



AUSWERTUNG Bodenfeuchte Tagesmittel 6 - 19 Uhr			
	KS	MS	DS Hütte
05.07.2019	15,17	15,68	18,16
06.07.2019	15,15	15,36	17,12
07.07.2019	15,00	15,08	15,91
08.07.2019	30,01	26,63	28,98
09.07.2019	20,00	23,21	25,27
10.07.2019	18,70	21,75	23,25
11.07.2019	17,73	21,25	21,76
12.07.2019	24,78	25,60	28,80
13.07.2019	33,12	32,47	38,85
14.07.2019	32,44	31,61	37,76
15.07.2019	31,24	29,98	36,24
16.07.2019	28,51	27,68	35,27
17.07.2019	26,47	26,20	34,13
18.07.2019	24,86	25,62	32,94
19.07.2019	23,82	25,04	30,86
20.07.2019	23,13	24,45	28,27
21.07.2019	22,26	23,66	26,27
22.07.2019	21,93	23,17	24,76
23.07.2019	21,39	22,70	22,85
24.07.2019	20,76	22,11	21,10
25.07.2019	20,07	21,39	19,42
26.07.2019	19,39	20,68	17,89
27.07.2019	18,66	19,87	16,96
28.07.2019	18,57	19,46	16,70
29.07.2019	26,43	26,12	23,38
30.07.2019	25,33	24,71	22,13
31.07.2019	24,42	23,86	21,34
01.08.2019	23,20	22,92	19,47
02.08.2019	22,23	21,87	18,56
03.08.2019	23,69	23,42	20,84
04.08.2019	30,08	27,89	30,65
05.08.2019	28,27	26,91	29,48
06.08.2019	31,60	30,69	35,32
07.08.2019	30,37	28,77	33,99
08.08.2019	31,22	29,43	34,95
09.08.2019	29,47	28,05	33,58
10.08.2019	28,12	27,30	32,51
11.08.2019	28,47	27,21	32,38
12.08.2019	28,75	27,88	32,83
13.08.2019	31,29	29,68	35,60
14.08.2019	30,14	28,51	34,63
15.08.2019	28,67	27,39	33,52
16.08.2019	27,59	26,64	32,05
17.08.2019	27,66	26,50	31,48
18.08.2019	26,93	26,04	29,94
19.08.2019	25,85	25,23	27,61
20.08.2019	25,81	23,04	26,28
21.08.2019	25,36	22,55	25,62
22.08.2019	24,86	22,19	25,25
23.08.2019	24,34	22,01	24,59
24.08.2019	23,69	21,65	23,58
25.08.2019	23,08	21,28	22,64
26.08.2019	22,67	20,96	21,77
27.08.2019	22,28	20,55	20,90
28.08.2019	21,95	20,15	19,94
29.08.2019	21,62	19,68	19,09
30.08.2019	21,32	19,53	18,55
31.08.2019	21,18	19,04	17,94
01.09.2019	20,86	18,75	17,21
02.09.2019	29,08	21,71	33,13
03.09.2019	30,39	24,89	33,04
04.09.2019	28,96	23,74	31,42
05.09.2019	27,73	22,91	30,05
06.09.2019	26,65	22,24	28,61
07.09.2019	31,85	28,92	34,86
08.09.2019	31,52	30,11	34,97
09.09.2019	31,85	31,76	35,67
10.09.2019	30,68	30,12	34,30
11.09.2019	29,76	29,27	33,55
12.09.2019	28,97	28,69	33,00
13.09.2019	28,14	28,22	32,33



AUSWERTUNG Lufttemperatur Tagesmittel				
	KS	MS	DS	Hütte
05.07.2019	23,99	22,38	23,70	21,68
06.07.2019	29,62	28,86	29,70	28,30
07.07.2019	24,41	22,89	24,23	22,83
08.07.2019	21,15	20,11	21,91	20,67
09.07.2019	19,79	18,89	20,61	18,97
10.07.2019	19,69	18,80	20,23	19,03
11.07.2019	21,00	19,89	21,57	20,40
12.07.2019	18,58	17,15	18,51	17,11
13.07.2019	17,24	16,04	17,26	15,63
14.07.2019	19,54	18,52	19,68	18,90
15.07.2019	21,15	20,13	21,78	21,58
16.07.2019	21,11	20,06	21,90	21,36
17.07.2019	22,41	21,11	22,84	23,24
18.07.2019	21,66	20,33	21,84	22,12
19.07.2019	23,50	22,09	23,65	23,18
20.07.2019	25,57	24,19	25,71	26,06
21.07.2019	23,18	21,58	23,44	22,84
22.07.2019	25,22	23,71	25,49	25,15
23.07.2019	26,52	25,23	26,83	27,26
24.07.2019	26,23	24,85	26,34	26,32
25.07.2019	27,23	25,92	27,40	27,51
26.07.2019	27,45	26,21	27,50	27,73
27.07.2019	21,96	20,78	22,08	20,43
28.07.2019	22,95	21,64	23,18	22,18
29.07.2019	21,84	20,58	21,99	20,96
30.07.2019	22,82	21,48	23,10	22,77
31.07.2019	24,68	23,58	25,33	24,69
01.08.2019	24,20	23,24	25,14	24,56
02.08.2019	21,08	19,79	21,52	20,78
03.08.2019	19,26	18,13	19,48	18,18
04.08.2019	20,70	19,79	21,57	20,95
05.08.2019	22,03	20,97	23,02	22,09
06.08.2019	21,74	20,75	22,26	22,39
07.08.2019	23,08	22,00	23,83	23,61
08.08.2019	22,40	21,69	23,39	23,27
09.08.2019	23,74	22,61	24,79	24,60
10.08.2019	24,76	23,55	25,51	25,00
11.08.2019	22,94	21,67	23,43	23,56
12.08.2019	23,62	22,65	24,50	23,46
13.08.2019	20,49	19,35	20,74	19,87
14.08.2019	19,23	18,46	19,93	19,30
15.08.2019	20,45	19,40	21,62	21,11
16.08.2019	19,44	18,34	19,90	19,42
17.08.2019	20,09	18,95	20,82	20,14
18.08.2019	24,02	22,68	24,96	26,12
19.08.2019	23,68	22,26	24,64	24,22
20.08.2019	23,88	22,60	24,49	24,20
21.08.2019	18,47	17,23	18,62	17,21
22.08.2019	19,53	18,06	19,86	19,13
23.08.2019	21,75	20,21	22,15	21,62
24.08.2019	23,32	21,70	24,24	22,98
25.08.2019	23,42	21,71	23,98	23,06
26.08.2019	23,60	22,04	24,06	23,53
27.08.2019	23,49	22,05	23,80	23,02
28.08.2019	23,66	22,01	24,31	23,52
29.08.2019	23,91	22,38	24,63	23,51
30.08.2019	22,64	21,05	22,91	22,24
31.08.2019	24,14	22,76	24,94	23,86
01.09.2019	23,27	21,69	24,00	22,50
02.09.2019	18,24	17,05	18,20	16,32
03.09.2019	17,57	16,90	18,39	17,09
04.09.2019	18,15	17,51	18,98	17,86
05.09.2019	20,00	18,79	20,64	19,52
06.09.2019	17,77	16,52	17,98	16,74
07.09.2019	15,78	14,71	15,74	13,95
08.09.2019	17,58	16,51	17,72	16,93
09.09.2019	14,99	13,99	15,33	13,93
10.09.2019	16,44	15,28	17,11	15,94
11.09.2019	17,69	16,48	18,43	17,59
12.09.2019	18,77	17,69	19,44	18,47
13.09.2019	20,97	19,64	21,40	22,87



AUSWERTUNG Lufttemperatur Tagesmittel 6 - 19 Uhr				
	KS	MS	DS	Hütte
05.07.2019	27,99	26,58	27,98	26,27
06.07.2019	36,99	36,81	37,07	36,26
07.07.2019	27,69	26,18	27,47	26,49
08.07.2019	24,89	24,27	26,32	25,74
09.07.2019	24,07	23,39	25,36	24,79
10.07.2019	24,50	24,03	25,55	25,44
11.07.2019	24,19	23,38	25,15	24,40
12.07.2019	20,75	19,32	20,73	19,89
13.07.2019	18,20	17,12	18,23	16,79
14.07.2019	22,75	22,02	23,06	23,20
15.07.2019	26,42	25,50	27,45	29,20
16.07.2019	26,29	25,52	27,59	29,00
17.07.2019	28,86	27,59	29,61	32,75
18.07.2019	26,91	25,62	27,24	30,05
19.07.2019	29,30	27,93	29,66	30,77
20.07.2019	32,11	30,82	32,54	35,36
21.07.2019	25,40	23,81	25,88	26,14
22.07.2019	30,28	28,73	30,95	32,38
23.07.2019	32,20	30,98	32,99	35,88
24.07.2019	32,93	31,51	33,37	35,83
25.07.2019	33,92	32,72	34,55	37,19
26.07.2019	34,19	33,06	34,57	37,49
27.07.2019	24,60	23,55	24,90	23,83
28.07.2019	25,73	24,50	26,21	26,06
29.07.2019	23,04	21,94	23,30	22,80
30.07.2019	24,95	23,74	25,52	26,34
31.07.2019	28,22	27,27	29,23	29,44
01.08.2019	28,73	27,97	30,44	31,37
02.08.2019	24,37	23,12	25,14	25,79
03.08.2019	20,65	19,66	20,91	20,13
04.08.2019	25,02	24,35	26,66	27,79
05.08.2019	27,20	26,36	29,13	29,75
06.08.2019	24,62	23,93	25,68	27,89
07.08.2019	26,65	25,73	28,07	29,45
08.08.2019	26,26	25,93	28,04	29,86
09.08.2019	29,18	28,21	31,27	33,28
10.08.2019	29,30	28,16	30,75	31,67
11.08.2019	25,92	24,62	26,91	29,07
12.08.2019	27,07	26,42	28,65	28,29
13.08.2019	22,32	21,24	22,81	23,02
14.08.2019	22,75	22,16	24,07	25,15
15.08.2019	25,20	24,37	27,42	28,64
16.08.2019	22,22	21,13	22,98	24,00
17.08.2019	24,43	23,38	25,90	26,87
18.08.2019	28,94	27,47	30,74	34,81
19.08.2019	27,98	26,50	29,76	30,68
20.08.2019	26,91	25,72	28,10	29,21
21.08.2019	20,49	19,03	20,78	20,28
22.08.2019	21,94	20,37	22,64	23,19
23.08.2019	24,72	22,93	25,50	26,34
24.08.2019	28,07	26,17	29,87	29,58
25.08.2019	26,81	24,78	27,96	28,15
26.08.2019	27,93	26,14	28,92	29,99
27.08.2019	27,75	26,19	28,48	29,07
28.08.2019	28,75	26,76	30,13	30,93
29.08.2019	28,36	26,65	29,78	29,62
30.08.2019	26,12	24,22	26,61	27,29
31.08.2019	29,57	28,13	31,27	31,48
01.09.2019	27,66	25,90	29,15	28,43
02.09.2019	19,17	17,95	19,11	17,45
03.09.2019	21,28	20,79	22,77	22,94
04.09.2019	23,58	23,22	25,17	25,90
05.09.2019	24,72	23,56	26,00	26,04
06.09.2019	19,59	18,21	19,99	19,52
07.09.2019	16,34	15,30	16,26	14,68
08.09.2019	19,67	18,66	19,98	20,24
09.09.2019	16,87	15,87	17,41	16,68
10.09.2019	21,25	19,82	22,51	22,95
11.09.2019	22,11	20,76	23,52	24,21
12.09.2019	22,38	21,28	23,54	23,65
13.09.2019	24,58	23,20	25,40	26,76



AUSWERTUNG Düngerlevel Tagesmittel			
KS	MS	DS	Hütte
05.07.2019	0,00	0,00	0,79
06.07.2019	0,00	0,00	0,79
07.07.2019	0,02	0,08	0,81
08.07.2019	0,26	0,80	1,54
09.07.2019	0,26	0,80	1,54
10.07.2019	0,26	0,80	1,54
11.07.2019	0,26	0,80	1,54
12.07.2019	0,41	0,74	1,54
13.07.2019	0,73	0,63	1,34
14.07.2019	0,80	0,61	1,16
15.07.2019	0,80	0,58	1,19
16.07.2019	0,80	0,58	1,19
17.07.2019	0,80	0,58	1,19
18.07.2019	0,80	0,58	1,19
19.07.2019	0,80	0,58	1,19
20.07.2019	0,80	0,58	1,19
21.07.2019	0,80	0,58	1,19
22.07.2019	0,80	0,58	1,19
23.07.2019	0,80	0,58	1,19
24.07.2019	0,80	0,58	1,19
25.07.2019	0,80	0,58	1,19
26.07.2019	0,80	0,58	1,19
27.07.2019	0,80	0,58	1,19
28.07.2019	0,80	0,57	1,09
29.07.2019	1,00	0,50	0,56
30.07.2019	1,11	0,50	0,56
31.07.2019	1,11	0,50	0,56
01.08.2019	1,11	0,50	0,56
02.08.2019	1,11	0,50	0,56
03.08.2019	1,01	0,51	0,62
04.08.2019	0,78	0,52	0,78
05.08.2019	0,78	0,52	0,78
06.08.2019	0,76	0,62	1,33
07.08.2019	0,77	0,67	1,55
08.08.2019	0,84	0,79	1,73
09.08.2019	0,84	0,79	1,73
10.08.2019	0,84	0,79	1,73
11.08.2019	0,84	0,79	1,73
12.08.2019	0,84	0,81	1,70
13.08.2019	0,85	0,86	1,64
14.08.2019	0,85	0,86	1,64
15.08.2019	0,85	0,86	1,64
16.08.2019	0,85	0,86	1,64
17.08.2019	0,85	0,86	1,64
18.08.2019	0,85	0,86	1,64
19.08.2019	0,85	0,86	1,64
20.08.2019	0,85	0,86	1,64
21.08.2019	0,85	0,86	1,64
22.08.2019	0,85	0,86	1,64
23.08.2019	0,85	0,86	1,64
24.08.2019	0,85	0,86	1,64
25.08.2019	0,85	0,86	1,64
26.08.2019	0,85	0,86	1,64
27.08.2019	0,85	0,86	1,64
28.08.2019	0,85	0,86	1,64
29.08.2019	0,85	0,86	1,64
30.08.2019	0,85	0,86	1,64
31.08.2019	0,85	0,86	1,64
01.09.2019	0,85	0,86	1,64
02.09.2019	0,84	0,86	1,58
03.09.2019	0,78	0,79	1,12
04.09.2019	0,78	0,79	1,12
05.09.2019	0,78	0,79	1,12
06.09.2019	0,78	0,79	1,12
07.09.2019	0,66	0,79	1,02
08.09.2019	0,59	0,84	0,90
09.09.2019	0,65	0,91	0,75
10.09.2019	0,65	0,91	0,73
11.09.2019	0,65	0,91	0,73
12.09.2019	0,65	0,91	0,73
13.09.2019	0,65	0,91	0,73



AUSWERTUNG Düngerlevel Tagesmittel 6 - 19 Uhr			
KS	MS	DS	Hütte
05.07.2019	0,00	0,00	0,79
06.07.2019	0,00	0,00	0,79
07.07.2019	0,00	0,00	0,79
08.07.2019	0,26	0,26	1,54
09.07.2019	0,26	0,26	1,54
10.07.2019	0,26	0,26	1,54
11.07.2019	0,26	0,26	1,54
12.07.2019	0,40	0,40	1,54
13.07.2019	0,74	0,74	1,32
14.07.2019	0,80	0,80	1,15
15.07.2019	0,80	0,80	1,19
16.07.2019	0,80	0,80	1,19
17.07.2019	0,80	0,80	1,19
18.07.2019	0,80	0,80	1,19
19.07.2019	0,80	0,80	1,19
20.07.2019	0,80	0,80	1,19
21.07.2019	0,80	0,80	1,19
22.07.2019	0,80	0,80	1,19
23.07.2019	0,80	0,80	1,19
24.07.2019	0,80	0,80	1,19
25.07.2019	0,80	0,80	1,19
26.07.2019	0,80	0,80	1,19
27.07.2019	0,80	0,80	1,19
28.07.2019	0,80	0,80	1,19
29.07.2019	1,05	1,05	0,56
30.07.2019	1,11	1,11	0,56
31.07.2019	1,11	1,11	0,56
01.08.2019	1,11	1,11	0,56
02.08.2019	1,11	1,11	0,56
03.08.2019	1,06	1,06	0,59
04.08.2019	0,78	0,78	0,78
05.08.2019	0,78	0,78	0,78
06.08.2019	0,75	0,75	1,49
07.08.2019	0,76	0,76	1,51
08.08.2019	0,84	0,84	1,73
09.08.2019	0,84	0,84	1,73
10.08.2019	0,84	0,84	1,73
11.08.2019	0,84	0,84	1,73
12.08.2019	0,84	0,84	1,71
13.08.2019	0,85	0,85	1,64
14.08.2019	0,85	0,85	1,64
15.08.2019	0,85	0,85	1,64
16.08.2019	0,85	0,85	1,64
17.08.2019	0,85	0,85	1,64
18.08.2019	0,85	0,85	1,64
19.08.2019	0,85	0,85	1,64
20.08.2019	0,85	0,85	1,64
21.08.2019	0,85	0,85	1,64
22.08.2019	0,85	0,85	1,64
23.08.2019	0,85	0,85	1,64
24.08.2019	0,85	0,85	1,64
25.08.2019	0,85	0,85	1,64
26.08.2019	0,85	0,85	1,64
27.08.2019	0,85	0,85	1,64
28.08.2019	0,85	0,85	1,64
29.08.2019	0,85	0,85	1,64
30.08.2019	0,85	0,85	1,64
31.08.2019	0,85	0,85	1,64
01.09.2019	0,85	0,85	1,64
02.09.2019	0,85	0,85	1,64
03.09.2019	0,78	0,78	1,12
04.09.2019	0,78	0,78	1,12
05.09.2019	0,78	0,78	1,12
06.09.2019	0,78	0,78	1,12
07.09.2019	0,64	0,64	1,03
08.09.2019	0,59	0,59	0,90
09.09.2019	0,65	0,65	0,73
10.09.2019	0,65	0,65	0,73
11.09.2019	0,65	0,65	0,73
12.09.2019	0,65	0,65	0,73
13.09.2019	0,65	0,65	0,73