



UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR WIEN  
University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna

# Masterarbeit

## Untersuchung verschiedener Hackgerätvarianten in Bezug auf Wassererodierbarkeit im Pflanzenbestand

verfasst von

Florian HIESBERGER, BSc

im Rahmen des Masterstudiums

Nutzpflanzenwissenschaften

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Wien, Mai 2023

Betreut von:

Univ.Prof.<sup>in</sup> DI<sup>in</sup> Dr.<sup>in</sup> Christine Stumpp

Mitbetreut von:

Dipl.-Ing. Dr. Stefan Strohmeier

Institut für Bodenphysik und landeskulturelle Wasserwirtschaft  
Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt

---

## Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere an Eides statt, dass ich diese Masterarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Gedanken, die im Wortlaut oder in grundlegenden Inhalten aus unveröffentlichten Texten oder aus veröffentlichter Literatur übernommen wurden, sind ordnungsgemäß gekennzeichnet, zitiert und mit genauer Quellenangabe versehen.

Die vorliegende Arbeit wurde bisher weder ganz noch teilweise in gleicher oder ähnlicher Form an einer Bildungseinrichtung als Voraussetzung für den Erwerb eines akademischen Grades eingereicht. Sie entspricht vollumfänglich den Leitlinien der Wissenschaftlichen Integrität und den Richtlinien der Guten Wissenschaftlichen Praxis.

Mank, 21. Mai 2022

Florian HIESBERGER (eigenhändig)



*Es gibt in der ganzen Natur keinen wichtigeren, keinen der  
Betrachtung würdigeren Gegenstand als den Boden.*

Frédéric Albert Fallou, Dresden, 1862

---

## Danksagung

Dankesworte zu finden ist nicht immer einfach. Diese Arbeit auf diese Art und Weise auf die Beine zu stellen, fordert wohl eine ganze Lobeshymne an alle die mich beraten, begleitet und unterstützt haben.

Zu Beginn versuche ich Worte für die Betreuung in Excellence alla Dipl.-Ing. Dr. Stefan Strohmeier und Univ.Prof.<sup>in</sup> DI<sup>in</sup> Dr.<sup>in</sup> Christine Stumpp zu finden. Eine Betreuung die aus offenen Ohren, Flexibilität und enormer fachlicher Kompetenz geprägt war. Vielen Dank für die Begleitung in dieser überaus spannenden Zeit.

Diese Arbeit wäre aber nie in dieser Form entstanden, hätte es nicht ein Feld und ein Hackgerät gegeben, das uns dankenswerterweise von Valentin Seiringer zur Verfügung gestellt wurde.

Der durchgeführte Berechnungsversuch erforderte natürlich intensive Planung, Vorbereitung und Personal bei der Durchführung. Allen voran will ich mich hier bei Dr. Elmar Schmaltz und allen Mitarbeitern der BAW Petzenkirchen bedanken. Weiters möchte ich mich im Zuge dessen dem Direktor des Bundesamts für Wasserwirtschaft DI Dr. Peter Strauss bedanken, der uns den Berechnungssimulator zur Verfügung gestellt hat. Danke für die äußerst freundliche Aufnahme im Labor in der BAW Petzenkirchen, allen voran der Laborleiterin Ing. Monika Kumpan.

Als erwähnenswert erscheint mir persönlich auch die Gaststudentengruppe der TU Prag welche mir im Labor des Institutes für Bodenphysik und Landeskulturellen Wasserwirtschaft an ein paar, wohl unvergesslichen, Tagen zur Hilfe gestanden sind.

Ganz herzlich möchte ich mich abschließend bei allen Wegbegleitern, aber vor allem meiner großartigen Familie, bedanken. Eine Familie zu haben, die immer hinter einem steht und einen in stressigen und anstrengenden Zeiten unter die Arme greift, schätze ich wirklich sehr.

## Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung.....	i
Danksagung.....	iv
Inhaltsverzeichnis.....	v
Kurzfassung.....	viii
Abstract.....	ix
1. Einleitung.....	1
2. Theoretischer Hintergrund.....	3
2.1. Hacktechnik in der Landwirtschaft.....	3
2.1.1. Integrierter Pflanzenschutz.....	3
2.1.2. Evolution und Bedeutung der Hacktechnik.....	5
2.1.3. Gänsefußschar-Hacktechnik Marke Einböck.....	6
2.1.3.1. Geometrie des Hackbildes Gänsefußschar.....	7
2.1.4. Hohlscheiben-Winkelschar Hacktechnik.....	8
2.1.4.1. Geometrie des Hackbildes Hohlscheiben-Winkelscharsystem.....	9
2.2. Erosion.....	11
2.2.1. Ursachen für Erosion.....	12
2.2.2. Prozesse der Wassererosion.....	14
2.2.3. Erosionsformen.....	16
2.2.3.1. Flächenerosion.....	16
2.2.3.2. Rillenerosion.....	16
2.2.3.3. Rinnenerosion.....	16
2.2.4. Folgen der Wassererosion.....	16
2.3. Modellierung der Erosion.....	17
2.3.1. USLE.....	17
2.3.2. Manning-Strickler Gleichung.....	18
2.3.3. Erodierbarkeit in Rillenerosionssimulation.....	19

---

3. Fragestellung.....	20
4. Hypothesen .....	21
5. Material und Methoden .....	22
5.1.  Versuchsstandort.....	22
5.1.1.  Beschreibung der Bodenform.....	23
5.1.1.1.  Bodentyp.....	23
5.1.1.2.  Horizonte und Bodenart .....	23
5.1.1.3.  Wasserverhältnisse und Erodierbarkeit.....	24
5.1.2.  Klimatische Verhältnisse.....	25
5.1.3.  Bewirtschaftung .....	26
5.1.3.1.  Fruchtfolge und Vorfrucht.....	26
5.1.3.2.  Bodenbearbeitung.....	27
5.1.3.3.  Ansaat Hauptkultur.....	29
5.1.3.4.  Kulturpflege.....	29
5.1.3.5.  Düngung .....	32
5.2.  Beregnungsversuch .....	33
5.2.1.  Versuchsparzellen.....	33
5.2.2.  Regensimulator .....	34
5.3.  Laborerhebungen.....	37
5.3.1.  Bodenphysikalische und -chemische Parameter .....	37
5.3.2.  Oberflächenabfluss und erodierte Erde .....	39
5.3.3.  Aggregatstabilität.....	41
5.3.3.1.  Vorbereitungen .....	41
5.3.3.2.  Durchführung der Bestimmung der Aggregatstabilität.....	41
5.3.3.3.  Berechnung.....	43
5.3.4.  Rillenerosionsversuch.....	43
5.3.4.1.  Vorbereitung .....	43
5.3.4.2.  Durchführung des Rillenerosionsversuches.....	45

---

5.3.4.3. Berechnung nach Manning-Strickler .....	46
5.3.4.4. Erosionsberechnung .....	47
5.3.5. Datenverwertung .....	48
6. Ergebnisse und Diskussion .....	50
6.1. Beregnungsversuch .....	50
6.1.1. Oberflächenabfluss Gesamt .....	50
6.1.2. Oberflächenabfluss im Zeitverlauf .....	51
6.1.3. Prozentueller Abfluss der gesamten Beregnung .....	53
6.1.4. Prozentueller Oberflächenabfluss im Zeitverlauf .....	53
6.1.5. Bodenabtrag Gesamt .....	55
6.1.6. Bodenabtrag im Zeitverlauf.....	56
6.1.7. Vergleich beider Hacksysteme .....	57
6.1.8. Sedimentkonzentration des Oberflächenabflusses Gesamt .....	59
6.1.9. Sedimentkonzentration des Oberflächenabflusses im Zeitverlauf .....	60
6.2. Aggregatstabilität .....	61
6.2.1. Prozent der stabilen Aggregate .....	61
6.3. Rillenerosionsversuch.....	62
6.3.1. Loslöserate als Funktion der Scherspannung.....	62
6.3.2. Unterschiede der Erosionsmodellierung .....	63
7. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen .....	65
Literaturverzeichnis .....	68
Abkürzungsverzeichnis .....	72
Abbildungsverzeichnis.....	73
Tabellenverzeichnis.....	75
Anhang.....	76

---

## Kurzfassung

Zur mechanischen Beikrautbekämpfung in Reihenkulturen werden in der Landwirtschaft meist Hackgeräte verwendet. Hierbei haben sich in der Vergangenheit Hackgeräte mit Gänsefußscharen als Arbeitswerkzeug etabliert. Durch dieses Gänsefußschar wird die Erde vom Reihenzwischenraum in Richtung Pflanzenreihe geworfen und Beikräuter dabei verschüttet. Die Nachteile dieses Systems, wie etwa geringe Arbeitsgeschwindigkeiten, ein breites unbearbeitetes Hackband und eine wasserakkumulierende Senkenbildung im Reihenzwischenraum, sollten durch ein weiterentwickeltes Hacksystem vermindert werden. Eine Kombination aus Hohlscheiben und Winkelscharen ermöglicht es, den Boden schneller und näher an den Pflanzenreihen zu bearbeiten, bei einem völlig unterschiedlichem Arbeitsbild. Die vorliegende Arbeit untersucht Unterschiede dieser beiden Hacksysteme in Bezug auf Wassererodierbarkeit. Ziel ist die Untersuchung, ob ein Systemwechsel den Bodenverlust durch Wassererosion vermindern kann. Dazu wurde ein Berechnungssimulator auf Versuchsparzellen aufgebaut und der Oberflächenabfluss in Zeitabständen aufgefangen und analysiert. Weiters wurden die Geometrien der Hacksysteme rechnerisch in Bezug auf Erosionsanfälligkeit miteinander verglichen. Dieser rechnerische Vergleich lieferte anhand der vereinfachten Berechnung keine relevanten Unterschiede. Die Analyse des Oberflächenabflusses zeigte hingegen, dass durch das weiterentwickelte Hacksystem etwa 12% mehr Oberflächenabfluss zu beobachten war. Somit wird vom Boden etwas weniger Wasser aufgenommen, was in Trockenperioden zu erhöhtem Trockenstress führen kann. Die Erosion des Oberbodens konnte zeitgleich um fast 64% reduziert werden. Dadurch kann der Großteil der On- und Offsite-Schäden reduziert und wertvoller Boden geschützt werden. Das Erosionsverhalten im Zeitverlauf bestätigte diese Reduktion durch wesentlich schwächere, abflachende Anstiege während der Beregnung.

---

## Abstract

For mechanical weed control in agriculture, row-crop cultivators are often used. These cultivate the majority of the unseeded area between and partly inside the rows. The agricultural machinery industry has developed a number of different systems for this purpose, among which, cultivators with goosefoot shares have become most established. This goosefoot share throws the soil from the space between the rows towards the row of plants and thereby buries weeds. Disadvantages of this systems, like a low working speed, a wide uncultivated hoeing band and among other micro-morphological aspects, a formation of a water accumulating sink in the space between the rows, might be reduced through a further developed cultivation system. A combination of hollow discs and angled shares allows the machine to work faster and closer to the crop rows and the soil to be thrown towards the space between the rows. This results in a slight mounding in the space between the rows. This study investigates differences of these two cultivation systems in terms of water erodibility. A plot experiment was set up in the field using a rainfall simulator for surface runoff and sediment yield assessment. Furthermore, soil parameters were analysed and the geometries of the cultivator systems were used for calculating differences in erodibility. These calculations did not show big differences in the End. The field experiment unveiled about 12% larger surface runoff observed during the further developed cultivation system experiment. This indicates less water intake by the soil, which can lead to increased stress in drought periods. At the same time soil erosion was reduced by almost 64%. This results in reducing on and off site damage and saving valuable soil. Erosion over time confirmed this reduction by showing much flatter increases in the beginning of the rain event and stabilisation with a slight movement during the rain event.

## 1. Einleitung

*„Es gibt in der ganzen Natur keinen wichtigeren, keinen der Betrachtung würdigeren Gegenstand als den Boden.“*

Bereits 1862 wies der deutsche Bodenkundler Frédéric Albert Fallou auf die Bedeutung und Wichtigkeit der Erhaltung unseres Bodens hin (Trittin, 2002). Der Boden ist der belebte Teil der obersten Erdkruste. Sie ist im Verhältnis zur gesamten Erdmasse nur eine dünne verletzbare Haut, die besonderer Aufmerksamkeit bedarf. Innerhalb der Ökosphäre stellt diese die Basis für menschliches und tierisches Leben dar. Neben der Nutzungs- und Lebensraumfunktion, erfüllen unsere Böden Regelungsfunktionen als Speicher-, Filter-, Puffer- und Transformationssystem. Welchen Stellenwert diese Funktionen für unsere Ökosphäre haben, stellt Abbildung 1 grafisch dar. Verlust und Degradation unseres Bodens bedeutet gleichzeitig den Verlust dieser wichtigen Existenzgrundlage. Da Boden ein nicht vermehrbare Gut ist, ist es wichtig, den Boden der uns zur Verfügung steht, so gut als möglich zu beschützen (Blume, et al., 2010).

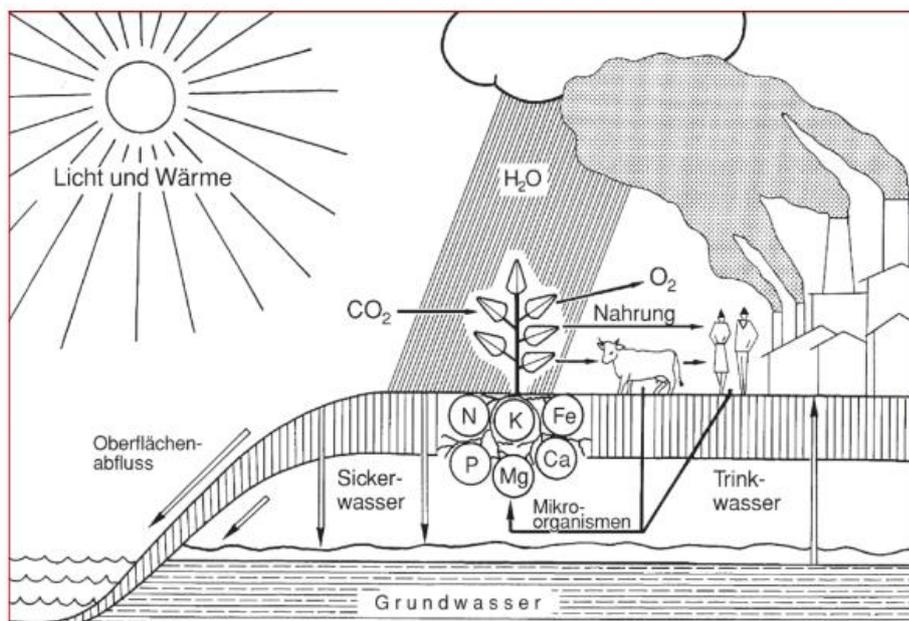


Abbildung 1 Stellung und Funktionen von Böden in der Ökosphäre (Brümmer, 1978)

---

Die größte Gefahr für Böden in der Europäischen Union ist der Verlust durch Wassererosion. Es wird geschätzt, dass in der EU etwa 970 Megatonnen Boden pro Jahr durch Erosion verloren gehen. Durch gezielte Förderprogramme ließ sich die Erosion im letzten Jahrzehnt bereits um 9,5% reduzieren. Der durchschnittliche jährliche Bodenverlust wird trotzdem auf 2,46 t ha<sup>-1</sup> geschätzt (Panagos, et al., 2015). Alleine im Landwirtschaftssektor entsteht EU-weit jährlich ein Schaden von etwa 1,25 Milliarden Euro. Dies ist unter anderem auf Ernteauffälle zurückzuführen (Panagos, et al., 2018).

Doch nicht nur innerhalb der Landwirtschaft entstehen erhebliche Schäden, auch durch das abgetragene Material entstehen im außerlandwirtschaftlichen Bereich enorme Schäden (Maréchal, Proserpi, & Rusco, 2008). Um Schäden nachhaltig zu reduzieren und den Boden nicht zu verlieren, werden in der Landwirtschaft neue Bewirtschaftungssysteme entwickelt, die eine effiziente, verlustarme und bodenschonende Nutzung gewährleisten. Dazu zählte die Wiederentdeckung und Weiterentwicklung eines Hacksystems zur mechanischen Beikrautbekämpfung in Reihenkulturen. Dieses weiterentwickelte System sollte im Vergleich zur herkömmlichen Technik vor allem effizient, flach und erosionsmindernd arbeiten. Zur Untersuchung der tatsächlichen Erosionsminderung, welche gleichzeitig den Schutz unseres Bodens darstellt, wurde die vorliegende Arbeit angelegt. Sie soll das Erosionsverhalten bei Starkregenereignissen nach Hackdurchgängen beider Varianten untersuchen. Es ist Ziel aufzuzeigen, wie viel wertvoller Boden bei Starkregenereignissen durch Erosion verloren gehen kann, wie viel diese durch neue Bearbeitungsmethoden vermindert werden kann und wie sehr uns Berechnungen dabei unterstützen können, diese Effekte vorherzusagen.

---

## 2. Theoretischer Hintergrund

### 2.1. Hacktechnik in der Landwirtschaft

#### 2.1.1. Integrierter Pflanzenschutz

Pflanzenschutz muss laut der Richtlinie 2009/128/EG des Europäischen Parlaments und des Rates nach den Grundsätzen des integrierten Pflanzenschutzes durchgeführt werden. Hierbei geht es laut Definition um:

*Pflanzenschutzmethoden und die anschließende Einbindung geeigneter Maßnahmen, die der Entstehung von Populationen von Schadorganismen entgegenwirken und die Verwendung von Pflanzenschutzmitteln und anderen Abwehr- und Bekämpfungsmethoden auf einem Niveau halten, das wirtschaftlich und ökologisch vertretbar ist und Risiken für die menschliche Gesundheit und die Umwelt reduziert oder minimiert. Der integrierte Pflanzenschutz stellt auf das Wachstum gesunder Nutzpflanzen bei möglichst geringer Störung der landwirtschaftlichen Ökosysteme ab und fördert natürliche Mechanismen zur Bekämpfung von Schädlingen* (RICHTLINIE 2009/128/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES, 2009).

Das Konzept sieht vor, zuerst indirekte Maßnahmen für die Bekämpfung unerwünschter Organismen im Pflanzenbestand zu ergreifen. Indirekte Maßnahmen sind laut den Grundsätzen des integrierten Pflanzenschutzes vorbeugende Maßnahmen (Abbildung 2). Erst wenn nach Umsetzung dieser Maßnahmen trotzdem Schaderreger, wie Insekten oder unerwünschte Beikräuter, im Ausmaß über der wirtschaftlichen Schadschwelle auftreten, sollte eine aktive Bekämpfung durchgeführt werden (Brand & Lehnhof, 2023).

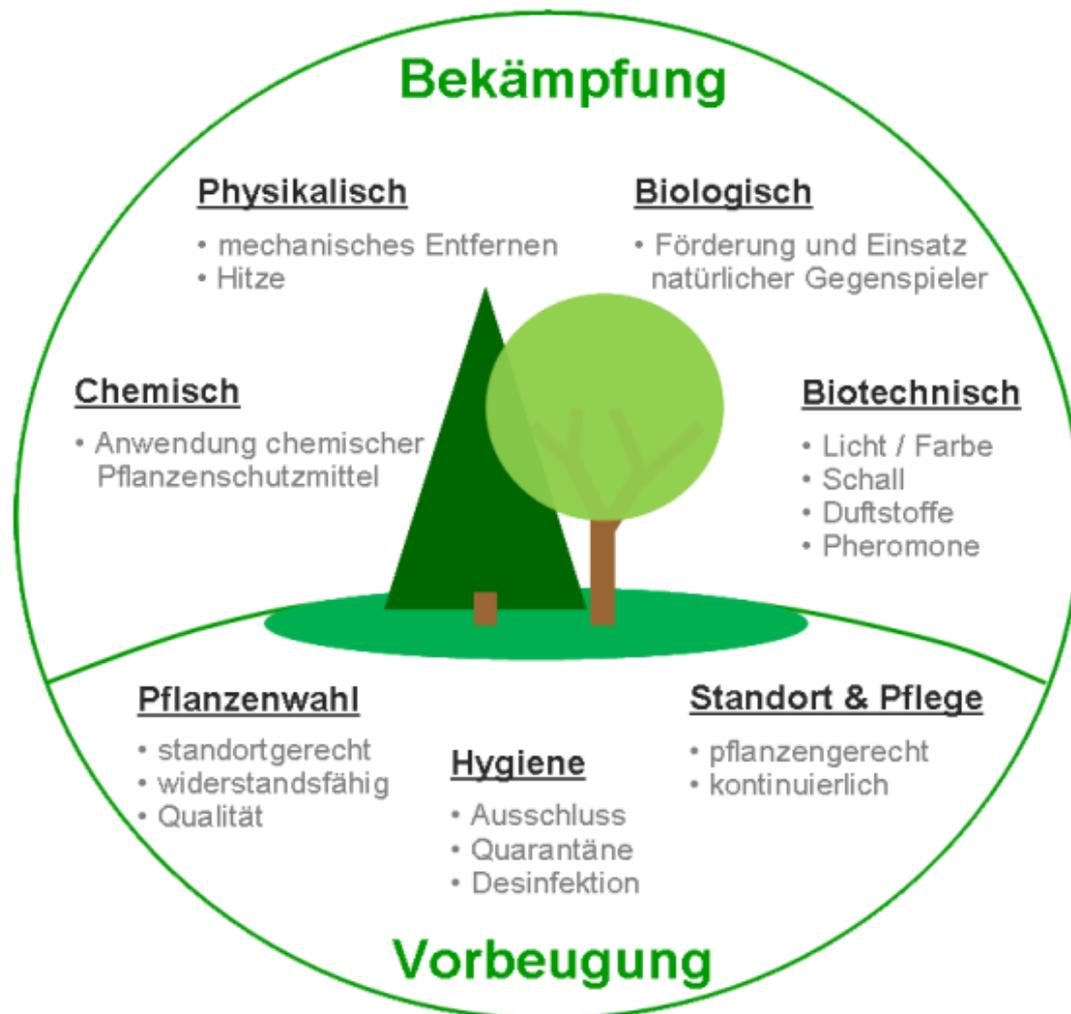


Abbildung 2 Das Konzept des Integrierten Pflanzenschutzes (Brand & Lehnhof, 2023)

Eine aktive Bekämpfung der Schadorganismen bedeutet jedoch nicht gleich die Verwendung chemischer Pflanzenschutzmittel. Die EU Richtlinie (RICHTLINIE 2009/128/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTES UND DES RATES, 2009) verpflichtet beim Pflanzenschutz wie folgt:

*„Nachhaltigen biologischen, physikalischen und anderen nichtchemischen Methoden ist der Vorzug vor chemischen Methoden zu geben, wenn sich mit ihnen ein zufrieden stellendes Ergebnis bei der Bekämpfung von Schädlingen erzielen lässt“*

Eine der effektivsten Maßnahmen hierbei ist der physikalische Pflanzenschutz. Er dient zur Entfernung von unerwünschtem Aufwuchs, Schädlingen, erkrankten Pflanzenteilen und Beikräutern durch Ausreißen, Jäten, Schneiden und Verschütten. Im kleineren Rahmen ist die Handhacke meist das gewählte Werkzeug. Für höhere

---

Flächenleistungen sind Maschinen und Geräte für unterschiedliche Anforderungen verfügbar (Brand & Lehnhof, 2023).

### 2.1.2. Evolution und Bedeutung der Hacktechnik

Hacken gehören zu den ältesten Werkzeugen der Menschheit. Die ersten Vorläufer, welche hauptsächlich zum Auflockern des Bodens und zum Entfernen von Beikräutern verwendet wurden, bestanden aus Holz und wurden schon vor 13.000 Jahren genutzt (Grinin, 2007).

Zwar veränderten sich die Hacken über die Jahre maßgeblich in deren Form und Bestandteile, ganz ersetzt wurde sie jedoch nie. Mit der Entwicklung und Etablierung von chemischen Pflanzenschutzmitteln ist die Bedeutung von Hacksystemen im 20. Jahrhundert deutlich zurückgegangen. Die gesellschaftliche Akzeptanz von chemischen Pflanzenschutzmitteln ist jedoch in den letzten Jahren zunehmend unter Druck geraten. Dieses Thema wird in der Öffentlichkeit und vor allem auch in der Politik immer eingehender diskutiert (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, BMEL, 2017).

Ein zusätzliches Problem ist, dass die Wirksamkeit von Pflanzenschutzmitteln durch Resistenzprobleme nach und nach beeinträchtigt wird. Darunter wird verstanden, dass der zu bekämpfenden Schadorganismus im Laufe der Evolution immun gegen Wirkstoffe oder Wirkstoffgruppen wird (Spektrum, 2001).

Durch die teilweise Wirkungseinschränkung und dem Aussetzen beziehungsweise Wegfall von chemischen Wirkstoffen, kombiniert mit einer nur zögerlichen Zulassung an neuen Mitteln, entwickelt sich ein gewisses Umdenken, und die Suche nach Alternativen ist stark im Vordergrund. Hackgeräte, welche in der biologischen Landwirtschaft immer bedeutend waren, stellen auch für konventionell wirtschaftende Betriebe eine Option des Pflanzenschutzes dar. Hackgeräte ermöglichen die Unterdrückung und Regulierung von bestehenden Beikräutern und -gräsern in einem Kulturpflanzenbestand ohne der Gefahr der Resistenzbildung. Dieser Trend wurde in der letzten Zeit durch die Landtechnikindustrie zur Kenntnis genommen und bisherige Hacksysteme wurden weiter entwickelt (Ernestus, 2019).

---

Eines der traditionellsten aber stark etabliertesten Hackgeräte sind Scharhackgeräte. In Kulturen mit 50 cm Reihenabstand sind Scharhacken mit Gänsefußscharen an Parallelogrammen oder gefederten Zinken der Standard (Dierauer, 2012).

Scharhackgeräte können grundsätzlich mit unterschiedlichsten Zinkenformen ausgestattet werden. Diese werden mit den entsprechenden Scharen flach über den Boden gezogen. Als Scharformen sind Winkelmesser und Gänsefußschare bekannt. Die Wirkung der Scharhackgeräte besteht im Abschneiden und Verschütten der Beikrautpflanzen. Die Wirkung und Einstellung der Scharhackgeräte wird aufgrund gerätetechnischer Komponenten, wie zum Beispiel der Arbeitstiefe, der Fahrgeschwindigkeit und der Zinken- und Scharform, beeinflusst. Auch ökologische Rahmenbedingungen des Einsatzes wie etwa die Witterung, die Bodenfeuchte und Bodenart spielen eine große Rolle. Weiters ist die Art und das Entwicklungsstadium der Beikräuter noch ein wesentlicher Faktor, der die Effektivität und Wirkung von Scharhackgeräten beeinflussen kann (Kolbe & Petzold, 2002).

### 2.1.3. Gänsefußschar-Hacktechnik Marke Einböck

Das gesamte Hackelement am Standardhackgerät der Marke Einböck Typ CHOPSTAR (Abbildung 3) ist auf einem Parallelogramm aufgehängt und mit einer Einzugsfeder ausgestattet. Dieses System sorgt für ein sicheres Eindringen in den Boden und einen ruhigen Lauf der Hackwerkzeuge. Auf diesem Parallelogramm ist ein Vibrozinken montiert, welcher mit einem bis zu 300 mm breitem Gänsefußschar ausgestattet ist. Je nach Reihenabstand können auch mehrere Arbeitswerkzeuge angebracht sein. Diese Arbeitswerkzeuge können zusätzlich mit Schutzelementen, wie etwa Schutzbleche, ausgestattet werden, um das Verschütten der Kulturpflanzen im Frühstadium zu reduzieren. Das gesamte Hackelement ist mit einem Tastrad in der Tiefe stufenlos verstellbar und wird damit in der Arbeitstiefe geführt (www.einböck.at, 2023).



Abbildung 3 Hackelement mit Vibrozinken und Gänsefußschare (www.einböck.at, 2023)

### 2.1.3.1. Geometrie des Hackbildes Gänsefußschar

Aufgrund der Räumwirkung des Gänsefußschares vom Reihenzwischenraum in Richtung Pflanzenreihe, entsteht eine leichte Senke in der Mitte des Reihenzwischenraumes (Abbildung 4).



Abbildung 4 Hackbild der Gänsefußschar-Hacktechnik

Vorteile dieser Technik sind etwa, dass sie weniger Bauteile aufweist und durch die Räumwirkung, Beikrautpflanzen niedriger Entwicklungsstadien in der Pflanzenreihe verschüttet werden. In der Praxis wird diese Hacktechnik auch für ein leichtes

Anhäufeln im Sojapflanzenbestand verwendet, um eine bessere Dreschbarkeit zu erreichen (V. Seiringer, persönliche Kommunikation, 12.03.2023). Ein Nachteil wird bei Regenereignissen sichtbar, bei denen sich ein Großteil des Oberflächenabflusses am tiefsten Punkt der Senke zu akkumulieren scheint. Ein weiterer Nachteil ist die niedrige Arbeitsgeschwindigkeit und das große Hackband, welches den unbearbeiteten Boden im Bereich der Pflanzenreihe beschreibt. Werden diese Parameter nicht beachtet, können losgelöste Erdbrocken Kulturpflanzen wesentlich verletzen und verschütten.



Abbildung 5 Hackgeometrie mit und ohne lockerer Erde, Gänsefußschar

Die durch den Hackvorgang entstandene Rille (Abbildung 5) ist, gemessen auf Basis des unbearbeiteten Bodens in der Pflanzenreihe, etwa 19 mm tief. Dies kann durch Einstellungen jedoch adjustiert werden. Diese entstandene Rille steigt beidseitig um etwa 15° in Richtung Pflanzenreihe an und ist am tiefsten Punkt meist mit 9 mm lockerer Erde bedeckt. Die Aufschüttung an lockerer Erde erreichte in der Kulturpflanzenreihe bis zu 50 mm.

#### 2.1.4. Hohlscheiben-Winkelschar Hacktechnik

Das CHOPSTAR-TWIN Präzisionshackgerät wurde für das exakte Hacken über der Reihe entwickelt. Das im Punkt 2.1.3 erwähnte Hackparallelogramm arbeitet hier nicht klassisch zwischen den Reihen, sondern ist direkt über der Reihe angeordnet, wodurch ein sehr enges Hackband realisiert werden kann. Als Arbeitswerkzeug bearbeitet bei diesem System zuerst ein, auf einem Vibrozinken montiertes Gänsefußschar. Dieses wird zentral in der Mitte des Reihenzwischenraumes geführt, wobei die anderen Arbeitswerkzeuge und die Tasträder die Kulturpflanzen vor

Verschüttung und Beschädigung schützen. Anschließend schneiden zwei im Winkel verstellbare Hohlscheiben den Boden sehr eng an der Pflanzenreihe flach durch. Diesen Hohlscheiben folgen Winkelmesser. Bei diesem Hacksystem sichern zwei eng an der Pflanzenreihe laufende Tasträder eine exakte Arbeitstiefe und Führung der Hackelemente. Dieses Twin System ermöglicht durch den umgekehrten Erdfluss eine höhere Flächenleistung durch höhere Fahrgeschwindigkeiten, bei geringer Beschädigung der Kulturpflanzen, was in weiterer Folge einen wirtschaftlichen Vorteil erbringt (www.einböck.at, 2023).

In Abbildung 6 ist links ein Modell des Hohlscheiben-Winkelschar-Hackelementes ersichtlich. Im rechten Bild erkennt man die Abfolge der Arbeitswerkzeug. Zuerst das geschützte Gänsefußschar, gefolgt von den Hohlscheiben und den Winkelscharen.



Abbildung 6 Hackelement Hohlscheiben-Winkelschartechnik (Twin System) (www.einböck.at, 2023)

#### *2.1.4.1. Geometrie des Hackbildes Hohlscheiben-Winkelscharsystem*

Aufgrund der erstmaligen Bearbeitung des Gänsefußschares unter Schutz der Hohlscheibe und der Tasträder, wird zuerst der Mittelbereich des Reihenzwischenraumes sehr flach bearbeitet. Die nachfolgenden Hohlscheiben schneiden, bei jeweiliger Einstellung, jeweils links und rechts der Pflanzenreihe eine 15 mm tiefe v-förmige Rille in den Boden und werfen die Erde in Richtung Reihenzwischenraum. Die Rille steigt in Richtung Pflanzenreihe etwa  $70^\circ$  an und in Richtung Reihenzwischenraum etwa  $45^\circ$  (Abbildung 7).



Abbildung 7 V-förmige Rille der Hohlzscheibe

Das anschließende Winkelschar bearbeitet den verblieben unbearbeiteten Bereich zwischen Gänsefußschar und Hohlzscheibe flächig und wirft die Erde von der Pflanzenreihe weg in Richtung Reihenzwischenraum. Das Hackbild dieses Systems ist in Abbildung 8 ersichtlich.



Abbildung 8 Hackbild der Hohlzscheiben-Winkelscharhacktechnik

Das Gesamtergebnis dieses Twin-Systems ist eine Erd- und Mulchmassenakkumulierung im Reihenzwischenraum mit einer maximalen Schütthöhe von etwa 50 mm, gemessen auf Basis des unbearbeiteten Bodens in der Pflanzenreihe. Dies kann in der Praxis Nachteile in der Dreschbarkeit der Sojabohnen

erwirken, da diese vom Schneidwerk des Mähreschers nicht zur Gänze erfasst werden können. Ob das Arbeitsergebnis des Twin-Hacksystems aber Vorteile in Bezug auf Erodierbarkeit und Schutz des freiliegenden Bodens bringt, soll diese Arbeit untersuchen. Wird diese lockere Erde entfernt, ist das sehr flache, nahezu mit der Pflanzenreihe ebene, Bearbeitungsbild ersichtlich (Abbildung 9).



Abbildung 9 Hackgeometrie mit und ohne lockerer Erde, Hohlscheiben-Winkelschar-Hacktechnik

## 2.2. Erosion

Bodenerosion ist grundsätzlich ein natürlicher Prozess. In der erdgeschichtlichen Entstehung unserer Landschaft ist die Bodenverlagerung durch Wasser und Wind seit Anbeginn ein maßgeblicher Faktor. Die beträchtliche Verstärkung dieser Vorgänge kam mit dem Einwirken des Menschen, insbesondere mit der landwirtschaftlichen Nutzung. Deshalb wird auch zwischen „normaler“ und „kulturbedingter“ Bodenerosion unterschieden. Neben Zerstörung durch Flächenversiegelung und -verbrauch, stellt Bodenerosion die bedeutendste Gefahr für Bodenverlust in Österreich dar (Holzer & Reischauer, 2015).

Wie in Abbildung 10 gut erkennbar ist, zeigt sich Wassererosion durch Abtrag des Bodens in Schmutzwasser und Schlamm.



Abbildung 10 Wassererosion hervorgerufen durch Überflutung der Versuchsparzelle

### 2.2.1. Ursachen für Erosion

Erosion tritt aus sehr vielen verschiedenen Gründen auf. In der Praxis sind es vier Faktoren die primär für das Auftreten und die Intensität von Wind- und Wassererosion verantwortlich sind:

- Klima
  - Regenmenge und -Intensität
- Topographie
  - Länge des Hanges, Neigung und Hangform
- Bodenbedeckung
- Boden & Nutzung

(Toy, Foster, & Renard, 2002).

Besonders erosionsanfällig sind Böden die folgende Eigenschaften aufweisen:

- Hoher Sand- und Schluffgehalt
- Geringer Tongehalt
- Geringer Humusgehalt
- Geringe Wasserdurchlässigkeit

(Schwertmann, Vogl, & Kainz, 1987).

Der Tonanteil im Boden hat aufgrund der großen Aktivität großen Einfluss auf die Stabilität des Bodens. Die große Oberfläche und starke Reaktivität des Tons beeinflussen bodenphysikalische und -chemische Parameter, welche als Flockungs- und Dispergierungsmedium wirken, maßgeblich. Diese Eigenschaften tragen zur deutlichen Minderung der Erosionsneigung bei (Lal, 1999).

Weiters ist der Anteil an organischer Substanz im Boden entscheidend. Je höher dieser ist, desto größer ist die Wasserspeicherefähigkeit des Bodens und desto geringer das Risiko der Erosion durch Wasser. Höhere Kohlenstoffgehalte verbessern die Bodenstruktur und erhöhen auch die Stabilität der Bodenaggregate gegenüber erosiven Kräften. Böden, die eine hohe Aggregatstabilität aufweisen, schlämmen weniger leicht, wodurch ihre Infiltrationsfähigkeit aufrecht bleibt und die Anfälligkeit für Erosion geringer ist (Klik & Schwen, 2014).

Der Einfluss durch die Landnutzung des Menschen ist der größte Einflussfaktor auf die Bodenerosion (Toy, Foster, & Renard, 2002).

Zahlreiche Studien zeigen, dass Bodenbearbeitung maßgeblich die Aggregatstabilität und Kohlenstoffakkumulation beeinflussen. Damit geht eine Verminderung der Stabilität gegenüber erosiven Kräften einher. Konventionell bearbeitete Böden weisen geringere Aggregatstabilität auf, was sich in einem Beregnungsversuch von Klik & Schwen (2014) bemerkbar machte. Innerhalb von 5 min wurde der Anteil der Aggregate >4 mm von über 70% auf 19% reduziert. Die Aggregatstabilität bei Mulchsaat war etwa viermal so hoch. Hier dauerte der gleiche Abbau 20 min. Der mit Direktsaat bestellte Boden zeigte die höchste Aggregatstabilität. In der gleichen Zeitperiode nahm der Anteil der Aggregate > 4 mm auf 32% ab und erreichte hiermit jenen Wert, der bei Mulchsaat nach 5 min erreicht war (Abbildung 11).

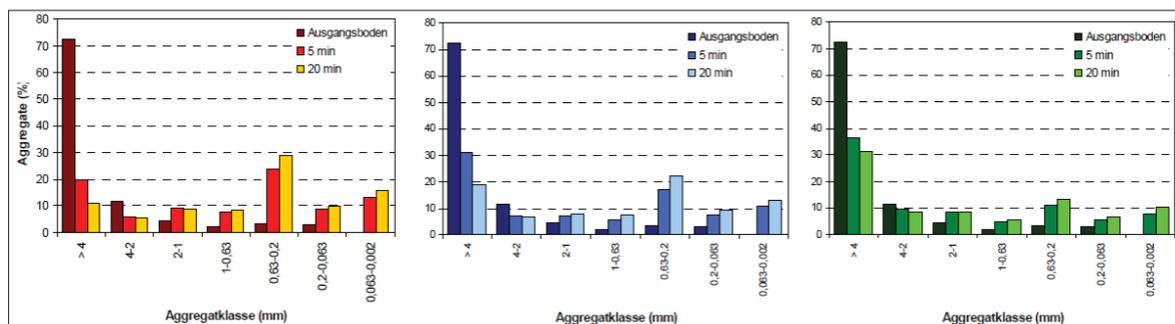


Abbildung 11 Veränderung der Aggregate unterschiedlicher Größe eines schluffigen Lehms mit konventioneller Bearbeitung (links), Mulch- (Mitte) und Direktsaat (rechts) bei einem fünf- bzw. 20-minütigen Regenereignis mit 30 mm h<sup>-1</sup> Intensität (Klik & Schwen, 2014).

Die durch die Bodenbearbeitung entstehenden Aggregatbruchflächen werden schneller mineralisiert und können infolge rasch abgebaut werden. Eine bearbeitungsarme Bewirtschaftung führt langfristig zu einer, dem natürlichen Ökosystem nahen, Entwicklung des obersten Bodenhorizontes. Dies ist erkennbar durch eine oftmalige Reduktion von Grobporen, einer Zunahme der Bodendichte und einer Erhöhung der Aggregatstabilität. Kohlenstoff wird in kleinere Aggregatfraktionen eingelagert und ist so vor der schnellen direkten Mineralisation geschützt. Durch diese Veränderung in der Aggregatarchitektur wird eine Mineralisationsbarriere geschaffen, die langfristig zu einer Kohlenstoffakkumulation im Boden führt (Klik & Schwen, 2014).

## 2.2.2. Prozesse der Wassererosion

Der Bodenabtrag durch Wasser lässt sich grundsätzlich in drei Teilprozesse untergliedern:

- Ablöseprozess
- Transportprozess
- Ablagerungsprozess von Bodenteilchen

Zu Beginn des Regenereignisses wird der Boden befeuchtet und dabei Luft in den Boden eingeschlossen. Das Regenwasser dringt weiter in den Boden ein und verdichtet die Luft im Bodeninneren bis durch die hohen Drücke Aggregate aufgesprengt werden. Dieser Prozess wird auch Luftsprengung genannt. Die lockeren und instabilen Bodenaggregate werden aufgrund der kinetischen Energie der Regentropfen anschließend meist zerschlagen (Auerswald, 1998). Die aufprallenden

Regentropfen bewirken dann im ersten Teilprozess die Loslösung der getroffenen Bodenteilchen.

Sobald die Infiltrationskapazität des Bodens überschritten wird, beginnt der zweite Teilprozess, der Transportprozess. Dabei werden feine Bodenpartikel durch den Oberflächenabfluss weiter transportiert. Durch das Verschlämmen sinkt das Infiltrationsvermögen des Bodens. Dadurch erhöht sich die Abflussmenge, die Fließgeschwindigkeit und somit auch die Transportkapazität des abfließenden Wassers. Dies sorgt letztendlich dafür, dass der Oberflächenabfluss ab einer bestimmten Abflussmenge in der Zeiteinheit, selbst erosiv wird und zusätzliche Bodenpartikel aus dem Bodengefüge gerissen und mittransportiert werden können (Strauss & Schmaltz, 2019).

Sobald nicht mehr genügend Energie für den Transport vorhanden ist, wird das Sediment abgelagert. Dieser dritte und letzte Teilprozess wird Ablagerungsprozess genannt (Auerswald, 1998).

Diese Teilprozesse und deren Einflussgrößen sind in Abbildung 12 ersichtlich.

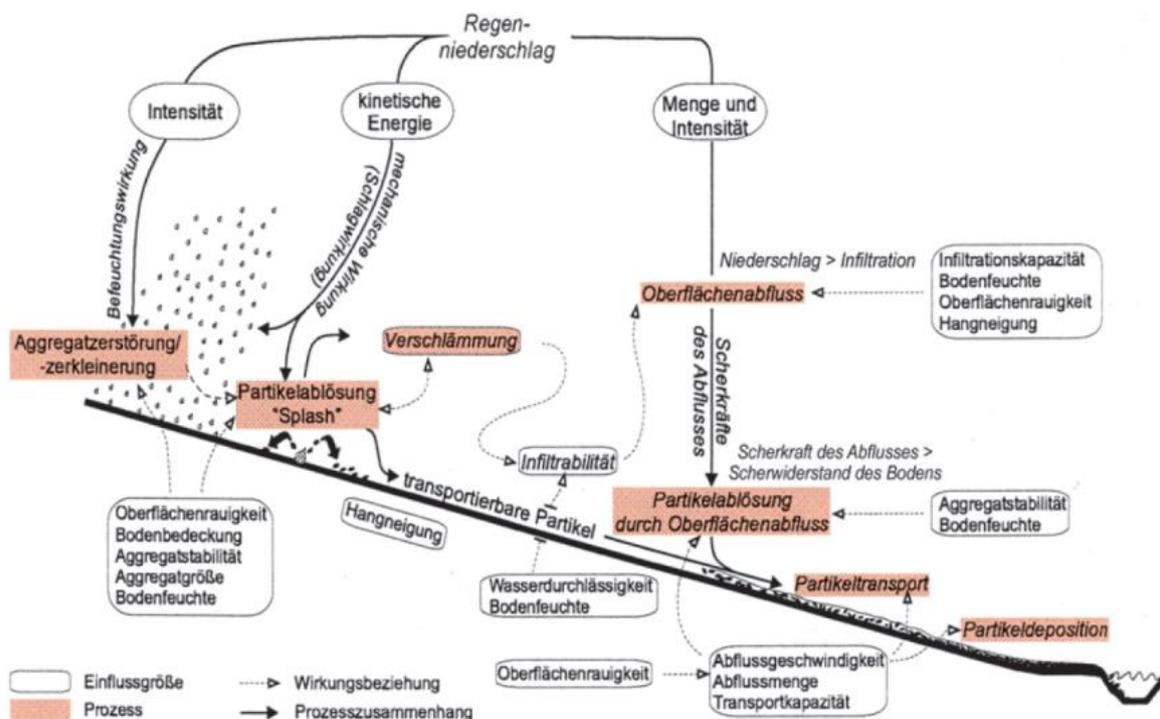


Abbildung 12 Der Bodenerosionsprozess – Einflussgrößen und Teilprozesse (Duttmann, 2001)

---

## 2.2.3. Erosionsformen

### 2.2.3.1. Flächenerosion

Wenn die Niederschlagsintensität die Interzeption und die Infiltrationsrate des Bodens übersteigt, beginnt sich ein dünner Oberflächenabflussfilm auszubilden. Bei gleichmäßiger Bodenablösung durch den Regentropfenaufprall, der sogenannten Splasherosion, erfolgt ein flächenhafter Transport. Ein weiterer Begriff dafür ist die Schichterosion (Blume, et al., 2010). In diesem Teilprozess ist nur der Regentropfenaufprall erosiv, und der Oberflächenabfluss fungiert als Transportmedium.

### 2.2.3.2. Rillenerosion

Durch zunehmende Oberflächenabflussmenge und die lokale Erosionskraft des Abflusses entstehen lineare, bis ca. 10 cm tiefe Rillen. In diesen Erosionsrillen sammelt sich während des Erosionsereignisses der Abfluss, welcher durch die Abflusskonzentration selbst erosiv ist. Flächenhafte Erosion findet weiterhin statt und trägt dabei maßgeblich zum Bodenabtrag bei (Blume, et al., 2010).

### 2.2.3.3. Rinnenerosion

Wird der Oberflächenabfluss stärker, erhöht sich die Abflusshöhe und die Fließgeschwindigkeit in den Rillen. Dadurch nehmen Transportkräfte zu und verstärken die Erosion weiter. Somit kommt es zur Bildung von bis zu 30 cm tiefen Rinnen. Im Vergleich dazu verliert die Flächenerosion an Bedeutung. Im weiteren Verlauf geht die Rinnenerosion in eine Grabenerosion, auch Gullyerosion genannt, über (Blume, et al., 2010).

## 2.2.4. Folgen der Wassererosion

Die Folgen und Schäden durch Wassererosion sind vielfältig. Doch nicht nur am Feld, wo Erosion stattfindet (On-site), treten Schäden auf. Schäden sind in weiterer Folge auch abseits des Feldes (Off-site) zu beobachten. In der nachstehenden Tabelle 1 sind diese Stichwortartig aufgezählt (Maréchal, Prospero, & Rusco, 2008).

Tabelle 1 On- und Off-site Schäden durch Wassererosion (Maréchal, et al., 2008)

On – site Schäden	Off – site Schäden
Verlust von organischen Bodensubstanzen	Überflutungen
Verschlechterung der Bodenstruktur	Gewässerverunreinigung
Verlust von durchwurzelter Bodensubstanz	Schwächung der Infrastruktur
Uneinheitliche, unausgeglichene Bodenqualität der Ackerschläge	Verhinderung der natürlichen Drainage
Oberflächenverdichtung	Minderung der Erträge und der Ertragssicherheit
Verringerung der Wasserdurchlässigkeit	Verhinderung des Abflussnetzes (Verlegung von Gräben und Abläufen)
Verringerung der Grundwasseranreicherung	Verschmutzung von Wegen
Oberflächenerosion	Eutrophierung
Verlust von Humus und Pflanzennährstoffen	Umgestaltung der Fließgewässer
Anstieg grobkörniger Bestandteile	Überdüngung von Gewässern (Phosphoreintrag)
Furchen- und Rillenbildung	
Entwurzelung von Pflanzen	
Verringerung des Pflanzenertrages	

## 2.3. Modellierung der Erosion

### 2.3.1. USLE

Zur Modellierung und Berechnung der Bodenerosion an einem definierten Standort können auch Abtragungsgleichungen verwendet werden. Eine der am meisten verbreitetsten ist die USLE, ausgeschrieben Universal soil loss equation von (Wischmeier & Smith, 1978). Diese Gleichung berechnet den jährlichen Bodenabtrag in  $t\ ha^{-1}\ a^{-1}$  wie folgt:

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

A ... Bodenverlust in t (ha\*a)<sup>-1</sup>

R ... Regenerositätsfaktor

K ... Bodenerodibilitätsfaktor

L\*S ... Hanglängen- und Hangneigungsfaktor

C ... Bewirtschaftungsfaktor

P ... Schutzfaktor

Diese Gleichung kann zur großflächigeren Anwendung auch mit Geländemodellen kombiniert werden, um etwa den jährlichen Bodenverlust einer Region oder eines Landes zu ermitteln. Für diese Arbeit ist sie aber nicht anzuwenden, da hier einzelne Starkregenereignisse untersucht werden. Nichtsdestotrotz wird in folgenden Kapiteln auf diese empirische Gleichung verwiesen um den Zusammenhang und Kontext einzelner untersuchter Faktoren, wie zum Beispiel Rillen- und Bodenerodierbarkeit, aufzuzeigen.

### 2.3.2. Manning-Strickler Gleichung

Die Manning-Strickler Gleichung ermittelt die Fließgeschwindigkeit im Gerinne unter Zuhilfenahme des Sohlgefälles, des hydraulischen Radius und des sogenannten Strickler – Beiwertes.

$$v = k_{st} * R^{2/3} * I^{1/2}$$

v... Fließgeschwindigkeit (m\*s<sup>-1</sup>)

k<sub>st</sub>... Strickler Beiwert, Rauigkeitsbeiwert

R...Hydraulischer Radius (m<sup>2</sup>\*m<sup>-1</sup>)

I... Sohlgefälle (m\*m<sup>-1</sup>)

Der hydraulische Radius ist eine Funktion aus dem benetzten Umfang U (m) und der Abflussquerschnittsfläche A (m<sup>2</sup>) (Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft, 2005).

$$R = \frac{A}{U}$$

---

Diese Gleichung ist unter anderem geeignet, den konzentrierten Rillenabfluss und somit die Rillenerosion der untersuchten Erosionsereignisse rechnerisch zu bewerten.

### 2.3.3. Erodierbarkeit in Rillenerosionssimulation

In Experimenten mit einer kleinen Rillenerosionssimulation wurde beobachtet, dass die Rillenerosion linear mit den Scherspannungen, die über eine kritischen Scherspannung hinaus gehen, ansteigt. Dieses Verhalten ist ident in Feldversuchen zu beobachten. Modelle für Sedimentablösung durch hydraulische Scher- oder Strömungskraft haben in der Studie von Shainberg et al. (1994) zufriedenstellend funktioniert. Die Werte der Erodierbarkeit, die in der Laborstudie gemessen wurden, waren ähnlich denen, die für denselben Boden in einer Feldstudie ermittelt wurden. Den größten Unterschied zeigten die kritischen Scherspannungswerte, welche in der Laborstudie deutlich niedriger als im Feld waren, was wahrscheinlich auf Unterschiede in der Bodenstruktur und im Versuchsverfahren zurückzuführen sind. Mit diesem Versuch wurde darauf hingedeutet, dass die Bodenablösung durch Rillenerosion von den Eigenschaften der Boden-Wasser-Grenzfläche abhängt und nicht nur von den Eigenschaften des darunter liegenden Bodens. Unter Zuhilfenahme ermittelter Ablöseraten als Funktion der Scherspannung, lässt sich mit Hilfe der Manning-Strickler Gleichung das Erosionsverhalten verschiedener Rillen berechnen.

---

### 3. Fragestellung

Aufgrund der großen Bedeutung der Erosion durch Wasser für die Landwirtschaft wurden folgende Fragen formuliert.

1. Kann durch einen Systemwechsel in der Hacktechnik Wassererosion vermindert werden?
2. Wie viel Bodenverlust ist bei einem Starkregenereignis nach dem Hackdurchgang zu erwarten?
3. Verändert sich das Erosionsverhalten während eines Regenereignisses durch einen Systemwechsel in der Hacktechnik?

Hierfür wurde das Hauptaugenmerk auf den Beregnungsversuch im Feld gelegt. Sämtliche Werte die mit dem Beregnungssimulator erhoben werden konnten, bilden Grundlage für die Beantwortung dieser Fragen.

Zur theoretischen Fundierung des Feldversuches wurden folgende Fragen formuliert:

4. In welchem Ausmaß wird das Erosionsverhalten durch die verschiedenen Oberflächenstrukturen im Reihenzwischenraum, aufgrund der untersuchten Hackbearbeitungen, beeinflusst?
5. Welche Faktoren können zusätzlich in Betracht gezogen werden, um Unterschiede der Hacksysteme in Bezug auf Wassererodierbarkeit zu erklären?

Ein Laborversuch bildet die theoretische Basis für die Erklärung der Wirkung verschiedener Hackvarianten. Ein Rillenerosionsversuch im Labor, durchgeführt mit Bodenmaterial aus dem Feldversuch, brachte hierfür wichtige Werte für die Berechnungen der Erosion. Die Berechnung wurde als Vergleich der unterschiedlichen Rillengeometrien der beiden Hacksysteme durchgeführt.

---

## 4. Hypothesen

- Es wird angenommen, dass durch die unterschiedlichen Bearbeitungsprofile der Hackgeräte die Neigung zur Wassererosion variiert. Der Gänsefußschar-Hacktechnik wird durch die „Räumwirkung“ und „Rutschenbildung“ in der Praxis eine höhere Neigung zur Erodierbarkeit bzw. geringere Schutzwirkung der Bodenoberfläche, unterstellt.
- Durch erhöhten Oberflächenabfluss wird in der Praxis häufig eine erhöhte Erosionsneigung unterstellt. Desto mehr Wasser abfließt, desto mehr Erde wird mit abgetragen.
- Die, durch die Berechnung der Erodierbarkeit beider Bearbeitungsprofile, errechneten Werte lassen einen Vergleich der beiden Hacksysteme zu und erklären Unterschiede in der Erodierbarkeit der Hacksysteme.

## 5. Material und Methoden

### 5.1. Versuchsstandort

Der Beregnungsversuch für die vorliegende Arbeit wurde auf einem Feld in Purgstall an der Erlauf, einer im Mostviertel gelegenen Gemeinde, durchgeführt. Typisch für das alpenvorländische Landschaftsbild, ist diese Gegend von leichten Hügeln geprägt. Auf Ackerstandorten werden hier hauptsächlich Getreidearten, Mais, Kürbis und Feldfutter angebaut. Die landwirtschaftlichen Betriebe sind typisch österreichisch kleinstrukturiert. Das ausgewählte landwirtschaftlich genutzte Grundstück, dessen Standort in der Abbildung 13 rot markiert ist, umfasste eine Fläche von 11,77 ha. Die geografischen Koordinaten der exakten Versuchsstelle lauten  $48^{\circ} 03' 59''$  N  $15^{\circ} 07' 44''$  E (Austrian Map, 2023). Auch sämtliche Bodenproben für die Laborversuche stammen aus dem selben Versuchsfeld.

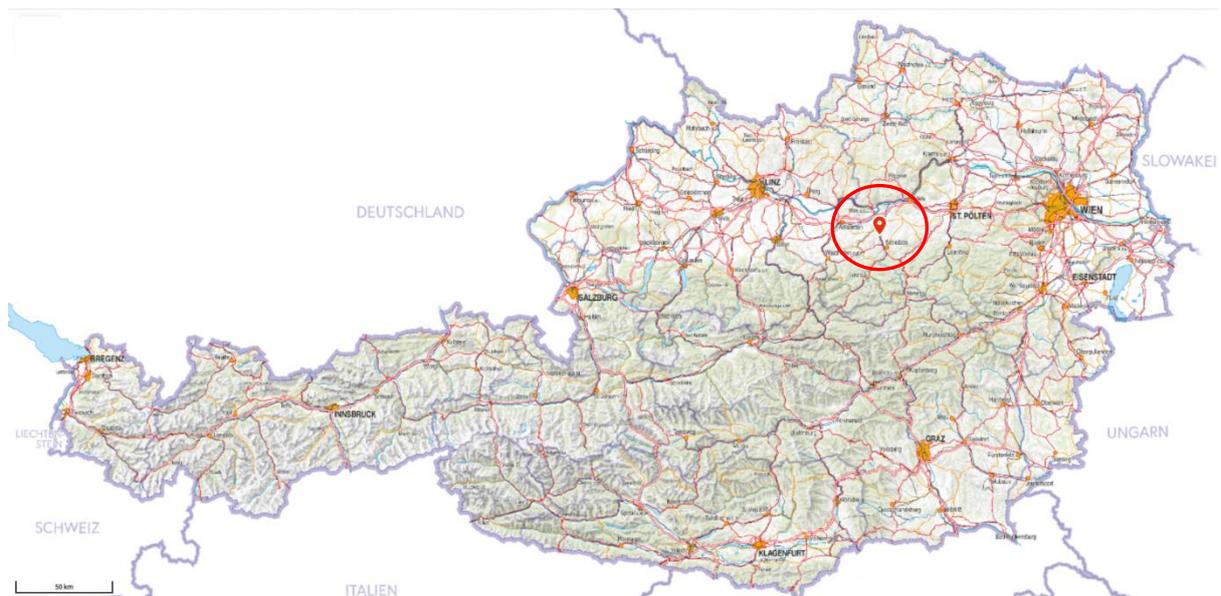


Abbildung 13 Rot markiert der Versuchsstandort in Purgstall an der Erlauf, Bezirk Scheibbs (Austrian Map, 2023).

## 5.1.1. Beschreibung der Bodenform

### 5.1.1.1. Bodentyp

Typisch für große Bereiche des Mostviertels ist auch hier eine schwach pseudovergleyte Lockersediment-Braunerde aus feinem und groben Deckenmaterial zu finden. Der typisch Purgstaller Landschaftsraum „Niederung“, welcher auf der Hochterrasse der Erlauf beziehungsweise an deren Böschungen angefundnen wird, ist eben bis schwach geneigt, beziehungsweise leicht hängig (eBod, 2023).

### 5.1.1.2. Horizonte und Bodenart

Die Horizonte des vorzufindenden Bodens, welche auf Abbildung 14 zu sehen sind, verteilen sich sehr gleichmäßig über das ganze Bodenprofil.



Abbildung 14 Bodenprofile Pseudogley (li.) BAW-Petzenkirchen und vom Versuchsstandort (re.) (eBod, 2023)

Im oberen bearbeiteten Horizont, welcher eine Mächtigkeit von etwa 5 cm aufweist, wurde für diese Arbeit eine Korngrößenanalyse, welche in Punkt 5.3.1 beschrieben

wird, durchgeführt. Das Verhältnis von Schluff zu Ton zu Sand, welches in Tabelle 2 ersichtlich ist, ergab für diesen Boden nach ÖNORM L 1050 die Bodenart Lehm. Nach internationaler FAO-Norm bezeichnet man die gemessene Textur als SiCL (silty clay loam). Zusätzlich ist jeweils ein geringer Grobstoffanteil zu erwähnen.

Tabelle 2 Laborisch ermittelte Korngrößenverteilung, TOC Gehalt, pH Wert und Calciumcarbonatgehalt

Bezeichnung der Probe	organ. Kohlenstoff (TOC)	pH-Wert	CaCO <sub>3</sub> (nach Scheibler)	Korngrößenverteilung im Gesamtboden (Siebdurchgang in Masse-% bei Fraktion [ mm ])			Grobstoff [ Masse% ]
	[ Masse% ]		[ Masse% ]	Ton	Schluff	Sand	
0-5cm	2,22	7,3	2,2	35,0	50,4	11,5	3,2
5-20cm	1,50	7,4	4,8	34,1	48,5	11,5	5,9
>20cm	0,66	7,5	33,6	25,0	27,2	18,8	29,1

Der A Horizont, als Profil der oberen 20 bis 30 cm und der B-Horizont, welcher sich von 30 bis 60 Zentimeter erstreckt, bestehen laut eBod (2023) aus sandigem Schluff, sandigen Lehm oder lehmigen Schluff mit geringem bis mäßigem Grobanteil.

Der Bg-Horizont erstreckt sich über den Bereich von etwa 60 bis 80 cm und besteht aus schluffigem Lehm mit mäßigem bis hohem Grobanteil.

Ab 80 cm Tiefe findet sich der C-Horizont, welcher hauptsächlich aus Grobmaterial aufgebaut ist. Dieses Grobmaterial besteht zum überwiegenden Teil aus Kalkalpinmaterial und zu einem kleinen Teil aus Flyschmaterial (eBod, 2023).

### 5.1.1.3. *Wasserverhältnisse und Erodierbarkeit*

Der Standort ist bezüglich der Wasserverhältnisse mäßig wechselfeucht, besitzt eine mäßige Speicherkraft und Durchlässigkeit. Ein leichte Staunässe ist wegen der bindigen Bodenart und der dichten Lagerung im Untergrund anzufinden.

Der A Horizont ist mäßig humos und weist Mull als überwiegende Humusform auf. Grundsätzlich ist der Boden kalkfrei bis schwach oder mäßig kalkhaltig, weswegen die Bodenreaktion als schwach sauer bis neutral beschrieben wird (eBod, 2023).

Der Calciumcarbonatgehalt war im Bearbeitungshorizont mit 2,2% gering. Der pH-Wert betrug in diesem Horizont 7,3. Der organische Kohlenstoffgehalt betrug 2,22

---

Massenprozent. Diese und weitere Werte tieferer Bodenschichten sind in obiger Tabelle 2 ersichtlich.

Abschwemmungs- und erosionsgefährdet ist der Boden auf hanggeneigten Böschungsflächen mit Ackernutzung. Die Bearbeitbarkeit des Bodens bei Ackernutzung ist wegen der bindigen Bodenart im Unterboden erschwert. Zusammenfassend wird dieser Boden als mittelmäßiges Ackerland beschrieben (eBod, 2023).

### 5.1.2. Klimatische Verhältnisse

Die Jahresdurchschnittstemperatur an einer nahegelegenen Messstationen in Petzenkirchen betrug von 1990-2014  $9,5^{\circ}$  C. Langjährige Jahresdurchschnittsniederschläge lagen bis 2018 bei 823 mm (eHYD, 2018).

Abbildung 15 zeigt die durchschnittliche Temperatur und Niederschlagsverteilung der <8 km entfernten ZAMG Wetterstation in Wieselburg von 1961 bis 1990. Die Jahresdurchschnittstemperatur und die Jahresniederschlagsmenge sind ähnlich der Station in Petzenkirchen. Der Schwerpunkt der Niederschlagsverteilung im Jahresverlauf liegt in den Sommermonaten und ist während dieser Zeit fast doppelt so hoch wie im Spätwinter und Herbst. In der vegetationslosen Zeit bewegen sich die Lufttemperaturen um den Gefrierpunkt, wogegen im Sommer durchschnittliche Temperaturen von  $20^{\circ}$  C erreicht werden (Wohlschläger, 2016).

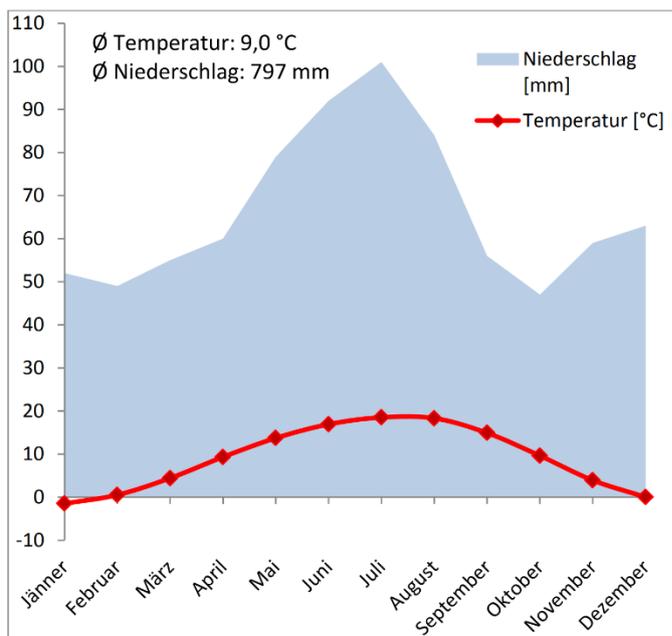


Abbildung 15 Monatliche Durchschnittstemperatur und Niederschlagsmenge in Wieselburg (ZAMG, (2015) zit. n. (Wohlschläger, 2016))

### 5.1.3. Bewirtschaftung

Das Versuchsfeld wurde bis zum Versuchszeitpunkt nach den Richtlinien der biologischen Landwirtschaft bewirtschaftet. Zusätzlich werden viele Grundzüge der regenerativen Landwirtschaft in der Bewirtschaftung bedacht, weshalb unter anderem hauptsächlich flache Bodenbearbeitungen durchgeführt und viele gräserlastige Untersaaten und Begrünungskulturen angelegt werden. Der Betrieb verfügt zudem über eine Kompostierungsanlage, von welcher auch Kompost auf Feldern ausgebracht wird. In Punkt 5.1.3.5 wird dieser Vorgang näher beschrieben (V. Seiringer, persönliche Kommunikation, 15.02.2023)

#### 5.1.3.1. Fruchtfolge und Vorfrucht

In der Fruchtfolge des Bewirtschafters finden sich unter anderem Sojabohnen, Raps Mais, Getreide-Wicken-Gemenge, Wintergerste, Hanf und Kleegrasmischungen. Die Hauptkulturen der vorhergegangenen Jahre am Versuchsfeld sind in Tabelle 3 beschrieben.

Tabelle 3 Hauptfrüchte des Versuchsfeldes 2018-2022

JAHR	HAUPTKULTUR
2022	Sojabohne
2021	Körnermais
2020	Winterweichweizen
2019	Hanf
2018	Wintergerste

### 5.1.3.2. *Bodenbearbeitung*

Die Bodenbearbeitung, vor der zum Versuchszeitpunkt vorherrschenden Hauptkultur, wurde erstmalig bei Frostbedingungen mit einer Kettenscheibenegge der Marke Kelly Typ 2006 durchgeführt (links in Abbildung 16). Diese Bearbeitung wurde anschließend wiederholt. Die Hauptwirkung dieser Bearbeitung war das Umbrechen, Zerschneiden und Vermischen der Ernterückstände. Die Arbeitstiefe lässt sich bei dieser Maschine nur minimal verändern und betrug stetig etwa 1 - 2 cm. Die erste Frühjahrsbearbeitung erfolgte am 4. Mai mit einer Kurzscheibenegge der Marke Lemken Typ Rubin10 (rechts in Abbildung 16). Das Ziel hierbei war Wurzeln, Beikräuter und Untersaaten flach umzubrechen und mit Erde zu vermischen. Die Arbeitstiefe betrug bei diesem Arbeitsschritt 5 cm. Als Finale Saatbettbereitung erfolgte am 9. Mai 2022 eine Bearbeitung mit einer Saatbettkombination der Marke Farmet Typ Kompaktomat 600 (Abbildung 17). Dieser Schritt sollte dazu dienen, den Boden ein letztes Mal flächig durchzuschneiden, um verbliebene Beikräuter und Untersaaten umzubrechen. Das Arbeitsergebnis der Saatbettkombination rechts in Abbildung 17 zeigt das saubere Arbeitsbild mit abgeschnittenen Grasbüscheln. Weiters wurde mit dieser Bearbeitung ein krümeliges Saatbett bereitet. Hierbei betrug die Arbeitstiefe sehr konstant 4 cm. Die genaue Abfolge der Bodenbearbeitungsmaßnahmen ist in untenstehender Tabelle 4 tabellarisch zusammengefasst.



Abbildung 16 Links Kettenscheibenegge Kelly 2006, rechts Lemken Rubin 10 bei der Bodenbearbeitung

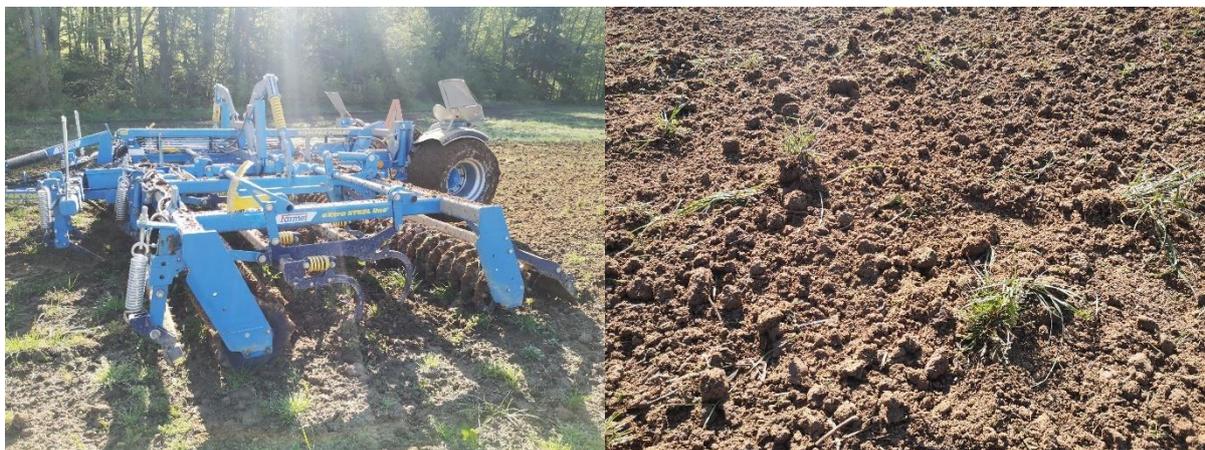


Abbildung 17 Saatbettkombination Marke Farmet Typ Kompaktomat600 im Einsatz, rechts deren Bearbeitungsergebnis

Tabelle 4 Bodenbearbeitungsmaßnahmen

Datum	Bearbeitungsmaßnahme
Winter	Kettenscheibenegge
Winter	Kettenscheibenegge
4. Mai	Kurzscheibenegge
9. Mai	Saatbettkombination

### 5.1.3.3. Ansaat Hauptkultur

Die Ansaat der Hauptkultur Soja fand im Anschluss zur letzten Saatbettbereitung, am 09. Mai 2022, statt. Hierfür wurde eine Einzelkornsämaschine der Marke Väderstad Typ Tempo V12 verwendet (Abbildung 18). Die Saatstärke betrug hierbei im Durchschnitt 52 Körner pro Quadratmeter, welche auf eine Saattiefe von 5 cm abgelegt wurden.

Der Reihenabstand der Maschine und somit auch des Pflanzenbestandes betrug 50 Zentimeter. Beide Reihen, welche sich in der Traktorfahrspur befinden, wiesen einen Reihenabstand von 60 cm auf, die jeweils links und rechts angrenzenden Reihen 45 cm, um im Mittel wieder den Reihenabstand von 50 cm zu erreichen. Dieser Reihenabstand ist im verwendeten Hackgerät ident. Der Kornabstand in der Reihe betrug rechnerisch im Mittel 3,85cm.



Abbildung 18 Sojabohnenaussat mit Valtra N174 und Väderstad TempoV12

### 5.1.3.4. Kulturpflege

Am 12. Mai 2022, 3 Tage nach Ansaat, erfolgte das Blindstriegeln mittels Zinkenstriegel der Marke Einböck Typ AEROSTAR-EXACT (links in Abbildung 19). Die eingestellte Arbeitstiefe betrug über die gesamte Arbeitsbreite von 12 m sehr konstant 2,5 cm. Diese Arbeitstiefe wurde eingestellt um neu ankeimende Beikräuter zu bekämpfen, aber gleichzeitig die Sojapflanzen, welche sich zu diesem Zeitpunkt überwiegend im BBCH Stadium 06 befanden, nicht zu verletzen.

Am 24. Mai 2022 wurde der auflaufende Sojabohnenbestand mit der Rollhacke der Marke Einböck Typ ROTARYSTAR gepflegt, um auflaufende und bereits

aufgelaufene Beikräuter auszuhacken (rechts in Abbildung 19). Dem Sojabohnenbestand, welcher sich zu diesem Zeitpunkt im BBCH Stadium 11 befand, fügte dies nur minimalen Schaden zu.



Abbildung 19 Links Fendt 313 mit Einböck Zinkenstiel, rechts mit Einböck Rotorhacke

Der erste Hackdurchgang mit dem Hohl-scheiben-Winkelschar Hackgerät der Marke Einböck Typ CHOPSTAR-TWIN wurde am 14. Juni 2022 im BBCH Stadium 13 durchgeführt. Als der Sojabohnenbestand überwiegend das BBCH Stadium 25 erreichte, startete am 20. Juni 2022 der zweite Hackdurchgang. Zuerst wurden die dafür bestimmten Parzellen mit der Schneidscheiben-Winkelschartechnik gehackt. Eine Arbeitsgeschwindigkeit von  $8,2 \text{ km h}^{-1}$  stellte bei dieser Hacktechnik eine verlustarme rasche Beikrautbekämpfung sicher. Die Arbeitstiefe im Vergleich zu der unbearbeiteten Fläche in der Reihe zwischen den Sojapflanzen, betrug am tiefsten Punkt der Schneidscheiben 15 mm und flächig an der Gänsefußschar in Kombination mit den Winkelscharen variabel bis zu 3 mm. Nach dem Entfernen der lockeren Erde wird auf Abbildung 20 die flache aber bereits effiziente flächige Bearbeitung gut sichtbar. Diese seichte aber bereits effektive Bearbeitungstiefe lässt sich aufgrund der leichten Anhäufelwirkung der Arbeitswerkzeuge in Richtung Reihenzwischenraum vom ersten Hackdurchgang erklären.



Abbildung 20 Links Arbeitsprofil der Schneidscheiben-Winkelschartechnik, rechts Arbeitswerkzeuge

Im Anschluss wurden 3 Reihen des CHOPSTAR-TWIN Hackgerätes auf das Standardsystem mit Gänsefußschar umgebaut, um die dafür bestimmten Parzellen zu hacken. Die Einstellung erfolgte erneut nach den üblichen Kriterien der mechanischen Unkrautbekämpfung, um den Versuch praxisnah und vergleichbar auszuführen.



Abbildung 21 links: Arbeitsprofiltiefe der Gänsefußschar, rechts: das Hackgerät als Gänsefußschar-Ausführung

Die Arbeitstiefe der Standardhacktechnik mit den Gänsefußscharen wurde, auf Basis der unbearbeiteten Fläche, auf 19 mm am tiefsten Punkt gemessen. Dies ist links in Abbildung 21 gut erkennbar, wo die lockere Erde, welche nach der Bearbeitung an der Oberfläche liegt, entfernt wurde. Bei diesem Hackdurchgang wurde mit einer Arbeitsgeschwindigkeit von  $4,5 \text{ km h}^{-1}$  im oberen, aber noch verlustärmeren, Geschwindigkeitsbereich für dieses System gearbeitet.

Sämtliche Pflegemaßnahmen sind in Tabelle 5 zusammenfassend tabellarisch aufgelistet.

Tabelle 5 Kulturpfllegemaßnahmen

Datum	Pflegemaßnahme
9. Mai	Aussaat
12. Mai	Blindstriegeln mittels Zinkenstriegel
24. Mai	Beikrautbekämpfung mittels Rollhacke
14. Juni	Erster Hackdurchgang
20. Juni	Zweiter Hackdurchgang

### 5.1.3.5. Düngung

Da aufgrund der biologischen Bewirtschaftung auf die Ausbringung von mineralischen Düngern verzichtet wird, und kein Wirtschaftsdünger am Betrieb vorhanden ist, wird, neben vereinzelt Kalkgaben, nur betriebsinterner Kompost auf den Feldern ausgebracht. Das Versuchsfeld wurde erstmals 2020 mit 50 m<sup>3</sup> Kompost pro Hektar versorgt. Dieser wurde boden- und verlustschonend auf eine bestehende gräserlastige Untersaat ausgebracht. Die Kompostausbringung erfolgte mit einem Kompoststreuer der Marke Tebbe Typ KS230 (Abbildung 22). Seit dieser Gabe wurde bis zum Versuchszeitpunkt kein Kompost oder anderwärtiger Dünger auf dem Versuchsfeld ausgebracht.



Abbildung 22 Ausbringung von Kompost mittels Fendt 724 und Tebbe KS230 Kompoststreuer

## 5.2. Beregnungsversuch

Zur Durchführung der Regensimulation wurden am Versuchsfeld im Vorhinein Neigungen gemessen und die Parzellenbereiche grob vormarkiert. Dies verminderte die Gefahr einer späteren Manipulation der bearbeiteten Versuchspartzen. Der gesamte Versuchsbereich befand sich am östlichen Rand des Versuchsfeldes (Abbildung 23). Entlang dieses Feldrandes erstreckte sich auch der Hang in Richtung Ostsüdosten.

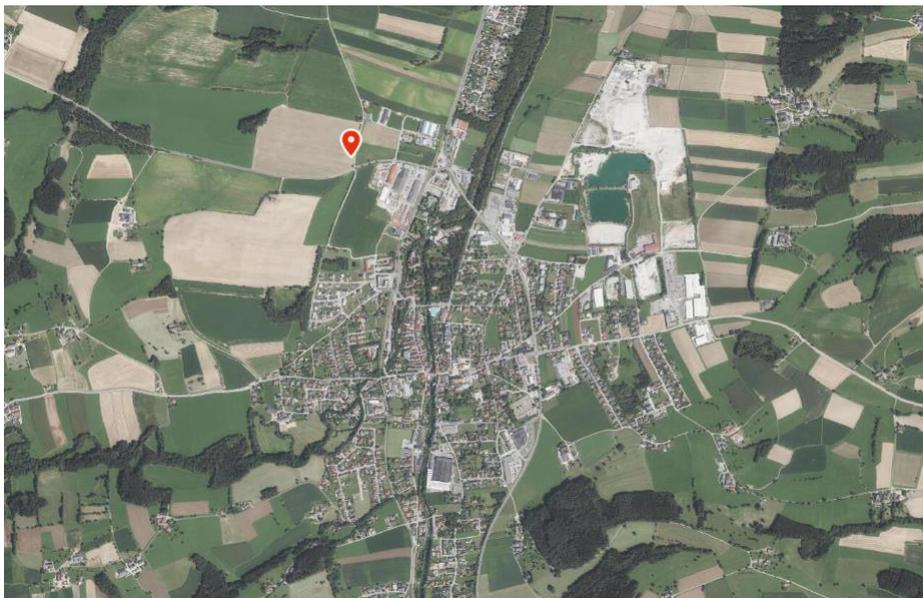


Abbildung 23 Genaue Lage des Versuchsfeldes nördlich von Purgstall an der Erlauf (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, BEV, 2023)

Durch den Vergleich von zwei verschiedenen Hackgerät-Systemen mit jeweils drei Wiederholungen, wurden insgesamt sechs Versuchspartzen benötigt. Zur eventuellen Vorselektion auf Grund etwaiger Fehler, wurden vier Partzen pro Hackvariante mit den entsprechenden Arbeitswerkzeugen und entsprechender Arbeitsgeschwindigkeit auf voller Länge mit konstanter Geschwindigkeit bearbeitet.

### 5.2.1. Versuchspartzen

Die Versuchspartzen wurden mit einigen Metern Abstand zum Vorgewende angelegt, um eventuellen Strukturschäden durch Verdichtungen auszuweichen. Weiters konnte auf diesem Weg das Vorgewende als Arbeitsbereich und Parkplatz verwendet werden. Die sechs verwendeten Versuchspartzen waren parallel nebeneinander, entlang des Hanges angeordnet. Die exakte Partzellengröße mit einer

Länge von 3,5 m und eine Breite von 1,16 m, wurde stets eingehalten. Die Länge wurde durch die effektive Arbeitslänge des Beregnungssimulators bestimmt. Die Breite der Versuchspartzen war durch den zweifachen Reihenabstand des Sojabohnenbestandes von 50 cm vordefiniert. Hierzu wurde eine Toleranz für die Sojapflanzenreihen, welche durch Leitbleche nicht beschädigt werden sollten und somit noch in vollem Umfang in der Versuchspartze enthalten waren, hinzugefügt. Um eine Abgrenzung zum restlichen Erdreich, sowohl oberirdisch als auch unterirdisch, sicherzustellen, wurden Leitbleche etwa 5 Zentimeter tief in den Boden geschlagen. Talseitig der Versuchspartze wurde ein Trichter, welcher für die Beregnungsapparatur benötigt wurde, als Leitblech verwendet. In Abbildung 24 ist eine fertig präparierte Versuchspartze zu sehen. Alle Versuchspartzen wiesen eine sehr stetige Neigung zwischen 12,2% und 13,2% auf.



Abbildung 24 Mit Leitblechen abgegrenzte Versuchspartze

### 5.2.2. Regensimulator

Nachdem eine Versuchspartze mit Leitblechen fertig abgegrenzt war, wie in Punkt 5.2.1 beschrieben, wurde ein Rohr am Trichter befestigt, um das sedimentbelastete Wasser entsprechend ableiten zu können. Am Ende des Rohres wurde eine Grube mit mehr als der doppelten Dimension eines Kübels gegraben, um die Kübel, welche zum Auffangen des Oberflächenabflusses verwendet wurden, ohne Wasserverlust während der Beregnung wechseln zu können. Das Fahrzeug mit dem Wassertank

wurde talseitig neben der Straße auf der Versuchsparzelle platziert und eine elektrische Wasserpumpe an die Stromversorgung des Fahrzeuges angeschlossen. Das bei den Beregnungen verwendete Wasser wurde zuvor in der BAW Petzenkirchen entionisiert und wies eine Leitfähigkeit von  $< 50 \mu\text{S}$  auf.

Anschließend wurde der Regensimulator aufgebaut, die Verlängerungsbeine gleichmäßig festgeschraubt und der gesamte Regensimulator mittig über der jeweiligen Versuchsparzelle platziert. Danach konnte der Simulator, an den im Feld platzierten Rechner, per Kabel angeschlossen werden. Zum Schluss wurde zwischen Wassertank, Pumpe und Regensimulator eine Verbindung hergestellt und das System auf Dichtheit getestet. Das gesamte Setting ist in Abbildung 25 zu sehen.



Abbildung 25 Aufbau des Regensimulators am Feld

Die Düsen an der Oberseite des transportablen Regensimulators, sind in einer Höhe von 2,6 m und einem Abstand von 1 m zueinander linear montiert. Für diesen Versuch wurden die ersten vier fulljet  $\frac{1}{2}$  HH40WSQ Düsen angesteuert. Der Wasserdruck wird an jeder Düse von einem Druckventil begrenzt und von einem Magnetventil gesteuert. Den Wasserdruck beobachtet und adjustiert man über angebrachte Barometer und Regelventile. Eine Software, in der man simulierte Niederschlagsintensitäten programmieren kann, steuert die beschriebenen Magnetventile an. Die Software öffnet und schließt die Magnetventile in kurzen periodischen Abständen, sodass die Beregnung in Intervallen erfolgt. Die durchschnittliche Tropfengröße ist mit 1,95 mm bei einem Druck von 25 kPa vorgegeben. Diese Bedingungen stellen gute

Näherungen an natürliche Niederschlagskonditionen dar (Strauss, Pitty, Pfeffer, & Mentler, 2000).



Abbildung 26 Regensimulator während Beregnung

In Abbildung 26 ist der gesamte Aufbau der laufenden Beregnungssimulation zu sehen. Für diesen Versuch wurde mit einer simulierten Niederschlagsintensität von  $70 \text{ mm h}^{-1}$  beregnet. Ab Beregnungsbeginn wurde die Uhrzeit notiert und mit einer Stoppuhr die Zeit gestoppt. Nach einigen Minuten beginnt der Boden sich mit Wasser zu sättigen (Abbildung 27).



Abbildung 27 Deutlicher Oberflächenabfluss bei Beregnung

Wenn ein durchgehender Abfluss an sedimentbelastetem Wasser am Rohrende erkennbar war, wurde die erste Zwischenzeit notiert. Dies war der Zeitpunkt, an dem die abnehmende Infiltrationsgeschwindigkeit durch sukzessives Sättigen des Bodens, von der Niederschlagsintensität überschritten wurde. Anschließend wurden in flexiblen Zeitabständen die markierten Kübel gewechselt, mit Deckeln dicht verschlossen und in den Bus verladen. Die Beregnung wurde nach etwa einer Stunde wieder abgeschaltet und der Kübel final gewechselt, um den Nachfluss, nach Beendigung der Beregnung, separat aufzufangen. Nach Beendigung der jeweiligen Beregnungssimulationen wurden die Kübel, im Folgenden auch Behälter genannt, zur weiteren Verarbeitung in das Bodenlabor des BAW Petzenkirchen gebracht.

## 5.3. Laborerhebungen

### 5.3.1. Bodenphysikalische und -chemische Parameter

Für die bodenphysikalischen und –chemischen Untersuchungen wurden Bodenproben aus unterschiedlichen Tiefen des Versuchsfeldes entnommen. Im Labor des BAW Petzenkirchen wurden damit folgende Parameter bestimmt:

- **Organischer Kohlenstoffgehalt (TOC)** nach ÖNORM EN 15934 (Bestimmung des organischen Kohlenstoffs durch trockene Verbrennung)  
Messgenauigkeit:  $\pm 8,0 \%$ \*
- **Carbonatgehalt** nach ÖNORM L 1084 (gasvolumetrische Erfassung des CO<sub>2</sub> – Austritts nach Versetzung mit Salzsäure (Scheibler Methode)  
Messgenauigkeit:  $\pm 3,5 \%$ \*
- **pH - Wert** nach ÖNORM L 1083 (Bestimmung der Acidität durch Versetzung der Lösung mit CaCl<sub>2</sub>) Messgenauigkeit:  $\pm 1,0 \%$ \*
- **Korngrößen** nach ÖNORM L 1061-2 (Bestimmung des Feinbodens durch verschiedene Siebweiten wie in Abbildung 28 zu sehen ist) Messgenauigkeit:  
Sand:  $\pm 4,0 \%$ \* Schluff:  $\pm 1,5 \%$ \* Ton:  $\pm 4,5 \%$



Abbildung 28 Absiebung für Korngrößenbestimmung

### 5.3.2. Oberflächenabfluss und erodierte Erde

Nachdem der Beregnungsversuch abgeschlossen und alle Behälter im Labor der BAW Petzenkirchen angekommen waren, wurden zuerst alle Behälter inklusive Oberflächenabfluss gewogen und mit den aufgezeichneten Wechselabständen notiert. Die Deckel wurden nicht abgenommen, um etwaige Verfälschungen zu verhindern. Nach 14 Tagen hatte sich das Sediment am Boden abgesetzt und das Wasser war weitgehend aufgeklärt. Zu diesem Zeitpunkt konnte das überschüssige Wasser abgehebert werden (Abbildung 29)



Abbildung 29 Überschüssiges Wasser wird abgehebert

Zum Abhebern wurden die Deckel der dicht verschlossenen Behälter abgenommen und die Behälter vorsichtig auf einen Tisch gestellt. Anschließend wurde ein kleiner Schlauch in die Behälter gehalten und das Wasser mittels hydrostatischem Druck weitgehend abgesaugt. Um Verfälschungen und Absaugen des Sediments zu verhindern, ist immer etwas Wasser in den Behältern verblieben. Zum Entfernen des restlichen Wassers, wurden die Behälter halboffen zum Lufttrocknen gelagert (Abbildung 30)



Abbildung 30 Geöffnete Kübel zum Lufttrocknen

22 Tage brauchten die Restwasserbestände um vollständig abzutrocknen. Das Sediment löste sich von den Behälterböden und hinterließ, nach leichtem nachpinseln, saubere Behälter. Das gelöste Sediment wurde in Wiegeschalen gefüllt und präzise abgewogen. Wie durchgehend im gesamten Versuch, erfolgte das Abwiegen stets auf hundertstel Gramm genau. Dies ist in Abbildung 31 erkennbar, in welcher auch ein ausgepinselter Behälter zu sehen ist.



Abbildung 31 Auswiegen des Sediments

### 5.3.3. Aggregatstabilität

Die Aggregatstabilität wurde nach Kemper & Koch (1966) in überarbeiteter Form durchgeführt, wie in folgenden Punkten erläutert wird.

#### 5.3.3.1. Vorbereitungen

Als Vorbereitung zur Bestimmung der Aggregatstabilität wurde eine Mischprobe aus dem Oberboden (0-5cm Bodentiefe) der Versuchsparzellen in der Größe von etwa 10 kg genommen. Große organische Rückstände, wie zum Beispiel Maisstängel, wurden entfernt. Die größeren Klumpen des entnommenen Probenmaterials wurden vorsichtig zerschlagen, bis sie überwiegend kleiner als 10 mm waren. Anschließend wurde das Material in Schalen aufgeteilt und für zwei Wochen zum Lufttrocknen gelagert.

Nach der Trocknungsphase wurde das Probenmaterial mittels Mörser weiter zerkleinert und abgesiebt (Abbildung 32). Für den folgenden Versuch war die Fraktion mit der Korngröße von 1-2 mm notwendig. Von dieser Fraktion wurden etwa 50 g vorbereitet, wobei eine gute Vermischung des gesamten Probenmaterials gewährleistet wurde.



Abbildung 32 Zerkleinerung und Absiebung des Probenmaterials

#### 5.3.3.2. Durchführung der Bestimmung der Aggregatstabilität

Zur Bestimmung der Aggregatstabilität wurde eine Siebvorrichtung verwendet, welche aus einer Wanne mit der Größe von l\*b\*h 320x260x100 mm bestand. In dieser befand

sich ein Elektromotor und eine Wippe, mit zwei Reihen und jeweils drei Bechern. Im Deckel der Wanne befanden sich sechs Löcher, welche die Siebe hielten. Unter jedem Sieb wurde jeweils einer der genannten Becher platziert. Die Siebe, mit einem Durchmesser von 38 mm, hatten jeweils 60 Maschen mit einer Maschenweite von 0,25 mm. Die mechanische Höhe der Siebe war 12,7 mm bei einer Frequenz von 42 Hieben pro Minute.

Weiters war eine 0,4n-Natriumpyrophosphatlösung, welche 89,22 g  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$  beinhaltet und mit 2000 ml deionisiertem Wasser vermischt wurde, notwendig. Die gesamte aufgebaute Siebvorrichtung ist in Abbildung 33 zu sehen.



Abbildung 33 Siebvorrichtung für die Bestimmung der Aggregatstabilität

4 g lufttrockenes Probenmaterial, welches anschließend in die Siebe überführt wurde, mussten mit einer Genauigkeit von 0,1 g eingewogen werden. Die Becher in der Wanne wurden anschließend mit 80 ml deionisiertem Wasser befüllt. Die Siebe mit dem Probenmaterial wurden in den Deckel der Siebeinrichtung gehängt und dieser dann auf der Wanne platziert. Wichtig war, dass alle Bodenaggregate im Wasser untertauchten und nicht oben aufschwammen. Falls dies trotzdem passierte, wurden aufschwimmende Aggregate mit einigen Tropfen Wasser versenkt. Anschließend konnte der Elektromotor, welcher die Wippe antreibt, für fünf Minuten eingeschaltet werden. Hierbei war zu beachten, dass das Probenmaterial ständig unter Wasser bleibt und nie durch die Wippe herausgehoben wird. Das nach fünf Minuten übrig

gebliebene Probenmaterial wurde aus den Sieben in eine Keramikschaale gewaschen und im Ofen bei 105°C getrocknet. Die getrockneten stabilen Aggregate und der Sand wurden gewogen und mit 0,4n-Natirumpyrophosphatlösung versetzt. Nach etwa zwei Stunden wurden alle stabilen Aggregate durch den Einfluss der Lösung zerstört. Nach dieser Zeit wurde der Inhalt der Keramikschaalen erneut in die Siebe gewaschen und 5 Minuten in deionisiertem Wasser gesiebt. Danach blieb nurmehr der Sand mit einem Durchmesser größer 0,25 mm in den Sieben. Dieses Material wurde erneut in Keramikschaalen gewaschen und bei 105°C getrocknet (Kemper & Koch, 1966).

### 5.3.3.3. Berechnung

Zur Berechnung der Prozent an stabilen Aggregaten wurde folgende Formel verwendet:

$$AS (\%) = \frac{(\text{Masse der stabilen Aggregate} - \text{Masse des Sandes})}{(\text{Masse der Probe} - \text{Masse des Sandes})} * 100$$

### 5.3.4. Rillenerosionsversuch

Zur Ermittlung der Abflussgeschwindigkeit und der Loslöserate des Bodens, welche für die nachfolgenden Berechnungen der Erosion benötigt wurden, wurde ein Rillenerosionsversuch durchgeführt.

#### 5.3.4.1. Vorbereitung

Als Ausgangsmaterial wurde die Bodenprobe verwendet, welche auch in Punkt 5.3.3 verwendet wurde. Hierbei handelt es sich um eine Mischprobe aus dem Oberboden des Versuchsfeldes in Purgstall an der Erlauf. Lufttrocken wurde das Material sorgfältig zerkleinert und etwa 4 kg einer Fraktion von 0-2 mm abgesiebt.

Die Apparatur zur Messung der Rillenerosion, welche in Abbildung 34 zu sehen ist, bestand aus einer Edelstahlrinne mit der Größe von l\*b\*h 495\*45\*115 mm und hatte an beiden Enden jeweils eine Einlass- oder Auslassrinne. Die Ein- und Auslassrinnen hatten ein V-förmiges Profil mit einem 90° Winkel, welcher in beide Richtungen in gleichem Maße ansteigt. Am Boden der Rinne waren zusätzliche Öffnungen angebracht, um das Probenmaterial von unten sättigen zu können und während dem Versuch freie Dränungsbedingungen am unteren Rand zu gewährleisten.



Abbildung 34 Aufbau der Apparatur zur Messung der Rillenerosion

Zum Befüllen der Rinne wurde die Edelstahlrinne vorher nochmal gereinigt und anschließend ein Kiesbett mit einer Höhe von 3 cm aufgeschüttet. Das Kiesbett wurde leicht verdichtet und mit einem Gitter (Abbildung 35) zur Prävention einer schnellen Verschmutzung des Kiesbettes, abgedeckt. Tief ins Kiesbett infiltrierendes Wasser wurde dann über die Öffnungen am unteren Rand abgeführt und somit freie Dränbedingungen am unteren Rand des Bodenmaterials hergestellt.



Abbildung 35 Kiesbett und Netz zur Abtrennung

Anschließend wurde das Probenmaterial abgewogen und in den Edelstahlkasten eingefüllt. Der Boden wurde zwischendurch immer wieder leicht verdichtet. Am Ende des Befüllens wurde mit einer quadratischen Holzlatte eine Rille in das Probenmaterial geformt, welche exakt der Ein- und Auslassrinne entsprach.

Somit ließ sich das Volumen des eingefüllten Probenmaterials mit folgender Formel berechnen:

$$V_{Material} = (A_{Kasten} - A_{Rille}) * l$$

$$A_{Kasten} = b * h$$

$$A_{Rille} = \frac{a^2}{2}$$

#### 5.3.4.2. Durchführung des Rillenerosionsversuches

Der Versuch konnte nach dem Kalibrieren der Pumpe gestartet werden. Als Versuchsbeginn musste das Probenmaterial zuerst gut durchfeuchtet werden. Dazu wurden an den Öffnungen an der Unterseite der Edelstahlrinne Schläuche angeschlossen, welche mit einem Wasserbehälter verbunden waren. Dieser wurde über dem Niveau des Probenmaterials aufgestellt, um per hydrostatischem Druck deionisiertes Wasser, welches für den gesamten Versuch verwendet wurde, dem Versuchsmaterial zuzufügen. Der voll gesättigte Wasserstand drang dabei nur ca. 10 mm in den unteren Rand der Bodenprobe ein und die darüberliegende Bodenschicht wurde durch den kapillaren Aufstieg des Wassers befeuchtet. Nach einigen Stunden Wartezeit war das gesamte Material per Kapillarwirkung bis oben gut befeuchtet und der Abflussversuch an der Rillenoberfläche mittels pumpenreguliertem Zufluss konnte gestartet werden. Während des Abflussversuches wurden unterschiedliche Steigungen eingestellt indem die Rinne mit Unterstellklötzen, vordefinierter Höhen, einseitig angehoben wurde. Für diesen Versuch wurden Steigungen von 5%, 10% und 20% verwendet. Weiters wurden für jede Steigung jeweils 3 verschiedene Durchflussmengen der Wasserpumpe eingestellt. Diese betragen bei allen Wiederholungen  $2,25 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$ ,  $5,50 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$  und  $10,65 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$ . Zur Messung des Erosionsverhaltens wurden bei konstantem Durchfluss Stichproben der Abflusssuspension genommen, diese im Trocknungsofen bei  $105^\circ \text{ C}$  getrocknet und das abgetragene Sediment abgewogen. Zum Messen der Abflussgeschwindigkeit wurde das Wasser an der Rinnen-Einlaufstelle mit einem Farb-Tracer, welcher Uranin-Pulver basiert ist, versetzt (Abbildung 36). Die Zeit zwischen dem Eintropfen des Tracers und dem Abfließen dieser am Ende der 1 m langen Rillenerosionsapparatur, wurde gestoppt.

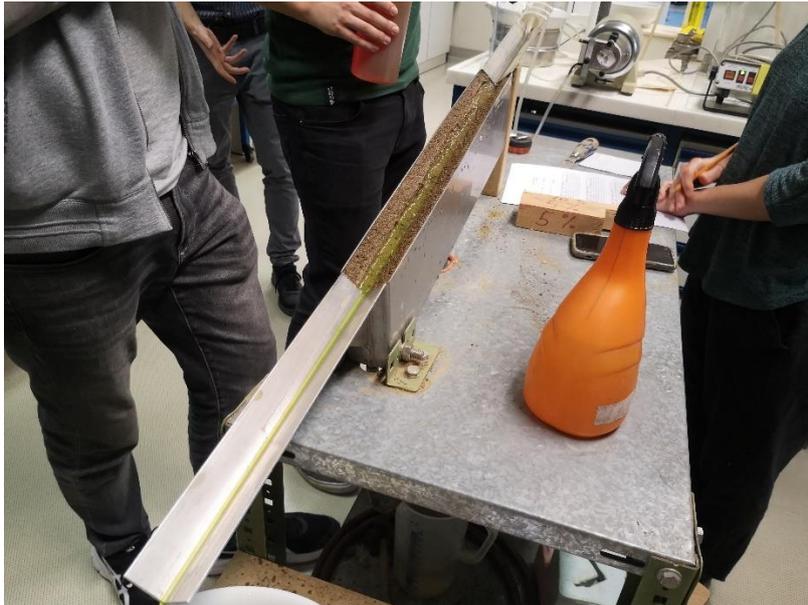


Abbildung 36 Mit Markerflüssigkeit versetzter Abfluss

#### 5.3.4.3. Berechnung nach Manning-Strickler

Wie bereits in 2.3.2 erwähnt, kommt in diesem Versuch die Manning Strickler Fließformel zur Anwendung.

$$v = k_{St} * R^{2/3} * I^{1/2}$$

Im Rillenerosionsversuch im Labor wurden verschiedene Neigungen  $I$  und die definierte Ausgangsrillengeometrie für  $R$  eingestellt, sowie die sich einstellenden Fließgeschwindigkeiten  $v$  durch Tracer-Zugabe und Zeitnehmung der zurückgelegten Strecke beobachtet. Damit konnten die rauigkeitsbezogenen Manning-Strickler Beiwerte  $k_{St}$  durch die oben genannte Formel für das Probenmaterial berechnet werden (Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft, 2005). Letztendlich wurden die laborbasierten Rauigkeitswerte  $k_{St}$  gemittelt und zur Simulation des Abflussgeschehens unter Feldbedingungen mit entsprechender Hangneigung und Hackrillengeometrien verwendet. In diesen Experimenten war der Ausgangsquerschnitt für die Strömung im Fall beider Systeme eine V-förmige Rille. Die Laborrille wurde als gerade und gleichförmige Rille ausgebildet. Für die Simulation der Rillen im Feld, welche durch die Hackgeräte entstanden sind, wurden ebenfalls gleichförmige Geometrien und Abflussbedingungen angenommen. Die entsprechenden Geometrien, welche in Punkt 2.1.3.1 und 2.1.4.1 beschrieben sind, dienten als Ausgangswerte zur Berechnung des hydraulischen Radius  $R$ .

Zur Berechnung der Rauigkeitsbeiwertes  $k_{St}$  des Bodenmaterials wurden die Ergebnisse des Rillenerosionsversuches im Labor wie folgt verwertet:

$$k_{St} = v / (R^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}})$$

Es wurde jeweils der Rauigkeitsbeiwert  $k_{St}$  für jedes Gefälle und jede Durchflussrate ermittelt. Der Durchschnitt dieser Werte ergab den für die Erosionsberechnung verwendeten  $k_{St}$ -Wert.

Für das Sohlengefälle  $I$  wurde als Durchschnitt von 12,2-13,2 %, was dem Gefälle der Versuchspartzellen entspricht, der rechnerische Wert von 0,127 m m<sup>-1</sup> verwendet.

#### 5.3.4.4. Erosionsberechnung

Die durch die Strömung verursachte Erosion ist die Nettobilanz der Ablösungsrate, Ablagerungsrate und Mitnahme von zuvor abgelösten Sedimenten. Die maximale Bodenablösungsrate oder Ablösungskapazität  $D_c$  wird mit der Scherspannung in Beziehung gesetzt durch (Laflen, Elliot, Simanton, Holzhey, & Kohl, 1991)

$$D_c = K_t(t - t_c)$$

$D_c$  Ablösungskapazität von sedimentfreiem Wasser (kg m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)

$K_t$  die Erodierbarkeit des Bodens (s m<sup>-1</sup>)

$t_c$  die kritische Scherspannung (Pa)

$t$  die Scherspannung des fließenden Wassers (Pa) gegeben durch

$$t = \delta r_h S$$

$\delta$  das spezifische Gewicht von Wasser (N m<sup>-3</sup>)

Bei Vorhandensein von Sedimenten im fließenden Wasser wird die Rate der weiteren Sedimentablösung reduziert (Foster & Meyer, 1972). Dieser Effekt ist jedoch vernachlässigbar, wenn die Konzentration des Sediments in Suspension niedrig und das Gefälle hoch ist (Shainberg, Laflen, Bradford, & Norton, 1994), beziehungsweise die Hanglänge kurz ist. Im Falle des Rillenenexperiments im Labor werden kritische Sedimentkonzentrationen bei weitem nicht erreicht und somit kann die Abschätzung der Erosion mit dem Austrag am Ende des Rillenenexperiments gleichgesetzt werden.

### 5.3.5. Datenverwertung

Sämtliche gemessenen und berechneten Daten wurden in Microsoft Excel notiert, gespeichert und verwertet. Sie wurden für folgende Berechnungen und Darstellungen herangezogen:

Berechnungsversuch:

- Oberflächenabfluss Gesamt
- Oberflächenabfluss im Zeitverlauf
- Prozentueller Abfluss der gesamten Beregnung
- Prozentueller Oberflächenabfluss im Zeitverlauf
- Bodenabtrag Gesamt
- Bodenabtrag im Zeitverlauf
- Vergleich beider Hacksysteme
- Sedimentkonzentration des Oberflächenabflusses Gesamt
- Sedimentkonzentration des Oberflächenabflusses im Zeitverlauf

Bodenparameter

- Prozent der stabilen Aggregate
- Horizonte und Bodenart

Rillenerosion

- Loslöserate als Funktion der Scherspannung
- Unterschiede der Erosionsmodellierung

Die Rohdaten die im Anhang wiederzufinden sind, wurden entsprechend konvertiert. Werden die Abflusswerte innerhalb der einzelnen Wiederholungen summiert, ergeben sich inhomogene Gesamtwerte, welche sich flächen- und zeitbezogen nur versuchsintern vergleichen lassen. Die Umrechnung der gemessenen Masse des Oberflächenabflusses pro Versuchsparzelle und Zeiteinheit, erlaubt die Auswertung des Abflusses in  $\text{mm h}^{-1}$ .

Auch nach der Bestimmung des lufttrockenen Sediments aller Proben wurden diese Werte ebenfalls, wie die der Abflussmenge, standardisiert. Die gemessene lufttrockene Bodenmasse wurde auf die Versuchsfläche und Zeiteinheit bezogen, um die Einheit  $\text{t ha}^{-1} \text{h}^{-1}$  zu erhalten. Typischerweise wird Erosion in  $\text{t ha}^{-1}$  angegeben, da

---

aber in diesem Fall die Versuchsdurchläufe geringfügig verschiedene Zeiten aufweisen, wurde die Erosion pro Zeiteinheit  $h$  angegeben. Dadurch können Fehlerquellen, durch zum Beispiel unterschiedlich lange Abstände zwischen den Probennahmen, eliminiert werden.

Die Werte, welche den Tabellen im Anhang zu entnehmen sind, wurden bis auf folgende Bereinigungen ident für die Darstellung des gesamten Bodenabtrags verwendet:

Da der zweite und der dritte Beregnungsversuch des Gänsefußscharversuchs verhältnismäßig lange gedauert haben, wurden die vorletzten zwei Werte des Bodenabtrags für den Gesamtvergleich herausgenommen. Dadurch wurden diese zwei Versuchsreihen an die Beregnungs- und Beprobungsdauer aller Anderen angepasst und ebenfalls Zeitunabhängig auf Tonnen pro Hektar pro Stunde konvertiert.

## 6. Ergebnisse und Diskussion

### 6.1. Beregnungsversuch

#### 6.1.1. Oberflächenabfluss Gesamt

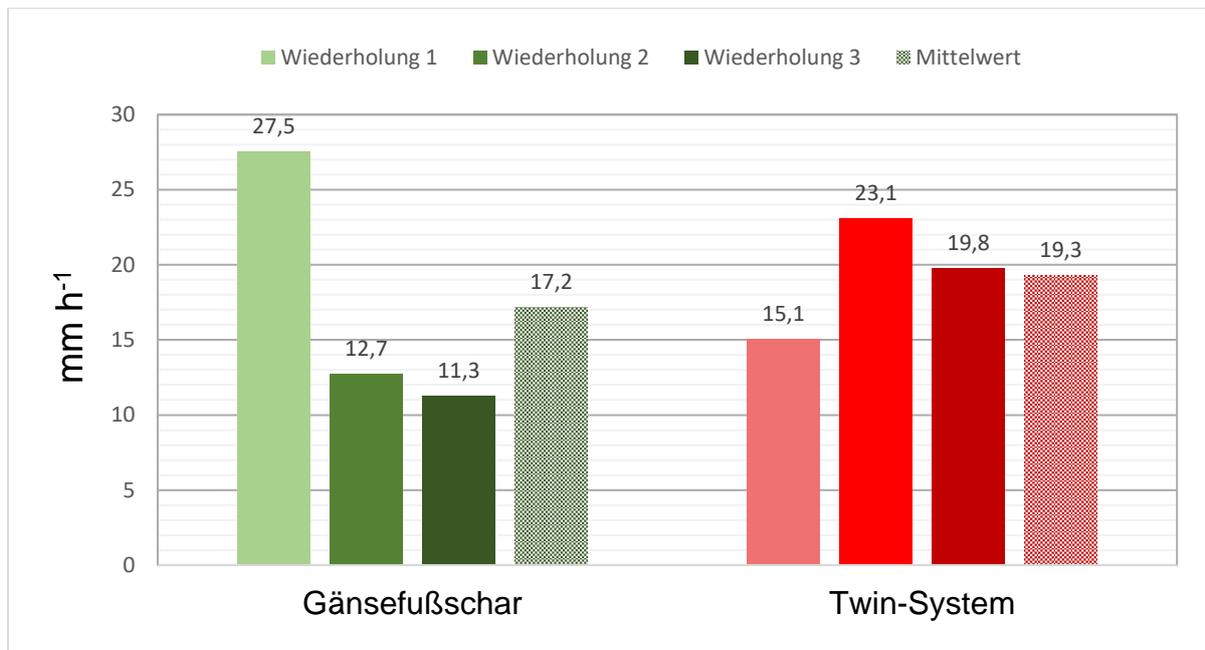


Abbildung 37 Gesamter Oberflächenabfluss der einzelnen Wiederholungen in mm h<sup>-1</sup>

Abbildung 37 zeigt die einzelnen kumulierten Oberflächenabflüsse pro Stunde und Beregnungsversuch, sowie den durchschnittlichen Abfluss pro Stunde und Hacksystem. Der Höchstwert aber auch der niedrigste Gesamtwert an Oberflächenabfluss pro Beregnungssimulation wurde in den Wiederholungen des Gänsefußscharsystems gemessen. Im Durchschnitt wurde durch das neue Twinsystem 19,3 mm h<sup>-1</sup>, also 2,1 mm h<sup>-1</sup> mehr Oberflächenabfluss als im Gänsefußscharsystem, gemessen. Dies kann vor allem bei zunehmender Länge des Hanges im Feld, aber auch im Off-Site Bereich, von wesentlicher Bedeutung sein.

### 6.1.2. Oberflächenabfluss im Zeitverlauf

Die Abbildung 38 und Abbildung 39 zeigen die zeitlichen Verläufe des Oberflächenabflusses in  $\text{mm h}^{-1}$ .

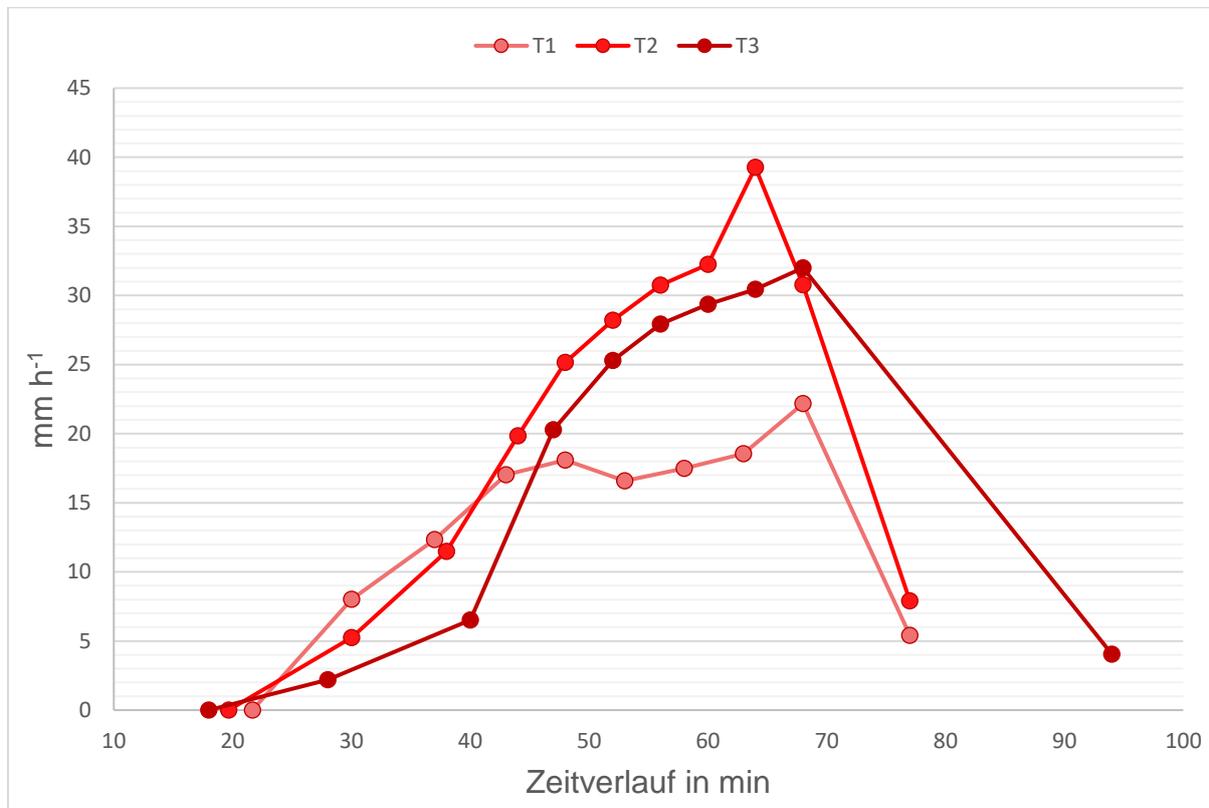


Abbildung 38 Oberflächenabfluss im Zeitablauf des Twin-Systems in  $\text{mm h}^{-1}$

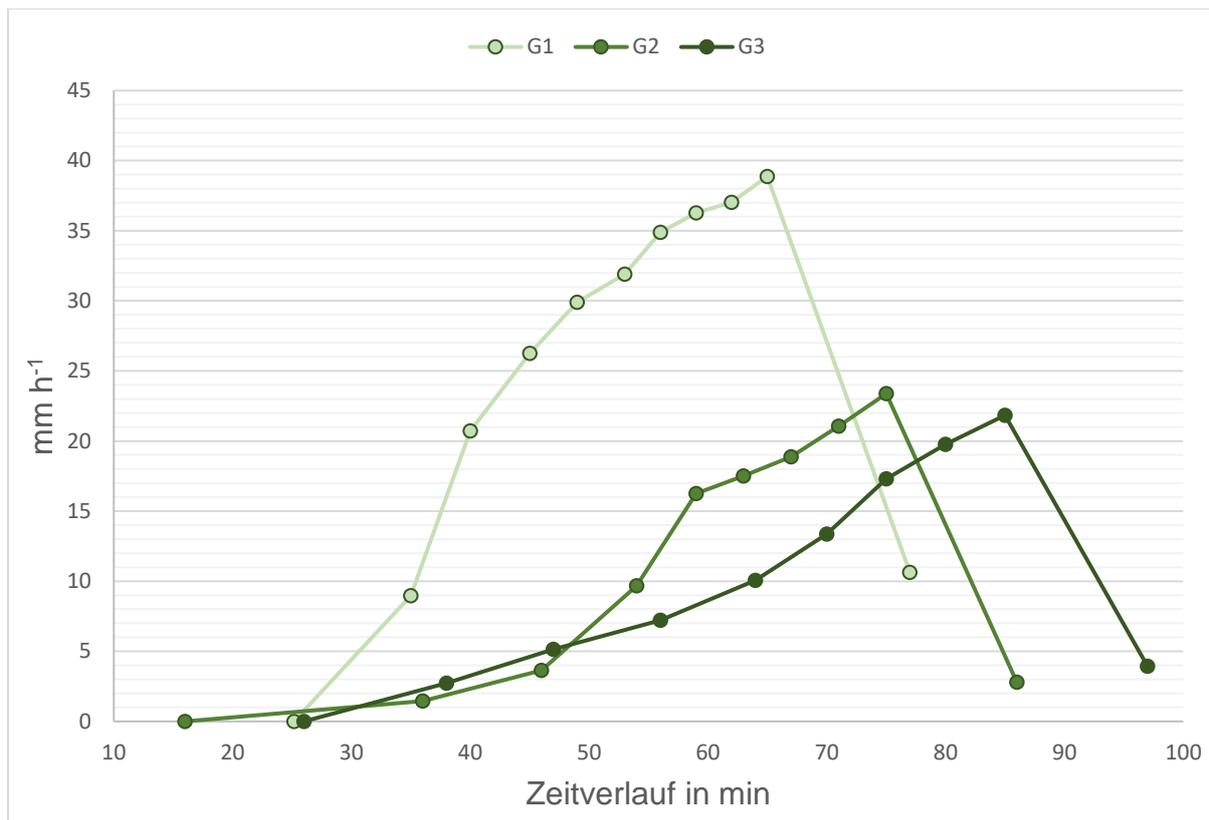


Abbildung 39 Oberflächenabfluss im Zeitablauf des Gänsefußscharsystems mm h<sup>-1</sup>

Beim Vergleich der Abflussverlaufskurven in Abbildung 38 zu Abbildung 39 erkennt man, dass der Oberflächenabfluss in allen Fällen mit zunehmender Zeit stärker wird. Dies ist auf die zunehmende Wassersättigung und Verschlämmung des Oberbodens, wie durch Strauss & Schmaltz (2019) beschrieben, zurückzuführen. Der Anstieg des Oberflächenabflusses ist aber in allen Fällen etwas unterschiedlich, sodass sich hier keine generelle Aussage über dessen Verhalten im Zeitverlauf treffen lässt. Im Versuch mit dem Gänsefußscharsystem ist bei der Wiederholung zwei und drei ein flacherer Anstieg als bei allen anderen Messereihen zu verzeichnen. Der markante Abwärtstrend am Ende aller Messreihen ist damit zu erklären, dass die Regensimulation zum Zeitpunkt der vorletzten Datenerhebung gestoppt wurde und es sich beim jeweils letzten Wert um den Nachlauf handelt.

### 6.1.3. Prozentueller Abfluss der gesamten Berechnung

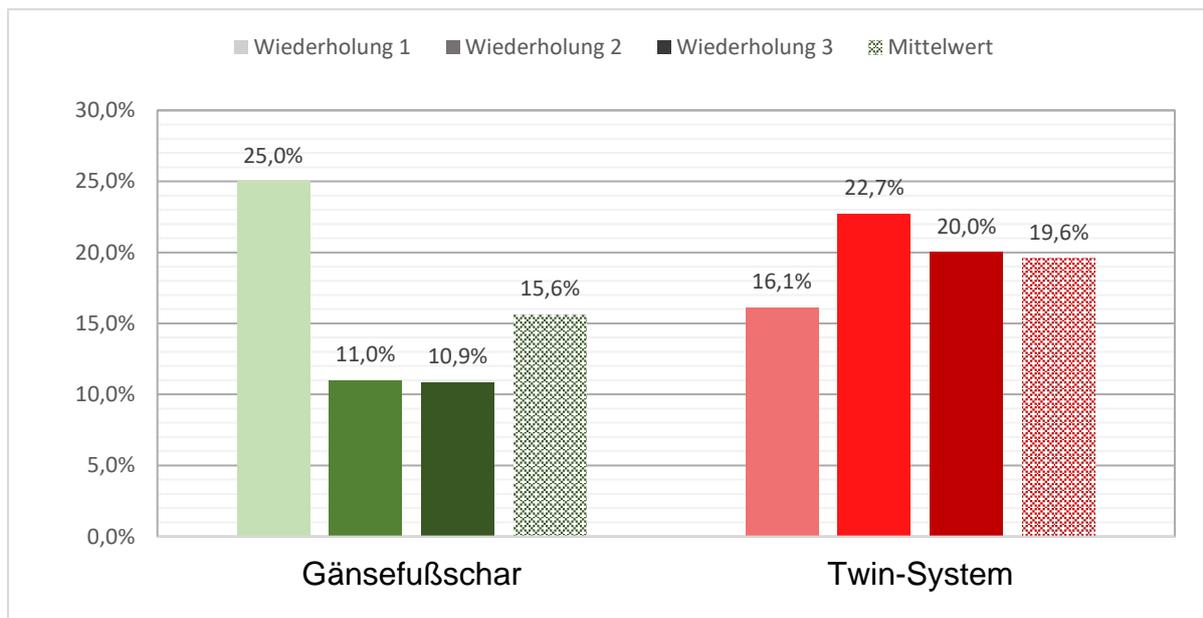


Abbildung 40 Prozentueller Oberflächenabfluss auf Grundlage der Regenmenge in Gesamtbetrachtung der jeweiligen Messreihen

Wird die Menge an Oberflächenabfluss im Verhältnis zur gesamten berechneten Wassermenge betrachtet und als prozentueller Abfluss dargestellt (Abbildung 40) bestätigt sich eine höhere Menge an Oberflächenabfluss beim weiterentwickelten Twin-System. Der Mittelwert liegt hier mit 19,6 % Abfluss der berechneten Wassermasse um vier Prozentpunkte höher als im Versuch mit dem Gänsefußscharsystem.

### 6.1.4. Prozentueller Oberflächenabfluss im Zeitverlauf

Der Anstieg des Oberflächenabflusses in Prozent auf Basis der Regenmenge in Abbildung 41 und Abbildung 42 ist dem Verhalten des Oberflächenabflusses in  $\text{mm h}^{-1}$  sehr ähnlich. Als Unterschied zum Gesamtoberflächenabfluss ist der Wegfall der Regenmenge bis zum Abflussbeginn und des jeweils letzten Messwertes zu erwähnen, da am Beginn kein Oberflächenabfluss stattfand und in der Nachlaufzeit keine Berechnung erfolgte.

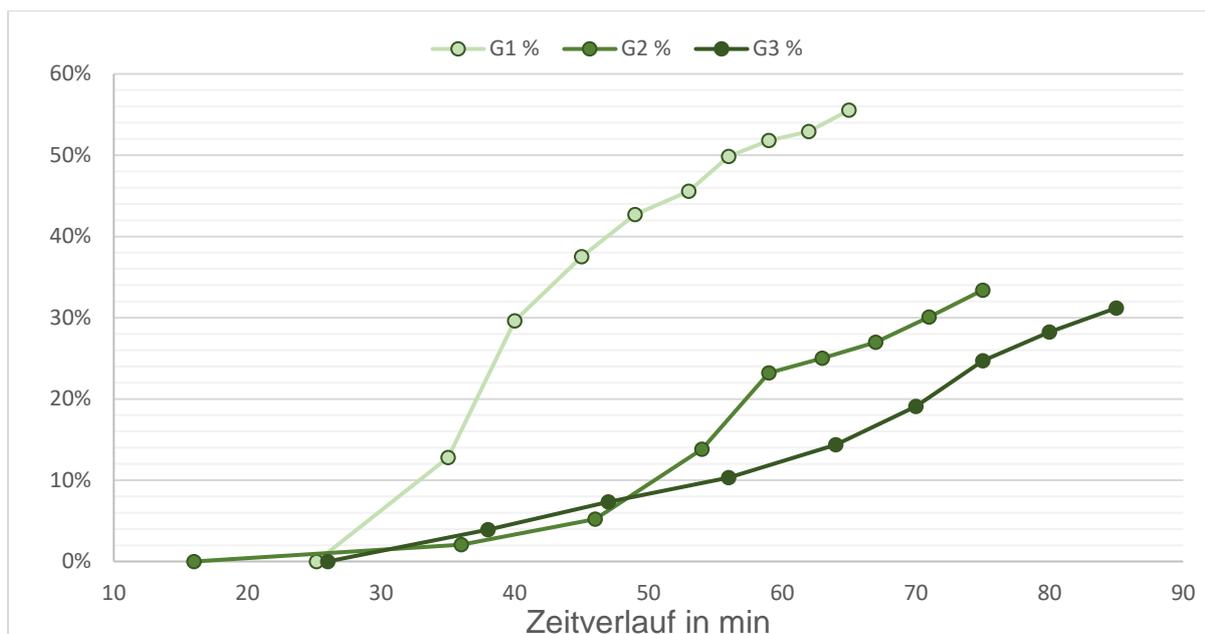


Abbildung 41 Prozentueller Oberflächenabfluss im Zeitverlauf der Gänsefußscharparzellen

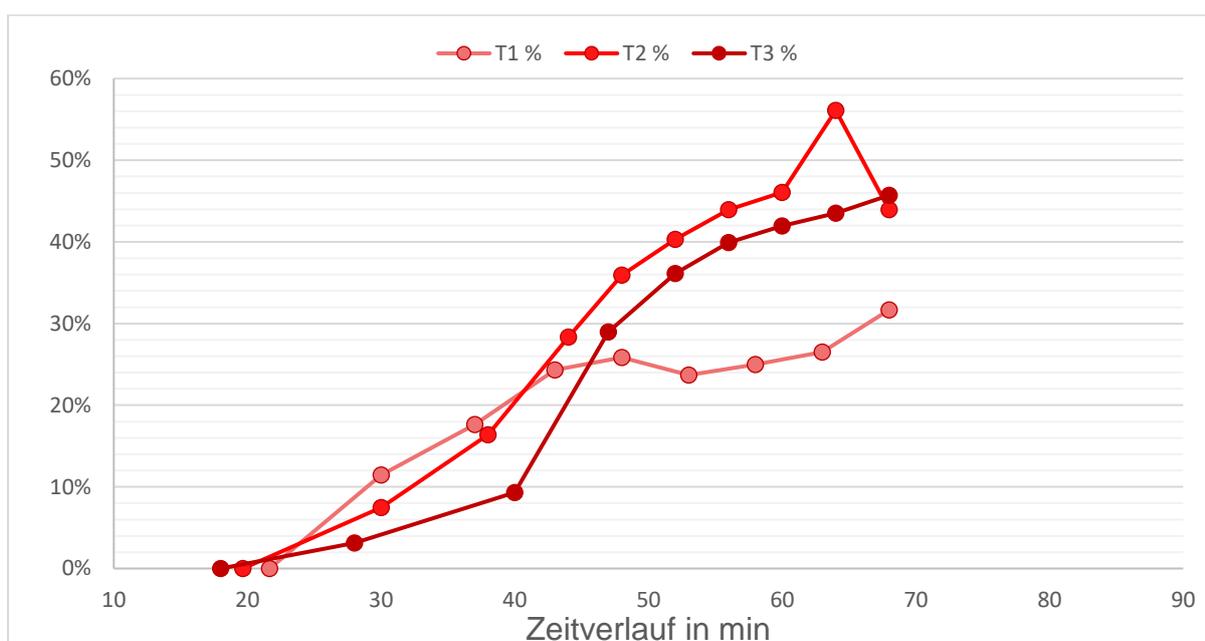


Abbildung 42 Prozentueller Oberflächenabfluss im Zeitverlauf der Parzellen des Twin-Systems

### 6.1.5. Bodenabtrag Gesamt

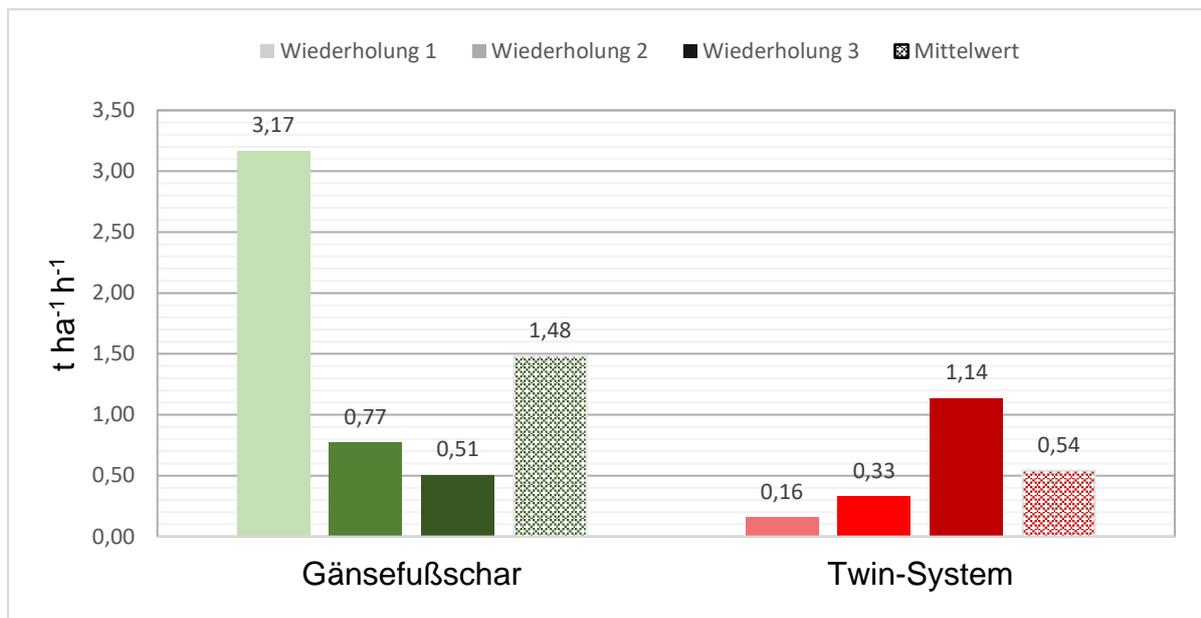


Abbildung 43 Gesamtmenge der Bodenerosion durch Wasser der einzelnen Messreihen in  $t\ ha^{-1}\ h^{-1}$

Gesamtwerte des Bodenabtrags dieses Versuches (Abbildung 43) zeigen die Auswirkungen des Systemwechsels der Hacktechnik in Bezug auf Bodenerosion. Durch die Anwendung des Twin-Hacksystems konnte der Bodenabtrag um 63,5 % reduziert werden, was die Hypothese über die erhöhte Erosionsneigung der Gänsefußschartechnik bestätigt. Diese Verminderung reduziert in weiter Folge alle von Maréchal, et al. (2008) genannten On-site Schäden und fast alle Off-site Schäden. Die Forschungsfrage, wie viel Bodenverlust auf ein Starkregenereignis nach einem Hackdurchgang zurückzuführen ist, lässt sich allerdings nicht so leicht beantworten. Da Wassererosion durch sehr viele Faktoren beeinflusst wird, wie in Punkt 2.2.1 beschrieben wurde, lässt sich keine grundsätzliche Antwort darauf geben. Das durchgeführte Beregnungsexperiment stellt eine kurze Hanglänge zu einem bestimmten Pflanzenzustand dar. Die Beregnung wurde mit einer sehr hohen Niederschlagsintensität von  $70\ mm\ h^{-1}$  durchgeführt. Statistisch gesehen hat es in den letzten 50 Jahren nur vier Niederschlagsereignisse  $>70\ mm$  gegeben (Bundesministerium Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft, 2018). Des Weiteren kann man von einem Einzelereignis nicht auf durchschnittliche Jahreserosionswerte schließen, da die Vegetationsbedeckung, Bearbeitung, etc. sowie der Niederschlag und dessen Intensität eine starke saisonale Abhängigkeit haben. Nichtsdestotrotz scheint das neue Hacksystem die Erosionsanfälligkeit zu

verringern, im aktuellen Versuchskontext sogar um fast zwei Drittel. Würden mehrere Versuche vorliegen, könnte man diese prozentuelle Verringerung direkt in die USLE-Faktoren *C* und *P*, welche in Punkt 2.3.1 beschrieben sind, einfließen lassen.

### 6.1.6. Bodenabtrag im Zeitverlauf

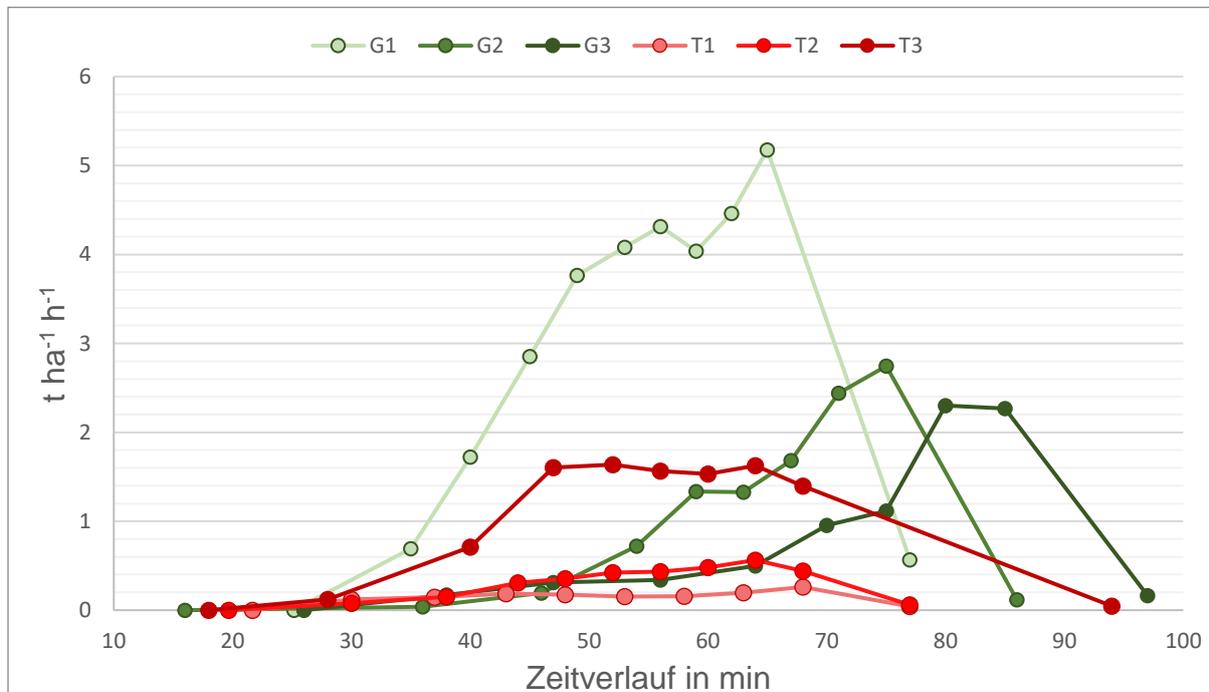


Abbildung 44 Bodenabtrag im Zeitverlauf der Versuchspartellen beider Systeme in  $t \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$

Beim Betrachten des Verlaufes des Bodenabtrags fällt auf, dass bei den Partellen des Gänsefußschar-Hacksystems, deren Messwerte unter anderem in Abbildung 44 grafisch dargestellt werden, beinahe ein exponentieller Anstieg an Bodenabtrag im Zeitverlauf geschieht. Desto länger die Beregnung dauerte, desto stärker war der Anstieg des Bodenabtrags. In diesem Diagramm wurden dafür wieder alle Messwerte verwendet, weil eine zeitliche Differenzierung hier unbedeutend ist. Entfernt man Werte, die über die vergleichbare Beregnungsdauer hinausgehen, wie vorhin im Vergleich des Gesamtbodenabtrags, ist der beschriebene Anstieg aber ebenso erkennbar.

Der Bodenabtrag im Zeitverlauf der Twin-System-Partellen, welcher ebenso in Abbildung 44 dargestellt ist, zeigt einen wesentlich seichteren Verlauf. In der ersten Wiederholung ist ein langsamer Anstieg an Bodenabtrag zu Beginn ersichtlich. Darauf folgt ein anschließender leichter Rückgang und ein erneuter leichter Anstieg. Diese

Veränderung lässt sich im Vergleich zu den anderen Messreihen, welche deutlich stärkere Veränderungen aufweisen, fast als konstant bezeichnen. Die zweite Wiederholung zeigte einen sehr gleichmäßigen, fast schon linearen Anstieg an Bodenabtrag mit der Zeit, bis dieser wieder einen Rückgang verzeichnete. Die dritte Messreihe stieg anfangs stark an, pendelte sich aber auch in einem Wertebereich ein und verzeichnete einen Rückgang gegen Ende der Beregnung.

Vergleicht man die Kurven dieser grafischen Darstellung miteinander, wird ersichtlich, dass die beiden Hacksysteme einen eigenen erosionspezifischen Kurventypen aufweisen. So ist das jeweilige Erosionsverhalten, unabhängig der Intensität der Erosion, Hacktypenspezifisch als sehr ähnlich zu sehen.

### 6.1.7. Vergleich beider Hacksysteme

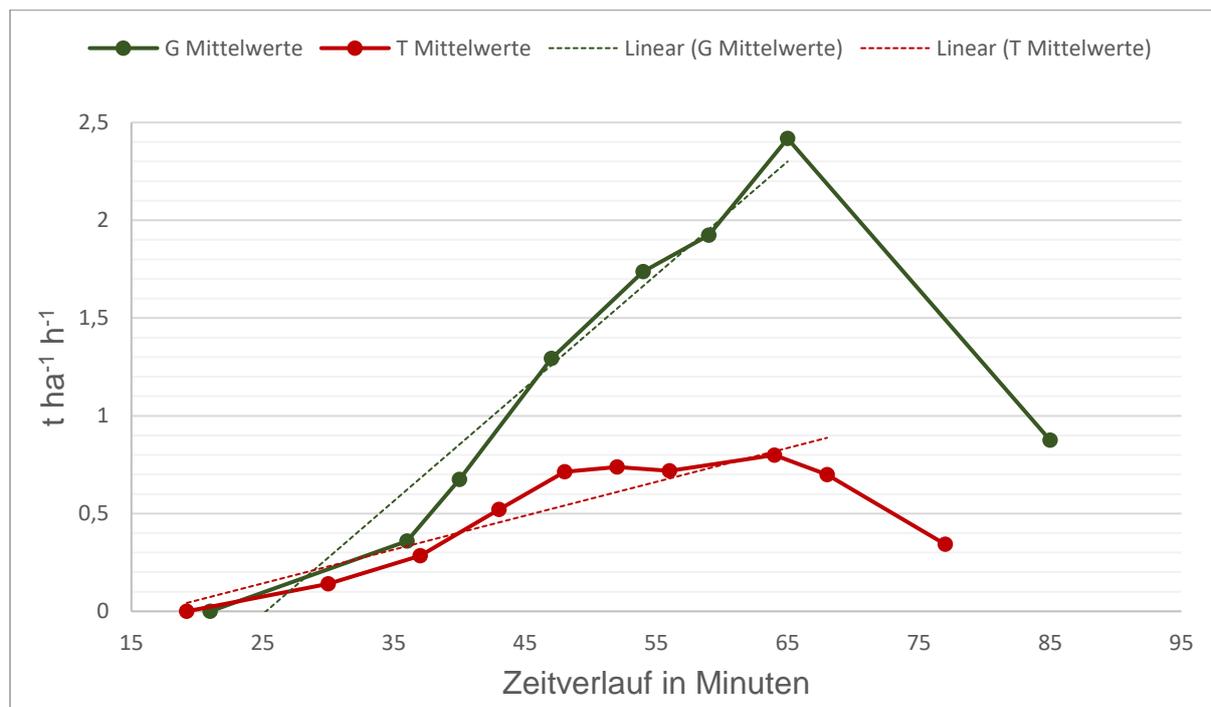


Abbildung 45 Vergleich der Mittelwerte über alle Messreihen der beiden Systeme im Zeitverlauf

Zum Vergleich der Mittelwerte aller Wiederholungen der zwei Hacksysteme wurden errechnete Werte für einheitliche Zeitpunkte gebildet und dann ein Liniendiagramm mit entsprechenden Trendlinien dieser Mittelwerte erstellt (Abbildung 45). Der durchschnittliche Bodenabtrag der Twin-System-Parzellen zeigt erneut einen langsameren Anstieg am Beginn und ein Einpendeln an konstante Werte im Mittelsektor, bis der Bodenabtrag gegen Ende der Beregnung wieder sinkt. Die

Messwerte der Gänsefußschar-Parzellen hingegen zeigen einen wesentlich stärkeren Anstieg des Erdabtrags der bis zum Ende des Beregnungsversuches anhält. Ein solcher Verlauf lässt sich gut auf den von Blume, et al., (2010) beschriebenen Erosionsverlauf vergleichen, nach welchem die Flächenerosion in einen Rillenerosion übergeht, welche in weiterer Folge eine Rinnenerosion darstellt.

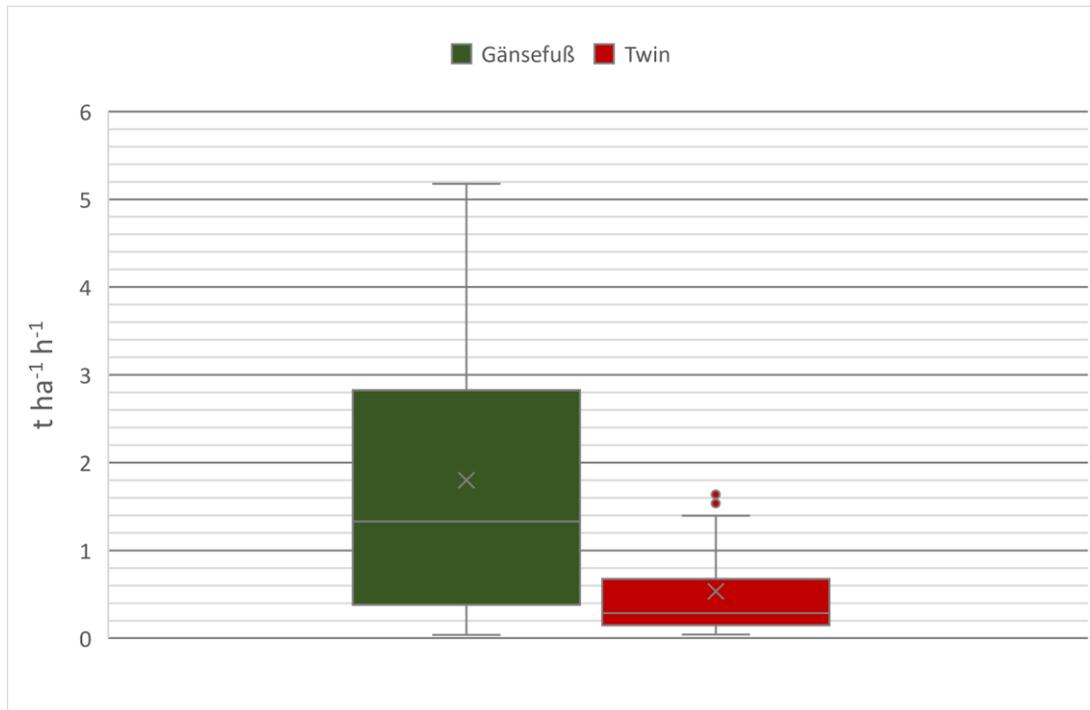


Abbildung 46 Wertevergleich aller einzelner Messwerte der Messreihen beider Hacksysteme

Werden sämtliche Bodenabtragsmesswerte aller Wiederholungen in einem Boxplot verglichen, wie in Abbildung 46 dargestellt ist, wird der Unterschied der beiden Systeme im Bezug auf Bodenerosion erneut ersichtlich. So weisen die Messwerte der Twin-Parzellen eine wesentlich geringere Varianz auf und sind in sämtlichen Vergleichswerten kleiner gleich den Werten der Gänsefußparzellen. Die errechneten Boxplot-Vergleichswerte und weitere sind in Tabelle 6 numerisch ersichtlich.

Tabelle 6 Boxplotdaten des Systemvergleichs

	Gänsefuß	Twin	
Mittelwert	1,80	0,53	t ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>
Mittelabweichung	1,33	0,45	t ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>
Minimum	0,04	0,04	t ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>
Maximum	5,18	1,64	t ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>
Q 1	0,46	0,15	t ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>
Median	1,33	0,29	t ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>
Q3	2,77	0,60	t ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>
IQA	2,31	0,45	t ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>

### 6.1.8. Sedimentkonzentration des Oberflächenabflusses Gesamt

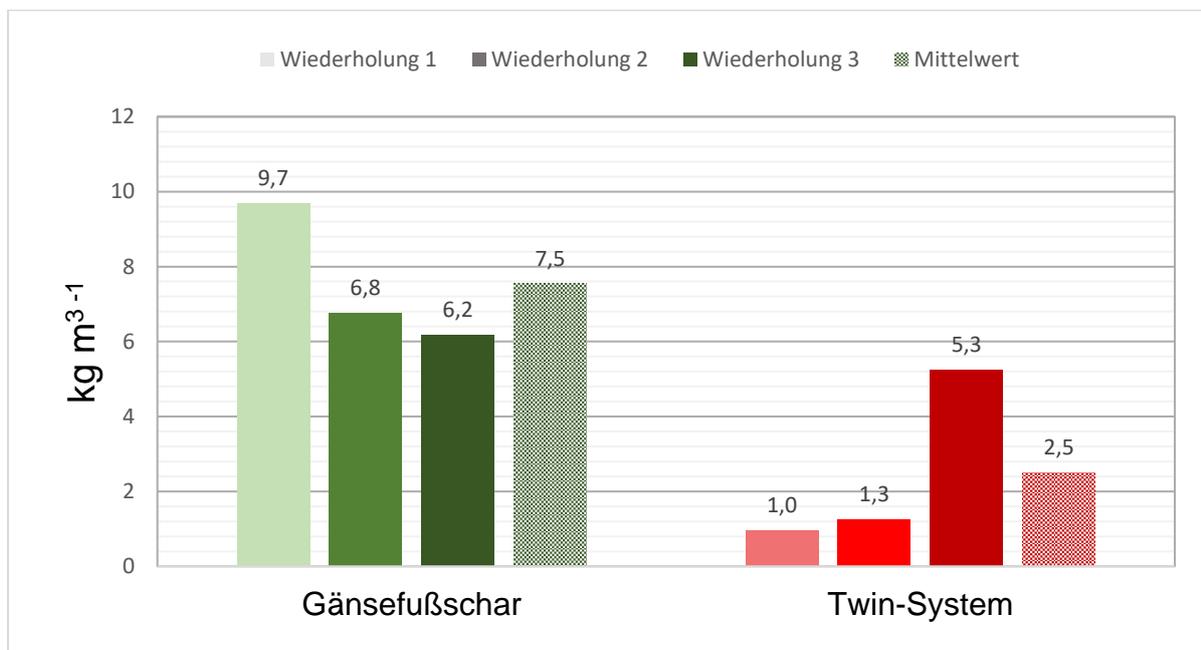


Abbildung 47 Sedimentkonzentration des Oberflächenabflusses im Gesamtvergleich des jeweiligen Systems

Werden die Oberflächenabflusswerte in Relation mit den Bodenabtragswerten gesetzt, lässt sich die Konzentration, also die Menge an abgetragenen Sediment pro Menge Oberflächenabfluss berechnen. Die Gesamtwerte dazu sind in Abbildung 47 dargestellt. Der Mittelwert des Twin-Systems ist diesen Berechnungen zufolge mit 2,5 kg Boden pro m<sup>3</sup> Oberflächenabfluss, um 2/3 niedriger als der des Gänsefußscharsystems. Dies bedeutet in der Praxis, dass es bei erhöhtem

Abflussaufkommen zu niedrigeren Ablagerungen der Erde abseits der von Erosion betroffenen Fläche kommt. Somit wird die Hypothese des erhöhten Bodenabtrags durch vermehrtem Oberflächenabfluss abgelehnt.

### 6.1.9. Sedimentkonzentration des Oberflächenabflusses im Zeitverlauf

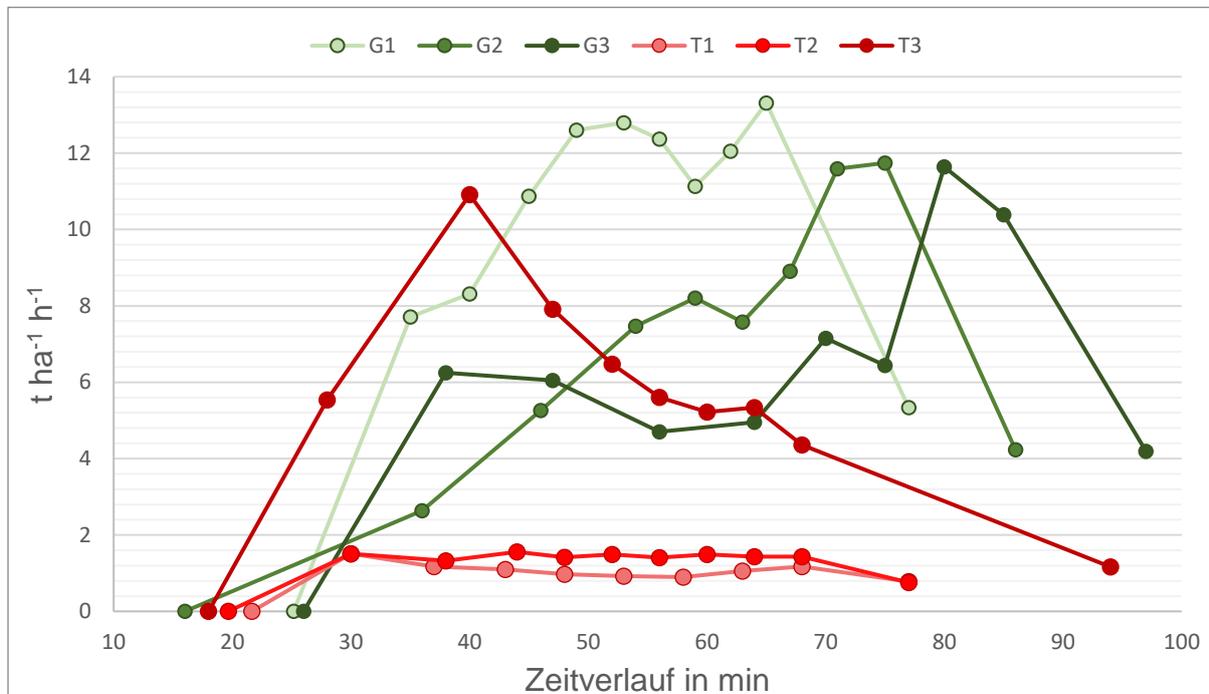


Abbildung 48 Sedimentabtrag im Vergleich zum Oberflächenabfluss im Zeitverlauf

Werden die Messreihen einzeln betrachtet (Abbildung 48), zeigen sich sehr inhomogene Verläufe der Konzentration. Grundsätzlich lässt sich aber erkennen, dass beim Gänsefußscharsystem im Zeitverlauf ein Anstieg des Bodenabtrags pro Oberflächenabflusses zu erkennen ist. Dies ist beim Twin-System nicht in diesem Ausmaß ausgeprägt. Wiederholung T1 und Wiederholung T2 zeigen generell sehr konstante Konzentrationswerte nach einem leichten Anstieg zu Beginn des Oberflächenabflusses.

## 6.2. Aggregatstabilität

### 6.2.1. Prozent der stabilen Aggregate

Tabelle 7 Aggregatstabilität Berechnung

sample	Nr.	leer (g)	Boden (g)	C+S+A (g)	C+S (g)	Sand	S+A	As%	Mittelwert As (%)	St.ab.
<b>Bearbeitungs- horizont Purgstall</b>	72	39,29	3,97	40,58	39,47	0,18	1,29	29,3		
	183	51,93	4	53,25	52,15	0,22	1,32	29,1		
	179	42,65	3,99	43,95	42,93	0,28	1,3	27,5	<b>28,6</b>	<b>0,81</b>

Wie in Tabelle 7, welche die Ergebnisse der Ermittlung der Aggregatstabilität zeigt, ersichtlich, beträgt der Mittelwert der Aggregatstabilität des Bodens 28,6% mit einer Standardabweichung von 0,81. Dies ist im Vergleich zur Arbeit von Sobl (2007) sehr hoch, welcher für konventionell bearbeiteten Boden 13,6 % und konservierender Bodenbearbeitung 9,6% ermittelt hat. Der Wert der Aggregatstabilität ist unter anderem für die Berechnung der Bodenerodierbarkeit  $K$  im Zusammenhang mit der USLE wichtig. Eine hohe Aggregatstabilität könnte darauf hinweisen, dass die Rillenerosion im Vergleich zur Flächenerosion an Bedeutung gewinnt, da die Rillenerosion ganze Aggregate erodieren und abtransportieren kann. Flächen- oder Splasherosion wiederum findet nur dann statt, wenn die Bodenaggregate an der Oberfläche zerschlagen und zerkleinert werden.

## 6.3. Rillenerosionsversuch

### 6.3.1. Loslöserate als Funktion der Scherspannung

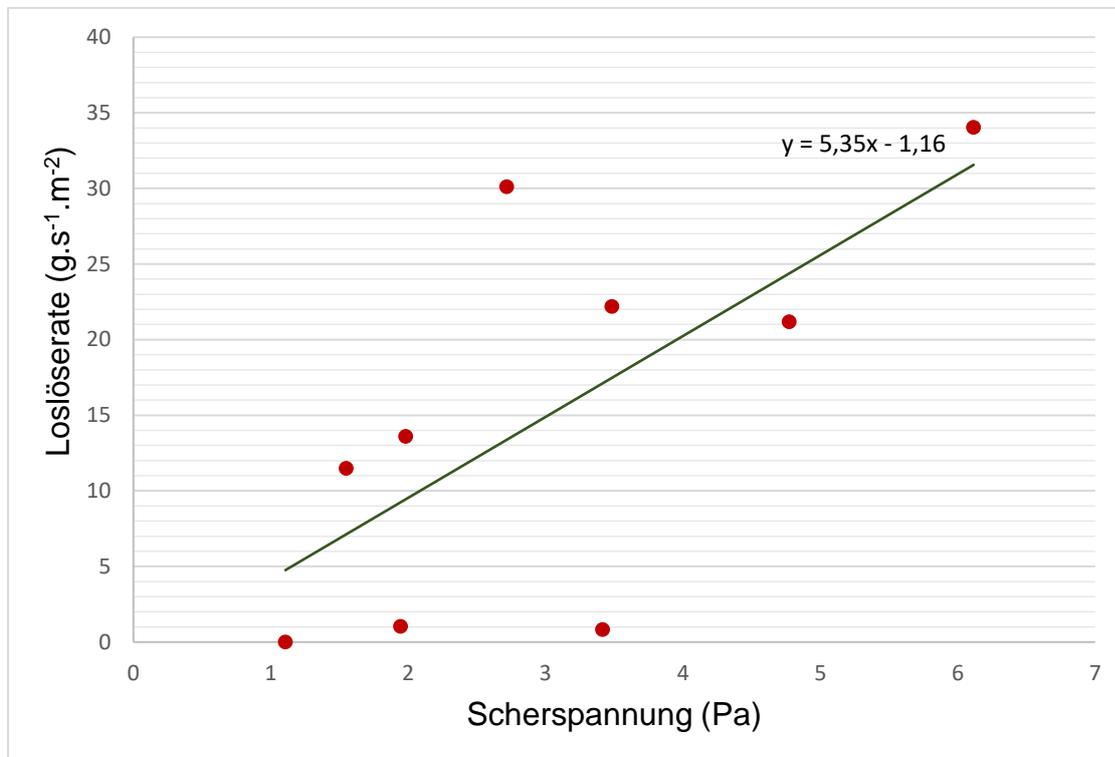


Abbildung 49 Loslöserate als Funktion der Scherspannung

Alle verwendeten Werte, die aus der Versuchskombination von Steigung und Durchfluss im Zuge des Rillenerosionsversuchs ermittelt wurden, werden in Abbildung 49 als Loslöserate  $D_c$  als Funktion dargestellt.

Der Rillenerosionsversuch lieferte Daten welche die Ermittlung der Manning-Strickler Rauigkeit  $k_{St}$  als auch die kritische Scherspannung  $t_c$  und die Erodierbarkeit  $K_t$  ermöglichten. Der Manning-Strickler Rauigkeitsbeiwert aus den Laborversuchen beträgt im Mittel  $6,9 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ , was durchaus gering (=rau), ist. Die Tatsache des sehr niedrigen  $k_{St}$  Wertes für den relativ feinkörnigen Boden wirft Fragen bezüglich der Gültigkeit des Manning-Strickler Ansatzes bei geringen Abflüssen in Erosionsrillen auf. Obwohl dieser Ansatz oft in Rillenerosionsmodellen verwendet wird, weist Strohmeier (2014) auf die Problematik der Vernachlässigung der Formrauigkeit, welche durch Oberflächenrauigkeit bei geringen Wasserständen erzeugt werden kann, und auch auf die Ungleichförmigkeit der Rillenströmung hin.

Trotzdem wurde die Manning-Strickler Fließformel zur Rillenabflussberechnung für die Simulation der Hackrillen herangezogen. Unter Verwendung der errechneten Oberflächenrauigkeit, welche sich in der Natur ebenfalls sehr unterschiedlich ausbilden kann, wurden mögliche Abflusstiefen im Feld errechnet. Dafür wurden die gemessenen Abflussmengen herangezogen. Durch iterative Annäherung wurde der Fließzustand und der zugehörige hydraulische Radius  $R$  ermittelt, welcher wiederum als Eingangsparameter für die Loslösungsrate  $D_c$  diente. Die beobachteten Hackrillengeometrien und die kritischen Schubspannungen aus dem Laborversuch wurden in geringem Umfang variiert um mögliche Abweichungen mitzuberücksichtigen.

### 6.3.2. Unterschiede der Erosionsmodellierung

Die Ergebnisse der Berechnungen bezüglich der unterschiedlichen Hackgeometrien und Rillenzahlen (Abbildung 50), zeigen mit durchschnittlichen Unterschieden unter  $<1,5\%$  keine relevanten Unterschiede. Dadurch wird in diesem Fall die Hypothese der Vergleichbarkeit der Bearbeitungsprofile angenommen aber gleichzeitig der Teil der Hypothese über die Erklärung der Unterschiede der Hackgeometrien abgelehnt. Dieser geringe Unterschied ist möglicherweise auch mit der unzureichenden Abflussbeschreibung anhand des Manning-Strickler Ansatzes zu erklären. Die Rillen der Bearbeitungsbilder des Twin-Systems und der Gänsefußhacktechnik weisen augenscheinlich verschiedene Formrauigkeiten im Feld auf, welche durch den reinen Oberflächenrauigkeitsansatz nach Manning-Strickler ignoriert wurden. Nichtsdestotrotz scheinen auch viele andere Faktoren, welche die Wassererosion beeinflussen, für den im Feldversuch gemessenen Unterschied des Bodenabtrags, verantwortlich zu sein. Mögliche weitere Faktoren sind der verbesserte Schutz der Rille vor dem Regentropfenprall bei der Anwendung des Twin-Systems. Die Rillen werden hierbei sehr knapp neben der Pflanzenreihe ausgebildet, wodurch diese ab einem gewissen Pflanzenstand überdeckt werden. Die Senke die durch die Gänsefußtechnik entsteht, ist hingegen ungeschützt. Hier wirkt zusätzlich die Energie der aufprallenden Regentropfen, was bei der reinen Abflusssimulation nach Manning-Strickler nicht berücksichtigt wurde. Des Weiteren sind die Rillen des Twin Systems auch nahe der schützenden Wurzeln, was möglicherweise auch mit einer besseren Aggregatwirkung und höherer Formrauigkeit in diesem Bereich einhergeht.

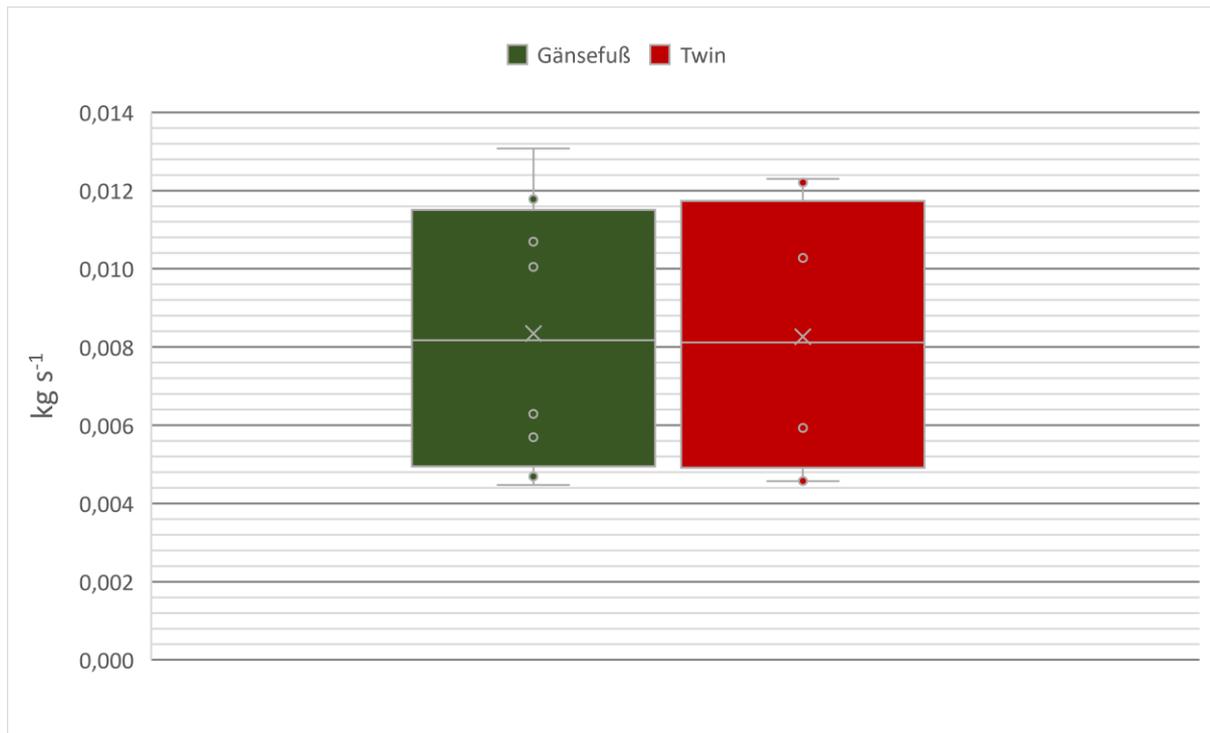


Abbildung 50 Zusammengefasste Erosionsberechnungswerte

---

## 7. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Zur mechanischen Beikrautbekämpfung in Reihenkulturen werden in der Landwirtschaft meist Hackgeräte verwendet. Diese bearbeiten den Großteil der nicht gesäten Fläche zwischen und teilweise in den Reihen. Hierfür haben sich in der Vergangenheit Hackgeräte mit Gänsefußscharen als Arbeitswerkzeug etabliert. Durch dieses Gänsefußschar wird die Erde vom Reihenzwischenraum in Richtung Pflanzenreihe geworfen und Beikräuter dabei ausgehackt und verschüttet. Die Nachteile dieses Systems, wie etwa geringe Arbeitsgeschwindigkeiten, ein breites unbearbeitetes Hackband und eine wasserakkumulierende Senkenbildung im Reihenzwischenraum, sollten durch ein weiterentwickeltes Hacksystem vermindert werden. Eine Kombination aus Hohlscheiben und Winkelscharen (in dieser Arbeit Twin-System genannt) ermöglicht es, den Boden näher an den Pflanzenreihen zu bearbeiten, bei gleichzeitig höherer Arbeitsgeschwindigkeit. Durch die Kombination der Arbeitswerkzeuge entstehen zwei kleine Rillen direkt an der Pflanzenreihe anstatt einer Großen im Reihenzwischenraum. Durch die entgegengesetzte Wurfwirkung der Winkelschare kommt es zu einer leichten Dammbildung von Mulch- und Erdmasse im Reihenzwischenraum. Dies verminderte in der Praxis augenscheinlich das Ansammeln von Oberflächenabfluss in der Mitte des Reihenzwischenraumes.

Ob die Umstellung der Hackgeräte Bodenverlust durch Wassererosion, und in weiterer Folge Schäden reduzieren kann, galt es mit dieser Arbeit zu untersuchen. Eine Untersuchung ist aufgrund der Bandbreite der Erosionsschäden nicht nur für den Landwirt interessant, sondern auch für sämtliche angrenzende Ökosysteme, Kommunen und Anrainer.

Zur Einschätzung und Erklärung etwaiger Unterschiede war es für diese Arbeit wichtig, Einschätzungen unter Laborbedingungen zu treffen. Es stellte sich die Frage, wie sehr eine Modellierung zur Einschätzung des tatsächlichen Unterschiedes im Erosionsverhalten der Hacksysteme beitragen kann. Dazu wurde ein Rillenerosionsversuch im Labor durchgeführt und die Manning-Strickler-Gleichung mit den entsprechenden Geometrien der Systeme angewendet.

Für die Untersuchung der tatsächlichen Erosion am Feld wurde ein Berechnungssimulator auf Versuchspartellen aufgebaut, welcher ein Starkregenereignis mit  $70 \text{ mm h}^{-1}$  simulierte. Der gesamte Oberflächenabfluss wurde

in Kübeln mit Notierung der Entnahmezeit aufgefangen und anschließend im Labor weiterverarbeitet. Im Labor fand die Wiegung des Oberflächenabflusses und, des in weiterer Folge ausgewerteten, Bodenabtrags statt. Weiters wurden als Grundlage des Versuchs Bodenparameter wie zum Beispiel Textur, Aggregatstabilität und Carbonatgehalt ermittelt.

Die Analyse des Oberflächenabflusses zeigte, dass durch das weiterentwickelte Twin-System etwa 12% mehr Oberflächenabfluss, als bei der Gänsefußschar-Hacktechnik, zu verzeichnen war. Der Bodenabtrag durch das Twin-System konnte zeitgleich um fast 64% reduziert werden. So gingen in der Gänsefußschar-Variante im Durchschnitt der Versuchspartellen  $1,48 \text{ t ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , und bei der Twin-Variante  $0,54 \text{ t ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  an Boden durch Wassererosion verloren. Dies beantwortet die Forschungsfrage nach der Verminderung der Wassererosion durch einen Systemwechsel sehr deutlich. Auch bei der Betrachtung des Bodenabtrags im Zeitverlauf zeigte sich, dass durch den Systemwechsel deutlich weniger wertvoller Boden verloren geht. Bezogen auf die Konzentration des Oberflächenabflusses in  $\text{kg Boden pro m}^3$  Oberflächenabfluss, wird ein besonders großer Unterschied deutlich. So wurden mit  $2,5 \text{ kg Boden pro m}^3$  Oberflächenabfluss beim Twinsystem, wesentlich weniger Boden durch Erosion abgeschwemmt als beim Gänsefußschar-System mit  $7,5 \text{ kg t}^{-1}$ .

Der Unterschied der zwei Hacksysteme nach der Manning-Strickler Gleichung ist wesentlich kleiner mit durchschnittlichen Unterschieden  $<1,5\%$ . Dies kann einerseits auf einen geringen Rillengeometrie-spezifischen Unterschied hinweisen, andererseits kann dieses Ergebnis auch durch die limitierte Anwendbarkeit der Manning-Strickler Fließformel infrage gestellt werden. Demnach müssen die vielen anderen Faktoren, die das Ausmaß der Wassererosion beeinflussen, für die im Feldversuch gemessenen Unterschiede verantwortlich sein. Ein mögliche Teilerklärung kann eventuell dadurch gegeben werden, dass sich die Rillen, die durch die Bearbeitung mit dem Twin-System entstanden, sehr nahe an der Pflanzenreihe befinden und dadurch die kinetische Energie der Regentropfen durch überhängende Pflanzen abgeschwächt wird. Weiters können die Pflanzenwurzeln, welche den Rillen des Twin-Systems sehr nahe sind, eine Reduktion der Erodierbarkeit und eine Erhöhung der Rillenformrauigkeit erwirken.

---

Durch diese Arbeit wird verdeutlicht, dass durch neue Hacksysteme nach wie große Fortschritte im Bereich des Bodenschutzes und der Erosionsminderung realisiert werden können. Der gewonnene indirekte betriebswirtschaftliche Vorteil durch Reduktion des Bodenverlustes wird zusätzlich durch höhere Flächenleistungen, welche direkte Betriebswirtschaftliche Vorteile bringt, gestärkt. Die Gänsefußschar Hacktechnik hat durch den leicht geringeren Oberflächenabfluss und der besseren Dreschbarkeit von Sojabeständen aber dennoch seine Berechtigung.

Als Fortsetzung dieses Versuches wäre interessant zu untersuchen, was genau für die großen Unterschiede in der Wassererodierbarkeit verantwortlich ist und welche weiteren Änderungen in der Hackparzelle notwendig wären, um Wassererosion weiter zu vermindern.

## Literaturverzeichnis

- Auerswald, K. (1998). Bodenerosion durch Wasser. In G. Ruchter, *Bodenerosion: Analyse und Bilanz eines Umweltproblems* (S. 33-42). Darmstadt: Wiss. Buchges.
- Blume, H.-P., Brümmer, G. W., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., & Wilke, B. M. (2010). Böden- die Haut der Erde. In *Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde* (S. 1-5). Berlin: Springer Spektrum.
- Brand, T., & Lehnhof, F. (2023). *Integrierter Pflanzenschutz im öffentlichen Grün*. Oldenburg: LWK Niedersachsen.
- Brümmer, G. (1978). Funktionen des Bodens im Stoffhaushalt der Ökosphäre. Hamburg: Natur- und Umweltschutz in der Bundesrepublik Deutschland .
- Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, BEV. (11. Februar 2023). *Austrian Map*. Abgerufen am 11. Februar 2023 von <https://maps.bev.gv.at/>
- Bundeforschungszentrum für Wald, BFW. (12. 02 2023). *eBod*. Abgerufen am 12. Februar 2023 von <https://bodenkarte.at/>
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, BMEL. (5. 7 2017). Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Landwirtschaft, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Abgerufen am 25. März 2023 von <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/NAP-NationalerAktionsplanPflanzenschutz2017.html>
- Bundesministerium Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft. (2018). *eHYD*. Abgerufen am 25. März 2023 von <https://ehyd.gv.at/>
- DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION. (21. Oktober 2009). RICHTLINIE 2009/128/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES. Abgerufen am 26. März 2023 von <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:309:0071:0086:de:PDF>

- 
- Dierauer, H. (Jänner 2012). Hackgeräte: Technik und Einsatzzeitpunkt sind entscheidend. *bioaktuell*, S. 10-11.
- Duttmann, R. (2001). Bodenfeuchte als Steuergröße der Bodenerosion. *Geographische Rundschau*, S. 24-32.
- Einböck GmbH. (2023). *www.einböck.at*. Abgerufen am 26. März 2023 von <https://www.einboeck.at/produkte/ackerkulturpflege/standard-hacktechnik/chopstar-1-30>
- Einböck GmbH. (2023). *www.einböck.at*. Abgerufen am 26. März 2023 von <https://www.einboeck.at/produkte/ackerkulturpflege/spezial-hacktechnik/chopstar-twin>
- Ernestus, J. (2019). Mechanische Unkrautbekämpfung auf dem Vormarsch – Einsatzmöglichkeiten von Hacken in verschiedenen Kulturen. Neubrandenburg: Hochschule Neubrandenburg.
- Foster, G., & Meyer, L. (1972). Mathematical simulation of upland erosion by fundamental erosion mechanics. In U. US department of agriculture, *Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources* (S. 190). Oxford, Mississippi: USDA.
- Grinin, L. E. (September 2007). Production revolutions and periodization of History: a comparative and Theoretic-mathematical approach. *Social Evolution & History*, Vol. 6 No. 2, S. 75-120.
- Holzer, G., & Reischauer, E. (2015). *Agrarumweltrecht, Landwirtschaft – Umwelt – Recht*. Wien: Verlag Österreich.
- Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft, I. (2005). Skript zu Hydraulik und Hydromechanik. Wien: Universität für Bodenkultur Wien.
- Kemper, W. D., & Koch, E. J. (1966). *Aggregate Stability of Soils from Western USA and Canada. USDA Technical Bulletin*. Washington D.C.: United states department of agriculture.
- Klik, A., & Schwen, A. (2014). Bodenphysikalische Aspekte im Hinblick auf den Gewässerschutz. Irdinig: Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft ehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft.

- Kolbe, H., & Petzold, W. (Jänner 2002). Organic Eprints. *SÖL-Berater-Rundbrief*, S. 41-46. Von <http://orgprints.org/00000796/> abgerufen
- Laflen, J., Elliot, W., Simanton, J., Holzhey, C., & Kohl, K. (Jänner 1991). WEPP: Soil erodibility experiments for rangeland and cropland soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, 39-44.
- Lal, R. (1999). *Soil quality and soil erosion*. Florida: Soil and Water Conservation Society.
- Macha, G. (1975). Sabilization of soils for erosion control on construction sites. Joint Highway research project JHRP -75-5. Indiana: Purdue University.
- Maréchal, B., Prosperi, P., & Rusco, E. (2008). Implications of soil threats on agricultural areas in Europe. In G. Tóth, L. Montanarella, & E. Rusco, *Threats to Soil Quality in Europe* (S. 132). Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., . . . Alewell, C. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe *Environmental Science & Policy* Volume 54 . Elsevier Ltd.
- Panagos, P., Standardi, G., Borrelli, P., Lugato, E., Montanarella, L., & Bosello, F. (2018). Cost of agricultural productivity loss due to soil erosion in the European Union: From direct cost evaluation approaches to the use of macroeconomic models. John Wiley & Sons Ltd.
- Schwertmann, U., Vogl, W., & Kainz, M. (1987). *Bodenerosion durch Wasser : Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen*. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- Shainberg, I., Laflen, J. M., Bradford, J. M., & Norton, L. D. (1. Juli 1994). Hydraulic Flow and Water Quality Characteristics in Rill Erosion. (S. S. America, Hrsg.) *Soil Science Society of America Journal* Volume 58, Issue 4, S. 1007-1012. doi:<https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800040002x>
- Sobl, J. (2007). Auswirkungen unterschiedlicher Bearbeitungsformen auf die Erosion bei Starkniederschlägen. Wien: Universität für Bodenkultur Wien.
- Spektrum. (2001). Resistenz. *Resistenz, die Widerstandskraft eines Organismus gegen Schaderreger, schädigende Umwelteinflüsse und bestimmte Wirkstoffe*.



---

## Abkürzungsverzeichnis

s	Sekunde
min	Minute
h	Stunde
a	Jahr
g	Gramm
kg	Kilogramm
t	Tonne
ml	Milliliter
l	Liter
mm	Millimeter
cm	Zentimeter
m	Meter
km	Kilometer
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
ha	Hektar
EU	Europäische Union
Pa	Pascal
kPa	Kilopascal
etc.	Etcetera

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Stellung und Funktionen von Böden in der Ökosphäre (Brümmer, 1978) .....	1
Abbildung 2 Das Konzept des Integrierten Pflanzenschutzes (Brand & Lehnhof, 2023).....	4
Abbildung 3 Hackelement mit Vibrozinken und Gänsefußschare (www.einböck.at, 2023).....	7
Abbildung 4 Hackbild der Gänsefußschar-Hacktechnik.....	7
Abbildung 5 Hackgeometrie mit und ohne lockerer Erde, Gänsefußschar .....	8
Abbildung 6 Hackelement Hohlscheiben-Winkelschartechnik (Twin System) (www.einböck.at, 2023).	9
Abbildung 7 V-förmige Rille der Hohlscheibe .....	10
Abbildung 8 Hackbild der Hohlscheiben-Winkelscharhacktechnik.....	10
Abbildung 9 Hackgeometrie mit und ohne lockerer Erde, Hohlscheiben-Winkelschar-Hacktechnik ....	11
Abbildung 10 Wassererosion hervorgerufen durch Überflutung der Versuchsparzelle .....	12
Abbildung 11 Veränderung der Aggregate unterschiedlicher Größe eines schluffigen Lehms mit konventioneller Bearbeitung (links), Mulch- (Mitte) und Direktsaat (rechts) bei einem fünf- bzw. 20- minütigen Regenereignis mit 30 mm h <sup>-1</sup> Intensität (Klik & Schwen, 2014).....	14
Abbildung 12 Der Bodenerosionsprozess – Einflussgrößen und Teilprozesse (Duttmann, 2001).....	15
Abbildung 13 Rot markiert der Versuchsstandort in Purgstall an der Erlauf, Bezirk Scheibbs (Austrian Map, 2023).....	22
Abbildung 14 Bodenprofile Pseudogley (li.) BAW-Petzenkirchen und vom Versuchsstandort (re.) (eBod, 2023).....	23
Abbildung 15 Monatliche Durchschnittstemperatur und Niederschlagsmenge in Wieselburg (ZAMG, (2015) zit. n. (Wohlschläger, 2016)).....	26
Abbildung 16 Links Kettenscheibenegge Kelly 2006, rechts Lemken Rubin 10 bei der Bodenbearbeitung.....	28
Abbildung 17 Saatbettkombination Marke Farnet Typ Kompaktomat600 im Einsatz, rechts deren Bearbeitungsergebnis .....	28
Abbildung 18 Sojabohnenaussat mit Valtra N174 und Väderstad TempoV12.....	29
Abbildung 19 Links Fendt 313 mit Einböck Zinkenstriegel, rechts mit Einböck Rotorhacke .....	30
Abbildung 20 Links Arbeitsprofil der Schneidscheiben-Winkelschartechnik, rechts Arbeitswerkzeuge30	
Abbildung 21 links: Arbeitsprofiltiefe der Gänsefußschar, rechts: das Hackgerät als Gänsefußschar- Ausführung.....	31
Abbildung 22 Ausbringung von Kompost mittels Fendt 724 und Tebbe KS230 Kompoststreuer .....	32
Abbildung 23 Genaue Lage des Versuchsfeldes nördlich von Purgstall an der Erlauf (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, BEV, 2023).....	33
Abbildung 24 Mit Leitblechen abgegrenzte Versuchsparzelle .....	34
Abbildung 25 Aufbau des Regensimulators am Feld .....	35
Abbildung 26 Regensimulator während Beregnung.....	36
Abbildung 27 Deutlicher Oberflächenabfluss bei Beregnung.....	37

Abbildung 28 Absiebung für Korngrößenbestimmung.....	38
Abbildung 29 Überschüssiges Wasser wird abgehebert .....	39
Abbildung 30 Geöffnete Kübel zum Lufttrocknen .....	40
Abbildung 31 Auswiegen des Sediments.....	40
Abbildung 32 Zerkleinerung und Absiebung des Probenmaterials .....	41
Abbildung 33 Siebvorrichtung für die Bestimmung der Aggregatstabilität .....	42
Abbildung 34 Aufbau der Apparatur zur Messung der Rillenerosion.....	44
Abbildung 35 Kiesbett und Netz zur Abtrennung .....	44
Abbildung 36 Mit Markerflüssigkeit versetzter Abfluss.....	46
Abbildung 37 Gesamter Oberflächenabfluss der einzelnen Wiederholungen in $\text{mm h}^{-1}$ .....	50
Abbildung 38 Oberflächenabfluss im Zeitablauf des Twin-Systems in $\text{mm h}^{-1}$ .....	51
Abbildung 39 Oberflächenabfluss im Zeitablauf des Gänsefußscharsystems $\text{mm h}^{-1}$ .....	52
Abbildung 40 Prozentueller Oberflächenabfluss auf Grundlage der Regenmenge in Gesamtbetrachtung der jeweiligen Messreihen.....	53
Abbildung 41 Prozentueller Oberflächenabfluss im Zeitverlauf der Gänsefußscharparzellen.....	54
Abbildung 42 Prozentueller Oberflächenabfluss im Zeitverlauf der Parzellen des Twin-Systems.....	54
Abbildung 43 Gesamtmenge der Bodenerosion durch Wasser der einzelnen Messreihen in $\text{t ha}^{-1} \text{h}^{-1}$	55
Abbildung 44 Bodenabtrag im Zeitverlauf der Versuchspartellen beider Systeme in $\text{t ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ .....	56
Abbildung 45 Vergleich der Mittelwerte über alle Messreihen der beiden Systeme im Zeitverlauf.....	57
Abbildung 46 Wertevergleich aller einzelner Messwerte der Messreihen beider Hacksysteme.....	58
Abbildung 47 Sedimentkonzentration des Oberflächenabflusses im Gesamtvergleich des jeweiligen Systems.....	59
Abbildung 48 Sedimentabtrag im Vergleich zum Oberflächenabfluss im Zeitverlauf.....	60
Abbildung 49 Loslöserate als Funktion der Scherspannung.....	62
Abbildung 50 Zusammengefasste Erosionsberechnungswerte.....	64

---

## Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1 On- und Off-site Schäden durch Wassererosion (Maréchal, et al., 2008).....</i>	<i>17</i>
<i>Tabelle 2 Laborisch ermittelte Korngrößenverteilung, TOC Gehalt, pH Wert und Calciumcarbonatgehalt .....</i>	<i>24</i>
<i>Tabelle 3 Hauptfrüchte des Versuchsfeldes 2018-2022 .....</i>	<i>27</i>
<i>Tabelle 4 Bodenbearbeitungsmaßnahmen.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabelle 5 Kulturpflagemassnahmen.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabelle 6 Boxplotdaten des Systemvergleichs.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabelle 7 Aggregatstabilität Berechnung .....</i>	<i>61</i>

Oberflächenabfluss in Gramm im Zeitverlauf

G1		G2		G3		T1		T2		T3	
min	g	min	g	min	g	min	g	min	g	min	g
25,16	0	16	0	26	0	21,66	0	19,66	0	18	0
35	5969,6	36	1966,1	38	2219,1	30	4523,9	30	3665,3	28	1489,8
40	7010,6	46	2461,6	47	3125,9	37	5842,7	38	6212,7	40	5282,8
45	8882,1	54	5234,1	56	4399,6	43	6911,7	44	8055,7	47	9602,8
49	8091,0	59	5497,1	64	5440,4	48	6119,6	48	6806,8	52	8560,2
53	8632,2	63	4736,3	70	5423,1	53	5615,0	52	7635,9	56	7562,0
56	7080,7	67	5109,3	75	5853,0	58	5915,8	56	8323,7	60	7950,2
59	7362,2	71	5701,2	80	6689,6	63	6279,0	60	8725,9	64	8244,0
62	7516,3	75	6327,3	85	7388,3	68	7499,6	64	10630,0	68	8660,2
65	7891,4	86	2073,3	97	3190,2	77	3287,6	68	8327,0	94	7106,6
77	8635,9							77	4818,3		

Abgetragenes Sediment im Zeitverlauf

G1		G2		G3		T1		T2		T3	
min	g	min	g	min	g	min	g	min	g	min	g
25,16	0	16	0	26	0	21,66	0	19,66	0	18	0
35	46,06	36	5,18	38	13,86	30	6,83	30	5,54	28	8,25
40	58,28	46	12,96	47	18,9	37	6,88	38	8,21	40	57,65
45	96,56	54	39,09	56	20,7	43	7,6	44	12,55	47	75,97
49	101,94	59	45,11	64	26,93	48	5,94	48	9,63	52	55,39
53	110,45	63	35,89	70	38,79	53	5,18	52	11,41	56	42,38
56	87,6	67	45,51	75	37,71	58	5,3	56	11,69	60	41,52
59	81,97	71	66,09	80	77,87	63	6,63	60	13,04	64	43,97
62	90,61	75	74,3	85	76,74	68	8,83	64	15,26	68	37,75
65	105,07	86	8,77	97	13,38	77	2,58	68	11,96	94	8,26
77	46,12							77	3,63		

## Miniflume-Rillenerosionsversuch

slope												
0,05												
flow (cm <sup>3</sup> /s)	cup weight (g)	cup + soil (g)	soil weight (g)	time (s)	velocity (m/s)	D (m)	rh (m)	T (Pa)	Oomoch (m)	Aomoch (m <sup>2</sup> )	Dr (g/s/m <sup>2</sup> )	
2,25	93,28	93,28	0,00	20,11	0,05	0,01	0,00	1,29	0,02	0,01	0,00	
5,50	108,14	110,19	2,05	14,29	0,07	0,01	0,00	1,81	0,03	0,01	0,01	11,48
10,65	88,22	90,16	1,94	8,92	0,11	0,01	0,00	2,32	0,03	0,02	0,02	13,59
slope												
0,10												
flow (cm <sup>3</sup> /s)	cup weight (g)	cup + soil (g)	soil weight (g)	time (s)	velocity (m/s)	D (m)	rh (m)	T (Pa)	Oomoch (m)	Aomoch (m <sup>2</sup> )	Dr (g/s/m <sup>2</sup> )	
2,25	80,34	80,57	0,23	28,41	0,04	0,01	0,00	2,27	0,02	0,01	0,01	1,03
5,50	86,65	92,67	6,02	18,23	0,06	0,01	0,00	3,18	0,02	0,01	0,01	30,10
10,65	132,30	137,08	4,78	15,33	0,07	0,01	0,00	4,07	0,03	0,01	0,01	22,18
slope												
0,20												
flow (cm <sup>3</sup> /s)	cup weight (g)	cup + soil (g)	soil weight (g)	time (s)	velocity (m/s)	D (m)	rh (m)	T (Pa)	Oomoch (m)	Aomoch (m <sup>2</sup> )	Dr (g/s/m <sup>2</sup> )	
2,25	88,04	88,16	0,12	20,99	0,05	0,00	0,00	3,99	0,01	0,01	0,01	0,83
5,50	91,62	94,21	2,59	12,70	0,08	0,01	0,00	5,58	0,02	0,01	0,01	21,17
10,65	88,35	92,11	3,76	8,95	0,11	0,01	0,00	7,15	0,02	0,01	0,01	34,04