



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Quantifizierung von Bodenerosion –
Geländekartierung und Laserscananalysen in
Niederösterreich/Petzenkirchen

Verfasser

Thomas Bauer

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2011

Studienkennzahl lt. Studienblatt: a453

Studienrichtung lt. Studienblatt: Diplomstudium Theoret./ Angewandte Geographie

Betreuer: Univ. Prof. Dr., Thomas, Glade

Danksagung

Zu Beginn dieser Arbeit, möchte ich mich bei allen Menschen bedanken, die mir geholfen und mich unterstützt haben diese Arbeit zu realisieren.

Besonders möchte ich mich bei Bernhard Groiss für die Bereitstellung und Pflege der verwendeten Geräte aber auch für Tipps und Tricks im Umgang mit dem terrestrischen Laserscanner bedanken. Er hat wesentlich dazu beigetragen, dass die Messungen schnell und ohne Probleme durchgeführt werden konnten.

Die Messungen mit dem terrestrischen Laserscanner erforderten viel fachlichen Input. Diesen bekam ich von Rainer Bell, der mir auch einen Platz in seinem Büro und seinen Computer zu Verfügung gestellt hat. Neben einigen Diskussionen von Ergebnissen hat Rainer Bell mir außerdem den Kontakt zu Janos Faust von Geokonzept verschafft, welcher mich im Bezug zur technischen Anwendung der Software unterstützte. An dieser Stelle auch ein Dankeschön an Janos Faust.

Peter Strauss und seinem Team möchte ich ganz herzlich für die vielen Stunden, die ich bereits in Petzenkirchen im Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt tätig sein konnte, danken. Dort konnte ich meine Fragenstellung, Messungen, Kartierungen und teilweise auch Auswertungen mit ihm und seinen Mitarbeitern diskutieren und realisieren.

Ein weiterer herzlicher Dank gilt meinen Betreuer Thomas Glade, welcher durch sein Engagement diese Diplomarbeit sowie die Kontakte zu all den zuvor erwähnten Personen für mich herstellte. Bei Problemen und Fragen habe ich bei ihm immer ein offenes Ohr gefunden und eine hilfreiche Antwort erhalten. Weiters möchte ich mich auch beim Rest des Teams der physischen Geographie an der Universität Wien bedanken.

Auch Robert Peticzka möchte ich danken, er hat mir im Laufe meines Studiums gezeigt, dass der Boden unter meinen Füßen eine interessante Sache sein kann. Weiters konnte ich mit ihm diverse Detailfragen der Diplomarbeit diskutieren.

Zum Schluss möchte ich mich noch ganz besonders bei meinen Eltern und bei Anja bedanken für die Zeit und Geduld sowie das in mich investierte Kapital, dass mein Studium erst ermöglicht hatte.

Vorwort

Bodenerosion ist ein ernst zunehmendes globales Problem. Immer noch schwer abzuschätzen sind aber die Dimensionen – die Ausdehnung, Magnitude, und Rate – der Bodenerosion sowie die Einflüsse auf die Umwelt und die Ökonomie (Lal, 1994).

Diese Diplomarbeit widmet sich zwei unterschiedlichen Erfassungsmethoden von Erosionsformen, die durch Wassererosion hervorgerufen werden. Das Foto in Abbildung 1 zeigt eine durch Wassererosion hervorgerufene Rinne im Untersuchungsgebiet.



Abbildung 1, Foto einer Erosionsrinne im Untersuchungsgebiet

(Quelle: eigene Aufnahme)

a. Inhaltsverzeichnis

a.	Inhaltsverzeichnis	6
b.	Abbildungsverzeichnis	8
c.	Tabellenverzeichnis	9
1.	Einleitung und Hintergrund	10
1.1.	Rahmenbedingungen/Struktur der Arbeit	10
1.2.	Aktualität des Themas.....	11
1.3.	Definitionen	12
1.4.	Einflussfaktoren der Bodenerosion	12
1.4.1.	Bodeneigenschaften	12
1.4.2.	Topographie	13
1.4.3.	Klima.....	13
1.4.4.	Bodenbedeckung und Bodenbearbeitung	15
1.5.	Bodenerosion – Prozesse (Ablösung/Transport/Deposition).....	15
1.6.	Bodenerosion durch Wasser.....	16
1.6.1.	Ablösung und Transport	17
1.6.2.	Resultierende Formen	19
1.7.	Bodenerosion durch Wind	20
1.8.	Bodenerosion durch andere Faktoren.....	21
2.	Hypothesen	23
3.	Bisherige Arbeiten.....	25
3.1.	Grundlagen	25
3.2.	Kartierung.....	26
3.3.	Laserscanner	27
4.	Methodik.....	29
4.1.	Kartierung im Gelände	29
4.1.1.	Prinzipien	29
4.1.2.	Konkrete Vorgehensweise	30
4.1.3.	Bearbeitung der Daten.....	32
4.2.	Laserscanner.....	32
4.2.1.	Messprinzip.....	32
4.2.2.	Vorgehensweise im Gelände.....	34
4.2.3.	Bearbeitung der Daten.....	35
5.	Untersuchungsgebiet	39
6.	Datengrundlage.....	43
6.1.	Niederschlag.....	43
6.2.	Sedimentfracht, Abfluss und Schwebstoff	43
6.3.	Bodendichte	44
7.	Ergebnisse.....	45
7.1.	Berechnungen	45
7.1.1.	Kartierung	45
7.1.2.	Laserscanner.....	45

7.1.3.	Sedimentgehalt	46
7.2.	Daten.....	47
7.2.1.	Niederschlagsmessungen.....	47
7.2.2.	Sediment und Abflussmessungen	48
7.2.3.	Kartierung	49
7.2.4.	Laserscanner.....	57
7.2.5.	Gegenüberstellung der Ergebnisse Kartierung - Laserscanner.....	59
8.	Diskussion	61
8.1.	Kartierung.....	61
8.1.1.	Lage der Erosionsformen.....	61
8.1.2.	Rillengröße	65
8.2.	Laserscananalyse	65
8.3.	Gegenüberstellung und Unsicherheiten.....	67
8.3.1.	Unsicherheiten bei der Kartierung	67
8.3.2.	Unsicherheiten bei der Messung mittels terrestrischen Laserscanner ...	68
8.3.3.	Gegenüberstellung beider Messmethoden	69
8.4.	Allgemein.....	70
8.4.1.	Warum war der Niederschlag vom 25.04.2011 erosiv?	70
8.4.2.	Spezialform: Kastenform	71
8.4.3.	Sedimentfracht im Vorfluter	72
8.4.4.	Volumen versus Masse	72
8.4.5.	Wie sind die Ergebnisse in ihrem Wert zu verstehen?.....	73
8.4.6.	Menschlicher Einfluss	73
9.	Thesenbeantwortung.....	75
10.	Perspektiven und mögliche Anwendungen.....	79
10.1.	Kartierung	79
10.2.	Laserscanner	80
10.3.	Beide Methoden	81
11.	Zusammenfassung.....	83
12.	Abstract.....	85
13.	Literaturverzeichnis	87
13.1.	Internetquellen	93
(1)	Anhang: Legende zur Kartierung	94
(2)	Anhang: Produktdaten des terrestrischen Laserscanners	97
(3)	Anhang: Lebenslauf.....	98

b. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1, Foto einer Erosionsrinne im Untersuchungsgebiet	5
Abbildung 2, Organigramm des Ablaufs der Diplomarbeit	11
Abbildung 3, Hjulström-Diagramm Wassergeschwindigkeiten Erosion, Transport und Deposition in Bezug auf Sedimentgröße	14
Abbildung 4, Faktoren des Einflusses auf Erosion verursacht durch Wasser	16
Abbildung 5, Splash-Effekt und Fallgeschwindigkeiten von Regentropfen	18
Abbildung 6, Suspension, Saltation und Kriechen	21
Abbildung 7, Vermessung einer Rinne	31
Abbildung 8, Prinzipieller Aufbau eines Laserscanners,	33
Abbildung 9, Messung mit dem terrestrischen Laserscanner im Gelände	35
Abbildung 10, Vorgangsweise für die Bearbeitung der Daten in der Reconstructor Software	36
Abbildung 11, JRC- Reconstructor, - übereinander liegende Layer	38
Abbildung 12, Lage des Untersuchungsgebietes und des Gebietes für die Laserscananalyse	40
Abbildung 13, Hauptbodentypen im Einzugsgebiet	41
Abbildung 14, Einzugsgebiet des Seitengraben Baches Richtung Süden	41
Abbildung 15, Hang für die Erosionsmessung mittel Laserscanner, Richtung Norden	42
Abbildung 16, Reliefdarstellung und Oberflächenabfluss	42
Abbildung 17, Kumulierter Niederschlag	47
Abbildung 18, Niederschlagsmessstationen im Untersuchungsgebiet	48
Abbildung 19, Verlauf von Kennwerten im Vorfluter	49
Abbildung 20, Rillenvolumendiagramm	51
Abbildung 21, Karte Maßstab 1:8.000 – Kartierung	53
Abbildung 22, Erosionskartierung: Detailansicht Maßstab 1:5.000	54
Abbildung 23, Erosionskartierung: Detailansicht, Maßstab 1:1.500	55
Abbildung 24, Feldnummern	56
Abbildung 25, Ausschnitt aus der „inspection“ von JRC Reconstructor	59
Abbildung 26, Kumulierter Niederschlag (25.04.2011)	63
Abbildung 27, Foto der Erosionsform auf Wintergerste/-getreide	64
Abbildung 28, Rillen	67
Abbildung 29, Oberflächenrauigkeiten	71

c. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kennwerte des Untersuchungsgebietes.....	39
Tabelle 2: Datengrundlage	43
Tabelle 3: Sedimentfracht im Vorfluter	48
Tabelle 4: Volumina aller rillenhaften Erosionsformen.....	50
Tabelle 5: Volumina aller flächenhaft verbreiteten Rillenformen	52
Tabelle 6: Tabelle mit den Volumen der kartierten Akkumulationsflächen.....	52
Tabelle 7: Zusammenfassung aller kartierten Formen.....	53
Tabelle 8: Erosion pro Feld - Kartierung	56
Tabelle 9: Fehlerbestimmung bei der Kartierung	57
Tabelle 10: Bodenoberflächenveränderung - Laserscananalyse	57
Tabelle 11: Erosion und Verdichtung, Laserscananalyse	58
Tabelle 12: Vergleich der Ergebnisse von Kartierung und Laserscanner.....	60
Tabelle 13: Vergleich der Ergebnisse beider Methoden in t/ha	60
Tabelle 14: Rillenvergleich von Kartierung und Laserscananalyse.....	60
Tabelle 15, Rillenklassenverteilung	65

1. Einleitung und Hintergrund

1.1. Rahmenbedingungen/Struktur der Arbeit

Die Diplomarbeit und die damit einhergehenden Arbeiten im Gelände wurden im Zeitraum von November 2010 bis September 2011 durchgeführt. Die Untersuchungen im Gelände wurden im Frühjahr 2011 gemacht.

Die Struktur der hier vorliegenden Arbeit ist in Abbildung 2 dargestellt. Zuerst folgt eine kurze Einleitung, in welcher auf die Bodenerosion, die Einflussfaktoren und die damit einhergehenden Erosions- und Akkumulationsformen Bezug genommen wird. Zu Beginn werden die zu Grunde liegenden Hypothesen vorgestellt. In den ersten Kapiteln werden weiters die Erkenntnisse aus anderen Arbeiten, die ähnliche Methoden angewandt haben, besprochen sowie diese Arbeiten kurz vorgestellt.

Im anschließenden Methodik Teil wird auf die beiden für die Datenerhebung verwendeten Methoden, Kartierung im Gelände und Messung mit terrestrischem Laserscanner in Bezug auf Bodenerosion/Bodenoberflächenmessung, eingegangen. Sowie die konkreter Durchführung im Gelände besprochen. In einem weiteren Schritt werden Details zum Untersuchungsgebiet, in welchem die Versuche durchgeführt wurden ebenfalls vorgestellt.

Im Anschluss werden die Daten der Kartierung und des Laserscanner Verfahrens beschrieben, analysiert und interpretiert. Anhand der Analyseergebnisse werden die Ausgangsthesen evaluiert sowie ein Ausblick auf zukünftige Anwendungsbereiche und Perspektiven gegeben.

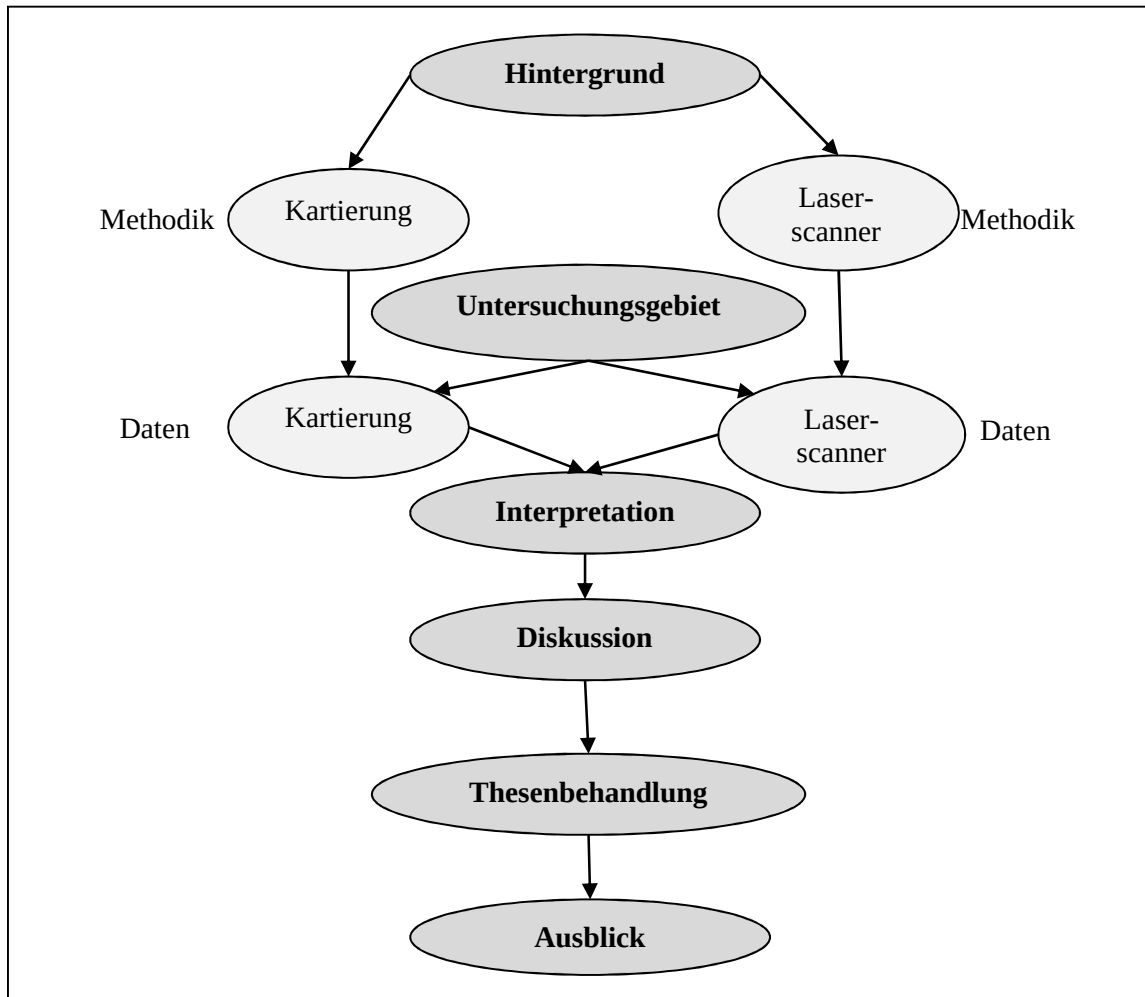


Abbildung 2, Organigramm des Ablaufs der Diplomarbeit

Auch wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass manche Begriffe aufgrund der internationalen Verwendung in Englisch angeführt sind, da die deutschen Übersetzungen nicht gebräuchlich sind.

1.2. Aktualität des Themas

Große Bodenerosionskatastrophen am Ende des 19. Jahrhunderts im mittleren Westen der USA führten zur intensiven Erforschung der Bodenerosion und Maßnahmen ihrer Minimierung (Bredurda und Richter, 1998). Seit dieser Zeit sind in Bezug auf die Erforschung dieser Prozesse sehr viele neue Erkenntnisse entstanden. Das österreichische Umweltbundesamt (2010) gibt in Bezug auf den Bodenzustand an, dass Bodenerosion an manchen Orten zu hohen Bodenverlusten führt. Es sind zukünftige Datenerhebungen zum Qualitäts- und Quantitätsverlust von Böden in Österreich zu fördern (Internetquelle: Umweltbundesamt Link 1).

Weiters heißt es im 8ten Umweltkontrollbericht (2007) des Umweltbundesamtes, dass über das Ausmaß der Bodenerosion in Österreich keine genauen Zahlen

vorliegen. Österreich hat aber gemäß des Bodenschutzprotokolls der Alpenkonvention seine erosionsgefährdeten Gebiete auszuweisen. Hierfür sind detaillierte Untersuchungen, besonders zur Quantifizierung des Bodenabtrags, notwendig (Internetquelle Umweltbundesamt Link 2).

In Österreich waren 1999 rund 13 Prozent der landwirtschaftlich genutzten Fläche von potentieller Erosion betroffen. Dies entspricht 439 300 ha, oder 5,2 Prozent der gesamten österreichischen Bundesfläche (Strauss und Klaghofer, 2006).

In Klaghofer (2002) wird hingegen angegeben, dass bis zu 20 Prozent der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Österreich von niederschlagsbedingtem Bodenabtrag betroffen ist. Die Schwankungsbreite des Abtrages wird von einigen Tonnen pro Hektar bis zu 100 Tonnen bei Extremereignissen angegeben.

1.3. Definitionen

Unter Bodenerosion wird das Abtrennen und die Verfrachtung von Bodenpartikel über ein natürliches Maß hinaus verstanden. Der Prozess der Bodenerosion wird in Ablösung, Sedimentationstransport und Deposition unterteilt. Der Term „sediment yield“ bezeichnet die Menge an erodiertem Material, welches einen bestimmten Punkt am Ende einer begrenzten Fläche verlässt. Bei dieser Fläche kann es sich um ein kleines Areal, ein Feld oder ein Einzugsgebiet handeln (Mutchler et al.; 1994; Toy et al.; 2002).

Boden ist eine natürliche Ressource, welche nur in langen Zeitspannen erneuerbar ist. Bodenerosion ist ein Hauptgrund für die irreversible Degradation von Landflächen (Bissonnais et al., 2001). Neben dem Bodenabtrag und dem damit verbundenen Materialverlust lassen sich auch Schäden abseits dieser Flächen feststellen. Dies sind Verschmutzungen und Zuschüttungen von landwirtschaftlichen Flächen, Gewässern und Infrastruktur. Ebenso werden dem Boden Nährstoffe entzogen und in andere Systeme eingespeist (Bissonnais et al., 2001; Grazhdani und Shumka, 2007; Klaghofer, 2002).

1.4. Einflussfaktoren der Bodenerosion

Die Anfälligkeit eines Bodens gegenüber Erosion ist komplex. Sie ist abhängig von einer Vielzahl an unterschiedlichen Eigenschaften des Bodens, der Topographie, des Klimas und der Bodenbedeckung (Lal und Elliot; 1994).

1.4.1. Bodeneigenschaften

Erodibilität ist ein für den Boden charakteristisches Maß zur Beschreibung der Anfälligkeit gegenüber Ablösungs- und Transportprozessen. Die Erodibilität bezieht

sich auf Einflussfaktoren, die die Bodenerosion bedingen (Morgan, 1986; Lal und Elliot 1994).

Die Erodibilität variiert mit der Bodenart, der Aggregatstabilität, dem Wassergehalt, der Scherfestigkeit, der Infiltrationskapazität und dem Gehalt an organischen und chemischen Stoffen (Morgan, 1986). Durch die Erosion der oberen Bodenschichten können tiefer liegenden Schichten mit höherer/geringerer Erodibilität an die Oberfläche gelangen (Lal und Elliot; 1994).

Die Scherfestigkeit gibt an, wie hoch die Kohäsivität und die Resistenz eines Bodens gegenüber Scherkräften ist. Scherkräfte an der Bodenoberfläche können durch fließendes Wasser, Wind und mechanische Beanspruchung entstehen (Morgan, 1986).

Die Infiltrationskapazität eines Bodens ist abhängig von der Porengröße, der Stabilität der Poren und der Beschaffenheit des Bodenprofils. Sie bedingt den Oberflächenabfluss (Morgan, 1986).

Die organischen und chemischen Bestandteile sind im Bezug zur Aggregatsstabilität wichtig (Morgan, 1986).

1.4.2. Topographie

Erosion ist ein maßstabsabhängiger Prozess. Ein Grund dafür sind die Einflüsse von Hanglänge, Relief Eigenschaften sowie räumliche Veränderungen von Bodenoberflächeneigenschaften. Diese Eigenschaften bestimmen ob erodiert, transportiert oder deponiert wird (Cerdan et al. 2006).

Die Topographie bedingt die Erosionskapazität des abfließenden Wassers. Die Erosionskapazität steigt mit der Steilheit und der Größe der hangaufwärts liegenden Fläche. Auch die Form des Hanges spielt eine Rolle (Auerswald, 1998; Toy et al.; 2002).

1.4.3. Klima

Erosivität ist ein bedeutender Faktor, welcher die Magnitude der Bodenerosion beeinflusst. Er ist ein Ausdruck dafür, die Ablösungen oder Transporte von Bodenmaterial hervorgerufen durch die Einflussfaktoren Wasser und Wind, zu beschreiben (Morgan, 1986; Lal und Elliot, 1994).

In Zusammenhang mit dem erosionsbedingendem Medium ist die Bodentextur wichtig, da große Aggregate wesentlich mehr Energie benötigen um bewegt zu werden als kleinere Teilchen (Morgan, 1986).

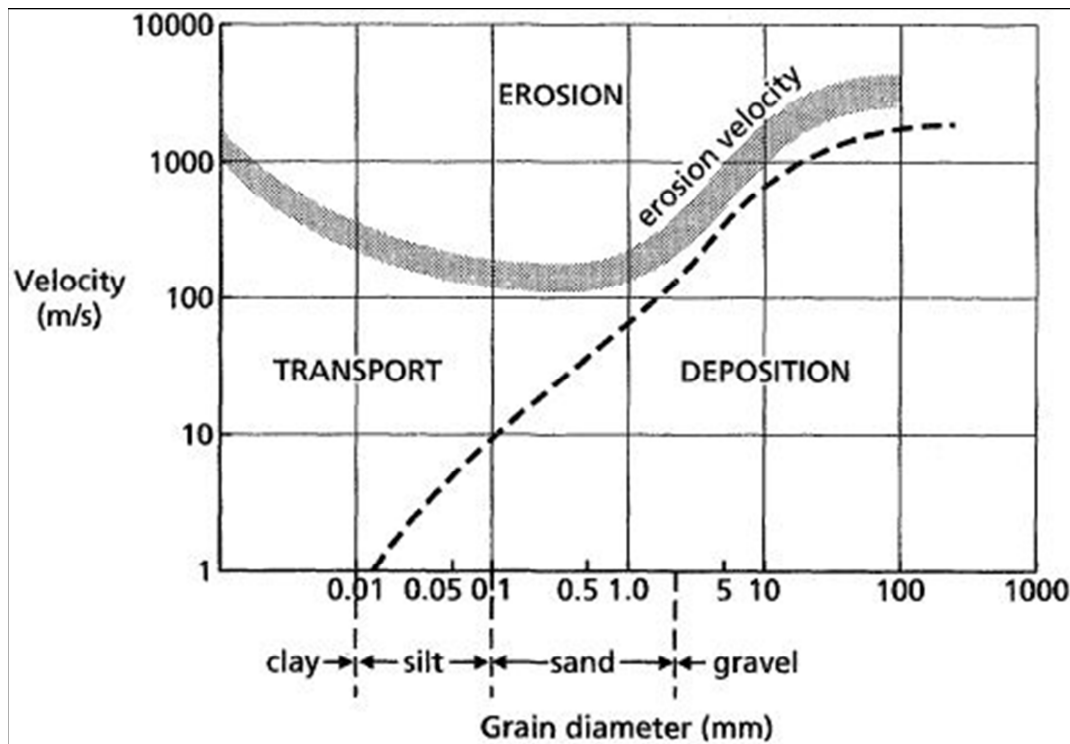


Abbildung 3, Hjulström-Diagramm Wassergeschwindigkeiten Erosion, Transport und Deposition in Bezug auf Sedimentgröße

(Quelle: Internetquelle: Wordpress)

Das Hjulström-Diagramm in Abbildung 3 zeigt das Verhalten von bestimmten Partikelgrößen bei einer vorgegebenen Strömungsgeschwindigkeit. Um Partikel bestimmter Größe zu transportieren, abzulagern oder erodieren zu können muss das Medium Wasser einen partikelgrößenabhängigen Grenzwert über- oder unterschreiten.

So sind sandige Böden leichter ablösbar, aber weniger leicht transportierbar als schluffige Böden. Tonige Böden sind zwar schwer ablösbar, dafür entstehen auf ihnen aber höhere Strömungsgeschwindigkeiten, aufgrund des größeren Oberflächenabflusses. Dies kann wiederum die Erosion erhöhen. Schluffige Böden weisen die höchste Erodibilität auf, da die Partikel leicht ablös- und transportierbar sind (Lal und Elliot, 1994).

Die Menge an Boden, die erodiert wird, hängt von der Menge an potentiell zu Verfügung gestelltem Material sowie von der Transportkapazität des erodierenden Mediums ab. Man kann hier zwischen ablösungslimitierter und transportlimitierter Erosion unterscheiden. Ablösungslimitiert bedeutet, dass mehr Material transportiert werden kann als zu Verfügung steht. Transportlimitiert meint, dass die Transportkapazität zu gering ist um das Gesamte zu Verfügung stehende Material zu transportieren (Morgan, 1986). Die Transportkapazität ist eine Funktion der Erosivität und hängt wiederum von der Partikelgröße und deren Dichte ab (Toy et al., 2002).

Sie wird von der Topographie, Vegetation und den Bodeneigenschaften beeinflusst (Mutchler et al., 1994).

Bei der Erosion durch Wasser und Wind handelt es sich um Prozesse, die sich im Zeitverlauf sehr stark ändern können. Beide Prozesse hängen direkt mit dem Klima zusammen und variieren daher auch räumlich sehr stark. Die Bodeneigenschaften ändern sich aber auch im Zeitverlauf und führen zu unterschiedlichen Erosionsmengen (Toy et al., 2002). Viele Erosionsprozesse, verursacht durch Wind und Wasser, sind ähnlich. Sie geschehen aber unter unterschiedlichen Umweltbedingungen. Die Wassererosion ist vor allem in feuchten Gebieten zu finden, während die Winderosion in trockenen Landschaften stattfindet (Toy et al., 2002). In Österreich ist die Erosion des Bodens vor allem auf Wassererosion zurückzuführen. Im östlichen Österreich spielt aber auch die Winderosion eine beträchtliche Rolle (Strauss und Klaghofer, 2006).

1.4.4. Bodenbedeckung und Bodenbearbeitung

Microtopographie und Rauigkeit sind hoch dynamische Eigenschaften der Bodenoberfläche. Sie beeinflussen den Oberflächenabfluss und die unterschiedlichen Erosionsprozesse (Darboux, 2001; Haubrock et al., 2009).

Da der Mensch in seinem Wirken die natürliche Pflanzendecke beseitigt spielt der anthropogene Einfluss bei der Bodenerosion eine große Rolle. Durch ackerbauliche Nutzung werden vorwiegend Pflanzen angebaut, die den Boden nur zeitweise bedecken oder größere Teile der Oberfläche dazwischen freilassen (Bredurda und Richter, 1998). Vor allem auf brachliegenden Flächen ist die Erosion meist am höchsten (Boardman, 2006).

Einige dieser Eigenschaften können sich im Laufe der Zeit durch Landnutzung verändern (Lal und Elliot; 1994). Dadurch ist bei der Erosion zu beachten, dass die Werte zwischen einzelnen Messungen stark schwanken können. Durch Veränderungen der Erodibilität der Böden, Ausbildung von Krusten und Pflanzenbedeckungsgrad kommt es zu großen jährlichen und saisonalen Schwankungen in den Abtragungsraten. Räumlich gesehen ist die Erosion sehr variabel und hängt von vielen Faktoren ab. Weiters können vorangegangene klimatologische Ereignisse die Erodibilität des Bodens soweit verändern, dass sich die Erosivität stark verändert (Morgan, 1986; Stroosnijder, 2005).

1.5. Bodenerosion – Prozesse (Ablösung/Transport/Deposition)

Bodenaggregate können durch eine Vielzahl von Prozessen so weit zerkleinert werden, dass sie durch Wind und Wasser transportierbar sind. In diesem

Zusammenhang steht die kinetische Energie, sie ist ausschlaggebend ob und wie Bodenaggregate zerkleinert werden (Morgan, 1986).

Der Erosion und dem Transport von Sediment einer Landschaft liegen die Prozesse der Ablösung des Materials, des Transportes vom Ursprung bis in die Sedimentfracht, des Transportes des Sedimentes und der Ablagerung aus der Sedimentfracht zu Grunde. Dies gilt sowohl für Erosion durch Wasser als auch durch Wind (Toy et al., 2002).

Nimmt die Transportkapazität abrupt ab oder die Sedimentfracht wird größer als die Transportkapazität, wird die Sedimentfracht deponiert (Mutchler et al., 1994; Toy et al., 2002).

Da je nach einwirkenden Klimaparametern die Ablösung, der Transport und die Deposition unterschiedlich stattfinden, beschreiben die folgenden Kapitel unterschiedliche Faktoren die Bodenerosion auslösen können.

1.6. Bodenerosion durch Wasser

Das Klima, die Topographie, der Boden und die Landnutzung sind die vier wesentlichen Faktoren, welche die Erosion durch Wasser und Sedimentation von Partikel beeinflussen (Toy et al., 2002).

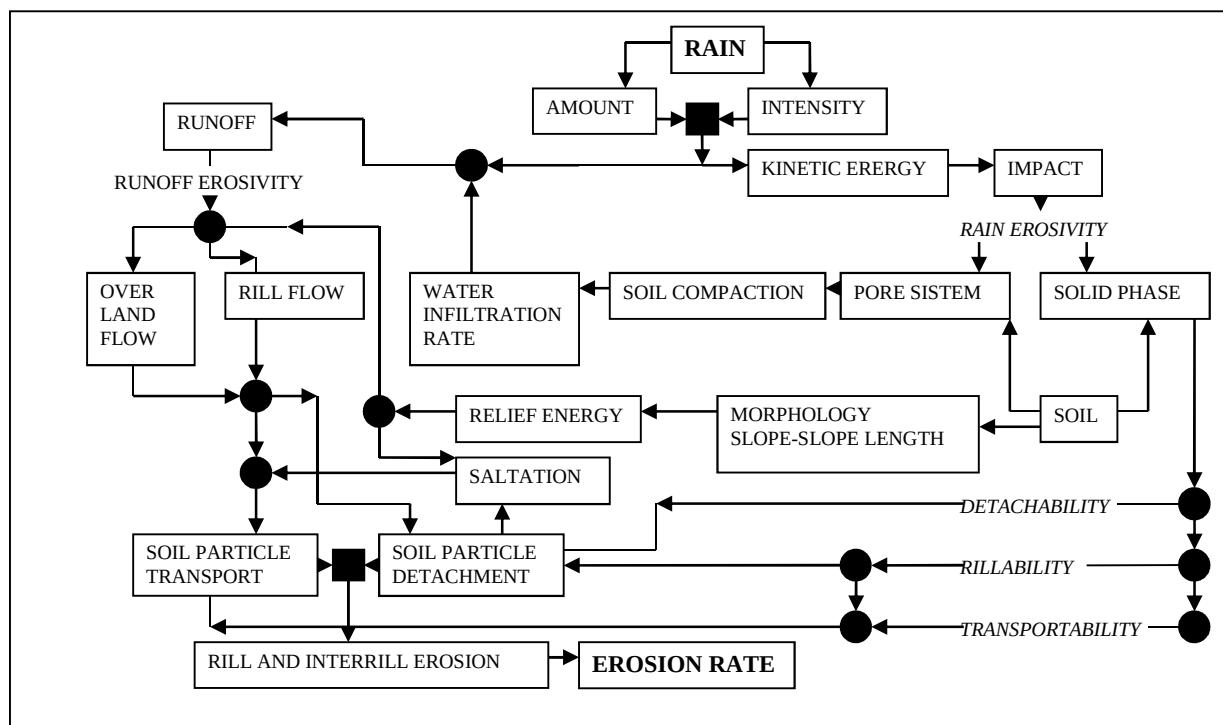


Abbildung 4, Faktoren des Einflusses auf Erosion verursacht durch Wasser

(Quelle: Chisci, 1981, S.334, verändert)

Die Abbildung 4 stellt die unterschiedlichen Prozesse dar, die zu Bodenerosion führen. Ausgehend vom Niederschlag und den Bodeneigenschaften wirkt in Abhängigkeit der Regenmenge und der Intensität eine kinetische Energie auf die feste Phase des Bodens ein. Diese ist in hohem Maße ausschlaggebend für die Prozesse der Ablösung, des Transportes und der Fähigkeit Erosionsrillen auszubilden. Außerdem wird der Boden in seinen Eigenschaften durch die wirkende Kraft verändert, was das Porensystem wesentlich beeinflusst. Es kommt zu einer Kompaktion des Bodens und damit sinkt die Infiltrationsrate. Hier kann sich die Intensität und Niederschlagsmenge auf den Abfluss an der Oberfläche auswirken. Dieser kann gebündelt in Rillen/Rinnen oder als Oberflächenabfluss stattfinden. Der Abfluss wirkt sich neben den Bodeneigenschaften und der Exposition auf die Ablösung und den Transport von Bodenmaterial aus. In der Abbildung lässt sich erkennen, dass die Einflüsse der kinetischen Energie des Regens und die Einflüsse des Abflusses wieder aufeinander treffen. Abschließend entscheidet die Kombination all dieser Faktoren und Prozesse, ob eine rillenhafte oder flächenhafte Erosion stattfindet und wie hoch die Erosionsrate ist.

Die für die Bodenerosion durch Wasser ausschlaggebenden Prozesse sind Infiltration, Abfluss, Ablösung und Transport verursacht durch Regentropfen und Oberflächenabfluss. Von Horton'schen Oberflächenabfluss spricht man, wenn die Niederschlagsintensität höher ist als die Infiltrationskapazität. Im Gegensatz dazu steht der Sättigungsabfluss, bei diesem hat der Boden seine maximale Wasserkapazität erreicht (Lal und Elliot, 1994; Toy et al., 2002).

Die Erosion durch Oberflächenabfluss wird als flächenhafte Erosion (engl.: interrill erosion) bezeichnet (Lal und Elliot, 1994; Toy et al., 2002). Bei der flächenhaften Erosion wird zwischen Regentropfenerosion (engl.: splash erosion) und Flächenspülung (engl.: sheet erosion) unterschieden (Klaghofer, 2002).

Im Gegensatz dazu steht die Erosion im konzentrierten Abfluss - die lineare Erosion (engl.: rill erosion). Der Boden wird durch das Fließen des Wassers und die damit verbundenen Kräfte abgetragen (Toy et al., 2002). Die lineare Erosion lässt sich je nach Größe der resultierenden Form in Rillen-, Rinnen- und Gullyerosion unterteilen (Klaghofer, 2002).

Eine Landschaft lässt sich somit im Sinne der Erosions- und Depositionsformen als ein Geflecht an Rillen, Rinnen und den Zwischenrillbereichen beschreiben (Mutchler et al., 1994).

1.6.1. Ablösung und Transport

Durch Austrocknung des Bodens kann bei starken Niederschlagsereignissen Luft in die Bodenaggregate gepresst werden. Hierbei kann ein so hoher Druck innerhalb der

Aggregate entstehen, dass sich in Folge Mikrorisse bilden. Die Bodenaggregate werden so zerkleinert und transportierbar gemacht (Auerswald, 1998).

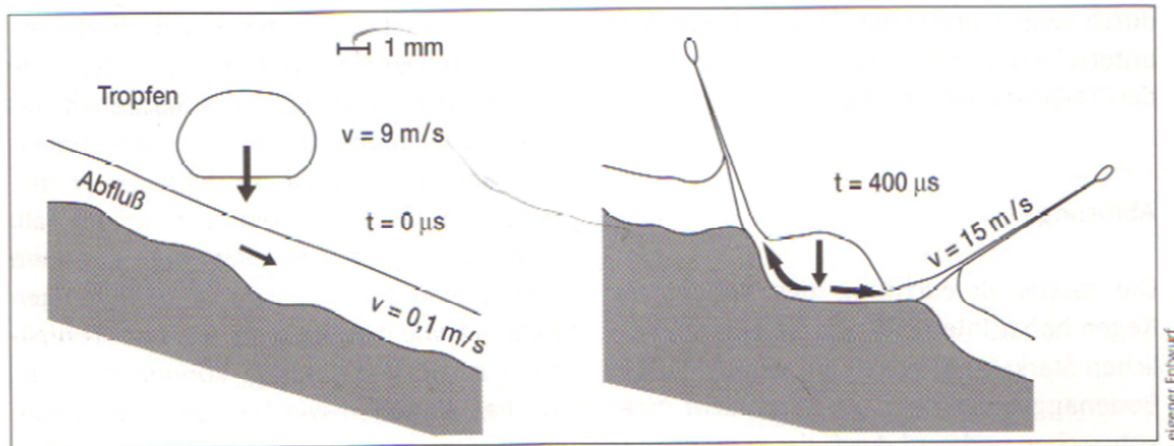


Abbildung 5, Splash-Effekt und Fallgeschwindigkeiten von Regentropfen

(Quelle: Auerswald, 1998, S. 34)

Fallende Regentropfen können durch die hohe Fallgeschwindigkeit Bodenaggregate zerkleinern. Durch das rasche Fallen von Regentropfen kann das in ihnen gespeicherte Wasser nicht in den Boden infiltrieren und muss seitlich ausweichen. Die hohe Geschwindigkeit des Ausweichens verursacht an der Bodenoberfläche hohe Scherspannungen. Dadurch sind Tropfen in der Lage Bodenteilchen aus ihren Aggregaten zu reißen (Auerswald, 1998; Morgan, 1986).

Das Wasser, das nun Bodenteilchen enthält und wegspritzt, wird vom Wasserfilm der Oberfläche in seiner Bewegung behindert und muss schräg nach oben ausweichen. So wird aus dem Boden Material gelöst, welches durch Oberflächenabfluss weitertransportierbar ist. Dieser Prozess wird als Splash Effekt bezeichnet (Auerswald, 1998). Die Effektivität des Splash Effekt nimmt mit der Wasserfilmdicke ab. Wird der Wasserfilm zu dick wird der Boden fast vollständig vom Splash Effekt geschützt (Morgan, 1986).

Die Menge an Sediment, die durch einen einzelnen Tropfen bewegt wird, ist davon abhängig, ob es sich um einen Boden mit starker oder geringer Kohäsion handelt. Bei stark kohäsiven Böden ist die transportierte Sedimentmenge um ein vielfaches geringer (Toy et al., 2002).

Am Anfang des durch Splash Effekt induzierten Erosionsereignisses reicht der Oberflächenabfluss meist noch nicht aus, um die entstandenen Feinmaterialien abzutragen. Daher wird es mit dem infiltrierenden Wasser in die Poren geschwemmt. Die Bodenporen werden verschlammmt und es kann weniger Wasser in den Untergrund gelangen. Es bildet sich eine Verschlämmungsschicht an der Bodenoberfläche aus (Morgan, 1986). Dies bewirkt einen Anstieg im Oberflächenabfluss. Wenn der Oberflächenabfluss zunimmt können auch

Sandkörner und kleineres Material transportiert werden (siehe Hjulström Diagramm in Abbildung 3). Dies führt soweit, bis das gesamte gelockerte Feinmaterial wegtransportiert werden kann (Auerswald, 1998; Morgan, 1986).

Wenn der Oberflächenabfluss vom linearen in den turbulenten Strömungszustand übergeht, kann er sich in den Untergrund einschneiden und Rillen ausbilden, wo sich der Abfluss sammelt (Morgan, 1986)

Die Unterscheidung zwischen linearem und turbulentem Strömungszustand kann über die Froude-Zahl getroffen werden. Werte <1 kennzeichnen den linearen Strömungszustand, Werte >1 eine turbulente Strömung. Die Froude-Zahl kann über folgende Formel berechnet werden:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g * h}}$$

wobei:

Fr...	Froude-Zahl
V...	Strömungsgeschwindigkeit
g...	Erdbeschleunigung
h...	hydraulischer Radius ist (Internetquelle: GeoLexikon).

Die Spannweite der Froude-Zahl wo sich Wasser in Form von Rillen in den Boden einschneidet liegt in einem Bereich der von 0,8 – 1,2 reicht (Morgan, 1986).

Je nach Bodentextur und wirkenden Kohäsionskräften sind die Böden auf Einschneidung unterschiedlich anfällig. Bei steigender Transportkapazität und schießendem Abfluss beginnt die Einschneidung in Form von Treppen, an so genannten Sprungstellen, aus denen sich dann Rillen bilden können (Auerswald, 1998; Toy et al., 2002).

Die Lage der Rillen ist entweder geomorphologisch bedingt (Rillen im Thalweg) oder auch mit landwirtschaftlicher Bodenbearbeitung in Zusammenhang zu bringen (Erosion in Fahrspuren und Ackerrandfurchen) (Klaghofer, 2002; Toy et al., 2002).

Die größte Transportkapazität wird in Rillen erreicht, wobei der Bereich zwischen den Rillen diese zusätzlich mit Material versorgt (Auerswald, 1998).

1.6.2. Resultierende Formen

Die Ablagerung von Material geschieht dann, wenn die Transportkapazität abnimmt oder die Sedimentfracht die Transportkapazität übersteigt. Die Deposition ist ein selektiver Prozess, da zuerst die groben Partikel abgelagert werden (Auerswald, 1998; Toy et al., 2002).

Flächenhafte Erosion, wie sie in den Bereichen zwischen den Rillen durch Splash Effekt und Oberflächenabfluss verursacht wird, ist durch eine verschlammte Bodenoberfläche zu erkennen. Ebenso kann sich eine Schicht aus groben Partikeln,

die nicht transportiert wurden, an der Oberfläche ausbilden (Auerswald, 1998; Toy et al., 2002).

Die rillenhafte Erosion führt hingegen zu linearen Formen der Erosion. Die Rillen können auch aus vielen verzweigten Abflussbahnen bestehen. Als Rillen werden lineare Erosionsformen angesehen mit einer Tiefe bis 15 cm. Durch die zunehmende Transportkraft des Wassers kann es ausgehend von Rillen zur Ausbildung von Rinnen kommen. Rinnen sind resultierende Formen im Bereich von 15-45 cm Tiefe. Von Gully oder Graben Erosion, spricht man bei tieferen linearen Formen. Diese können mehrere Meter breit und tief werden (Auerswald, 1998; Rohr et al. 1990). Bei Gullys handelt es sich um permanent bestehende steilwandige Wasserwege. Sie führen vor allem bei starken Niederschlagsereignissen Wasser. Sie sind relativ tief und eher schmal und können eine große Menge an Sediment transportieren. Gullys werden meist mit vorangeschrittener Erosion und Instabilität der Landschaft in Verbindung gebracht (Morgan, 1986). Im Gegensatz zu den sich ständig vergrößernden Gräben stehen die „ephemeral gullies“. Diese sind temporär bestehende Gräben die durch landwirtschaftliche Maßnahmen beseitigt werden (Casali et al, 2006; Prasuhn, 2011).

Die Geometrie des Kanals und die Erosionsrate in linearen Formen sind Funktionen von Bodenerodibilität, Steilheit des Hanges, Abfluss und Kohäsion der Böden. Die Formen schneiden sich leicht ein und haben dadurch steile Flanken. Durch die Ausbildung von unterschiedlichen Bodenhorizonten mit unterschiedlichen Eigenschaften, kommt es beim Erreichen eines anderen Horizontes zu veränderten Erosionsbedingungen. Meist sind die unten liegenden Bodenhorizonte schwerer erodierbar und die Rillen verbreitern ihren Querschnitt. Dies geschieht solange, bis sich wieder ein Gleichgewicht aus dem Querschnitt und der Abflussrate, der Hangsteilheit und dem kritischem Scherstress eingestellt hat (Toy et al., 2002).

1.7. Bodenerosion durch Wind

Ausschlaggebende Faktoren für die Erosion durch Wind sind Erodierbarkeit des Bodens, Klima, Vegetationsdecke und Rauigkeit des Geländes sowie der Bodenoberfläche (Hasenpflug, 1998; Toy et al., 2002).

Die treibende Kraft hinter der Winderosion ist die Windgeschwindigkeit (Morgan, 1986). Die Korn- und Sanderosion wird direkt durch den auf den Boden wirkenden Windschub ausgelöst. Beim Überschreiten der Schwellengeschwindigkeiten können die einzelnen Bodenpartikel in Bewegung gesetzt werden (Hasenpflug, 1998; Morgan, 1986).

Bei der Bewegung von Bodenpartikeln durch Wind unterscheidet man zwischen Saltation, Suspension und Bodenkriechen. Die Saltation bezeichnet eine springende Bewegung der Bodenteilchen. Jene Sedimente, die über Suspension transportiert werden, können weite Strecken überwinden bevor sie deponiert werden, wobei anzumerken ist, dass lediglich Partikel mit geringer Korngröße suspendiert werden.

Sedimente, die durch Kriechen oder Saltation bewegt werden, lagern sich meist in der Nähe des Ursprungsgebietes wieder ab. Bei Partikeln, die durch Kriechen bewegt werden, handelt es sich um Größere. (Morgan, 1986; Toy et al., 2002).

In der Abbildung 6 sind die unterschiedlichen Arten der Bewegung, abhängig von der Korngröße und der Windgeschwindigkeit, dargestellt. Kleine Partikel mit einem Durchmesser kleiner 100 μm werden in höhere Luftschichten als Suspension transportiert. Partikel mit einem Durchmesser bis zu 1 mm bewegen sich springend über die Bodenoberfläche. Größere Partikel mit einem Durchmesser bis zu 2 mm bewegen sich kriechend fort.

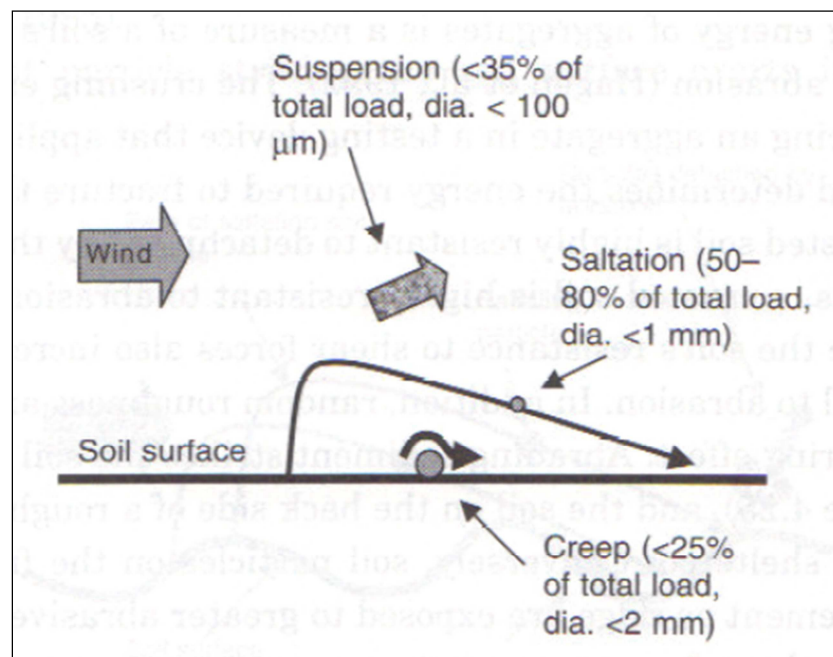


Abbildung 6, Suspension, Saltation und Kriechen

(Quelle: Toy et al., 2002; S. 114)

Die resultierenden Formen der Winderosion sind sehr unterschiedlich. Hierbei handelt es sich um flächenhafte Erniedrigungen im Millimeter- bis Zentimeterbereich sowie um Sandfahnen und flächenhafte Übersandung oder Überstaubung im Aufschüttungsbereich (Hasenpflug, 1998; Toy et al., 2002). Winderosion entfernt selektiv die feineren Bodenpartikel, die gröberen bleiben vor Ort (Toy et al., 2002).

Als Abrasion wird jener Prozess bezeichnet, bei dem bereits in Bewegung befindende Partikel auf den Boden fallen und vorhandene Aggregate zerkleinern können (Toy et al., 2002).

1.8. Bodenerosion durch andere Faktoren

Auch andere Prozesse können zu einer Bodenerosion oder Verlagerung von Bodenmaterial führen. Eine Sonderform der Wassererosion stellt die Erosion durch Schneeschmelze dar.

Für die Schneeschmelzerosion gelten andere Bedingungen als für Regenerosion. Dies sind veränderte Abflussrichtungen und Wasserflächen durch die Schneelage. Der Abfluss bei Schneeschmelze kann oft über längere Zeit erfolgen als dies bei der Erosion durch Regen der Fall ist (Richter, 1998).

Bodenerosion kann aber auch noch durch viele weitere Prozesse stattfinden. Diese Prozesse können natürlicher Art sein, wie die Verlagerung von Bodenmaterial durch hangabwärts gerichtete Massenbewegungen, besonders im steileren Gelände kann dies nach Regenfällen auftreten. Ebenso wird der mechanischen Erosion durch Feldbearbeitung eine große Bedeutung zugeschrieben (Toy et al., 2002).

Die Erosion durch landwirtschaftliche Bearbeitung (engl.: tillage erosion) kann in vielen Gebieten gleiche oder höhere Werte wie die Erosion durch Wasser erreichen (Auerswald, 1998b; VanOost et al., 2006). Je nach Steilheit des Hanges und Bearbeitungsrichtung verändert sich auch die Menge an verlagertem Material (VanOost et al., 2006). Bei der Bodenumlagerung durch Bodenbearbeitung sind vor allem die Schultern, Kuppen und Felldränder sehr stark betroffen. Aber auch die Akkumulation von mechanisch erodiertem Bodenmaterial ist etwa in Mulden höchsten. Dies wirkt sich auf die resultierenden Landschaftsformen aus. Die mechanische Bodenverlagerung wirkt sich eher in einer glättenden Weise auf die Landschaftsformen aus. Durch die Bewegung von Bodenmaterial ausgehend von konvexen Hanglagen hin zu konkaven werden die Hangwinkel reduziert (Auerswald, 1998b; VanOost et al., 2006).

2. Hypothesen

Da es sich bei der hier vorliegenden Arbeit um eine Diplomarbeit handelt und diese in einem relativ kurzen Zeitrahmen (6-12 Monate) durchgeführt werden soll, wurde entschieden, dass ein einzelnes Niederschlagsereignis und die damit einhergehende Bodenerosion untersucht wird.

In der verwendeten Literatur wird darauf hingewiesen, dass das Spektrum der zeitlichen Auflösung von Bodenerosionsbetrachtungen von einzelnen Niederschlägen bis hin zur Betrachtung über längere Zeiträume reicht (Toy et al., 2002; Stroosnijder, 2005).

Ebenso ist der Maßstab im Wesentlichen an der für die Diplomarbeit zur Verfügung stehenden Zeit gebunden. Für die Größe der betrachteten Fläche, gibt Stroosnijder (2005) an, dass die Messung der Veränderung der Bodenoberfläche, sowie die Sedimentsammlung bei einer Betrachtung eines Einzugsgebietes (>50 ha) am besten ist.

Bei der Wahl zwischen Labor und Feldversuch, wurde eine Untersuchung im Gelände gewählt.

Die Vorteile bei den Untersuchungen im Gelände sind einerseits, dass die Messungen im passenden Maßstab durchgeführt werden können. Andererseits herrschen im Gelände realistische Bedingungen vor, was die Vegetation, die Bodeneigenschaften und die Veränderung über Zeitspannen betrifft (Evans, 2002; Prasuhn, 2010; Stroosnijder, 2005)

Die Anwendung von terrestrischen Laserscannern zeigt, dass sich im Laborversuch feststellen lässt, dass mit Hilfe von Laserscannern eine hohe Auflösung und Präzision erreicht werden kann. Die Arbeit mit Laserscannern im Feld ist möglich, jedoch kompliziert und es wird angenommen, dass die Datengenauigkeit abnimmt (Jester und Klik, 2005). Durch die mehrmalige Aufnahme von gleichen Ausschnitten eines Geländes über eine Zeitspanne lassen sich mit terrestrischen Laserscannern multitemporale Analysen über die Veränderung der Bodenoberfläche und dem dadurch umgelagerten Volumen an Bodenmaterial durchführen (Haubrock et al., 2005).

Die für diese Diplomarbeit als wichtig ausformulierten Arbeitsthemen sind:

These 1: Erosionsformen sind im Untersuchungsgebiet durch manuelle Begehung erkenn- und kartierbar. Daraus kann das Volumen des umgelagerten Bodens bilanziert werden, sowie der Bodenverlust bestimmt werden.

Vorgehensweise: Zu diesem Zweck wird das Frühjahr als Untersuchungszeitpunkt gewählt, da hier der Vegetationsbewuchs noch am geringsten ist. Außerdem wird nur auf landwirtschaftlich genutzten Flächen eine Kartierung vorgenommen. Anhand von diversen Kartieranleitungen ist es möglich eine Kartierung von Erosions- und Akkumulationsformen im Gelände nachvollziehbar durchzuführen. Als Untersuchungsgebiet wird das Einzugsgebiet eines Baches gewählt.

These 2: Mit der Benutzung von Laserscannern lässt sich die Oberfläche eines Geländes in der für Erosionsbetrachtung geforderten Genauigkeit aufzeichnen.

Vorgehensweise: Zu diesem Zweck wird ein Feld/Hang im Untersuchungsgebiet ausgewählt, das für die Messungen mit terrestrischen Laserscannern gute Voraussetzungen liefert. Dies sind: ein Gegenhang, von dem die Messung stattfindet, eine starke Hangneigung und Schwarzbrache im Winter.

These 3: Durch Messungen mit hochauflösenden terrestrischen Laserscannern lässt sich die Mikrotopographie eines Hanges bestimmen. Anhand vom mehrmaligen Einsatz eines terrestrischen Laserscanners im Gelände können die unterschiedlichen Akkumulations- und Erosionsformen in ihrer Größe berechnet werden. Daraus kann das Volumen des umgelagerten Bodens bilanziert werden, sowie der Bodenverlust bestimmt werden.

Vorgehensweise: Zu diesem Zweck wird das betrachtete Feld in zeitlichen Abständen mit dem terrestrischen Laserscanner aufgenommen. Diese Aufnahmen werden miteinander verglichen und die Unterschiede berechnet. Die Aufnahmen erfolgen vorzugsweise im Frühjahr, mit kurzen zeitlichen Abständen zwischen diesen.

These 4: Die beiden Methoden Laserscananalyse und Kartierung sind miteinander vergleichbar, und es lassen sich Vorteile beziehungsweise Nachteile der einzelnen Methoden nennen und gegeneinander abwägen.

Vorgehensweise: Für jenes Gebiet, wo mit Laserscanner gemessen wird, wird die manuelle Kartierung der Erosions- und Akkumulationsformen im Gelände mit einem genaueren Grad durchgeführt. Die Ergebnisse der beiden Messmethoden werden miteinander verglichen. Für die genaue Analyse, der aus dem Untersuchungsgebiet durch Wassererosion ausgetragenen Masse wird auf Abflussdaten des Untersuchungsgebietes, die den Sedimenthaushalt des Vorfluters messen, zurückgegriffen.

3. Bisherige Arbeiten

Da nun die Grundlagen der Prozesse der Bodenerosion behandelt wurden und die Thesen der hier vorliegenden Diplomarbeit erläutert sind, ist es nun wichtig, auf vorangegangene Arbeiten mit ähnlicher Aufgabenstellung und weitere Untersuchungen in der Bodenerosionsforschung einzugehen.

3.1. Grundlagen

Es gibt vier fundamentale Arten um Erosion zu messen. Es kann die Massenänderung, die Veränderung der Oberfläche, die Veränderung von Abflussquerschnitten sowie die Menge an ausgetragenen Material von Untersuchungsgebieten bestimmt werden (Stroosnijder, 2005). Erosionsmessungen werden auch im Bezug zu den Standorteigenschaften, die Sedimentation und Erosion bedingen, angewendet. Dies können Wetter und Klimamessungen, Aufzeichnungen der Bodeneigenschaften, Messungen der Topographie, Aufzeichnungen der Vegetation sowie Analysen der Landnutzungsänderungen sein (Toy et al., 2002).

Die Modellierung von Bodenerosion findet mittlerweile auch breite Anwendung. Es können drei prinzipielle Modelltypen unterschieden werden. Dies können physikalische, analoge oder digitale Modelle sein. Eine immer breitere Anwendung findet sich bei der Verwendung von digitalen Modellen (Morgan, 1979). Es findet sich eine Vielzahl an Modellen, die für eine Bestimmung der Bodenerosionswerte verwendet werden (Nigel und Rughooputh, 2010).

Im europäischen Raum werden oft empirische Modelle oder mehr deterministische Modelle angewendet (Kheir et al.; 2006). Viele Modelle die sich mit Bodenerosion durch Wasser beschäftigen, liefern oft ungenaue Ergebnisse wenn man diese auf kleinräumigen Bereichen anwendet. So zeigt das Modell MIRSED (Minimum Information Requirement version of the Water Erosion Prediction Projekt model) im direkten Vergleich mit Messungen im Feld sehr starke Abweichungen. Daten aus Bodenerosionsmodellen sind mit Sorgfalt zu behandeln und auf ihre Genauigkeit zu prüfen (Evans und Brazier, 2005). Auch die weitläufig verwendete USLE (Universal soil loss equation) und die daraus entstandenen Derivate (ModifiedUSLE, RevisedUSLE, AllgemeineBodenAbtragsGleichung - ABAG) liefern weniger gute Ergebnisse im Vergleich zu konkreten Feldmessungen (Evans, 2002).

Karten mit speziellem Zweck und einer Fülle an Daten werden meist mit Geoinformationssystemen (GIS) erstellt. Die Daten von Bodenaufnahmen wie Erosionsraten können mittels GIS-System digitalisiert werden. Ein GIS-System erlaubt die Eingabe, die Änderung, die Speicherung, das Management, die Modellierung, die Analyse und die graphische Aufbereitung von Daten mit

Raumbezug. Somit kann es zur Darstellung, Analyse und Bearbeitung von räumlichen Daten in Bezug auf Bodenerosion angewendet werden (Hammer, et al., 1991).

Die Oberflächenrauigkeit von Böden hat auf viele physikalische Prozesse einen Einfluss. Prozesse, wie die Bodenerosion, bewirken eine Veränderung der Oberflächen – Mikromorphologie. Für Bodenerosionsstudien kann die Veränderung der Mikromorphologie herangezogen werden um Ablösung und Deposition von Bodenmaterial zu messen (Darboux und Huang, 2003). Für die Messung von Oberflächenänderungen im Labor können unterschiedliche Methoden angewandt werden. Diese können direkt auf der Oberfläche aufliegende Messmethoden wie „*roller chain*“ und „*pin meter*“ sein, aber auch Messmethoden wie Laserscanner und Photogrammetrie, wo die Oberfläche nicht berührt wird (Jester und Klik, 2005). Um die Oberflächenveränderung im Gelände zu bestimmen, werden Erosionsstöcke und –nadeln, „*erosion bridges*“ und „*frames*“, lineare Messgeräte, photogrammetrische Methoden oder Laserscanner eingesetzt (Toy et al., 2002).

Um die Raten und Ausdehnung von flächenhafter und rillenhafter Erosion zu messen wurden sowohl direkte als auch indirekte Methoden benutzt. Indirekte Methoden messen Veränderungen in der Profiltiefe relativ zu einem Bodenhorizont, einem Referenzobjekt sowie den Verlust oder die Anreicherung von Tracer-Material. Um flächenhafte und rillenhafte Erosion zu messen, werden meist direkte Methoden verwendet. Dies sind Einzelschlag oder Einzugsgebiets Monitoring Systeme und mit Feldarbeit verbundene Messungen, wie beispielsweise Kartierungen (Cerdan et al. 2006).

Die hier behandelten Messmethoden sind einerseits die Kartierung von Erosions- und Akkumulationsformen im Gelände und andererseits die Messungen der Oberflächenveränderung mittels Laserscanner innerhalb von unterschiedlichen Zeitpunkten. Dies wurde im vorangegangenen Kapitel der Hypothesenvorstellung festgelegt.

3.2. Kartierung

Die ersten Aufnahmen von Erosionsformen wurden über Geländephographien erstellt. Es wurden hauptsächlich Rillen- und Gullyformen kartiert (Morgan, 1979). Zum Zweck der Vereinheitlichung der Kartierungen wurden geomorphologische Karten in die Erosionsaufnahme eingeführt. Das Ziel dieser ist es, die Verteilung und den Typ von Erosion, Erosivität, Abfluss, Hanglänge, Steilheit, Hangform, Relief, Bodentyp und Landnutzung zu veranschaulichen. Weiters ist es wichtig zusätzliche Daten durch Feldbegehungen zu erlangen (Morgan, 1979). Bei der Betrachtung der Bodenoberfläche in einem größeren Maßstab werden die Erosions- und

Akkumulationsformen meist direkt im Feld kartiert (Bergsma, 2003). Für die manuelle Kartierung von linearen Erosionsformen im Gelände wurde im Jahr 1970 eine Kartieranleitung entwickelt. Diese fand häufig bei der Kartierung der Erosionsschäden in Europa Anwendung (Prasuhn, 2011). In einer von Rohr et al. (1990) weiterentwickelten Version dieser Konzepte, wird der genaue Vorgang der Kartierung von Erosionsformen im Gelände beschrieben. Kartierungen im Gelände können weiters auch zur Evaluierung von unterschiedlichen Modellen der Bodenerosion verwendet werden (Takken et al., 1999).

3.3. Laserscanner

Bei der Messung mit Laserscannern wird die Oberfläche vor und oder nach einem Event gemessen. Somit kann die Veränderung der Oberfläche eines Untersuchungsgebietes in Bezug zu diesem Event bestimmt werden (Toy et al., 2002).

Die Verwendung von Methoden, die ein hochauflösendes Geländemodell erzeugen, ist ein relativ neuer Anwendungsbereich um Erosionsdaten zu generieren.

Martinez-Casanovas et al. (2002) untersuchten mit Hilfe von digitalen Geländemodellen die Erosion in einem Weinfeld in Katalonien. Zu diesem Zweck wurden auf einem rund 2 ha großen Gebiet 237, beziehungsweise 288, Punkte pro Aufnahme mittels hochempfindlichem Infrarot Tachymeter (TOPCON GTS-303 – total station) vermessen. Aus diesen Aufnahmen wurden Triangulated Irregular Networks (TINs) erstellt. Im Anschluss daran wurden Oberflächemodelle aus den TINs abgeleitet. Durch den Vergleich der beiden Geländemodelle konnte das umgelagerte Bodenvolumen von $829 \pm 19 \text{ m}^3/\text{ha}$ berechnet werden. Der Bodenverlust im Beobachtungsgebiet wurde mit $352 \pm 36 \text{ m}^3/\text{ha}$ angegeben. Diese hohen Abtragungsraten sind auf ein starkes Niederschlagsereignis mit 215 mm innerhalb von 24h zurückzuführen. Das Wiederkehrintervall eines solchen Niederschlagsereignisses wurde mit 100 Jahren angegeben (Martinez-Casanovas et al., 2002).

Haubrock et al. (2005) benutzten die durch Laserscanner gewonnenen Aufnahmen von kleinen Erosionsflächen ($0,25 - 4 \text{ m}^2$) für die Bestimmung von erodiertem Bodenvolumen.

Haubrock et al. (2009) beobachteten mit Hilfe von Laserscannern die Veränderung des Mikroreliefs von acht kleinen Untersuchungsplots von $0,25 - 2,9 \text{ m}^2$. Es wurden 97 Messungen im Zeitraum von Juni 2004 bis November 2005 durchgeführt. Die Daten wurden mit einer Minolta Vivid 900 device, welche im Abstand von $1,5 - 2,5 \text{ m}$ von den Plots montiert wurde, aufgezeichnet. Anhand der daraus resultierenden zweidimensionalen Datensätze, mit einer Auflösung von 1mm, wurden die Veränderung der Oberflächenrauigkeit und der absoluten Oberflächenhöhe

analysiert. Es zeigte sich, dass die Oberflächenbeschaffenheit starken räumlichen und zeitlichen Dynamiken unterworfen ist und die Eigenschaften des Substrates eine große Rolle spielen (Haubrock et al., 2009).

Darboux et al. (2001) nutzten terrestrische Laserscanner um die Veränderungen von Oberflächenrauigkeiten von kleinen (2,4 x 2,4 m) Plots in Abhängigkeit von Niederschlägen zu bestimmen.

Aguilar et al. (2009) haben einen Vergleich zwischen der Anwendung von Laserscannern und jenen von photogrammetrischen Messungen erstellt und dabei bei beiden Methoden sowohl Messungen im Labor als auch im Feld durchgeführt. Zuerst wurden die Methoden im Labor unter Benutzung einer Kalksteinoberfläche validiert. Anschließend wurde an zwei unterschiedlichen Standorten mit kleinen Flächen von 374 x 526 mm und 328 x 543 mm Ausdehnung die Bodenrauigkeit bestimmt. Für die Messungen wurden ein Minolta Vidid 910 Laser und ein Next Engine Desktop 3D Scanner benutzt. Es zeigt sich, dass der Laserscanner (Next Engine) eine höhere Auflösung und eine größere Genauigkeit in den Feld- und Laborversuchen zeigt als die photogrammetrische Methode. Ebenso konnte die kleineren Aggregate besser aufgenommen werden (Aguilar et al. 2009).

Die hier angeführten Messungen von unterschiedlichen Autoren zeigen, dass Laserscanner für die Bestimmung von Oberflächenveränderungen verwendet werden können. Sämtliche hier aufgelisteten Versuche und Messungen wurden jedoch auf sehr kleinen Flächen durchgeführt.

4. Methodik

In diesem Kapitel werden die beiden verwendeten Methoden der Datenerfassung in ihren Prinzipien und der konkreten Bearbeitung der Fragestellung vorgestellt. Zuerst wird auf die manuelle Kartierung im Gelände und im Anschluss daran auch die Datenerhebung mittels Laserscanner eingegangen.

Bei der Kartierung sowie bei der Messung mit dem terrestrischen Laserscanner wird der Fokus vor allem auf die rillenhafte Erosion gelegt. Beide verwendete Methoden können hier Ergebnisse liefern. Evans (2002) stellt fest, dass bei einer Betrachtung der Bodenerosion zwar die flächenhafte Erosion eine Rolle spielt, jedoch das Material nicht weit transportiert werden kann. Für eine Umverteilung – somit Erosion des Bodens - macht Evans eher die rillenhafte Erosion verantwortlich.

4.1. Kartierung im Gelände

4.1.1. Prinzipien

„Kartierung meint hier in erster Linie die analoge und digitale Verortung sowie Darstellung von Beobachtungen bzw. Meßwerten; sie schließt aber auch die weitere Bearbeitung in Form von erläuternden Tabellen und Texten sowie die Benutzung von Datenbanken und Geographischen Informationssystemen (GIS) etc. ein.“ (Schmidt, 1998, S. 110)

Bei der Analyse und Kartierung von Abtragungs- und Depositionsformen im Gelände erhält man eine aktuelle Abschätzung über die umgelagerte Bodenmenge. Dies sollte aber mit Rücksichtnahme auf Ausdehnung, Frequenz und Schwere des jeweils betrachteten Ereignisses erfolgen (Evans, 2005). Verschiedene Wissenschaftler haben diverse Kartieransätze entwickelt (Bergsma, 2003; Morgan, 1979; Rohr et al., 1990). Da eine manuelle Kartierung im Gelände immer einheitlich und nachvollziehbar sein soll, wurde hier die „Kartieranleitung zur Aufnahme von Bodenerosionsformen und –schäden auf Ackerflächen“ von Rohr et al. (1990) verwendet. Im Anhang 1 dieser Arbeit befindet sich die vollständige Legende der Kartieranleitung.

Um die Erosionsformen besser einordnen zu können, wurde eine Bildbeschreibung von 700 unterschiedlichen Formen der Erosion und Akkumulation von Boden durch Wasser verwendet. Diese befindet sich in dem von Prasuhn erstellten Bericht „Bodenerosion hat viele Gesichter: 10 Jahre Foto-Monitoring“. Anhand dieser Fotos sind die einzelnen Formen leichter zu kategorisieren (Internetquelle: Prasuhn).

4.1.2. Konkrete Vorgehensweise

Die Kartierung erfolgte nach einem Niederschlagsereignis am 29.04.2011 für das gesamte Untersuchungsgebiet in Petzenkirchen.

Für die Aufnahme von großen flächenhaften Akkumulationsformen wurde ein Mittelwert der Höhe der Ablagerung für den gesamten Bereich der Deposition gebildet. Dieser wurde aus mindestens fünf Messungen der Akkumulationshöhe ermittelt.

Die Längen und Breiten der Formen wurden durch Abschreiten ermittelt, die Tiefen und Rillenbreiten durch Abmessen mit dem Lineal beziehungsweise mit dem Maßband. Die Vermessung der Formen erfolgte nach Rohr et al. (1990).

Die Berechnung der Volumina der Erosions- und Akkumulationsformen erfolgte im Anschluss und nicht bereits im Feld, wie bei Rohr et al. (1990) angeführt. Die Kartierung wurde im Maßstab 1:2.500 und nicht 1:5.000 durchgeführt, da der Hang an dem die Laserscanner Messung durchgeführt worden ist auch mit einem höheren Detailgrad erfasst werden konnte. Bei der Kartierung wurden viele kleine Formen, in Anlehnung an die Kartieranleitung von Rohr et al. 1990 zusammengefasst und bereits im Gelände eine starke Generalisierung und Bildung von Mittelwerten durchgeführt. Es wurden Erosionsformen aufgenommen, die länger als 4 m waren und/oder tiefer als 5 cm und/oder breiter als 10 cm.

Die kartierten Formen sowie die aktuelle Landnutzung wurden im ArcGis (ESRI) digitalisiert. Anschließend wurde eine Berechnung der einzelnen Volumina vorgenommen. Für die Darstellung in einer Karte mit dem Maßstab 1:5.000 wurde eine starke Generalisierung der Erosionsformen durchgeführt.

Für die Kartierung waren 2 Personen je 6,5h im Einsatz. Das gesamte kartierte Gebiet war 66,7 ha groß. Jedoch konnten aufgrund der hohen Vegetation, vor allem die mit Raps bebauten Felder, nicht begangen werden. Es wird davon ausgegangen, dass in den Rapsfeldern sowie in den Wintergerste- und Wintergetreidefeldern keine Bodenerosion vorhanden und erkennbar ist. Die Wuchshöhe des Raps betrug fast 80 cm – Stand in Blüte; und jene der Wintergerste/Wintergetreide 25 cm.

Um die Fehler bei der Vermessung von Rillen abschätzen zu können, wurde eine künstliche Rille angelegt und vermessen. Zuerst wurde die Länge der Rille durch Abschreiten bestimmt, danach durch einmaliges Vermessen mit dem Maßband und ein drittes Mal durch das dreimalige Vermessen des Rillenverlaufes ebenfalls mit dem Maßband. Jeder Versuch wurde fünfmal wiederholt. Jener Versuch, wo mehrmals mit dem Maßband gemessen wurde, diente als Referenzlänge. Die

Unterschiede der anderen Messergebnisse wurden in Bezug zur Referenzlänge gesetzt.

Ebenso wurden die Tiefe und Breite der Rille auf drei Arten vermessen. Zuerst mit einem Wert in der Mitte der Rille für die Breite und Tiefe, danach mit drei Werten einen im oberen Bereich einem im unteren und einem im mittleren. Für die dritte Vermessung wurden alle 5 cm der Rille die Breite und Tiefe bestimmt. Die Vermessung im 5 cm Abstand diente als Referenzmessung, worauf alle anderen Werte bezogen wurden. Danach wurde das Rillenvolumen für alle Bestimmungsparameter berechnet.

Der Fehler, der bei der Vermessung von flächenhaften Akkumulationsformen entstanden ist, wurde ausgehend von der Annahme, dass die Tiefe einer Form mit einer Genauigkeit von ± 5 mm im Gelände bestimmt werden kann. Für die Größenausdehnung der Formen wurde der Fehler der Längenbestimmung einberechnet. Um diesen Fehler zu berechnen, wurde eine Form von 200 x 18 m angenommen. Dies entspricht in etwa der größten flächenhaften Ausdehnung, welche im Gelände festgestellt wurde. Die Tiefe der Form wurde von 1,5 cm bis 4,5 cm angenommen.

Auf dem Foto in Abbildung 7 ist beispielhaft die Vermessung einer Erosionsrinne im Untersuchungsgebiet dargestellt.



Abbildung 7, Vermessung einer Rille

(Quelle: eigene Aufnahme)

4.1.3. Bearbeitung der Daten

Für jede der aufgenommenen Erosions- und Depositionsformen wurde in Excel eine Zeile angelegt, in der Tiefe, Breite, Länge, Querschnitt, Volumen sowie Merkmalszahlen und Buchstaben aus der Kartieranleitung von Rohr et al. (1990) eingefügt wurden. Die Volumina der Depositionsformen wurden durch einfache Volumenberechnung von geometrischen Formen bestimmt. Im Anschluss wurden die einzelnen Volumina aufsummiert.

Ebenso wurde für die Fehlerbetrachtung der künstlichen Rille eine Berechnung des Volumens vorgenommen.

4.2. Laserscanner

4.2.1. Messprinzip

Laserscanner nutzen unterschiedliche operationale Prinzipien und wurden entwickelt um Oberflächenbeschaffenheiten zu messen, welche über Triangulationsmethoden ermittelt werden können. Es wird ein Laserstrahl vertikal auf die Oberfläche gesendet und der reflektierte Lichtstrahl aufgezeichnet (Darboux und Huang, 2003; Jester und Klik, 2005).

Laserscanner arbeiten im Bereich der kurzen Wellenlänge. Es wird im sichtbaren UV (Ultraviolett) oder im IR (Infrarot) Bereich des Lichtes gemessen. Die Strahlung wird von einem Laser entweder kontinuierlich oder in Impulsen ausgestrahlt. Die reflektierte Strahlung wird über ein optisches System detektiert. Da es sich um ein aktives System handelt, kann es sowohl am Tag als auch in der Nacht angewendet werden. Bei der Anwendung am Tag ist darauf zu achten, dass das natürliche Sonnenlicht nicht in die Analyse einfließt. Zu diesem Zweck können Filter verwendet werden, die den monochromatischen Laserstrahl vom Sonnenlicht unterscheiden (Mulders, 1987). Ein Vorteil des monochromatischen Laserlichtes ist, dass dieses einen schmalbandigen Filter beinahe ungeschwächt passieren kann, während breitbandiges Tageslicht vollständig an diesem Filter absorbiert oder reflektiert wird (Donges, 1993).

Im Gegensatz zu dem Licht einer herkömmlichen Glühbirne zeichnet sich ein Laserstrahl dadurch aus, dass er eine

- geringere Strahlendivergenz
- geringe spektrale Bandbreite
- höhere spektrale Energiedichte
- größere zeitliche und räumliche Kohärenz
- Amplitudenstabilität und die
- Möglichkeit zur Erzeugung kurzer Lichtimpulse hat

(Donges, 2000).

„Der qualitative Unterschied zwischen dem Licht eines Lasers und dem einer thermischen Quelle beruht auf den verschiedenartigen Prozessen der Lichterzeugung. Bei der Lichterzeugung durch eine thermische Lichtquelle spielt die spontane Emission die dominierende Rolle.“ Bei einem Laserstrahl „ist der wesentliche Elementarprozeß die induzierte Strahlung. Dies drückt sich bereits in der Namensgebung aus. Das Wort Laser ist ein Kunstwort, das durch die Abkürzung von „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation“ gebildet wurde.“ (Donges, 1993, S. 23-24)

Der prinzipielle Aufbau eines Laserscanners sieht vor, dass ein Laserstrahl ausgesendet wird und dieser dann mit dem zu messenden Objekt in Wechselwirkung tritt. Der Laserstrahl wird so Reflexionen, Brechungen, Absorptionen und Frequenzveränderungen unterzogen. Bei dieser Streuung werden Teile der Strahlparameter des Laserstrahls verändert und dadurch wird, in der vom Messobjekt reflektierten Strahlung, Information über das Objekt mitgegeben. Ein Teil der reflektierten Strahlung wird mit einem Detektor aufgefangen und für den Benutzer in lesbare Information umgewandelt (Donges, 1993). In Abbildung 8 sind die wichtigsten Elemente eines Laserscanners angeführt. Dargestellt ist der Laser für die Erzeugung des Laserlichtes, zwei Spiegel und gleichzeitig Filter, das Meßobjekt sowie der Detektor der reflektierten Strahlung dargestellt.

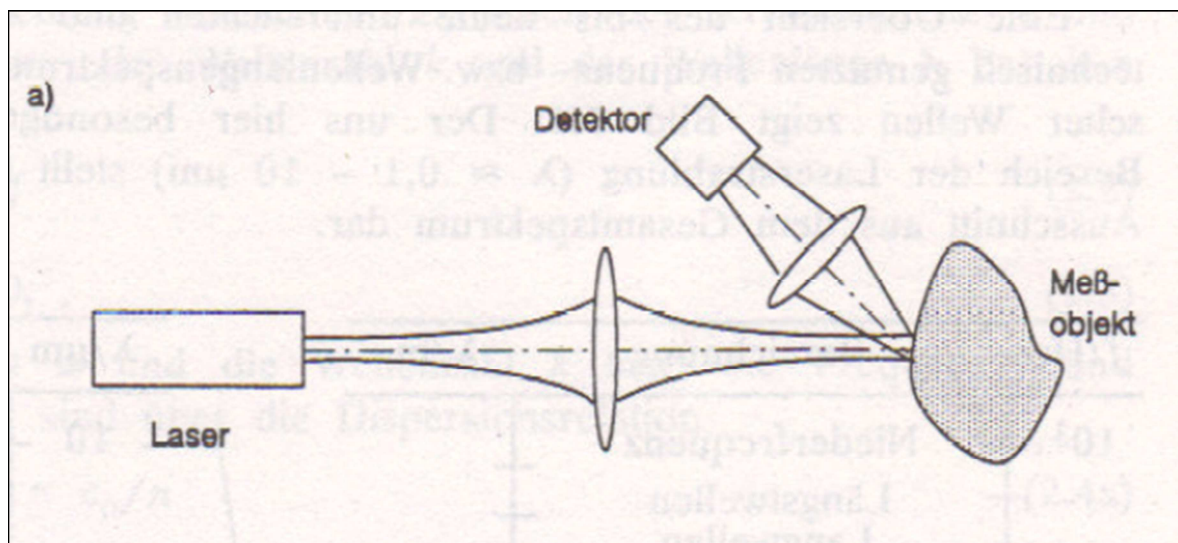


Abbildung 8, Prinzipieller Aufbau eines Laserscanners,

(Quelle: Donges, 1993, S.3)

Das gebündelte Laserlicht wird durch eine Strahlführung auf das Meßobjekt gelenkt. Dieses reflektiert die eintreffende Strahlung mehr oder weniger gut - interagiert mit dem Laserstrahl. Ein Teil der Strahlung, je nach Reflektionsgrad, trifft auf den Detektor auf, der diese in digitale Informationen für den Nutzer verarbeitet (Donges, 1993).

Im folgenden Absatz soll das Prinzip der Laser-Triangulation vorgestellt werden. Es handelt sich dabei um ein Messverfahren, bei dem der Abstand eines Punktes auf der Messoberfläche von einer Referenzebene bestimmt wird. Dieses Verfahren ist somit punktorientiert, mit großer Ähnlichkeit zu einem mechanischen Taster. Dabei wird der Leuchtfleck am Auftreffort des Laserstrahls unter einem vorgegebenen Winkel zur Einfallrichtung mit einem Objektiv auf einen Detektor abgebildet. Aus gemessener Lage, bekannter Abbildungsgeometrie und Einstrahlrichtung wird der Abstand des Messobjektes in Bezug zu einer Referenzebene bestimmt (Donges, 1993).

Zur Detektion von reflektierten Laserstrahlen gibt es eine Vielzahl an Möglichkeiten. Die reflektierte Strahlung kann mit Hilfe von thermischen Detektoren, photoelektrischen Detektoren, Halbleiterdetektoren oder ortsauflösenden Detektoren umgewandelt und als elektrisches Signal weiterverarbeitet werden (Donges, 1993).

„Die Kennzeichen der Lasermeßtechnik sind:

- *berührungsloses Messen*
- *hohe Flexibilität und*
- *hohe Messgeschwindigkeit und Präzision.“* (Donges, 1993, S. 2)

Die geometrische Qualität der aufgenommenen Punktwolke kann durch die Parameter Punktdichte und Genauigkeit der Koordinaten beschrieben werden. Die Punktdichte ist ein Resultat der Winkelrastrung, die durch instrumentelle Gegebenheiten bedingt ist. Die Genauigkeit der 3D-Punktkoordinaten wird vom Hersteller angegeben (Staiger, 2005).

4.2.2. Vorgehensweise im Gelände

Im Untersuchungsgebiet wurde ein möglichst steiler Hang mit Gegenhang für die Analyse mittels Laserscanner ausgewählt. Die Messung erfolgte vom Gegenhang auf den zu untersuchenden Hang. Im Team wurde entschieden, dass die Messungen in einer Auflösung von 8 mm bei 100 Meter Entfernung durchgeführt werden sollten. Insgesamt wurden zwei Messungen mit unterschiedlichen Winkeln vom selben Standpunkt aus gemacht. Diese decken große Teile des Hanges ab.

Im Gelände wurde ein Punkt markiert über dem das Stativ des terrestrischen Laserscanners positioniert wurde. Der verwendete Laserscanner ist vom Typ Optech Ilris 3D, die Produktdetails des Laserscanners sind im Anhang 2 angeführt. Der Laserscanner wurde horizontal eingerichtet und der Abstand von der Oberkante des Scanners bis zum Untergrund notiert (128 cm). Weiters wurde der Winkel der einzelnen Messeinstellungen mittels eines Kompasses bestimmt. Die Messungen wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten wiederholt.

Die erste Messung vor der Bodenbearbeitung im Frühling, vor Anbau (11.03.2011), die zweite nach der Anbau (18.04.2011) und die dritte nach einem intensiven Regen sowie Bearbeitung des Feldes durch Düngung (28.04.2011) durchgeführt.

Bei jeder Messung wurden im Untersuchungsgebiet Lotstecken als Referenz für das Zusammenfügen der einzelnen Daten einer Messung verwendet. Die Abbildung 9 zeigt die Messung mit dem terrestrischen Laserscanner im Untersuchungsgebiet. Im Hintergrund ist das untersuchte Feld zu erkennen.

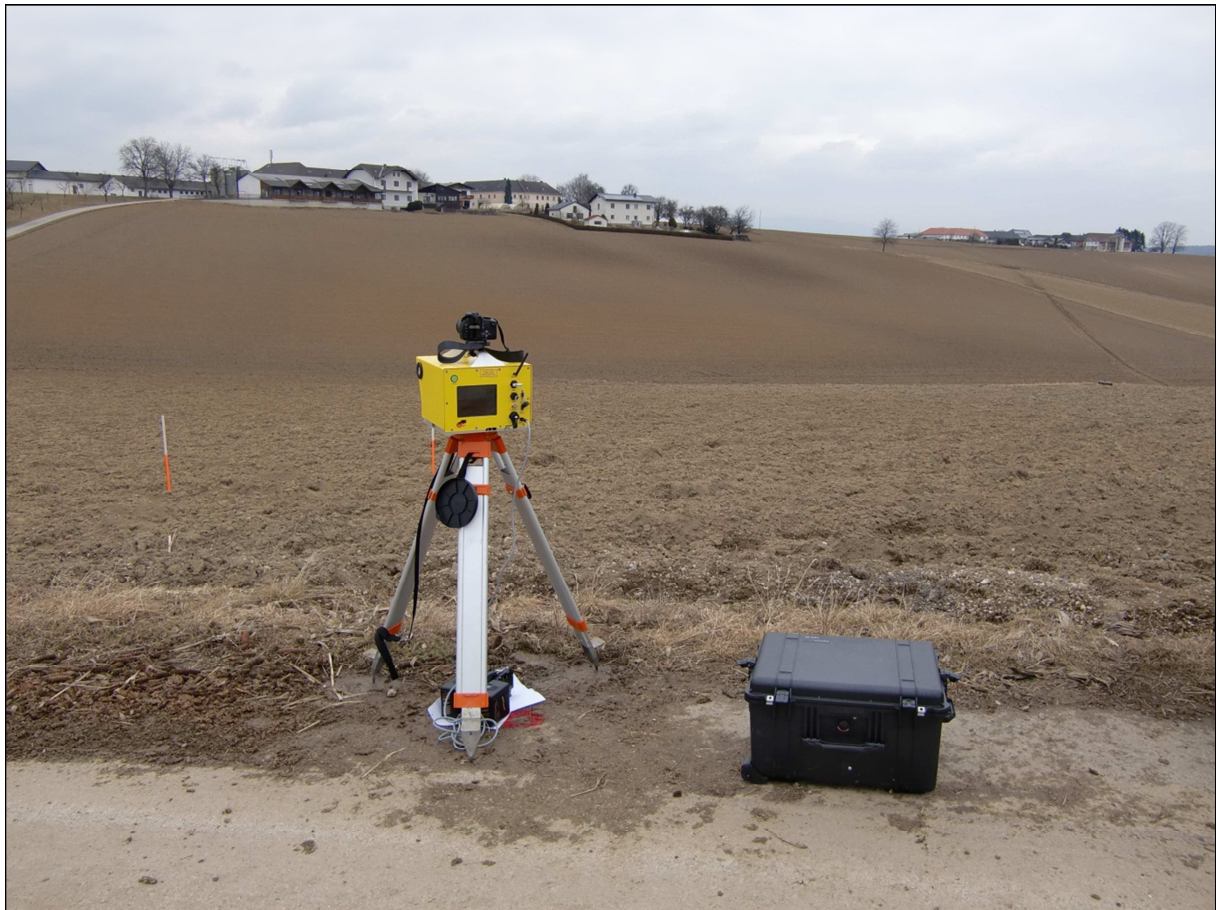


Abbildung 9, Messung mit dem terrestrischen Laserscanner im Gelände

(Quelle: eigene Aufnahme)

4.2.3. Bearbeitung der Daten

Der Ablauf der Bearbeitung in der Software JRC Reconstructor ist in Abbildung 10 dargestellt.

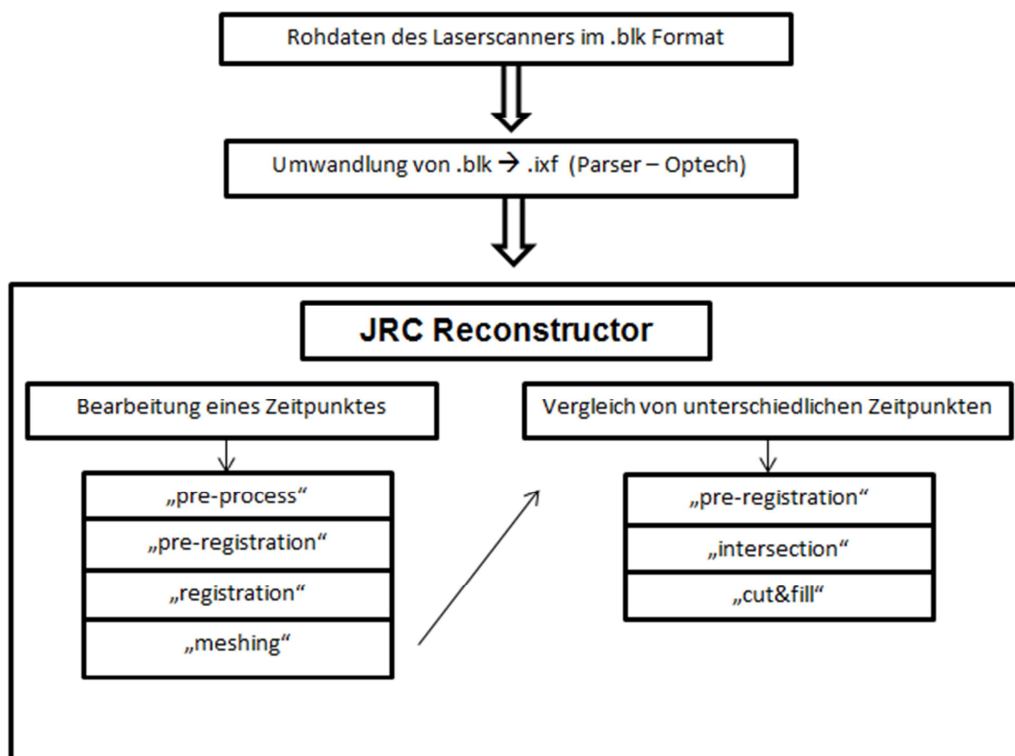


Abbildung 10, Vorgangsweise für die Bearbeitung der Daten in der Reconstructor Software

Die Ausgabe der Laserscandaten erfolgt in einem .blk Format. Da die JRC Reconstructor 2 Software das .blk Format nicht lesen kann, wurden sämtliche Daten der Laserscan Messungen mithilfe der Software Parser (Optech Incorporated 2005) in ein .ixf Format umgewandelt, welches von JRC Reconstructor bearbeitet werden kann.

In der Parser Software wurden folgende Einstellungen getätigt:

- Standardeinstellungen
- Output file – IXF File mit 8-bit “scaled Intensity” sowie die
- „shot“ Funktion ausgeklickt.

Die entstandenen .ixf Daten wurden in die JRC Reconstructor Software eingelesen um anschließend sämtliche Rechenschritte in der Software durchzuführen. Der Ablauf der Datenbearbeitung in der JRC Reconstructor 2 Software richtete sich im Wesentlichen an die Empfehlungen des Softwareherstellers. Die Empfehlung des Herstellers ist in der Kurzreferenz von Faust (2011; Geokonzept) angeführt, welche mit der Software geliefert wurde.

Im ersten Schritt wurden die einzelnen Layer einem „pre-process“ unterzogen. Hier wurden die Daten bezüglich eventuell entstandener Fehler bei der Aufnahme bereinigt. Es wurden die Standardeinstellungen benutzt, auf den Filter der „edge detection“ jedoch verzichtet. Die Datensätze wurden im Anschluss visuell auf

eventuelle Lücken überprüft. Beim Auffinden solcher Lücken wurde der Datensatz erneut einer Fehlerkorrektur unterzogen jedoch noch weitere Filter ausgeschaltet. So wurde der Datensatz der Messung vom 11.03.2011 sämtlichen Filtern (ausgenommen der „edge detection“) unterzogen. Bei den Datensätzen vom 18.04 und 28.04 wurden jeweils die mittleren Datenstreifen ohne die „noise removal“ Filter durchgeführt, da hier ansonsten sehr große Bereiche des Datensatzes durch die Verwendung der Filter entfernt worden wären.

Um Daten einer Messung aus verschiedenen Laserscanner Positionen miteinander vergleichbar zu machen, wurden in einem weiteren Schritt die betreffenden Datensätze mit Hilfe der „pre-registration“ und der „registration“ die Punktwolken aneinander ausgerichtet. Die Punktwolken einer Messung werden, ja unterstützt durch die Software gleich in die richtige Lage zueinander gelegt.

Um die unterschiedlichen Aufnahmen der zeitlichen Veränderung zu analysieren, wurde die Funktion „pre-registration“, wie bereits oben erwähnt verwendet. Anstatt die Registration mit „apply“ zu bestätigen, wurden die Daten in das „clipboard“ kopiert. Es wurden die entsprechenden Vergleichslayer aufgerufen und mit Hilfe des Rechtsklick wurden die eben kopierten Daten in eine „registration – matrix transform“ Schaltfläche unter „force“ eingefügt. Somit lagen die beiden Layer mit unterschiedlicher zeitlicher Auflösung übereinander. In der Abbildung 11 ist ein Screenshot aus der Software dargestellt. Es sind zwei Layer mit unterschiedlicher zeitlicher Auflösung in der richtigen Lage zueinander darin abgebildet.

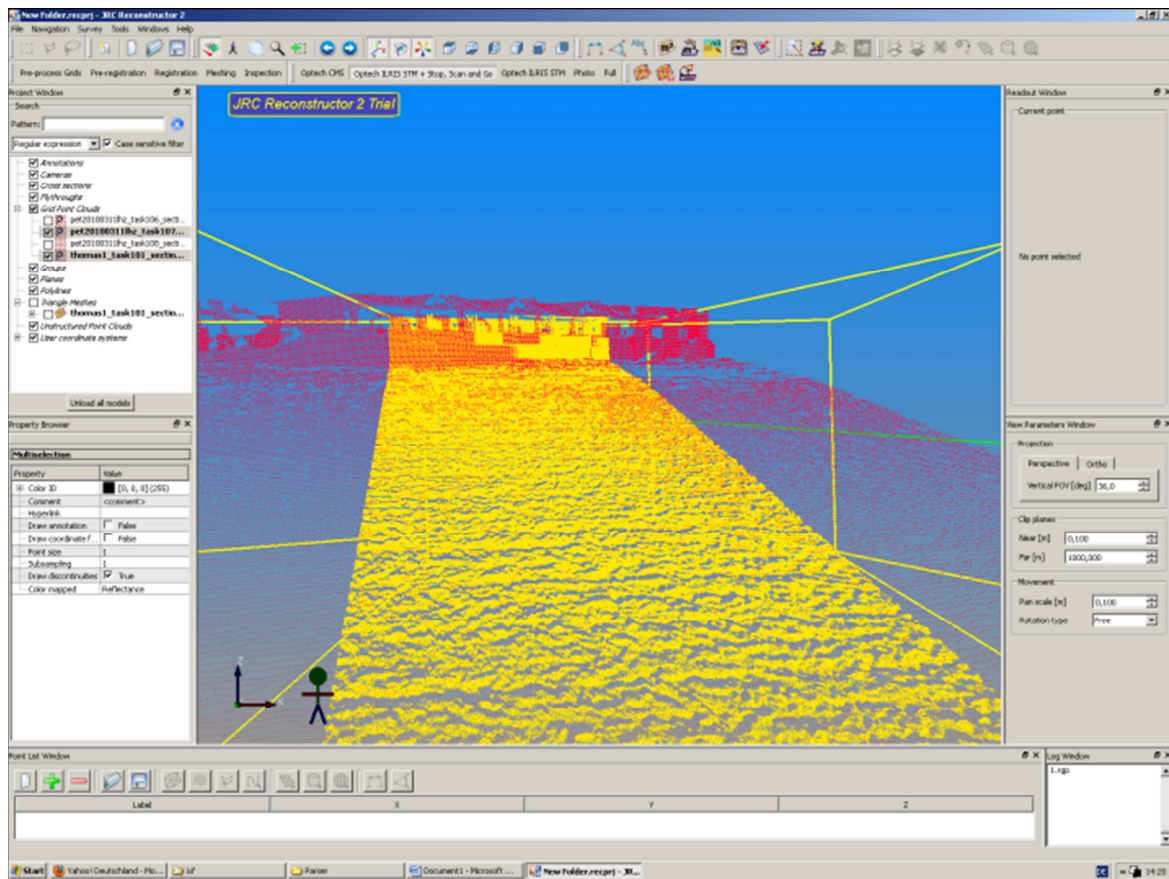


Abbildung 11, JRC- Reconstructor, - übereinander liegende Layer

In einem weiteren Schritt wurden die einzelnen Punkte der Punktwolken miteinander vermascht. Dies geschieht mit dem Befehl „meshing“. Für die Vermaschung wurden die Standard Einstellungen übernommen. Damit wurde aus einzelnen Punkten ein Netz generiert.

Die vernetzten Maschen der einzelnen Messungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten liegen übereinander, und es können die drei Punktwolken der jeweiligen Aufnahmen einem Vergleich der einzelnen Maschen unterzogen werden (Befehl – „intersection“).

Die Vermaschungen der einzelnen Zeitscheiben können auch in ihrer Volumenabweichung zueinander berechnet werden. Dies geschieht anhand des „cut&fill“ Befehls der JRC Reconstructor Software.

Sämtliche Berechnungen wurden zuerst für kleine Teilgebiete durchgeführt und erst im Anschluss für große Bereiche der aufgenommenen Fläche. Der Grund hierfür war der enorme Rechenaufwand den der Computer benötigte. Obwohl mit einem PC mit 20 GB Ram und Windows 7 (64bit) als Betriebssystem ein relativ leistungsfähiges System zur Verfügung stand.

5. Untersuchungsgebiet

Die Landschaft in Österreich ist sehr abwechslungsreich und zeigt aufgrund verschiedener naturräumlicher Faktoren räumliche und zeitliche Variation. Beispielsweise erreicht der jährliche Niederschlag eine Spannweite von 430 bis 2.250 mm, mit einem Mittelwert von 1.170 mm. Ebenso wird eine große Vielfalt an unterschiedlichen Bodentypen für Österreich beschrieben (Strauss und Klaghofer, 2006).

Im Folgenden wird das ausgewählte Untersuchungsgebiet kurz in seinen wichtigsten Eigenschaften in Bezug zu Bodenerosion vorgestellt.

Das Untersuchungsgebiet liegt in Niederösterreich, etwa 100 Kilometer westlich von Wien (Abbildung 12). Das Einzugsgebiet des Seitengraben Baches, welches gleichzeitig das Untersuchungsgebiet darstellt, wurde ausgewählt, da hier das Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt (IKT) bereits seit 1945 Daten erhebt.

Abbildung 12 stellt die orographischen Grenzen des Untersuchungsgebietes in Petzenkirchen dar. Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich über eine Fläche von 66,7 ha, und weist einen Reliefunterschied von rund 70 Meter auf. Das Ausgangsmaterial im Untersuchungsgebiet besteht aus Molasse Sedimenten (Schnabel, 2002; Strauss und Peinsitt, 2002). Weitere Kennwerte des Untersuchungsgebietes wie mittlere Hangneigung, Tallänge und Gewässernetzdichte sind in Tabelle 1 angeführt.

Die rote Fläche in der Karte (Abbildung 12) zeigt das Feld, wo die Messungen mittels terrestrischem Laserscanners durchgeführt wurden. Sowie ein dicht daran angrenzendes Straßenstück.

Tabelle 1: Kennwerte des Untersuchungsgebietes

Kennwerte des Untersuchungsgebietes	
Mittlere Seehöhe	290 m.ü.A
Mittlerer jährlicher Niederschlag	716 mm
Ausgangsmaterial	Molasse Sediment
Hauptbodentypen	Braunerde und Pseudogley
Flächenhafte Ausdehnung	66,7 ha
Reliefunterschied	70 m
mittlere Hangneigung	8 %
größte Tallänge	1,3 km
Gewässernetzdichte	0,8 km/km ²
mittleres Gefälle des permanenten Wasserlaufes	2,5 %

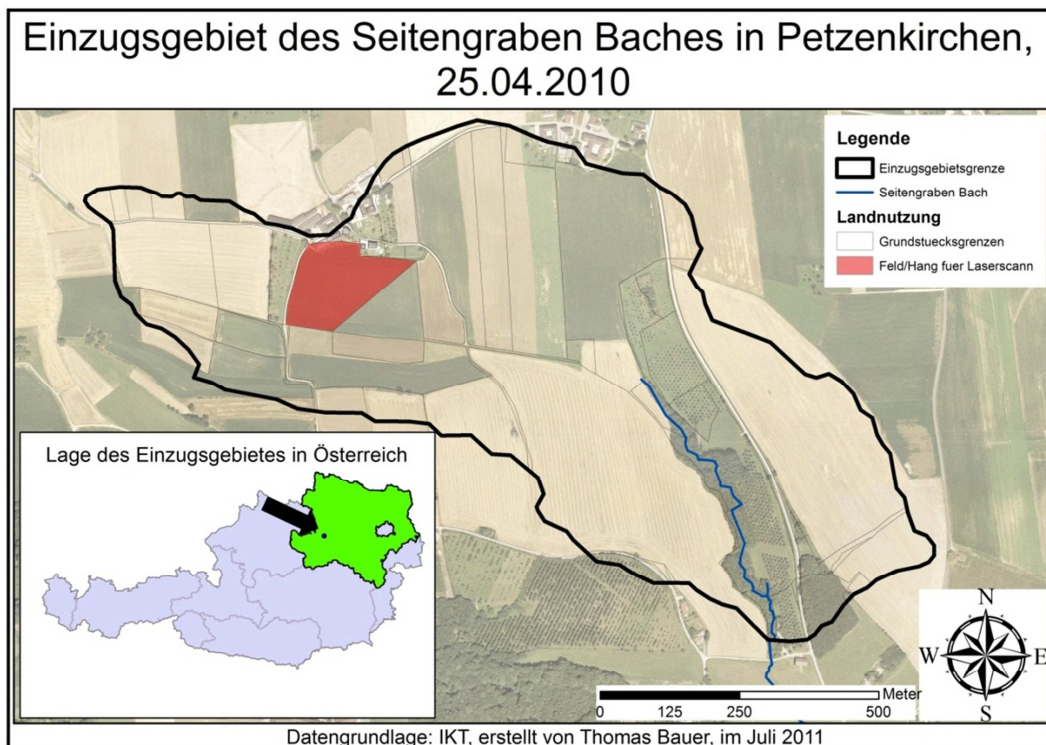


Abbildung 12, Lage des Untersuchungsgebietes und des Gebietes für die Laserscananalyse

Im Untersuchungsgebiet herrschen zwei unterschiedliche Bodentypen vor. Nach der eBod (digitale landwirtschaftliche Bodenkarte Österreichs) des BMLFUW (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft) und des BFW (Bundesforschungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft) sind im Untersuchungsgebiet hauptsächlich die Hauptbodentypen Braunerde und Pseudogley zu finden. Es handelt sich überwiegend um tiefgründige Böden (Internetquelle: eBod des BMLFUW). Die räumliche Verteilung dieser beiden Hauptbodentypen ist in der Karte in Abbildung 13 angeführt.

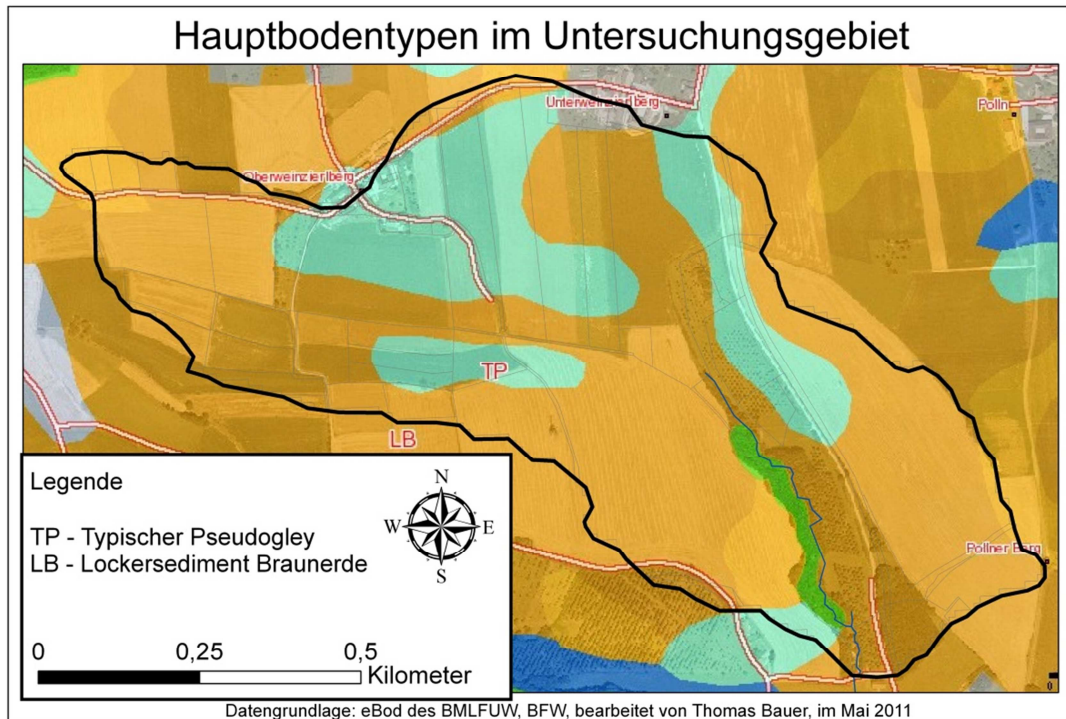


Abbildung 13, Hauptbodentypen im Einzugsgebiet

Abbildung 14 bildet das Untersuchungsgebiet im Herbst von einem der höchsten Punkte ab. Abbildung 15 zeigt den Hang auf dem die Untersuchungen mittels terrestrischem Laserscanner stattgefunden haben.



Abbildung 14, Einzugsgebiet des Seitengraben Baches Richtung Süden

(Quelle: eigene Aufnahme)



Abbildung 15, Hang für die Erosionsmessung mittel Laserscanner, Richtung Norden

(Quelle: eigene Aufnahme)

Um das Relief des Untersuchungsgebietes besser zu veranschaulichen, wurde Abbildung 16 eingefügt. In dieser Karte sind die kumulierte Einzugsgebietsgröße sowie die Fließrichtungen eingezeichnet. Um einen Eindruck bezüglich der Neigung des Geländes zu bekommen, wurden weitere Höhenlinien im 5 Meter Abstand eingefügt. Es zeigt sich eine Haupttiefenlinie und eine Nebentiefenlinie, die durch den Oberflächenabfluss entstehen. Ebenso sind einige steile Bereiche vor allem im nördlichen Teil des Gebietes ersichtlich.

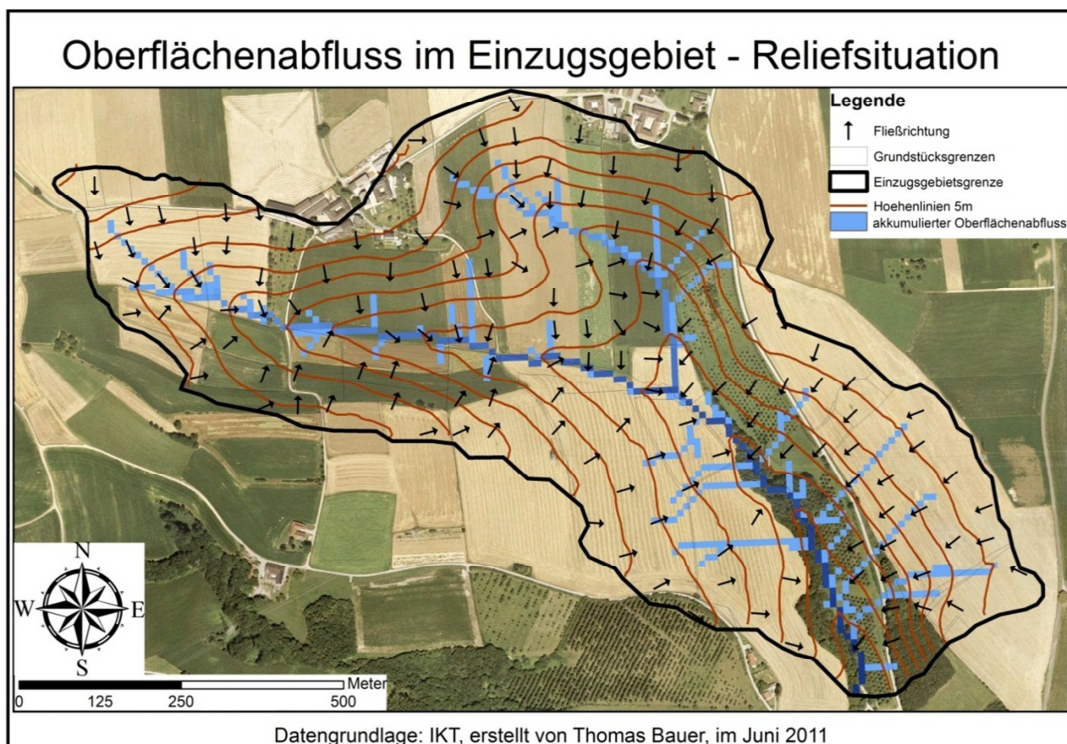


Abbildung 16, Reliefdarstellung und Oberflächenabfluss

6. Datengrundlage

Im folgenden Kapitel soll auf die in der Diplomarbeit verwendeten Daten eingegangen werden. In der unten angeführten Tabelle sind die verwendeten Daten und deren Quellen dargestellt. Es wurde ein Orthofoto, digitale Geländemodelle in unterschiedlichen Auflösungen (10x10 m und 1x1 m), sowie ein Grundstückskataster als räumliche Daten verwendet. Weiters wurden Niederschlagsdaten von drei Messstationen, die sich im Untersuchungsgebiet befinden, für diese Arbeit herangezogen. Ebenso wurden Daten bezüglich des Sedimentgehaltes sowie Abflussdaten benutzt. Sämtliche Daten wurden vom Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt (IKT) zur Verfügung gestellt.

Tabelle 2: Datengrundlage

Art der Daten	Bezeichnung	Auflösung	Quelle
Orthofoto	orthofoto	0,25 x 0,25 m	BEV*
Digitales Geländemodell	dgm	10 x 10 m	BEV*
	hdgm	1 x 1 m	BEV*
Grundstückskataster	besitzer	1:2.500	BEV*
Niederschlagsdaten		3 Messstationen im Untersuchungsgebiet	IKT**
Schwebstoffgehalt im Vorfluter		1 Monitoring Station im Untersuchungsgebiet	IKT**

*BEV = Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen

**IKT = Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt

6.1. Niederschlag

Die Niederschlagsdaten werden von IKT mittels Pluvio – Messgeräten der Firma Ott an vier unterschiedlichen Stellen im Untersuchungsgebiet gemessen. Zum Zeitpunkt des Niederschlagsereignisses waren jedoch nur drei Messstationen in Betrieb.

6.2. Sedimentfracht, Abfluss und Schwebstoff

Das Institut für Kulturtechnik betreut ebenfalls am Gebietsauslass des Einzugsgebietes, im Vorfluter eine Messstation. Dort werden die Sedimentkonzentration, die Abflusshöhe und die Leitfähigkeit im Minutentakt gemessen. Der Abfluss wird mittels „H-flume“ und Drucksonde der Firma Ott gemessen und es erfolgt eine kontinuierliche Aufbereitung der Daten im Minutenintervall. Weiters wird der Schwebstoff mit einer Visolid, der Firma WTW

bestimmt. Die Kalibrierung des Visolid Messgerätes erfolgt über Einzelereignisse, wo Proben entnommen und im Labor analysiert werden.

Diese Daten wurden vom IKT für die Diplomarbeit zu Verfügung gestellt, woraus die Abflussmenge und die aus dem Einzugsgebiet transportierte Menge an Material berechnet wurden.

6.3. Bodendichte

Um das Volumen des erodierten Bodens auf eine Masse umzurechnen, wurden zwei unterschiedliche Dichten verwendet. Für den Ausgangszustand (Saatbeet) wurde eine Dichte von 1.100 kg/m^3 angenommen und für das akkumulierte Material eine Dichte von 1.400 kg/m^3 (Strauss, persönliche Mitteilung).

7. Ergebnisse

In diesem Kapitel werden sämtliche Ergebnisse und Daten aus der Feldarbeit und der anschließenden Bearbeitung angeführt. In einem ersten Teil wird auf die Berechnungen und den Umgang mit den Daten eingegangen. Weiter werden die gewonnenen Daten angeführt und im dritten Teil, der Interpretation, wird auf die konkreten Ergebnisse eingegangen und versucht diese in ihrem Zusammenhang zu analysieren.

Die Ergebnisse, die hier vorliegen, geben keine Auskunft über die Werte der Bodenerosion, die sich in diesem Untersuchungsgebiet über das gesamte Jahr ausbilden. Es handelt sich um Aufnahmen eines Zeitpunktes und eines Niederschlagsereignisses mit gegebener Intensität, Menge und Dauer.

7.1. Berechnungen

7.1.1. Kartierung

Im Zuge der Kartierung wurden von allen größeren Erosions- und Akkumulationsformen im Untersuchungsgebiet die Länge, die durchschnittliche Tiefe und die durchschnittliche Breite bestimmt. Daraus wurde das Volumen jeder einzelnen Form berechnet. Die kartierten Erosionsformen wurden weiter unterteilt in flächenhafte Erscheinungen und einzelne Rillen. Ebenso wurde für jene Schläge, wo Erosionsformen kartiert wurden die Volumina der Erosions- und Depositionsformen addiert und gesondert dargestellt.

7.1.2. Laserscanner

Die Berechnung der Unterschiede zwischen zwei Oberflächen wurde in der JRC 3D Reconstructor Software durchgeführt. Es wurde die Funktion „cut&fill“ verwendet. Die Software berechnet das Volumen von den Oberflächen zu einem fiktiv angenommenen Punkt. Durch Subtraktion des Ausgangszustandes vom Endzustand erhält man die Veränderung des Volumens mit falschem Vorzeichen. Kehrt man dieses um und dividiert durch die betrachtete Fläche (in ha oder m²) erhält man die Oberflächenveränderung in Bezug zu einer Fläche.

Es wird von der Prämisse ausgegangen, dass sich die Oberfläche der Straße, welche sich am Rand der Untersuchten Fläche befindet, zwischen den Messungen nicht verändert hat. So kann für die Berechnungen des Fehlers, welcher sich zwischen zwei unterschiedlichen Messungen aufgrund der Standortunterschiede und dem Fehler der beim Zusammenfügen in der JRC Reconstructor Software ergibt, die Straße als Referenzobjekt ausgewählt werden. Die Berechnung der

Volumenveränderungen des Straßenabschnittes wurde auf dieselbe Art durchgeführt wie jene des Feldes.

Die Volumenveränderungen der Straße wurden von jener des Feldes subtrahiert und das Ergebnis wurde als Volumenveränderung des Feldes in m³ pro ha Feldfläche umgerechnet.

Die Software gibt mit dem Rechenschritt „cut&fill“ auch das Volumen an, welches weniger beziehungsweise mehr wurde. Hier wurde ebenso die Straße als Referenzobjekt gewählt um die Werte damit zu bereinigen.

Um die Unterscheidung zwischen Verdichtung und Erosion zu berechnen, wurden einzelne Rillenbereiche herangezogen. Es wurden einerseits Fahrspuren gewählt, die aufgrund von Bearbeitung entstanden sein können, Rillen die sowohl durch Bearbeitung als auch durch Erosion entstanden sind und schließlich Rillen die besonders starker Erosion ausgesetzt waren. Für die Analyse wurde bei jeder betrachteten Rille ein Teststreifen mit einer Breite von 1 Meter ausgewählt, wobei sich die betrachtete Rille in der Mitte befand. Für diese drei unterschiedlichen Typen wurde jeweils eine durchschnittliche Veränderung der Oberfläche berechnet. Durch Subtraktion der Werte kann auf die jeweilige Art der Bodenveränderung geschlossen werden. Die Ergebnisse wurden auf m³/ha umgerechnet. Insgesamt wurden pro Rillentyp 5 Berechnungen durchgeführt und ein Mittelwert aus den Ergebnissen gebildet.

7.1.3. Sedimentgehalt

Aus den Daten der Abflusshöhe des IKTs, die im Minutentakt aufgezeichnet wurden, ist der Abfluss in l/s bestimmt worden. Anhand folgender Formel wurde die Abflusshöhe des Einzugsgebietsauslass berechnet:

$$\log Q = A + B \cdot \log h_a + C \cdot [\log h_a]^2$$

wobei:

Q der Abfluss in l/s,

A eine Konstante mit dem Wert -0,4551924,

B eine Konstante mit dem Wert 1,153527,

C eine Konstante mit dem Wert 0,2873709,

und h_a die angezeigte Höhe der Drucksonde in cm ist.

Diese Formel wurde am IKT speziell für die Abflussberechnung dieses Messwehrs („H-flume“) erstellt. Durch das anschließende multiplizieren mit der Sedimentkonzentration in mg/l wird die Fracht ermittelt. Im Anschluss werden die Werte für den gesamten Betrachtungszeitraum aufsummiert. Man erhält für den Betrachtungszeitraum eine Fracht an Sediment in mg. Danach wird dieser Wert noch

mit der Grundfracht bereinigt. Die Grundfracht ist jener Wert, der vor dem Ereignis bereits gemessen werden konnte.

7.2. Daten

7.2.1. Niederschlagsmessungen

Die Messstation auf dem Gelände des IKT in Petzenkirchen, hat im Untersuchungsgebiet in der Zeit von 01.01.2011 bis 02.05.2011 142,6 mm Niederschlag aufgezeichnet. Für die Bodenerosion durch Wasser ist, wie im Einleitungskapitel beschrieben, die Intensität des Ereignisses wichtig. Am 25.04.2011 wurde ein Niederschlag mit 15,8 mm registriert. Die höchsten Intensitäten des Niederschlages betrugen während dieses Ereignisses betrugen bis zu 1,6 mm/min. Abbildung 17 stellt den kumulierten Niederschlag für das Einzugsgebiet von 01.01.2011 bis 02.05.2011 dar.

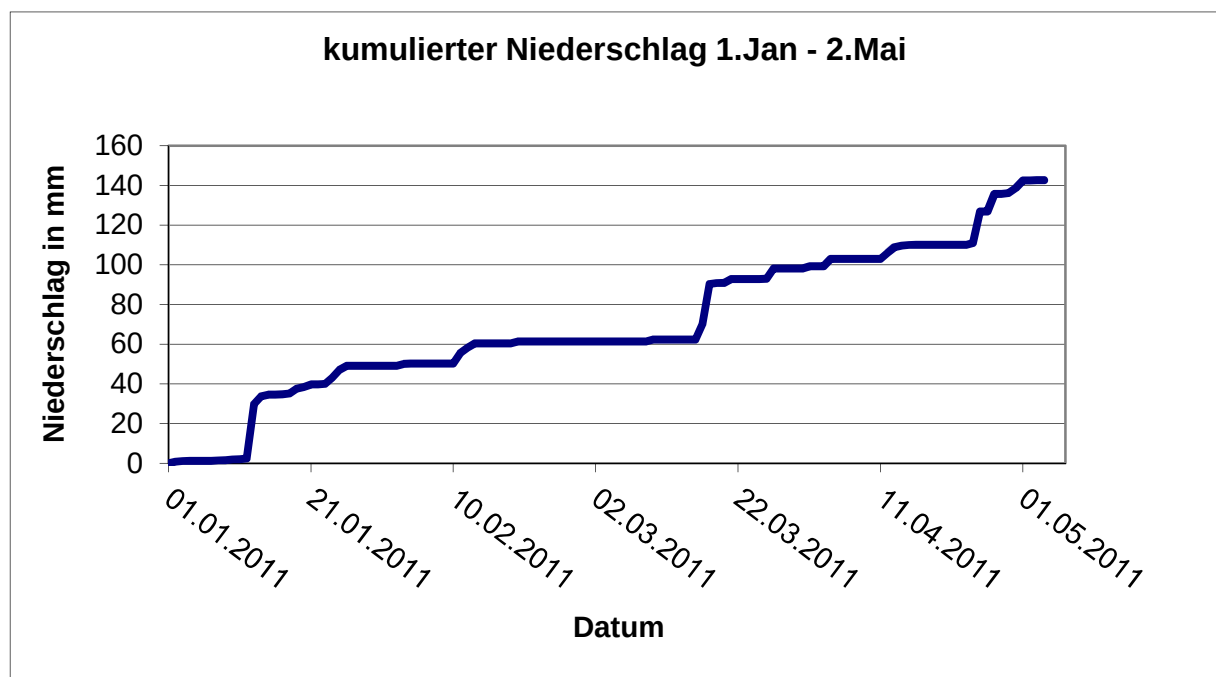


Abbildung 17, Kumulierter Niederschlag

In Abbildung 18 ist das Untersuchungsgebiet in der Karte dargestellt. Die roten Kreise zeigen die drei Niederschlagsmessstationen. Im nebenstehenden Diagramm sind die kumulierten Niederschläge aller drei Messstationen mit einer Auflösung im Minutentakt dargestellt. Das Niederschlagsereignis begann am 25.04.2011 um 18:14 Uhr und dauerte bis 19:00 Uhr. Im Diagramm lassen sich Unterschiede in Bezug auf Intensitäten und Niederschlagsgesamtsummen für die einzelnen Messstationen erkennen. Die Gesamtsummen zwischen den Messstationen streuen um rund 5 mm. Bei der Messstation N3 wurde der geringste Niederschlag

aufgezeichnet und an der Messstation im Schlossgarten der höchste. Die Messstation N2 liegt zwischen diesen Werten. Somit ist eine Abnahme des Niederschlages von Süd nach Nord zu erkennen.

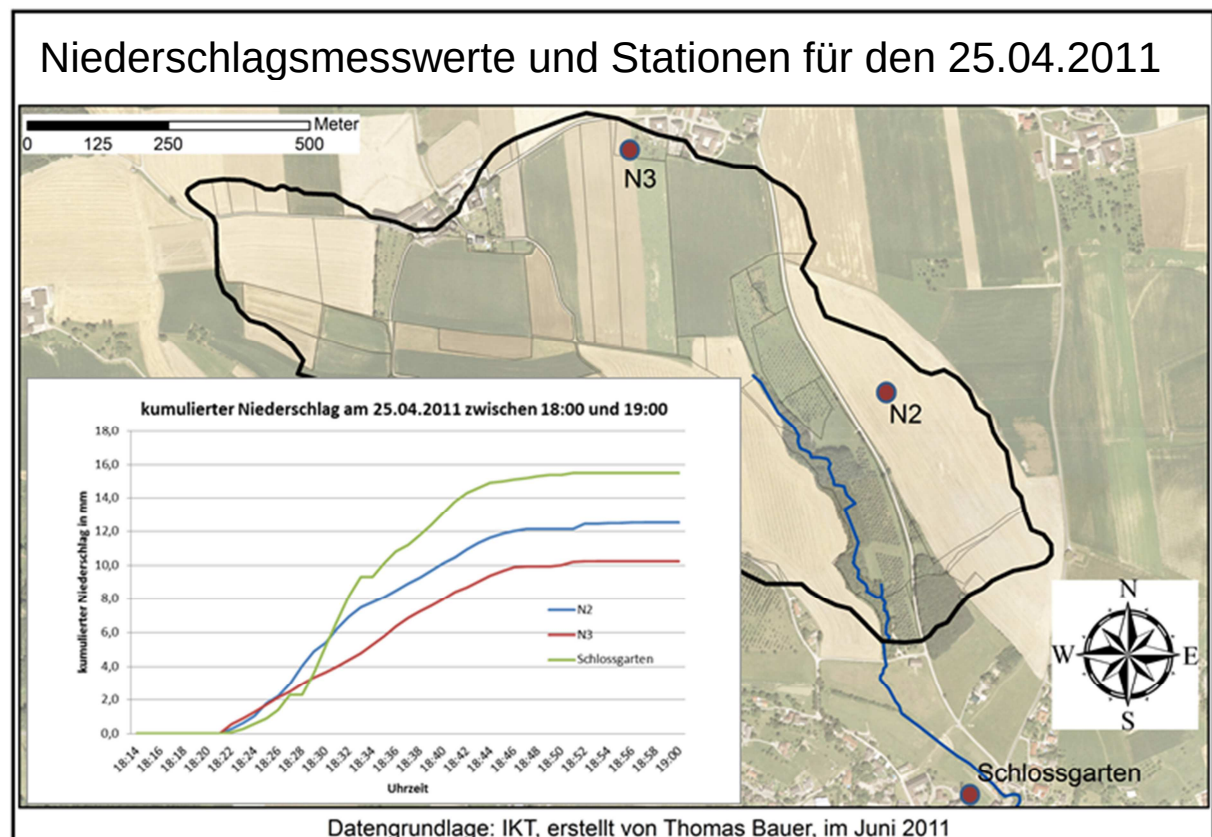


Abbildung 18, Niederschlagsmessstationen im Untersuchungsgebiet

7.2.2. Sediment und Abflussmessungen

Tabelle 3 stellt die für das Ereignis ermittelte Sedimentfracht dar. Die Betrachtungsdauer mit 491 Minuten angeführt. Sie ergibt sich hier aus der Dauer, in welcher die Sedimentkonzentration des Abflusses wieder auf das Niveau vor dem Niederschlag abgesunken ist. Da bei der hier vorliegenden Arbeit dem Sediment mehr Bedeutung als dem Abfluss zukommt wurde die Dauer nicht über den Abflussrückgang bestimmt. Die Gesamtfracht in dieser Zeitspanne beträgt 169 kg, wobei sie sich aus einer Grundfracht mit 0,7 kg und einer Fracht aufgrund des erhöhten Abflusses mit 168,3 kg zusammensetzt.

Tabelle 3: Sedimentfracht im Vorfluter

Dauer in min	Abfluss Gesamt in l	Gesamtfracht in kg	Grundfracht in kg	Fracht aufgrund des Niederschlages in kg
491	190.819	169	0,7	168,3

Das Diagramm in Abbildung 19 zeigt den Verlauf der Sedimentkonzentration im Vorfluter des Untersuchungsgebietes. Es zeigt sich ein zweistufiger Anstieg der Sedimentkonzentration. Ausgehend von der Grundkonzentration von 8 mg/l wird binnen 45 Minuten eine maximale Konzentration von 4.071 mg/l erreicht. Ebenso rasch wie die Kurve ansteigt, fällt sie nach dem Erreichen auch wieder ab. Die Dauer bis zum Erreichen der Grundfracht nimmt noch einige Stunden in Anspruch.

Das Diagramm zeigt außerdem den Verlauf der elektrischen Leitfähigkeit und des Abflusses an der Messstation im Vorfluter. Im angeführten Diagramm ist zu erkennen, dass die elektrische Leitfähigkeit des Abflusswassers mit steigender Sedimentkonzentration abnimmt. Es zeigt sich weiter, dass die Sedimentkonzentration kurz vor dem maximalen Abfluss den höchsten Wert hat.

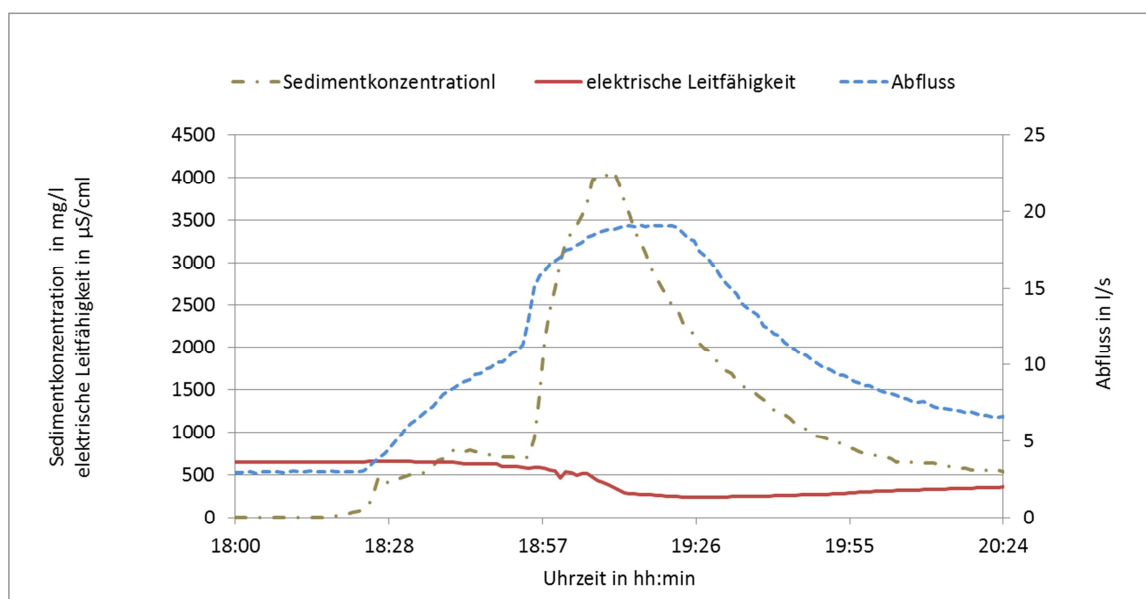


Abbildung 19, Verlauf von Kennwerten im Vorfluter

7.2.3. Kartierung

In der Tabelle 4 sind die während der Kartierung aufgenommenen einzelnen Rillen in ihrer Ausdehnung angeführt. Weiters sind die berechneten Querschnittsflächen und das Volumen jeder Rille ermittelt worden. Die letzten beiden Spalten erlauben eine Klassifikation der Rillen nach Rohr et al. (1990). In der ersten Spalte ist die Zuordnung der Rillen zu einem bestimmten Typ mittels einer Nummer angegeben, wobei die Nummern 2.1 für mehrere kurze Kleinstrillen, 2.2 für Rillen mit einer Tiefe zwischen 2-15 cm und einer Breite größer als 5 cm und 2.5 für mehrere konvergent zusammenfließende Rillen steht. Die genauen Bezeichnungen der einzelnen Rillenbenennungen sind in den Legenden der Karten der Kartierung angeführt. In der letzten Spalte sind noch die Benennung der Rillen nach dem Nomogramm - nach Rohr et al. (1990). Dieses lässt auf die Rillentiefe und Rillbreite rückschließen. Das Nomogramm ist ebenfalls in den Karten der Kartierung gesondert dargestellt. Bei der Klassifikation 2.5 wurde für jede der zusammenlaufenden Rillen ein Querschnitt

berechnet, sowie die Zuordnung und Benennung nach Rohr et al. 1990 durchgeführt. Am unteren Ende der Tabelle findet sich die Zeile mit den aufsummierten Volumina aller kartierten rillenhaften Erosionsformen. Sie beträgt 17,27 m³. Die meisten Rillen sind zwischen 4 und 7 cm tief. Im Zuge der Messungen wurde eine wesentlich tiefere Rille – 20 cm – gemessen. Aufgrund dieser beträchtlichen Tiefe kann davon ausgegangen werden, dass es sich hierbei um eine Rinne handelt. Die durchschnittliche Rillenbreite liegt bei 10 und 62 cm. Die Längen der Rillen betragen zwischen 8 und 190 m.

Tabelle 4: Volumina aller rillenhaften Erosionsformen

Nr. der Rille	Anzahl der Rillen	Tiefe in cm	Breite in cm	Länge in m	Querschnittsfläche in m ²	Volumen in m ³	Zuordnung nach Rohr et al. (1990)	Benennung nach Rohr et al. (1990) Nomogramm
0	1	7	19	55	133	0,73	2.2	E
1	1	5	15	10	75	0,08	2.2	D
2	1	5	15	10	75	0,08	2.2	D
3	1	5	15	10	75	0,08	2.2	D
4	1	3	45	15	135	0,20	2.2	N
5	1	3	40	8	120	0,10	2.2	N
6	1	5	45	20	225	0,45	2.2	N
7	1	5	40	15	200	0,30	2.2	N
8	1	5	60	22	300	0,66	2.2	N
9	1	5	10	70	50	0,35	2.2	A
10	1	5	14	70	70	0,49	2.2	D
11	4	4	23+35+10+10	8	92 +140+ 40+40	0,25	2.5	G+K+A+A
12	1	4	30	16	120	0,19	2.2	G
13	1	4	22	60	88	0,53	2.2	G
14	1	4	22	60	88	0,53	2.2	G
15	1	4	20	56	80	0,45	2.2	G
16	3	4	62+22+40	8	248 + 88 +160	0,40	2.5	N+G+K
17	1	5	30	10	150	0,15	2.2	G
18	1	5	20	10	100	0,10	2.2	D
19	1	5	10	10	50	0,05	2.2	A
20	1	7	15	73	105	0,77	2.2	E
21	1	2	30	26	60	0,16	2.1	G
22	1	2	28	30	56	0,17	2.1	G
23	1	2	50	27	100	0,27	2.1	N
24	1	6	15	10	90	0,09	2.2	E
25	1	6	15	11	90	0,10	2.2	E
26	1	6	15	18	90	0,16	2.2	E
27	1	6	15	19	90	0,17	2.2	E
28	1	7	10	8	70	0,06	2.2	B
29	1	6	18	130	108	1,40	2.2	E
30	1	8+5	22+17	20+10	176 + 85	0,44	2.5	H+D
31	1	20+3+3	30+20+20	46+35+20	600 + 60 +60	3,09	2.5	Drinne+D+D
32	1	7	32	190	224	4,26	2.2	L
Volumen aller Rillenhaften Erosionsformen						17,27	m³	

Ein Vergleich der Volumina einzelner Gruppen von Rillen ist in Abbildung 20 dargestellt, wobei ein 3-klassiges Schema gewählt wurde. Von den insgesamt 17,27 m³ Rillenvolumen sind 5,64 m³ auf die Rillen mit einem Volumen unter 0,5 m³ und einer durchschnittlichen Rillengröße von 0,17 m³ zurückzuführen. Es gibt insgesamt 33 solche Rillen. Der mittleren von 0,5 – 1 m³ Klasse sind 3,21 m³ des gesamten Volumens zuzuordnen, wobei insgesamt fünf Rillen mit einem durchschnittlichen Volumen von 0,64 m³ kartiert wurden. Über 50 Prozent des in Rillen erodierten Volumens ist den Formen zuordenbar, die ein Volumen von mehr als 1 m³ haben. Hier wurden jedoch nur drei Formen mit einem durchschnittlichen erodierten Volumen von 2,81 m³ vermessen.

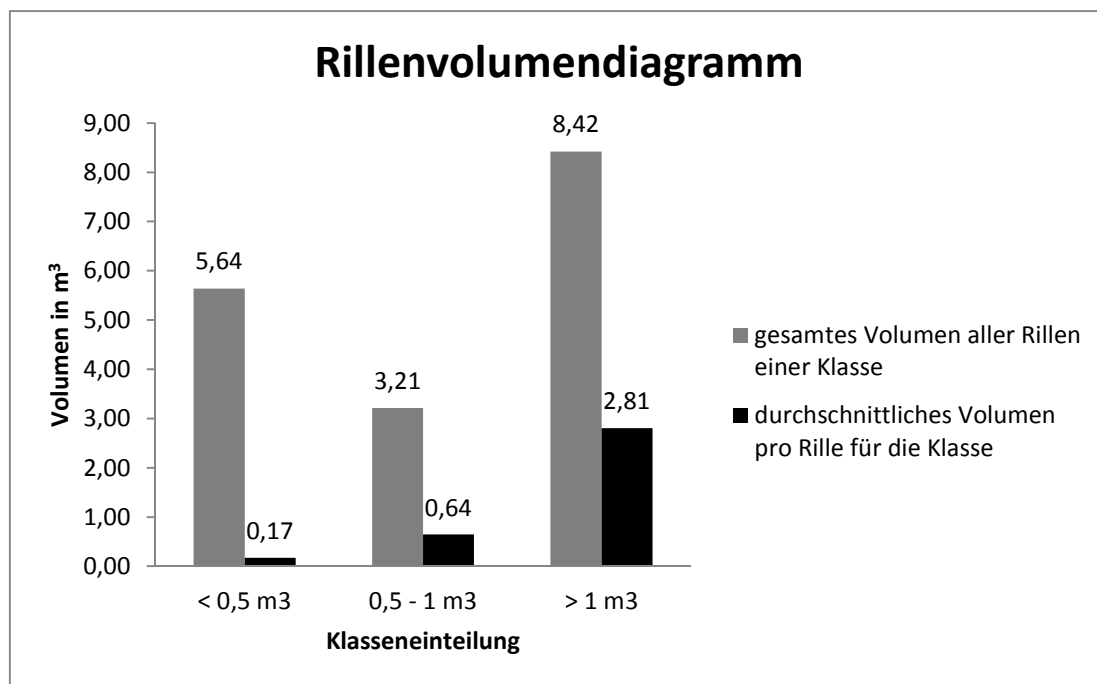


Abbildung 20, Rillenvolumendiagramm

Tabelle 5 zeigt die Charakteristika der flächenhaft verbreiteten Rillenformen, das sind Formen, die zwar eindeutig den Rillen zuordenbar sind, jedoch aufgrund ihres vermehrten Auftretens in kleinen Abständen zueinander als flächenhafte Form kartiert worden sind. Es wurden vier flächenhafte Formen kartiert, wobei eine Form die Zuordnung 1.3 trägt. Das bedeutet, dass es sich hierbei um eine Flächenspülung in Bearbeitungsrichtung handelt. Die drei anderen Flächen tragen die Zuordnung 3.1. Dies gibt an, dass diese dieselbe Form haben wie 2.2 jedoch parallel zueinander in kleinen Abständen gehäuft auftreten. Das gesamte erodierte Volumen, bedingt durch flächenhaft verbreitete Rillen beträgt 113,11 m³, wobei der Großteil auf den in der Tabelle ausgewiesenen Rillenbereich Nummer 1 zurückzuführen ist.

Tabelle 5: Volumina aller flächenhaft verbreiteten Rillenformen

Nummer der Rillenfläche	Anzahl der Rillen	Tiefe der Rillen in cm	Breite der Rillen in cm	Länge in m	Querschnittsfläche in m ²	Volumen in m ³	Zuordnung nach Rohr et al. (1990)	Benennung nach Rohr et al. (1990) Nomogramm
0	10	2	8	44	16	0,704	1.3	A
1	149	4	18	100	72	107,28	3.1	D
2	13	4	10	10	40	0,52	3.1	A
3	8	4	18	80	72	4,608	3.1	D
Volumen aller flächenhaft verbreiteten Rillenformen:						113,11	m³	

Ebenso wie für die Erosionsformen wurden auch die Akkumulationsflächen erfasst (Tabelle 6). Das aufsummierte Volumen aller Akkumulationsflächen beträgt 97,04 m³, wobei zwei Formen (Nummer 5 und Nummer 9) über 75 Prozent der Gesamtakkumulation ausmachen. Die Zuordnung der einzelnen Formen nach Rohr et al. 1990 lässt drei Gruppen erkennen, wobei 6.1 für kleinflächige Akkumulationsformen mit variabler Mächtigkeit, 6.2 für Formen mit Mächtigkeiten kleiner als 3 cm und 6.3 für Formen mit Mächtigkeiten zwischen 3 und 10 cm steht. Die genauen Beschreibungen der einzelnen Zuordnungen nach Rohr et al. (1990) finden sich im Anhang beziehungsweise in den Karten der Kartierung.

Tabelle 6: Tabelle mit den Volumen der kartierten Akkumulationsflächen

Nummer der Akkumulationsfläche	Dicke in cm	Länge in m	Breite in m	Fläche in m ²	Volumen in m ³	Zuordnung nach Rohr et al. 1990
0	0,5	5	18	90	0,45	6.1
1	1	4	10	40	0,40	6.1
2	4,3	3	4	12	0,52	6.2
3	1	34	10	340	3,40	6.1
4	1	20	10	200	2,00	6.1
5	3	16,4	16,4	268,96	8,07	6.2
6	1	6	6	36	0,36	6.1
7	5,1	22	34	748	38,15	6.3
8	6	40	0,5	20	1,20	6.3
9	1,2	170	20	3400	40,80	6.1
10	1	17	10	170	1,70	6.1
Volumen aller Akkumulationsflächen:					97,04	m³

Tabelle 7 stellt die Summen der einzelnen kartierten Formen der vorherigen Tabellen dar. Insgesamt wurden auf den 66,7 ha des Untersuchungsgebiets 130,4 m³ erodiertes Bodenvolumen und 97 m³ akkumulierter Boden kartiert. In der Tabelle sind auch die Volumina in Bezug zu der gesamten Fläche in m³/ha angeführt. Das gesamte erodierte Volumen über das Untersuchungsgebiet, unabhängig von der Feldfrucht, erreichte einen mittleren Wert von 2 m³/ha.

Tabelle 7: Zusammenfassung aller kartierten Formen

kartierter Formentyp	Volumen in m ³	Volumen pro Fläche m ³ /ha
Einzelrillen	17,3	0,3
flächenhaft vorkommenden Rillenformen	113,1	1,7
Gesamtes erodierte Volumen	130,4	2,0
kartiertes Akkumulationsvolumen	97,0	1,5

In Abbildung 21 sind die einzelnen kartierten Formen dargestellt. Es wurde der Maßstab 1:8000 gewählt, um eine bessere Übersicht über das gesamte Gebiet zu bekommen. Die Formen wurden aufgrund der Darstellungsgenauigkeit zusammengefasst. Der Hintergrund der kartierten Fläche stellt die unterschiedliche Landnutzung im Einzugsgebiet dar. In der seitlichen Legende sind die einzelnen Formen der Zuordnung nach Rohr et al. 1990 angeführt. Ebenso ist das Nomogramm für die Einteilung der Rillen in bestimmte Gruppen ersichtlich. Durch den Niederschlag vom 25.04.2011, lassen sich einige Bereiche erkennen, wo dieses Ereignis besonders erosiv war.

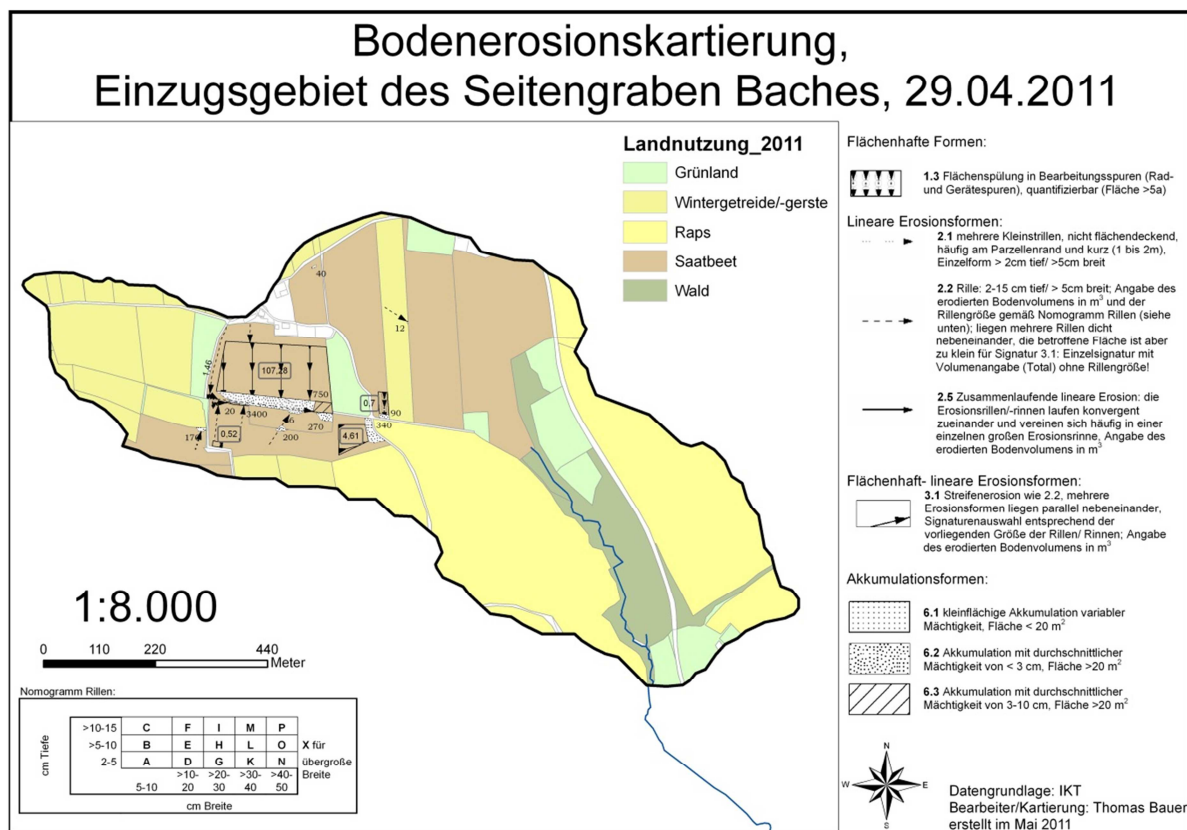


Abbildung 21, Karte Maßstab 1:8.000 – Kartierung

Die Karte in Abbildung 22 zeigt eine Detailansicht der unterschiedlichen Formen und deren räumliche Lage im Untersuchungsgebiet. Die Erstellung erfolgte analog zur vorherigen Karte mit dem Maßstab 1:8.000.

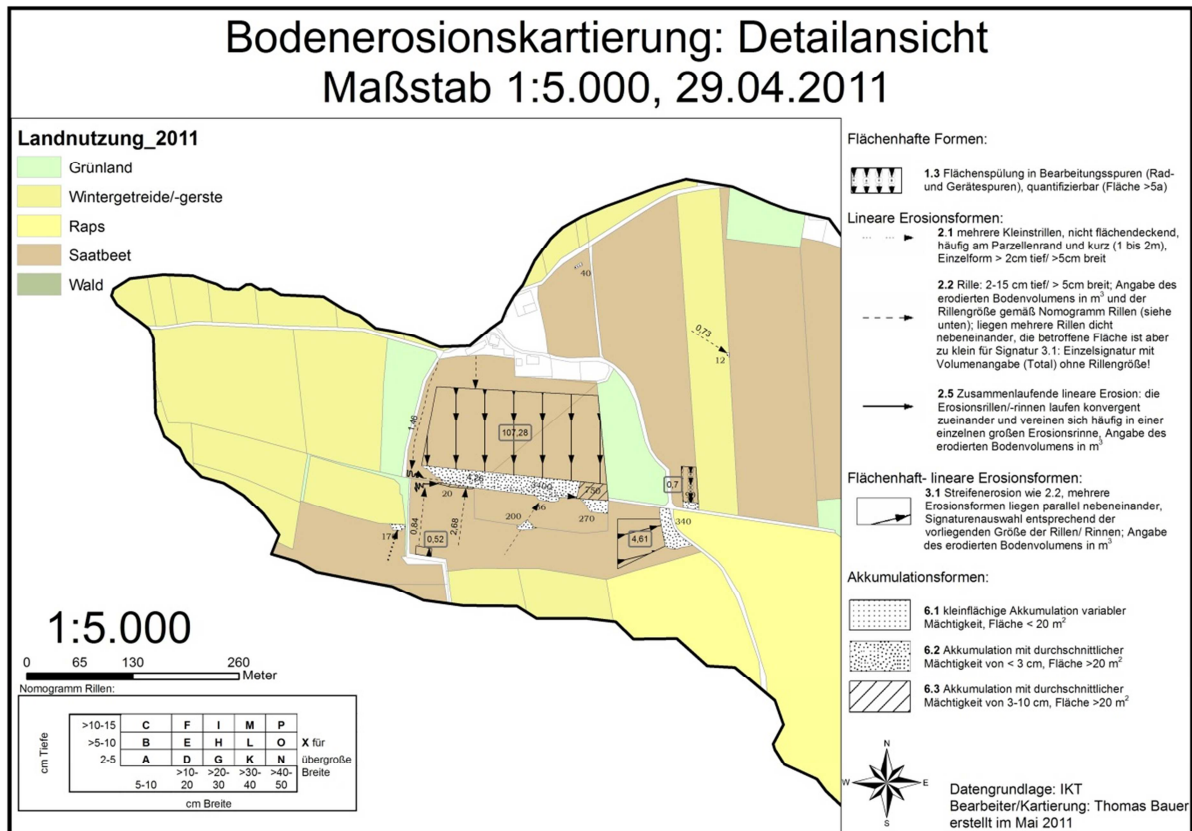


Abbildung 22, Erosionskartierung: Detailansicht Maßstab 1:5.000

Die Abbildung 23 zeigt einen Ausschnitt der Kartierung dargestellt im Maßstab von 1:1.500. Die Abbildung zeigt die kartierten Elemente an jenem Feld wo die Messung mit dem Laserscanner durchgeführt wurden. Der Grad der Generalisierung ist hier deutlich geringer und es lassen sich viel genauere Details der Karte erkennen. Die Zuordnung jeder Rille nach dem Nomogramm ist möglich und das erodierte Volumen kann angegeben werden. Es lässt sich ein großer Bereich erkennen, an dem flächenhafte Rillenerosion stattgefunden hat. Ebenso sind einige einzelne Rillen zu erkennen. Im Unterhang wurde Material akkumuliert. Der Akkumulationsbereich wurde in zwei Bereiche unterteilt, einer mit geringer Mächtigkeit und einer mit einer Mächtigkeit zwischen 3 und 10 cm.

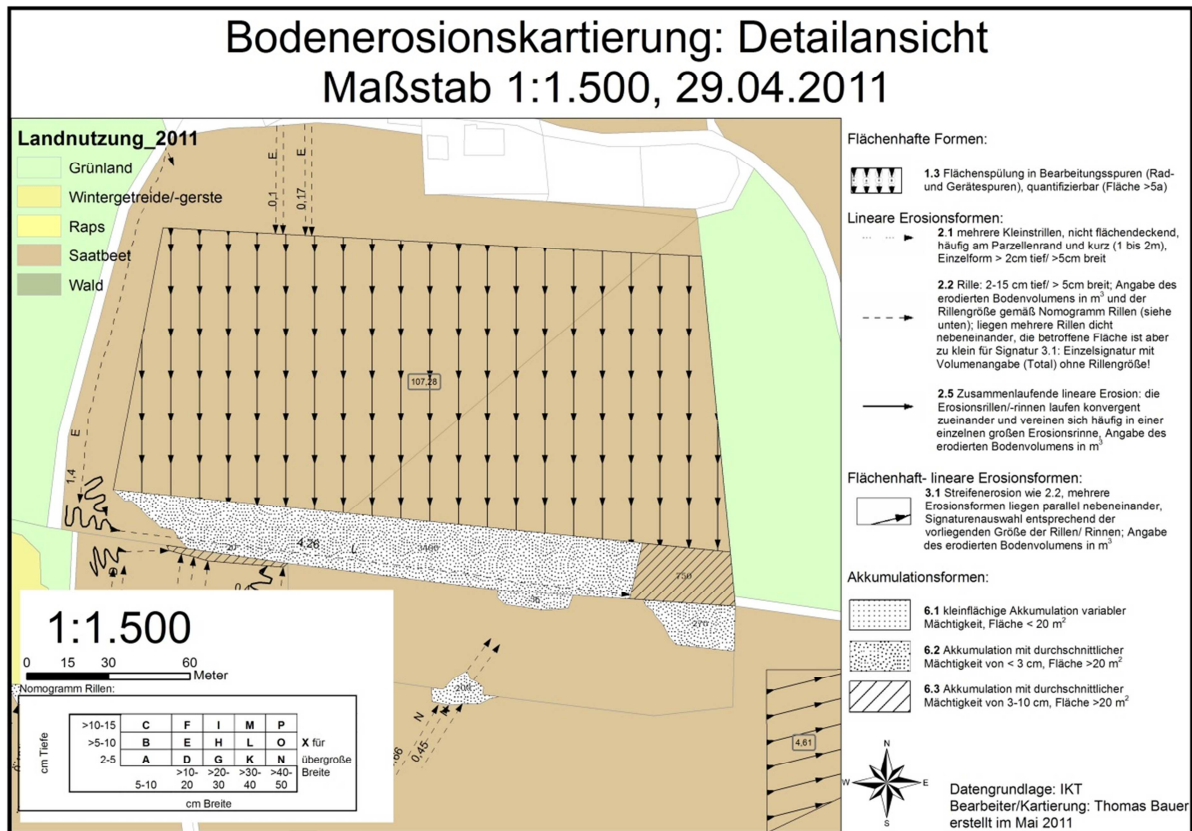


Abbildung 23, Erosionskartierung: Detailansicht, Maßstab 1:1.500

In der Abbildung 24 und der dazugehörigen Tabelle 8 werden die kartierten Bodenmaterialumlagerungen auf die einzelnen betroffenen Schläge rückgeführt. In der Abbildung 24 sind die jeweiligen Feldnummern angegeben und aus der Tabelle können dann die zugehörigen Werte abgelesen werden. Zur besseren Übersicht wurde eine Spalte mit den mittleren Wert des erodierten Materials pro Hektar für jedes Feld hinzugefügt, und die Landnutzung zum Zeitpunkt der Kartierung angeführt. Beim Abgleich der Karte mit der Tabelle fällt auf, dass vor allem das Feld Nummer 20, mit einem erodierten Bodenvolumen von 34 m³/ha, sehr hoch liegt. Anzumerken ist aber, dass auf diesem Feld viel Material wieder akkumuliert wurde. Beim Feld Nummer 32 fällt auf, dass bei weitem mehr Material akkumuliert als erodiert worden ist. Beim hangaufwärts liegenden Feld mit der Nummer 35 ist hingegen nur etwa die Hälfte des erodierten Bodenvolumens auch akkumuliert worden.

Bodenerosionskartierung Feldnummern Einzugsgebiet des Seitengrabenbaches, 29.04.2011

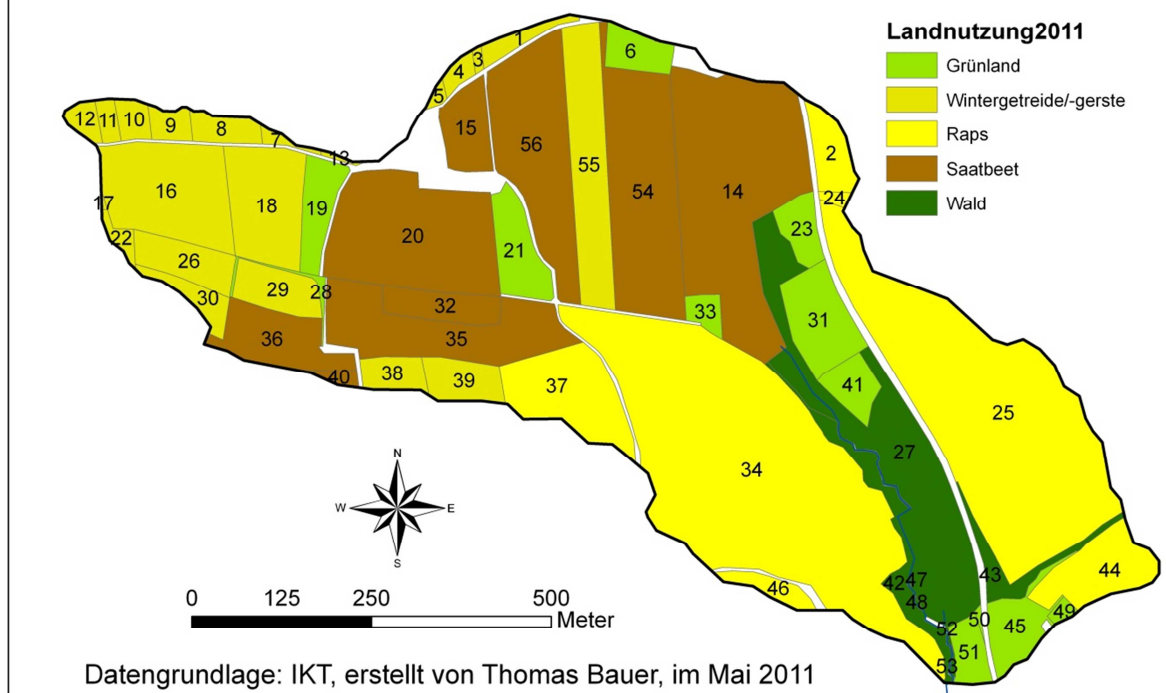


Abbildung 24, Feldnummern

Tabelle 8: Erosion pro Feld - Kartierung

FeldNr. nach Abbildung 24	Landnutzung	betroffene Fläche in ha	erodiertes Volumen in m ³	erodiertes Volumen pro Fläche in m ³ /ha	akkumuliertes Volumen in m ³
15	Saatbeet	0,74	0,24	0,33	0,45
20	Saatbeet	3,44	117,05	34,07	78,95
32	Saatbeet	0,66	0,30	0,46	8,43
35	Saatbeet	2,33	10,71	4,59	6,60
36	Saatbeet	1,17	0,60	0,51	1,70
56	Saatbeet	2,87	0,70	0,24	0,45
55	Wintergerste/-getreide	2,00	0,73	0,37	0,52

Tabelle 9 zeigt die Ergebnisse der Fehleranalyse bei Rillen und Akkumulationsformen. Der Fehler in der Längenausdehnung durch unterschiedliche Methoden ausgehend von der mehrmaligen Vermessung mit dem Maßband beträgt bis zu 6% bei der Methode durch Abschreiten. Die Volumens Unterschiede betragen bei den unterschiedlichen Messmethoden bis zu 14%. Beim Volumen der flächenhaften Formen ist mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit von bis zu 50% zu rechnen.

Tabelle 9: Fehlerbestimmung bei der Kartierung

Fehler bei der Vermessung von Rillen:	
Methoden Längenbestimmung von Rillen:	Abweichung in %
durch Abschreiten:	bis ± 6
durch mehrmaliges Messen mit dem Maßband	0
durch einmaliges Messen mit dem Maßband	bis ± 5
Methoden Volumenmessung von Rillen:	Abweichung in %
einmaliges messen	bis ± 11
dreimaliges messen	bis ± 14
alle 5 cm	0
Fehler bei der Vermessung von flächenhaften Formen:	
Tiefe in m	Abweichung in %
0,015	bis ± 50
0,025	bis ± 30
0,035	bis ± 28
0,045	bis ± 25

7.2.4. Laserscanner

Im folgenden Teil werden die Ergebnisse der Messungen mit dem terrestrischen Laserscanner vorgestellt.

In Tabelle 10 sind die Bodenoberflächenveränderungen in der Zeit von 18.04.2011 bis 28.04.2011 in m^3/ha angeführt. Es wurden drei Spalten angegeben, wobei, in der ersten Spalte das akkumulierte Bodenvolumen mit $207 \text{ m}^3/\text{ha}$ angeführt wird. Dies bedeutet, dass pro ha betrachteter Fläche 207 m^3 Material an einer beliebigen Stelle abgelagert worden ist. Die zweite Spalte die als Erosion/Verdichtung gekennzeichnet worden ist, gibt sind $-280 \text{ m}^3/\text{ha}$ angegeben. Das negative Kennzeichen symbolisiert, dass es sich um einen Rückgang des Volumens handelt. Werden diese beiden Werte nun gegeneinander abgewogen, erhält man ein Resultat von $-73 \text{ m}^3/\text{ha}$. Dies lässt darauf schließen, dass die Bodenoberfläche auf diesem Feld um insgesamt $73 \text{ m}^3/\text{ha}$ abgenommen hat.

Tabelle 10: Bodenoberflächenveränderung - Laserscananalyse

Bodenoberflächenveränderung zwischen 18.04 und 28.04.2011		
Akkumulation/Quellung	Erosion/Verdichtung	Summe
$207 \text{ m}^3/\text{ha}$	$-280 \text{ m}^3/\text{ha}$	$-73 \text{ m}^3/\text{ha}$

In der oben angeführten Tabelle wurde die gesamte gescannte Fläche betrachtet. In der Tabelle 11 wurde versucht die Veränderung von einzelnen Rillen noch detaillierter zu unterscheiden, da es sich um Rillen handelte, die sich in Fahrspuren ausgebildet haben. Es wurden zwei Arten von Volumenrückgang innerhalb der Rillen angenommen, einerseits eine Volumenabnahme durch Verdichtung als Folge des Einsatzes von landwirtschaftlichen Maschinen inklusive anschließender Sackung und andererseits eine Volumes Veränderung durch Wassererosion. Weiter wurden noch vier Rillen ausgewiesen, die durch anthropogenen Einfluss eine besonders starke Erosion aufgewiesen haben. Es sind pro Rillentyp die einzelnen Volumina angeführt sowie die Mittelwerte und die Standardabweichungen.

Auf die Verdichtung durch landwirtschaftliche Maschinen konnten $-0,13 \pm 0,07 \text{ m}^3$ pro Rille mit einer Länge von 100 m ermittelt werden. Durch die Wassererosion konnte eine Volumes Veränderung von $-0,48 \pm 0,2 \text{ m}^3$ pro Rille auf 100 m Länge festgestellt werden. Die besonders stark erodierten Rillen wiesen eine Volumes Veränderung von $-0,83 \pm 0,24 \text{ m}^3$ pro 100 m Länge auf.

Tabelle 11: Erosion und Verdichtung, Laserscananalyse

Bodenoberflächenveränderung hochgerechnet auf 100 m Rillenlänge					
Verdichtung	Volumen	Erosion	Volumen	starke Erosion	Volumen
Rille 1 quer	$-0,05 \text{ m}^3$	Rille 1	$-0,42 \text{ m}^3$	Rille 1 stark	$-1,05 \text{ m}^3$
Rille 2 quer	$-0,15 \text{ m}^3$	Rille 2	$-0,3 \text{ m}^3$	Rille 2 stark	$-0,94 \text{ m}^3$
Rille 3 quer	$-0,17 \text{ m}^3$	Rille 3	$-0,76 \text{ m}^3$	Rille 3 stark	$-0,5 \text{ m}^3$
Rille 4 quer	$-0,06 \text{ m}^3$	Rille 4	$-0,26 \text{ m}^3$		
Rille 5 quer	$-0,24 \text{ m}^3$	Rille 5	$-0,66 \text{ m}^3$		
Mittelwert	$-0,13 \text{ m}^3$		$-0,48 \text{ m}^3$		$-0,83 \text{ m}^3$
Standardabweichung	$0,07 \text{ m}^3$		$0,20 \text{ m}^3$		$0,24 \text{ m}^3$

Der folgende Ausschnitt aus dem Programm JRC Reconstructor zeigt einen Teil des gescannten Feldes. Es wird ein Bereich gezeigt, in dem vermehrt Rillen vorkommen. Die Tiefen der Rillen wird anhand der unterschiedlichen Farbdarstellungen dargestellt. In der Legende sind zu jeder Farbe die Werte der Abweichungen im Bezug zu der Oberfläche vor dem Regenereignis angeführt. Es lassen sich Rillen und Spuren erkennen, die in ihrem Verlauf unterschiedlich tief eingeschnitten sind. Außerdem ist ersichtlich, dass manche Rillen teilweise tief eingeschnitten sind und die Tiefe der Rillen anscheinend nach unten hin zunimmt.

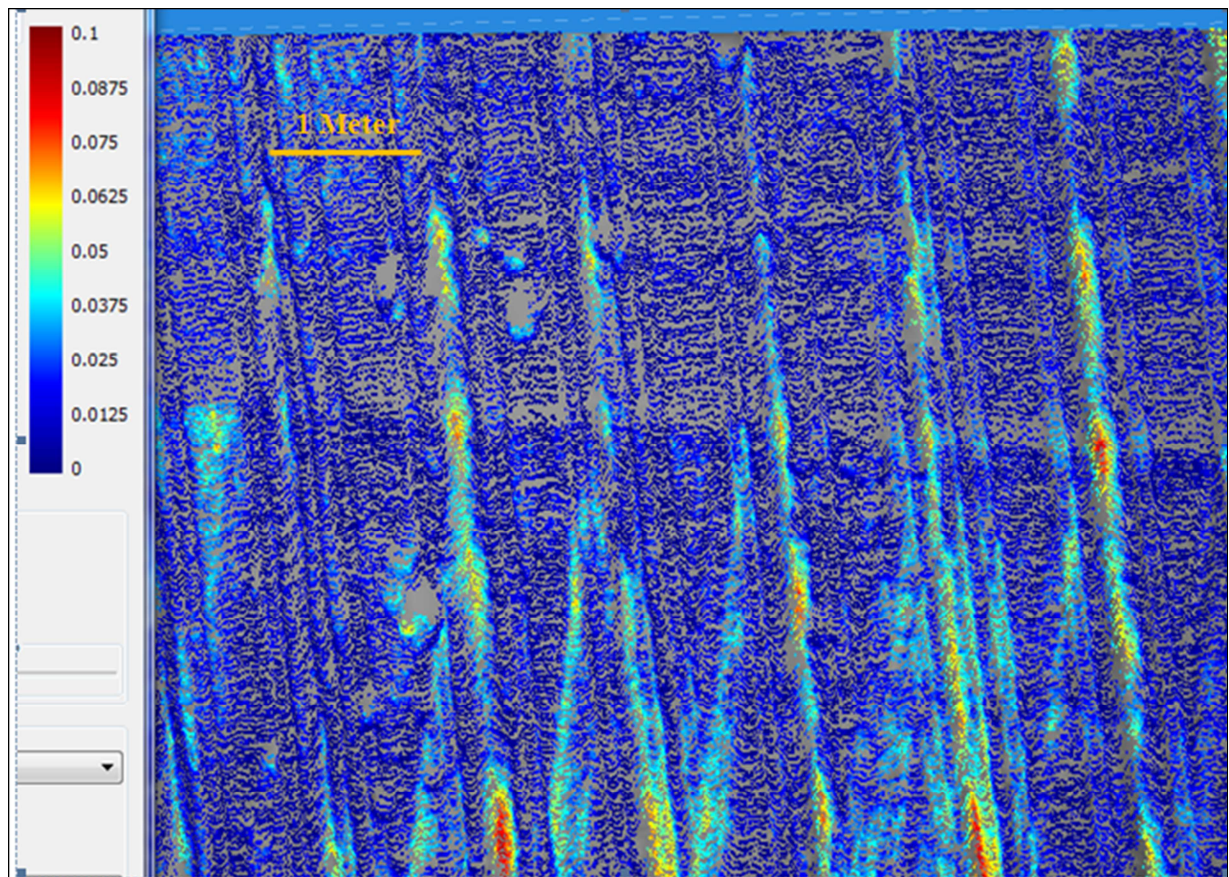


Abbildung 25, Ausschnitt aus der „inspection“ von JRC Reconstructor

7.2.5. Gegenüberstellung der Ergebnisse Kartierung - Laserscanner

In der Tabelle 12 wurden die Ergebnisse beider Erfassungsmethoden für einen Vergleich dargestellt. Es sind das erodierte Volumen, das akkumulierte Volumen und die Veränderung der Bodenoberfläche jeweils in m^3/ha angeführt. Die Werte der Kartierung entsprechen jenen des gesamten Feldes, die auch für die Laserscananalyse verwendet wurden. Bei der Messung mit dem Laserscanner wurde der gesamte gemessene Bereich ausgewählt. Die Ergebnisse wurden im Anschluss auf 1 ha Betrachtungsfläche umgerechnet.

Wie Tabelle 12 zeigt, liegen die Werte der Messungen mit dem terrestrischen Laserscanner um ein vielfaches über jenen der Kartierung. Was die Werte des erodierten und akkumulierten Volumens betrifft, sind die der Laserscananalyse um fast das zehnfache höher als jene der Kartierung. Als Resultat ist die Bodenoberflächenveränderung bei der Laserscananalyse um das Siebenfache höher.

Tabelle 12: Vergleich der Ergebnisse von Kartierung und Laserscanner

Vergleich der Ergebnisse beider Methoden			
Messmethode	erodiertes Volumen pro Fläche in m ³ /ha	akkumuliertes Volumen in m ³ /ha	Bodenoberflächenveränderung in m ³ /ha
Kartierung	34	23	11
Laserscanner	280	207	73

In der Tabelle 13, sind die Ergebnisse der Analysen in t/ha angeführt. Die Volumen wurden mit angenommenen Dichten, welche für Ausgangsmaterial und Ablagerungsmaterial unterschiedlich sind. Als Wert für das frische Saatbeet wurden 1,1 t/m³ angenommen, für akkumuliertes 1,4 t/m³. Für die Vergleichsfläche ist bei der Kartierung mit einer Bodenoberflächenveränderung von 5,4 t/ha zu rechnen, bei der Laserscananalyse mit 18t/ha.

Tabelle 13: Vergleich der Ergebnisse beider Methoden in t/ha

Vergleich der Ergebnisse beider Methoden					
Messmethode	angenommene Dichte erodiertes Material t/m ³	erodierte Menge pro Fläche in t/ha	angenommene Dichte erodiertes Material t/m ³	akkumulierte Menge in t/ha	Bodenoberflächenveränderung in t/ha
Kartierung	1,1	37,5	1,4	32,1	5,4
Laserscan	1,1	307,8	1,4	289,9	18,0

In der Tabelle 14 sind die durchschnittlichen erodierten Volumina von Rillen im Laserscanbereich beziehungsweise im Bereich der flächenhaft vorkommenden Rillenerosion der Kartierung angeführt. Bei genauer Betrachtung der Werte aus der Kartierung zeigt sich, dass eine Rille mit durchschnittlich 100 m Länge ein erodiertes Bodenvolumen von 0,72 m³ aufweist. Durch die Anwendung des terrestrischen Laserscanner kann eine Bodenoberflächenveränderung von 0,48 m³ verursacht durch Wassererosion ermittelt werden.

Tabelle 14: Rillenvergleich von Kartierung und Laserscananalyse

durchschnittliches Volumen von einer Rille mit 100m Länge im Bereich der flächenhaft vorkommenden Rillenerosion:		
Kartierung	0,72	m ³
Laserscan	0,48	m ³

8. Diskussion

In diesem Teil der Diplomarbeit wird nun eine eigenständige Interpretation der Ergebnisse, welche im vorangegangenen Kapitel vorgestellt wurden, durchgeführt. Bei der Diskussion wird das Schema, welches in den vorangegangenen Kapiteln angewendet wurde, weiter verwendet. Zuerst werden die Ergebnisse der beiden Methoden diskutiert, im Anschluss folgen ein Vergleich dieser Methoden und eine Diskussion über Besonderheiten in Bezug zur Bearbeitung der Daten. Die grundlegenden Gedanken werden zum Teil als Fragen ausformuliert, die es im Folgenden zu erklären gilt.

8.1. Kartierung

8.1.1. Lage der Erosionsformen

Bei der Kartierung wurden insgesamt 48 Erosionsformen aufgenommen, wobei 34 als rillenhafte einzeln vorkommende Erosionsformen kartiert wurden. Vier Formen lassen auf eine flächenhafte lineare Erosion schließen. Es wurden außerdem 11 Formen kartiert, die als Ablagerungen der Erosion gelten. Insgesamt wurden 130,38 m³ als erodiertes Volumen im Gelände erhoben. Dem steht ein Wert von 97,04 m³ akkumuliertem Bodenmaterial gegenüber.

Strauss und Peinsitt (2002) führten für das Untersuchungsgebiet in Petzenkirchen während nach einen starken Niederschlagsereignis mit 119 mm/m² in 89 Stunden eine Kartierung durchgeführt. Es konnten 108 m³ erodiertes Bodenvolumen und 88 m³ akkumuliertes Bodenvolumen erfasst werden.

Die Differenz zwischen beiden Werten (33,34 m³), bei dieser Kartierung, könnte darauf schließen lassen, dass dieses Volumen in den Vorfluter gelangt ist und aus dem System entfernt worden ist. Aufgrund der Geländeaufnahme kann diese Annahme aber verworfen werden, da keine der Akkumulationsformen und auch keine der Rillen bis zum Vorfluter reichte. Somit ist die Differenz der Erosions- und Akkumulationswerte auf Fehler in der Kartierung zurückzuführen. Da davon ausgegangen wird, dass das erodierte Material eine geringere Dichte als das akkumulierte Material hat, wäre es möglich, dass aufgrund der unterschiedlichen Dichten der Erosions- und Akkumulationsformen Unterschiede in den Massen entstehen. Wie auch bei Strauss und Peinsitt (2002) angeführt, ergibt sich die Differenz zwischen Erosions- und Akkumulationsformen durch den Austrag aus dem Gelände und Ungenauigkeiten in der Kartierung.

In den Karten, die im vorherigen Kapitel angeführt worden sind, ist zu erkennen, dass sich der große Teil der Erosionsformen auf den westlichen Teil des Einzugsgebietes beschränkt. Wie kommt es dazu, dass in diesem Bereich viele Formen erkennbar

waren und im Rest des Gebietes nicht? Im Wesentlichen kann auf einige Unterschiede im Gebiet rückgeführt werden.

Anhand der Annahme, dass unter gleichen Reliefbedingungen, gleiche Erosionsformen entstehen, wie bei Morgen (1986) beschrieben, sollten im Untersuchungsgebiet die kartierten Erosionsformen in Zusammenhang mit der Neigung des Geländes stehen. Vergleicht man das Relief und die kartierten Formen (Abbildung 16 und Abbildung 21) so ist auffällig, dass nicht bei allen Feldern die eine ähnliche Neigung und Bearbeitung haben, (Abbildung 24; besonders Nr. 14 und 20) auch dieselben erosiven Formen auftreten. Ebenso wird deutlich, dass in jenen Bereichen, wo die Reliefbedingung Erosion zulassen würde, nicht immer Erosionsformen auftraten. Somit kann die Entstehung von Rillen/Rinnen nicht nur auf das Relief zurückgeführt werden.

Nimmt man an, dass die Ausbildung von unterschiedlichen Bodentypen einen Einfluss auf die Menge des erodierten Bodenmaterials hat, so müssten bei unterschiedlichen Bodentypen aber ähnlichem Gelände auch unterschiedliche Bodenabträge vorkommen. In Abbildung 13 sind die zwei Hauptbodentypen in ihrer räumlichen Verteilung dargestellt. Bei der Betrachtung dieser Abbildung lässt sich daher kein optischer Zusammenhang zwischen Bodentypen und kartierten Erosionsformen feststellen.

Als weiterer Unterschied für die räumliche Verteilung kann die unterschiedliche Regenmenge/Intensität während des Niederschlagsereignisses gesehen werden. Dies ist in Abbildung 18 dargestellt. An den drei verwendeten Messstationen ist zu erkennen, dass sich im Untersuchungsgebiet das Niederschlagsereignis unterschiedlich stark ereignet hat. Im nördlichen Teil wurde ein Niederschlag von rund 11 mm/m^2 aufgezeichnet im südlichen Teil mit $15,8 \text{ mm/m}^2$. Betrachtet man den Verlauf des Niederschlages und somit auch die Intensitäten, so zeigt sich zwischen den Messstationen, folgendes Bild, welches in Abbildung 26 dargestellt ist. Die drei Messstationen weichen nicht nur in ihrer Gesamtsumme des Niederschlages ab sondern auch in den Intensitäten. Bei der Station Schlossgarten ist die Intensität des Niederschlages mit $1,6 \text{ mm/min/m}^2$ am höchsten. Wie in Abbildung 4 von Chisci (1981) gezeigt sind die Intensität und die Regenmenge die beiden Faktoren die eine Erosion durch Wasser erst möglich machen.

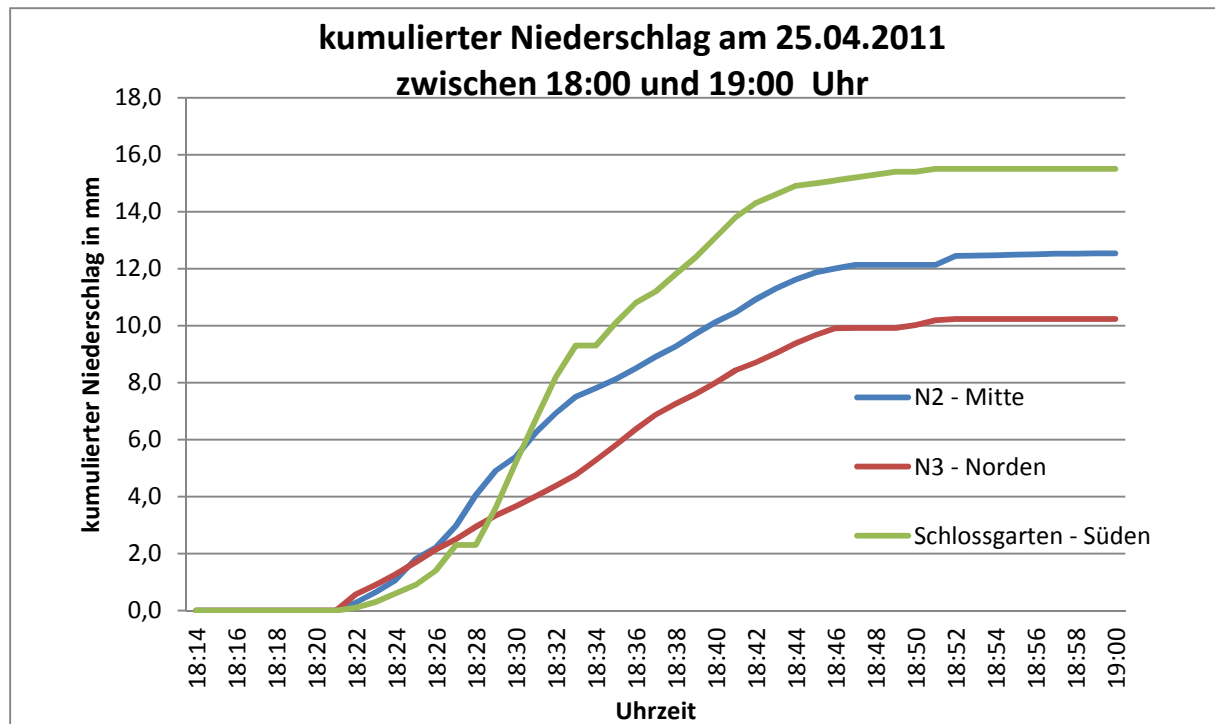


Abbildung 26, Kumulierter Niederschlag (25.04.2011)

Aus diesem Grund wäre eine mögliche Erklärung des räumlichen Auftretens der Erosionsformen über die unterschiedlichen Niederschlagsmengen und Niederschlagsintensitäten als relevant zu betrachten.

Dass die Landnutzung in Bezug zur Bodenerosion eine bedeutende Rolle spielt wurde bereits im Einleitungskapitel besprochen und findet sich bei einer Vielzahl von Autoren wieder (Bredurda und Richter, 1998; Boardman, 2006; Morgan 1986; Toy et al. 2002). Einer der am deutlichsten visuell feststellbaren Unterschiede im Einzugsgebiet war die Landnutzung. Fast sämtliche Erosionsformen wurden auf Feldern kartiert, wo zum Zeitpunkt des Ereignisses bereits angebaut worden war. Die Pflanzen konnten dem Boden jedoch noch keinen Schutz vor Erosion bieten. Eine Darstellung der angebauten Feldfrüchte findet sich in der Abbildung 24. Umso höher die Vegetation zum Zeitpunkt der Kartierung war, umso weniger Formen konnten erkannt werden. Beispielsweise wurde unter Wald, Wiese und Raps keine einzige erosive Form erkannt. Bei der Nutzung durch Wintergerste/-getreide konnte dagegen schon eine Form erkannt werden, die in ihrer Gesamtheit aber nicht sehr groß war. Diese Form ist in Abbildung 27 dargestellt.

Dies würde bedeuten, dass auf allen Feldern, wo Erde freiliegt, die Niederschlagsintensität hoch genug ist und die Hangneigung groß ist, erosive Formen entstehen würden. Dies ist nicht der Fall, da auch die Anbaumethode eine große Rolle spielt. So ist auf den Feldern (Nr. 54 und 14 in der Karte in Abbildung 24) eine Mulchsaat durchgeführt worden, hier waren keinerlei erosiven Formen zu erkennen.



Abbildung 27, Foto der Erosionsform auf Wintergerste/-getreide

(Quelle: eigene Aufnahme)

Die räumliche Verteilung von Erosionsformen ist somit auf die Unterschiede in der Landnutzung, das Relief und den Niederschlag zurückzuführen. Dem Relief kann dabei eine große Rolle zugesprochen werden, jedoch konnten auch in steileren Bereichen, wo Mulchsaat betreiben wurde, keine Formen der Bodenerosion kartiert werden. In Bereichen, wo keine Mulchsaat stattfand, traten in den steileren aber auch flacheren Gebieten des Untersuchungsgebietes vermehrt Erosionsformen auf. Eine weitere Ursache für das Auftreten von Erosionsformen wäre die Existenz von darüber liegenden Verursachern. Es konnten Fälle kartiert werden, wo Dachrinnen, die direkt auf das Feld entwässerten, zur Ausbildung von Rillen führten. Ebenso führte die Wassermenge, die sich auf Straßenflächen sammelte und im Anschluss in die Felder drainierte, zur Ausbildung von Erosionsformen. Prashun widmet dem Sachverhalt der Fremdwasserzufuhr und den dadurch entstehenden Erosionsformen ein eigenständiges Unterkapitel (Internetquelle: Prashun)

8.1.2. Rillengröße

Im Rillenvolumendiagramm (Abbildung 20) und in der Tabelle 15 ist zu erkennen, dass die großen Rillenformen fast 50 Prozent des Gesamtvolumens ausmachen. Es befinden sich aber nur drei Rillen in dieser Kategorie. In der Klasse der Rillen mit einem Volumen unter $0,5 \text{ m}^3$ befinden sich hingegen 33 Formen, die zwar im Durchschnitt relativ klein sind, durch ihre Summe jedoch zu 33 Prozent in die Ergebnisse der Kartierung einfließen.

Tabelle 15, Rillenklassenverteilung

Rillenkategorie	Anzahl in der jeweiligen Klasse	Volumen der Klasse	% an Gesamtvolumen
< 0,5 m ³	33	5,64	32,65
0,5 - 1 m ³	5	3,21	18,61
> 1 m ³	3	8,42	48,75
Summe	41	17,27	100,00

Somit ist die Frage nicht so einfach zu beantworten. Beide Rillenklassen, sowohl die kleine als auch die große, spielen eine wichtige Rolle. Es ist aber anzumerken, dass der Fehler insgesamt beträchtlich höher wäre, würde man einige große Rillen bei der Kartierung übersehen, als dies bei kleinen Rillen der Fall wäre. Ebenso ist anzuführen, dass es sich bei der Kartierung um eine Feldmethode handelt, die zusätzlich subjektiven Einflüssen ausgesetzt ist. Außerdem lassen sich großen Rillen im Gelände aufgrund des verursachten Schadens und bei Bewuchs wesentlich besser erkennen als die Kleinen. Auch Rohr et al. (1990) gibt an, dass die Erkenn- und Kartierbarkeit von großen Formen wichtiger ist als von Kleinformen. Kleinformen müssen oft aufgrund der Generalisierung den großen Formen weichen.

8.2. Laserscananalyse

Bei der Messung mit dem Laserscanner werden die Abstände vom Laserscanner zu einzelnen Punkten in der Landschaft bestimmt. Das bedeutet, dass die Punkte in ihrer Lage in Bezug zum Standort des Laserscanners gesetzt werden. Die aufgenommenen Daten bilden die Oberfläche als Punktwolke ab. Bei der Veränderung der Oberfläche liegen die Punkte in Bezug zum Standort des Laserscanners unterschiedlich.

Eine Veränderung der Bodenoberfläche kann neben den erosiven Prozessen durch Wasser auch viele andere mögliche Ursachen haben. Dies können einerseits Veränderungen durch die landwirtschaftliche Nutzung sein, wo die Oberfläche bearbeitet, aufgelockert, verdichtet, umgeschichtet und geformt wird. Andererseits führen auch natürliche Prozesse, die durch die Eigenschaften des Bodens bedingt sind, zu einer Veränderung der Oberfläche. Beispiele dafür wären Verdichtungen durch Niederschläge, Quellung der Tonminerale durch Feuchte, Schrumpfung der

Tonminerale, Veränderung des Porengefüges durch Niederschlag oder wirkende gravitative Kräfte aber auch Ausdehnung und Schrumpfung durch Kälte oder Wärme können die Oberfläche verändern. Sämtliche Prozesse, die zu einer Veränderung beziehungsweise Hebung/Senkung der Bodenoberfläche führen können, spielen hier mit ein.

Schmid et al. (o.J) führen etwa alle Veränderungen im Volumen, die mittels terrestrischen Laserscanner an ihrem Versuchsfeld aufgezeichnet wurden auf die Konsolidierung des Bodens zurück.

Somit liefert die Anwendung des Laserscanners nicht nur eine Betrachtung der Veränderung des Volumens aufgrund von Erosion durch Wasser, vielmehr wird hier auch auf eine Veränderung von sämtlichen in und auf die Bodenoberfläche wirkende Prozesse eingegangen. Die entstandenen Werte in Tabelle 10 sind somit nicht unbedingt nur auf die Erosion und Akkumulation zurückzuführen. Um den Masseverlust zusätzlich zu betrachten muss aber, noch die unterschiedlichen Dichten des Ausgangsmaterials und die des abgelagerten Materials in Betracht gezogen werden. Da das erodierte Material als Saatbeet vorgelegen ist, kann davon ausgegangen werden, dass das abgelagerte Material eine deutlich höhere Dichte aufweist als das Ausgangsmaterial. Das akkumulierte Material wurde durch den Transport im fließenden Medium viel dichter gepackt/abgelagert. Weiter spielt auch die Verdichtung des Bodenmaterials durch die landwirtschaftliche Bearbeitung eine große Rolle.

In der Tabelle 11 liegt der Fokus auf der Auswertung von einzelnen Rillenformen. Es konnte zwischen Materialverlust durch Verdichtung und Materialverlust durch Erosion unterschieden werden. Der durch Verdichtung entstandene Materialverlust ist um ein vielfaches kleiner als jener der durch Erosion bedingt ist. Der Materialverlust durch Verdichtung beträgt rund $\frac{1}{4}$ des Verlustes durch Wassererosion. Die Abbildung 25 zeigt, dass sich zwei Arten von Rillen erkennen lassen. Die als unregelmäßig eingeschnittenen Rillen, stellen die Erosion durch Wasser in Fahrspuren dar, die regelmäßigen Rillen, welche nicht so tief sind, kennzeichnen die Bereiche, wo durch landwirtschaftliche Nutzung eine Bodenoberflächenveränderung stattgefunden hat. Eine Erklärung dafür ist, dass sich aufgrund der konstanten Reifenbreite und des konstanten Gewichtes des Gerätes auch relativ homogene Verdichtungen ausbilden, die relativ breit sind und scharfe Grenzen haben. Der auftretende Niederschlag ließ in den Fahrspuren, die bereits ein tieferes Niveau hatten, Erosionsrillen entstehen. Die Rillen in der Abbildung 25 sind in ihrem Verlauf sehr unterschiedlich tief, es erfolgt eine Vertiefung mit zunehmender Länge. Durch den Abfluss, der aufgrund des Verlaufs der Rille entsteht, konnten sich die Rillen im unteren Teil stärker einschneiden.

Auffällig ist, dass bei den vier Rillen, die als Rillen mit starker Erosion ausgewiesen worden sind die Wassererosion doppelt so hoch war als bei den anderen Rillen. Eine Erklärung liefert die Entstehung dieser Rillen. So befinden sich diese unterhalb des Heurigengebäudes, das über eine Dachfläche verfügt und das Regenwasser in vier

Dachrinnen auf die Ackerfläche leitet. Dadurch haben diese Rillen erheblich mehr Wasser zu Verfügung um den Boden zu erodieren. Die anfänglichen Bereiche dieser Rillen sind auch in der Abbildung 23 und im Foto in Abbildung 28 zu erkennen.



Abbildung 28, Rillen

(Quelle: eigene Aufnahme)

Weiter ist es schwierig, die Werte der einzelnen Rillen mit den Ergebnissen der gesamten Bodenveränderung zu vergleichen, da bei der gesamten Bodenoberflächenveränderung neben der rillenhaften Veränderung auch noch weitere Veränderungen miteinspielen. Beispiele dafür wären in etwa flächenhafte Bodenverlagerungen oder Bereiche die stark landwirtschaftlich bearbeitet worden sind, wie etwa Umkehr- und Wendebereiche.

8.3. Gegenüberstellung und Unsicherheiten

8.3.1. Unsicherheiten bei der Kartierung

Durch den Aufbau und die Vermessung einer künstlichen Rille konnten die Fehler der Längen und Volumina bestimmt werden. In der Tabelle 9 sind diese Werte ersichtlich. Der Fehler bei der Längenbestimmung durch Abschreiten wurde mit 6 Prozent im Vergleich zur mehrmaligen Messung mit dem Maßband bestimmt. Dieser Wert lässt den Schluss zu, dass diese Methode ausreichend genau ist um im Gelände Distanzen zu bestimmen. Vor allem der geringe Zeitaufwand steht für die Anwendung der Schrittmethode. Es ist aber zu beachten, dass die Schritte durch Oberflächenänderungen in ihrer Länge unterschiedlich lang ausfallen können und so der Fehler beträchtlich steigen könnte. Es ist denkbar, dass bergauf die Schritte kleiner sind als bergab und somit ein zusätzlicher Fehler in die Analyse einfließt. Bei einer persönlichen Kalibrierung der Schrittlänge wurde festgestellt, dass die Schrittlänge bergauf um 10 Prozent kürzer als bergab ist.

Bei der Bestimmung des Volumens von Rillen fließen mehrere Fehler ein, einerseits der Fehler der Längenbestimmung und andererseits noch die Fehler, die dadurch entstehen, dass die Breiten und Tiefen nur drei Mal pro Rille abgemessen worden sind. Durch Kombination beider Fehler kann das Volumen bis zu 14 Prozent von der Vergleichsmessung abweichen. Eine Fehlerquote von 14 Prozent bei der Volumenbestimmung ist zwar höher als in Rohr et al. (1990) angegeben, scheint für eine Feldmethode aber noch ausreichend. In Casali et al. (2006) wird der Fehler bei der Bestimmung von Rillen und Gullys je nach Methode von 10 Prozent bei genauer Vermessung mit Profilmeter, bis 30 Prozent bei Anwendung von Maßbändern angegeben.

Die Vermessung von flächenhaften Akkumulationsformen ist mit einem wesentlich höheren Fehler behaftet, dieser beträgt bis zu 50 Prozent. Dieses Ergebnis erscheint zuerst relativ hoch, da aber die Unsicherheiten von zwei Längenbestimmungen und der Fehler der Tiefenbestimmung einfließen, wirkt dieser Wert aufgrund der Erfahrung bei der Kartierung im Gelände plausibel. Die Tiefenbestimmungen liefern über große Bereiche unterschiedliche Werte. Es handelt sich beim Untergrund der Akkumulationsform keineswegs um eine plane Fläche, vielmehr ist die Bodenoberfläche eher rau. Somit gibt es Bereiche, die eine beträchtliche Tiefe aufweisen und andere, die sehr viel seichter sind.

8.3.2. Unsicherheiten bei der Messung mittels terrestrischen Laserscanner

Die Fehlerabschätzung bei der Messung mit dem terrestrischen Laserscanner ist äußerst schwierig, da hier viele mögliche Fehlerquellen vorliegen können. Im Folgenden werden einige dieser Fehlerquellen kurz besprochen.

Aufgrund von geringen Abweichungen der Standorte und Ausrichtungen des terrestrischen Laserscanners sind zwischen den Zeitscheiben eventuell andere Winkel des auftreffenden Laserstrahles an den Oberflächen entstanden. Dadurch werden Entfernungen unter- oder überschätzt. Ebenso kann die Witterung bei der Messung zu eventuellen Fehlern führen, wie etwa das Hitzeblinieren auf Feldern, das zu einer Beeinträchtigung des Laserstrahles führt.

Beim Zusammenfügen der Datensätze in der Software JRC Reconstructor ergibt sich ein Fehler, der pro Datensatz zweimal wiederholt wird, einmal beim Zusammenfügen der Datensätze einer Messung, ein zweites Mal beim Übereinanderlegen der unterschiedlichen Zeitscheiben. Dieser Fehler wird zwar von der Software quantifiziert, jedoch sind über größere Distanzen Abweichungen zu erkennen, die über den angegebenen Werten der Software liegen.

Um den Fehler der Datenüberlagerung und des Standortes sowie der Witterungsbedingungen zu ermitteln, wurde ein mitgescanntes Straßenstück als Referenzobjekt verwendet. Die Berechnungen wurden in Bezug zu diesem Straßenstück gesetzt.

Neben den bereits angeführten Fehlern, die durch Gegebenheiten der Messung des Laserscanners und des Umfeldes entstanden sind, wäre es auch anzudenken, dass bei der Messung mit dem Laserscanner andere Fehler aufgetreten sind, diese sind aber hier nicht quantifizierbar. Solche Fehler könnten etwa auf die Handhabung des Laserscanners im Gelände bei den Messungen zurückzuführen sein.

8.3.3. Gegenüberstellung beider Messmethoden

Da nun einige Besonderheiten sowie die Ergebnisse der beiden Methoden diskutiert wurden, folgt in einem weiteren Punkt die Gegenüberstellung der beiden Methoden, die Kartierung und die Messung mit dem terrestrischen Laserscanner.

Wie in Tabelle 12 dargestellt ist, können die Ergebnisse beider Methoden in einem ähnlichen Format dargestellt werden. Die Ergebnisse beider Methoden weichen voneinander ab. Bei der Kartierung wurden $34 \text{ m}^3/\text{ha}$, für das Feld wo die Laserscanmessung durchgeführt worden ist, als erodiertes Volumen ermittelt. Bei der Messung mit dem Laserscanner waren es $280 \text{ m}^3/\text{ha}$. Beim akkumulierten Volumen zeigt sich ein ähnliches Verhältnis, wobei bei der Kartierung $23 \text{ m}^3/\text{ha}$ aufgenommen wurden, hingegen bei der Messung mit dem Laserscanner $207 \text{ m}^3/\text{ha}$. Betrachtet man aber die Bodenoberflächenveränderung in diesem Zeitraum, das heißt die Differenz zwischen erodierten und akkumulierten Volumen, so sind die Abweichungen beider Methoden kleiner. Die Kartierung weist eine Veränderung der Bodenoberfläche von $11 \text{ m}^3/\text{ha}$ aus und die Laserscanmessung $73 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Wie kommt es nun zu den Unterschieden beider Methoden? Die Kartierung im Gelände ist eine Methode, die schnell durchgeführt wird. Es werden nicht alle Formen erfasst, viele werden zusammengefasst und es wird stark generalisiert (Rohr et al. 1990). Die Messung mit dem Laserscanner erfasst das gesamte betrachtete Gebiet mit einem viel höheren Detailgrad, da sämtliche Formen im Gelände erfasst werden. Das heißt bei der Messung mit dem Laserscanner werden auch kleinflächige Verschlämmungen, flächenhafte Erosionsformen, Verdichtungen aufgrund von Bearbeitung und gravitativen Bedingungen betrachtet. Dadurch ergibt sich ein offensichtlich beträchtlicher Unterschied in den Ergebnissen.

Vergleicht man nun die durchschnittlichen Volumen von einzelnen Rillen, wie dies in Tabelle 14 angeführt ist, so fällt auf, dass die Ergebnisse der beiden Methoden in die entgegengesetzte Richtungen voneinander abweichen. Bei der Kartierung ist das erodierte Volumen pro Rille höher als bei der Messung mit dem terrestrischen Laserscanner. Diese Abweichung wird darauf zurückgeführt, dass mit dem Laserscanner der Fehler, der durch die Verdichtung durch Landwirtschaftliche Geräte bereinigt werden konnte. Bei der Kartierung im Gelände war dies nur annäherungsweise möglich.

Bei beiden Messmethoden wurden vier Rillen im oberen Hangbereich ausgewiesen, die aufgrund ihrer Tiefe besonders auffällig und leicht erkennbar waren (Abbildung

28) Sowohl bei der Kartierung und Begehung im Gelände als auch bei der Messung mittels des Laserscanners konnte die Ursache des Problems erkannt werden. Es liegt daran, dass die Dachrinnen des Heurigengebäudes im Acker endeten. Hätten diese aber nur bis zur Ackeroberfläche geführt, wäre eine Interpretation nur mit dem Laserscanner nicht möglich gewesen. Bei der Kartierung hätte sehr wohl auf die Ursache geschlossen werden können, da eine Begehung aus der Nähe dies sicherlich aufgezeigt hätte.

Ebenso wurde beim Laserscannen einige Rillen nicht ausgewiesen, die bei der Kartierung sehr wohl betrachtet worden wäre, beispielsweise die als Rinne bei der Kartierung bezeichnete Form mit 20 cm Tiefe (Nr. 31 in Tabelle 4 und Abbildung 1). Sie wurde bei der Auswertung der Laserscandaten nicht gefunden. Ein möglicher Grund hierfür ist die Lage der Rinne, da diese sich am Hangfuß lag und quer zur Scanrichtung verläuft und aus diesem Grund die Abschattungseffekte zu hoch waren. Das bedeutet, dass zwar die Kanten der Rinne erfasst wurden das Tal der Rinne jedoch nicht. Aufgrund der fehlenden Tiefe wurden nur die Kanten für einen Vergleich herangezogen. Bei genauerer Betrachtung mit dem Befehl „inspection“ in JRC Reconstructor fällt auf, dass für die Talsohle dieser Rinne sämtliche Daten fehlen.

8.4. Allgemein

8.4.1. Warum war der Niederschlag vom 25.04.2011 erosiv?

Die Abbildung 17 lässt einige Tage erkennen, auf denen eine beträchtliche Menge an Regen fiel wie zum Beispiel der 13.01.2011. An diesem Tag wurden $27,3 \text{ mm/m}^2$ Regen gemessen. Zwei weitere Ereignisse waren am 18.03.2011 und 25.04.2011, wobei hier $20,2 \text{ mm/m}^2$ und $15,8 \text{ mm/m}^2$ Niederschlag festgestellt wurden.

Betrachtet man die Intensitäten der einzelnen Niederschläge in ihrem Tagesverlauf, fällt auf, dass die Niederschlagsintensitäten vom 13.01.2011 und 18.03.2011 mit einem Wert von $0,1 \text{ mm/min/m}^2$ gering war. Am 25.04.2011 hingegen fiel fast der gesamte Niederschlag innerhalb von 30 min mit einer Intensität von bis zu $1,6 \text{ mm/min/m}^2$. Dies entspricht in etwa einem Ereignis mit einer Wiederkehrswahrscheinlichkeit von 3 Jahren (Auskunft der Niederösterreichischen Landesregierung 2008).

Eine weitere Erklärung für die erosive Wirkung dieses Ereignisses ist die Bodenbearbeitung. Während am 13.01.2011 und am 18.03.2011 der Boden überwiegend noch als geackerte Fläche mit einer hohen Bodenoberflächenrauigkeit vorlag, war kurz vor dem 25.04.2011 bereits die Aussaat erfolgt. Dementsprechend war nur eine geringe Oberflächenrauigkeit vorhanden. Bilder der in JRC Reconstructor vermaschten Oberflächen sind in Abbildung 29 dargestellt. Hier sind Aufnahmen vor der Saat (11.03.2011) und nach der Saat und Niederschlagsereignis

(28.04.2011) abgebildet. Es lässt sich erkennen, dass in dem ersten Bild eine raue Oberfläche gezeigt wird, im zweiten eine geglättete.

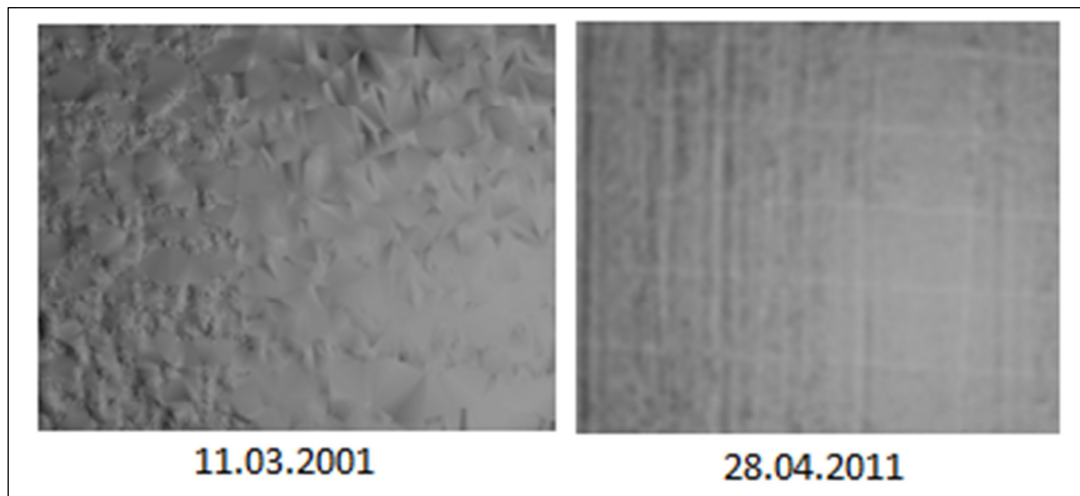


Abbildung 29, Oberflächenrauigkeiten

Abschließend kann festgehalten werden, dass am 25.04.2011 die beiden Faktoren, Klima und Landnutzung, zu einem starken Erosionsereignis im Untersuchungsgebiet führten. Prashun (2011) gibt an, dass die kartierten Erosionsraten sehr stark schwanken, da sie an die Klima- und Landnutzungsparameter gebunden sind.

8.4.2. Spezialform: Kastenform

Im Zuge der Kartierung sind selten Rillen unterschiedlicher Tiefe aufgetreten. Vielmehr konnten Rillen mit einer mittleren Tiefe zwischen 4 und 7 cm und einer sehr variablen Breite, ausgehend von wenigen cm bis hin zu 90 cm an besonders breiten Stellen im Gelände aufgenommen werden. Es wurde nur eine Rinne kartiert, die tiefer ist. Diese ist im Durchschnitt 20 cm tief (Abbildung 1) Eine Erklärung für die Ausbildung solcher Kastenformen findet sich in den unterschiedlichen Eigenschaften des Bodens durch die landwirtschaftliche Bodenbearbeitung. Das Ereignis trat ja in unmittelbarer zeitlicher Nähe zum Anbau der Flächen auf. Daher waren die obersten 7 cm noch sehr locker. Der darunter liegende Boden wurde zuletzt bei der Bearbeitung im Herbst durch das Pflügen in seinem Gefüge verändert und hatte sich seither konsolidiert. Das abfließende Wasser konnte sich bis zu den Schichtgrenzen einschneiden, da dann aber das Bodengefüge verändert und der Boden nach unten kompakter wurde, begann eine Art Seitenerosion. Es entstanden steilwandige Kastenformen mit variabler Breite. Die Tiefen sind dadurch im Wesentlichen auf die der Saatbeetbereitung und jener des Pflügens beschränkt.

Eine andere Möglichkeit, die in diesem Fall aber nur theoretisch besprochen werden soll, wäre die Begrenzung der Erosionstiefe durch gefrorene Bodenschichten (Richter, 1998).

Fohrer et al. (1999) liefern einen weiteren Lösungsansatz, sie geben an, dass die oberen 2 cm des Bodens während eines Niederschlagsereignis durch die Infiltration

von Wasser in seiner Lagerungsdichte verändert wird. Da aber die Dauer des Ereignisses kürzer ist als jene bei Fohrer et al. (1999), kann angenommen werden, dass eine Veränderung der Lagerungsdichte die Entstehung der Kastenform nicht ausreichend erklären kann.

Ein weiterer Ansatz wäre, dass sich ursprünglich unterschiedlich tiefe Rillen und Rinnen ausgebildet haben, diese sich aber durch die nachlassende Transportkraft des Wassers am Ende des Niederschlagsereignisses mit Material aufgefüllt haben (Rohr et al., 1990). Dieser Ansatz wurde ebenfalls verworfen, da sonst im Tal der Rille/Rinne akkumuliertes Material vorzufinden gewesen wäre, welches in der Mächtigkeit zur Mitte der Rille/Rinne zunimmt. Dies war nicht der Fall, da die Oberfläche des Bodens der Rillen meist aus einer ebenen Fläche gebildet war und kein erkennbares Akkumulationsmaterial enthalten hat.

8.4.3. Sedimentfracht im Vorfluter

Die Sedimentfracht, welche im Vorfluter während des Niederschlagsereignisses und in den darauffolgenden Stunden gemessen wurde, zeigte, dass rund 170 kg an Sediment aus dem Einzugsgebiet ausgetragen wurden. Dies bedeutet, dass sich während des Ereignisses ein Großteil des Materials, welches in den Feldern mobilisiert wurde, auch im Einzugsgebiet wieder ablagerte. Dieser Sachverhalt zeigt sich auch in den Ergebnissen der Kartierung.

Es sind einige Thesen vorstellbar, wie diese geringe Sedimentfracht im Vorfluter zustande kommt. Eine Möglichkeit wäre, dass kleine nicht kartierte Erosionsformen bis zum Vorfluter reichen und in diesem das transportierte Material einbringen.

Ein weiterer Gedanke wäre, dass Material von den Gebieten, die erodiert wurden, durch Makroporen bis zum Vorfluter gelangen könnte.

Eine mögliche These könnte ebenfalls sein, dass die Erhöhung der Abflussmenge im Vorfluter zu einer Mobilisierung des im oder in der Nähe des Vorfluters befindlichen Materials führte.

Unter Betrachtung dieser Möglichkeiten ist ohne weitere Untersuchungen nicht exakt bestimmbar, woher die Sedimentfracht an der Messstelle stammt. Es kann jedoch die Aussage getroffen werden, dass dieses intensive Niederschlagsereignis nur zu einem sehr geringen Sedimentaustrag aus dem Einzugsgebiet geführt hat und der überwiegende Teil des erodierten Materials daher innerhalb kurzer Distanzen wieder akkumuliert wurde.

8.4.4. Volumen versus Masse

Die Angabe des erodierten Volumens erfolgte in einem großen Teil dieser Diplomarbeit in m^3 beziehungsweise in m^3/ha . Bei den beiden hier verwendeten Methoden wurde das Volumen in m^3 erfasst. Dadurch scheint es als angebracht die Ergebnisse auch als Volumeneinheit anzugeben. In einem separaten Unterkapitel

der Daten wurden für einen allgemeinen Vergleich auch die umgelagerten Volumen in t beziehungsweise t/ha angegeben.

Da für das Untersuchungsgebiet keine konkreten aktuellen Werte für die Bodendichte vorliegen, wurde dies über zwei unterschiedliche Schätzwerte für Erosions- und Akkumulationsbereiche durchgeführt. Somit ist bei der Masse des umgelagerten Volumens zusätzlich der Fehler der Ungenauigkeit durch die Dichten inkludiert und dies verfälscht das Ergebnis weiter.

Eine Begründung warum hier die Masse angegeben wurde, auch wenn dies bedeutet, dass eine gewisse Ungenauigkeit miteinfließt, ergibt sich aus der praktischen Anwendung von Bodenerosionswerten. Die Angabe einer Masse scheint für eine Betrachtung der Aufräumarbeiten oder auch der Betrachtung durch Landwirte als passendere Angabe als jene über das Volumen. Weiter wird in vielen Publikationen nur auf die Masse nicht aber auf das Volumen eingegangen.

Beide Angaben, sowohl die Masse als auch das Volumen, lassen bei einer Hochrechnung auf eine Fläche keine räumliche Verortung mehr zu. Eine gute Möglichkeit, die Erosion und Akkumulation zu lokalisieren, ergibt sich durch die Einbettung und Darstellung in einem GIS-System. Hier kann sowohl das Volumen beziehungsweise die Masse, als auch die Form lokalisiert werden.

8.4.5. Wie sind die Ergebnisse in ihrem Wert zu verstehen?

Der Wert, der durch die Kartierung ermittelt worden ist, liegt bei 5,4 t/ha und jener der Laserscananalyse bei 18 t/ha Bodenabtrag. Dies wäre im Falle von jährlichem Bodenabtrag als hoch einzustufen. Bei der vorliegenden Arbeit wurde aber nur ein einziges Niederschlagsereignis und dessen Auswirkung auf die Erosion untersucht. Ein Rückschluss auf jährliche Bodenverluste ist daher nicht möglich. Strauss (2007) gibt an, dass für landwirtschaftlich genutzte Flächen, die einen jährlichen Bodenabtrag von über 6 t/ha haben, erosionshemmende Schutzmaßnahmen getätigt werden sollten. Klaghofer (2002) gibt an, dass sämtliche jährliche Erosion, die über der Bodenneubildungsrate von 1,5 t/ha liegt als hoch einzustufen ist.

Ledermann et al. (2010) geben an, dass bei den von ihnen in der Schweiz durchgeführten Erosionskartierungen jährliche Abtragungsraten von 0,7-2,3 t/ha/a auf der gesamten Kartiertenfläche ergaben, für einzelne Felder konnten jedoch Raten von über 70t/ha/a kartiert werden

8.4.6. Menschlicher Einfluss

Der anthropogene Einfluss auf die Bodenerosion kann anhand der hier vorliegenden Ergebnisse ebenfalls analysiert werden. Im Untersuchungsgebiet wurden Flächen ausgewiesen, an denen besonders starke Erosion aufgetreten ist. Dies sind meist Flächen, wo keinerlei erosionshemmende Schutzmaßnahmen durchgeführt worden sind. So wurde in etwa selten quer zur Fließrichtung angebaut. Die Rillen konnten

sich aufgrund des fehlenden Widerstandes in Fließrichtung gut ausbilden. Durch die bei der Bodenbearbeitung entstandenen Fahrspuren wurden weitere Bereiche mit besonders hoher Verdichtung geschaffen, in denen Wasser nur gering infiltrieren konnte. Durch die zusätzliche steile hangabwärts gerichtete Lage kam es in den Fahrspuren vermehrt zu Erosionsrillen. Ebenso sind Bereiche hervorzuheben, wo erosionsmindernde Maßnahmen getätigt wurden wie beispielsweise ein Acker auf dem in Mulchsaat angebaut worden war. Dieser Acker war trotz seiner steilen Hangneigung, ähnlichen Bodeneigenschaften und derselben Intensität an Niederschlag weniger bis gar nicht anfällig auf das erosive Ereignis.

In Morgen (1986) werden Methoden wie auch Mulchsaat und Querpflügen auf ihre Schutzwirkung bezüglich Bodenerosion besprochen.

Auch zeigte sich, dass die hangaufwärts liegenden Flächen einen beträchtlichen Einfluss auf die Erosion, wie etwa Dachrinnen, die auf das Feld entwässern oder Straßen, auf denen sich ebenfalls Wasser sammelt und dann in die Felder drainieren. Um diesen Sachverhalt besser darzustellen hat Prashun eine Fotodokumentation angefertigt (Internetquelle: Prashun).

9. Thesenbeantwortung

Im Anschluss an die Interpretation der Ergebnisse beider Messmethoden folgt nun eine Bewertung der Ausgangsthese, die am Anfang der Diplomarbeit vorgestellt wurden. Zu diesem Zweck sind die Thesen noch einmal angeführt und werden mit den gewonnenen Erkenntnissen beantwortet.

These 1: Erosionsformen sind im Untersuchungsgebiet durch manuelle Begehung erkenn- und kartierbar. Daraus kann das Volumen des umgelagerten Bodens bilanziert werden, sowie der Bodenverlust bestimmt werden.

Durch das intensive Niederschlagsereignis vom 25.04.2011 und die vorangegangene Bodenbearbeitung konnten im Einzugsgebiet viele unterschiedliche Erosions- und Akkumulationsformen im Zuge einer Geländekartierung erkannt und vermessen werden.

Das Frühjahr erwies sich als eine günstige Zeit für die Durchführung, da hier die Bodenbedeckung noch relativ gering war. Im Frühjahr findet eine Saatbeetbereitung statt, was wesentlich zur Ausbildung vieler Erosionsformen beitrug. Zu einem späteren Zeitpunkt im Jahr wäre dies aufgrund der Bodenbedeckung nicht mehr möglich gewesen. Aufgrund der Saatbeetbereitung kann, davon ausgegangen werden, dass die Herausbildung der Formen erst nach dem Niederschlagsereignis stattgefunden hat.

Die Abgrenzung des Untersuchungsgebietes durch das oberflächige Einzugsgebietes des Seitengraben Baches erwies sich als hilfreich, da eine abgegrenzte Fläche von rund 66,7 ha betrachtet werden konnte. Ein weiterer Grund für die Wahl eines Einzugsgebietes ist, dass das erodierte Bodenmaterial das System nur über einen bestimmten Punkt verlassen kann.

Aufgrund der Erkenntnisse, die während der Kartierung und der Analyse der Daten aufgetreten sind, kann die These 1 bestätigt werden. Erosionsformen nach einem intensiven Niederschlagsereignis sind im Gelände erkenn- und kartierbar. Hierbei handelt es sich aber um eine sehr subjektive Sache, da viele Formen, besonders die kleineren Formen, Erfahrung im Erkennen erfordern. Es sind nicht alle Formen kartierbar, da bei einer Kartierung von Bodenerosion viele Generalisierungen durchgeführt werden müssen. Hier gilt das Prinzip, dass die kleinen Formen den großen weichen um die Karten nicht zu überladen.

These 2: Mit der Benutzung von Laserscannern lässt sich die Oberfläche eines Geländes in der für Erosionsbetrachtung geforderten Genauigkeit aufzeichnen.

Die Lage des untersuchten Hanges war für die Messung mit dem Laserscanner gut geeignet, da er eine gewisse Steilheit aufwies und die Aufnahmen vom Gegenhang gemacht werden konnten. Die Untersuchungen mit dem terrestrischen Laserscanner

lieferten eine gute Grundlage für die Betrachtung der Oberflächenveränderungen im Einzugsgebiet. Es hat sich außerdem gezeigt, dass ein terrestrischer Laserscanner auch für größere Flächen (bis $<10000 \text{ m}^2$) angewendet werden kann. Die großen Probleme liegen nicht bei der Aufnahme der Daten, wobei auch hier mit gewissen Fehlern zu rechnen ist, vielmehr stellen die Berechnungen mit der Software JRC Reconstructor ein Problem dar. Durch das Verschneiden und Zusammenfügen der unterschiedlichen Aufnahmen erreicht man eine beträchtliche Ungenauigkeit. Ein weiteres Problem stellt die Aufnahme von besonders rauen Oberflächen dar, da die Messung nur von einem Standpunkt aus vorgenommen wird, kommt es hier zu beträchtlichen Abschattungseffekten. Um diese Fehler zu quantifizieren, hat sich die Wahl von Referenzobjekten als sinnvoll erwiesen.

Die These 2 hat sich durch die vorliegende Diplomarbeit bestätigt, eine Bodenoberfläche kann mit terrestrischem Laserscanner so genau aufgezeichnet werden wie eine Betrachtung von linearer Erosion benötigt. Die Aufnahmen mit dem terrestrischen Laserscanner wurden mit einer Auflösung von 8 mm auf eine Distanz von 100 m durchgeführt. Diese Auflösung wurde für die Erfassung der linearen Bodenerosion als hoch genug empfunden.

These 3: Durch Messungen mit hochauflösenden terrestrischen Laserscannern lässt sich die Mikrotopographie eines Hanges bestimmen. Anhand von terrestrischen Laserscanner Methoden im Gelände können die unterschiedlichen Akkumulations- und Erosionsformen durch Analyse der Daten berechnet werden. Daraus kann das Volumen des umgelagerten Bodens bilanziert werden, sowie der Bodenverlust bestimmt werden.

Durch den Vergleich der unterschiedlichen zeitlichen Aufnahmen lassen sich die Veränderungen im Volumen der Bodenoberfläche darstellen und quantifizieren. Eine Analyse kann über das gesamte Gebiet auf einmal durchgeführt werden. Durch die Wahl von kleineren Ausschnitten können die Prozesse, welche die Oberfläche verändern, noch weiter differenziert werden. Es kann zwischen Veränderungen der Oberfläche durch Bodenbearbeitung und Erosion unterschieden werden.

In die Analyse fließen aber auch die sonstigen Veränderungen der Bodenoberfläche mit ein, daher ist die Oberflächenveränderung im Gesamten leicht zu erfassen, hingegen die Veränderung aufgrund des Erosionsereignisses nur über Umwege. Durch das Programm und die damit ausgegebenen Bilder, lassen sich jene Bereiche lokalisieren, wo die Oberflächenveränderung zwischen zwei Zeitpunkten besonders hoch ist.

Die Fehlerwerte, die durch die Verschneidungen der einzelnen Messungen entstanden sind, konnten durch ein Referenzobjekt berücksichtigt werden.

Die These 3 kann ebenfalls bestätigt werden, sie kann sogar noch um die Aufzeichnung von Bodenoberflächenveränderungen mit Laserscanner, auch ohne stattfindende lineare Erosion, erweitert werden.

These 4: Die beiden Methoden Laserscanner und Kartierung sind miteinander vergleichbar, und es lassen sich Vorteile beziehungsweise Nachteile der einzelnen Methoden nennen und gegeneinander abwägen.

Die Ergebnisse beider Methoden lassen einen Vergleich zu, wenn auch über den Umweg der Betrachtung von einzelnen Rillengrößen. Die Werte beider Methoden liegen dann im gleichen Format vor.

Der Vorteil der Kartierung gegenüber der Messung mit dem Laserscanner ist der geringere Aufwand im Gelände, da nur eine Feldbegehung benötigt wird um die Erosions- und Akkumulationsformen aufzunehmen. Weiter ist die Bearbeitung der Daten und die Einspeisung in ein GIS System sowie die Darstellung der Ergebnisse in einer Karte mittels ArcGis möglich. Es ist allerdings zu bedenken, dass für die Aufnahmen im Feld zwei Personen benötigt werden und die Bearbeitung der Daten Kenntnisse eines GIS Systems voraussetzt. Ein weiterer großer Vorteil ist auch dass die Methode im Vergleich zur Messung mit terrestrischem Laserscanner rascher und über größere Bereiche angewendet werden kann. Ein Nachteil ist die Ungenauigkeit der Ergebnisse. Da nur Formen erfasst werden die eine bestimmte Größe überschreiten. Außerdem gilt festzuhalten, dass es sich um eine subjektive Methode handelt, da das Ergebnis von der Person abhängig ist, die die Kartierung durchführt.

Die Methode mit dem terrestrischen Laserscanner liefert hingegen genauere Ergebnisse als die Kartierung. Diese Methode kann jedoch nur einen kleineren Ausschnitt des Gebietes erfassen. Ein großer Nachteil bei der Anwendung der Laserscanmethode ist, dass vor dem Niederschlagsereignis bereits eine Aufnahme des Gebietes notwendig ist. Außerdem erfordert die Aufbereitung der Daten ein hohes Maß an Kenntnissen der speziellen Software und setzt Fähigkeiten im Umgang mit der Hardware voraus.

Ein nicht zu verachtender Punkt ist auch, dass sich in der betrachteten Fläche ein Referenzobjekt befinden sollte, worauf man die Abweichungen der einzelnen Messungen rückführen kann. Positiv anzumerken ist, dass diese Methode von einer Person alleine durchgeführt werden kann.

Die Darstellung der Ergebnisse mit der speziellen Software liefert Bilder/Karten mit einem hohen Detailgrad. Sie ist jedoch sehr stark an die verwendete Software gebunden. Dies gilt sowohl für die Kartierung als auch für die Laserscananalyse.

Die Ergebnisse der Bodenoberflächenveränderung liegen bei beiden Methoden in m^3/ha vor, da damit eine Veränderung des Volumens gemessen wird. Um auf die Bodenerosion in t/ha zu gelangen müssen im Gelände zusätzliche Proben gesammelt und im Labor auf ihre Dichte hin untersucht werden.

Beide Methoden liefern Daten in Bezug zur Erosion eines Gebietes. Jedoch steht meist auch die Anwendbarkeit für bestimmte Fragestellungen im Vordergrund. Sollen hochaufgelöste Daten für ein kleines Gebiet erhoben werden, eignet sich die

Laserscananalyse sehr gut. Liegt jedoch der Fokus auf einer groben Abschätzung, des durch Erosion verursachten Schadens auf Ackerflächen in einem großen Gebiet, wird sich die Kartierung im Gelände als sinnvoller herausstellen. Da bei dieser Methode, mit relativ wenig Zeitaufwand brauchbare Daten in Bezug auf Erosion erstellt werden können.

These 4, bezüglich der Vergleichbarkeit der beiden Methoden, wurde hier bereits diskutiert, sie wurde durch die Diplomarbeit verifiziert.

10. Perspektiven und mögliche Anwendungen

In diesem Kapitel werden einige Vorschläge und Gedanken, die sich im Rahmen der Bearbeitung bezüglich zukünftiger Anwendungen beider Methoden herausgebildet haben, angeführt.

10.1. Kartierung

Die manuelle Kartierung von Erosions- und Akkumulationsformen im Gelände liefert trotz problemloser Durchführung und geringem Aufwand brauchbare Ergebnisse. Durch zunehmende Erfahrungen bei der Kartierung können Fehler in der Datengenauigkeit sicherlich verringert werden (Rohr et al. 1990; Prashun, 2011).

Durch die Verwendung von Techniken wie GPS (Global Positioning Systems) könnte der Zeitaufwand im Feld verringert werden. Es wäre denkbar, dass man in das GPS sofort sämtliche Daten an exakt jener Stelle eingibt, wo sich die Form befindet. Dadurch würde auch der Aufwand bei der Erstellung der Karten in einer GIS (Geo Informations System) Software geringer ausfallen.

Von Interesse wäre weiter das Durchführen von längeren Beobachtungen und mehrmaligen Kartierungen pro Jahr. Anhand dieser Daten könnte man die klimatischen Bedingungen im Gelände, die für die Erosion interessant sind, abschätzen. Strauss und Peinsitt (2002) führten bereits eine Untersuchung in diesem Einzugsgebiet, ebenfalls nach einem starken Niederschlagsereignis, durch. Es wäre aber auch denkbar, nach jedem Niederschlag Kartierungen vorzunehmen, wie dies von den Arbeitsgruppen Prashun (Schweiz) oder Evans (Großbritannien) durchgeführt wird. Diese Methode liefert einen ersten Wert bei der Ermittlung von Erosionsereignissen. Durch die Begehung im Feld erkennt man schnell wie viel Material umgelagert worden ist und wo sich die Bereiche befinden, die eine besonders hohe Anfälligkeit aufzeigen. Somit wäre es für längere Betrachtungszeiträume interessant, ob sich bei gleicher oder ähnlicher Landnutzung immer wieder an den gleichen Stellen Schäden durch Erosion an den Feldern abzeichnen.

Durch die räumliche Ungebundenheit wäre es auch anzudenken Erosionskartierungen in einem größeren Betrachtungsgebiet durchzuführen. Dazu müsste man nach intensiven Niederschlagsereignissen diejenigen Orte besuchen, wo die Intensitäten besonders hoch waren. Hierfür wäre wieder ein flächendeckend hoch aufgelöstes System von Klimamessstationen notwendig. Dadurch wäre es möglich, besonders stark gefährdete Gebiete auszuweisen.

Diese Methode kann auch dafür verwendet werden, um zu bestimmen was die langzeitliche tolerierbaren Bodenabträge eines Gebietes/Region sein können. So könnten auch mit dieser Methode Daten aus Modellberechnungen über Bodenerosion überprüft werden. VanDijk et al. (2005) und Takken et al. (1999)

fürten etwa einen Vergleich einer Modellberechnung und einer Geländekartierung durch.

10.2. Laserscanner

Bei der Messung mit dem terrestrischen Laserscanner für Bodenveränderungen ist vor allem anzumerken, dass es sich um eine Methodik handelt, die exakte Werte liefern kann. Dies wurde auch schon von Haubrock et al. (2005; 2009), Darboux et al. (2001) und Aguilar et al. (2009) erkannt.

Ebenso wie bei der Kartierung wäre es interessant ein Monitoring über längere Zeit durchzuführen. Dazu ist es, wie bereits erwähnt, sinnvoll ein Referenzobjekt anzugeben, das die unterschiedlichen Standorte berücksichtigen und gewisse Fehler beim Referenzieren berechnen lassen kann. Es wäre auch eine Möglichkeit ein kleineres Gebiet auszuwählen und eventuell die Auflösung noch genauer zu wählen. Bei der Wahl des Gebietes würde sich ein kleines Subeinzugsgebiet eignen. Eine Vielzahl der Anwendungen von Laserscanner im Bezug zu Oberflächenveränderung wurde nur in kleinen Gebieten gemacht, wie etwa bei Darboux et al. (2001) die auf Flächen von 2,4 x 2,4 m die Messungen durchführten.

Eine weitere Möglichkeit wäre auch die Anwendung des Laserscanners für sämtliche Prozesse, die die Bodenoberfläche verändern. Es könnten damit Oberflächenveränderungen, die durch unterschiedlichste Faktoren ausgelöst werden, bestimmt werden. Hier ist aber anzudenken, dass diese Untersuchungen in einem Labor durchzuführen wären, da man in der freien Natur die einzelnen Faktoren nur schwer steuern kann und meist nicht einer alleine wirkt.

Die Fehler, die durch die Anwendung von Laserscannern auftreten können, sind vielschichtig. Einige dieser Fehler sind schon in Arbeiten dargelegt worden, wie etwa bei Gordon (2008) oder Donges (1993 und 2000), aber es wäre noch denkbar, dass diese weiter bestimmt und quantifiziert werden könnten.

Weiter ist während dieser Arbeit klar geworden, dass auch die verwendete Software (JRC Reconstructor) noch nicht auf jenem Stand ist, um große Datenmengen mit der entsprechenden Qualität verarbeiten zu können. Die Software benötigt noch einiges an Entwicklungsarbeit um sämtliche Rechenschritte, vor allem das Zusammenfügen der einzelnen Aufnahmen in der gewünschten Exaktheit, zu ermöglichen.

Auch wäre es anzudenken die Bodenoberflächenrauigkeit anhand von Geländemodellen zu berechnen. Methoden hierfür liefern Smith et al. (2011) und Verhoest et al. (2008). Die Betrachtung der Bodenoberflächenrauigkeiten mit terrestrischen Laserscannern zeigen starke räumliche und zeitliche Dynamiken, die weiters vom Substrat abhängig sind (Haubrock et al., 2009).

10.3. Beide Methoden

Man ist sowohl bei der Kartierung als auch bei der Messung mit dem Laserscanner unter natürlichen Bedingungen stark an die klimatischen Extreme, vor allem an Niederschläge, gebunden. Nur wenn sich starke (intensive) Niederschläge ereignen, kommt es zur Erosion von Bodenmaterial. Somit hat eine Betrachtung über längere Zeiträume im Feld und der anschließende Vergleich der Daten immer die Limitation, dass sich das klimatische System und im Zuge dessen auch die Bodenerosion eventuell verändert haben könnte.

Es wäre hier anzudenken, die beiden Methoden in einem Labor unter kontrollierten Bedingungen anzuwenden. Eine weitere Möglichkeit den Klimaextremen auszuweichen wäre eine Beregnung im Feld. Hierfür gibt es bereits gut entwickelte Beregnungsgeräte am Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt. Auch andere Arbeiten die sich mit Bodenerosion beschäftigen werden in Laborumgebung durchgeführt. Etwa die Anwendung von Laserscanner bei Jester und Klik (2005).

Beide hier verwendeten Methoden wurden im Frühjahr angewendet. Es wäre weiters von Interesse, extreme Niederschläge, die sich nach der Ernte und der anschließenden Feldbearbeitung ereignet haben, auf ihre erosive Wirkung zu untersuchen und diese in Vergleich zu den Ergebnissen dieser Arbeit zu stellen.

Die räumliche Betrachtung der Daten zeigt, dass bei einer Interpretation über größere Bereiche viele Daten noch genauer vorliegen könnten. So ist zwar das Untersuchungsgebiet mit 2 (3) Klimamessstationen gut ausgestattet, die regionalen Unterschiede eines Gewitterereignisses scheinen aber doch auch auf kleinen Distanzen sehr stark voneinander abzuweichen. Aus diesem Grund wäre es sinnvoll, ein noch dichteres Netz an Messstationen, vor allem für den Niederschlag und dessen Intensität, einzuführen. Es ist auch eine zeitliche Auflösung der Niederschlagsintensitäten in mm/min anzustreben, da während dieser Arbeit die hohe zeitliche Auflösung als sehr gut empfunden wurde.

Wenn etwa noch höher aufgelöste Daten bezüglich des Niederschlages für diese Diplomarbeit zu Verfügung gestanden wären, wäre es auch sinnvoll gewesen, eine Beziehung zwischen abfließender Wassermenge und Rillendimension herzustellen. Man könnte davon ausgehen, dass ähnliche Rillenformen aufgrund von ähnlicher Transportkapazität von Wasser entstehen. Für die aufgebrachte Wassermenge wäre etwa die Dachfläche des Heurigen mit den vier Dachrinnen, die direkt auf das Feld entwässern, sinnvoll für die Betrachtung.

Eine detaillierte Aufnahme von Bodeneigenschaften, besonders der Textur, wäre ebenfalls erstrebenswert, da eine räumliche Betrachtung der Erosionsformen möglich wäre und diese miteinander abgeglichen werden könnten. Zurzeit werden noch die letzten Daten einer Bodenkartierung in einem Raster von 50 x 50 m des

Untersuchungsgebietes am Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt berechnet. Dieser Datensatz könnte bei einem Vergleich eine sinnvolle Grundlage bieten.

Es lässt sich erkennen, dass im Bezug zur Quantifizierung von Bodenerosion in einem bestimmten Untersuchungsgebiet ein hoher Aufwand an Monitoring Stationen, besonders im Bereich der Klimaparameter sowie der Bodeneigenschaften. Für genaue Analysen notwendig ist. Außerdem lässt sich feststellen, dass eine Methode wie die Messung mit dem terrestrischen Laserscanner gut anwendbar ist, aber noch viele Referenzversuche benötigt um auch mit der gewünschten Genauigkeit Untersuchungen durchführen zu können.

11. Zusammenfassung

In landwirtschaftlich genutzten Gebieten spielt die Bodenerosion in Bezug auf die Nachhaltigkeit der Bodenbewirtschaftung eine große Rolle. Vor allem bei brachliegenden Flächen kommt es im Frühjahr und Herbst zu starken Erosionsereignissen, hervorgerufen durch Niederschläge. Die Erosion kann flächenhaft oder linear stattfinden. Durch die unterschiedliche Bearbeitung und die damit einhergehende Veränderung der Bodenoberfläche wird ebenfalls Bodenmaterial erodiert.

In dieser Diplomarbeit wird eine methodische Herangehensweise für die Bestimmung der Bodenerosion im Gelände unter natürlichen Bedingungen verwendet. Es werden zwei unterschiedliche Methoden herangezogen, um für ein möglichst großes Einzugsgebiet Daten bezüglich Bodenerosion zu generieren. Die Grundannahme dieser Diplomarbeit ist, dass nach einem intensiven Niederschlagsereignis auf landwirtschaftlich genutzten Feldern im Frühjahr Bodenerosion auftritt und diese im Gelände bestimmbar ist.

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im westlichen Niederösterreich in Petzenkirchen. Es ist rund 66,7 ha groß und stellt die oberflächliche Wasserscheide eines kleinen Einzugsgebietes dar. Dieses Einzugsgebiet wird von einem Vorfluter entwässert. Es herrscht überwiegend intensive landwirtschaftliche Nutzung der Flächen vor.

Die beiden verwendeten Methoden sind einerseits eine manuelle Kartierung im Gelände, welche nach einer Kartieranleitung von Rohr et al. (1990) durchgeführt wurde. Andererseits wird ein terrestrischer Laserscanner für die Ermittlung des erodierten Bodenvolumens verwendet. Hierfür wurden zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten Aufnahmen eines Feldes mit einer Auflösung von 8 mm auf 100 m Länge gemacht. Der verwendete Laserscanner ist vom Typ Optech Ilris 3D. Die beiden Methoden wurden nach einem Regen mit einer Niederschlagsmenge von rund 15 mm angewendet.

In einem weiteren Teil wird versucht die berechneten Ergebnisse aus den Messungen und der Kartierung miteinander zu vergleichen sowie die Fehler und Unsicherheiten der beiden Methoden zu bestimmen. Beide Methoden liefern vergleichbare Ergebnisse der Erosionsformen im Untersuchungsgebiet. Es zeigt sich, dass es sich bei der Kartieranleitung von Rohr et al. (1990) um eine bereits sehr gut entwickelte Methode zur Aufnahme von Erosionsformen im Gelände handelt. Für das gesamte Untersuchungsgebiet wurde anhand der Kartierung eine Bodenerosion von $2 \text{ m}^3/\text{ha}$ bestimmt. Für den Vergleichshang der beiden Messungen wurde eine Bodenveränderung von $11 \text{ m}^3/\text{ha}$ mit der Kartierung ermittelt. Die Anwendung des terrestrischen Laserscanners für Erosionsuntersuchungen für größere Bereiche ist noch nicht voll ausgereift, da speziell die Bearbeitung und Analyse der Daten immer noch viel Zeit in Anspruch nimmt. Dennoch konnte damit eine Abschätzung über den

Bodenabtrag gemacht werden. Das Ergebnis für die Bodenoberflächenveränderung des Vergleichshanges liegt bei 73 m³/ha.

Vergleicht man beide Methoden, so entstehen aufgrund der unterschiedlichen Messfehler signifikante Abweichungen zwischen manueller Kartierung und Messung mit dem terrestrischen Laserscanner.

Die Frage nach dem Einsatz der Kartierung und der Laserscananalyse im Bereich der Bodenerosionsforschung kann durch diese Diplomarbeit bestätigt werden. Für die Zukunft wäre anzudenken, die Untersuchungen mit beiden Methoden noch weiter zu forcieren.

12. Abstract

Fields are susceptible to soil erosion. Agricultural methods that allow the fields to rest from late autumn to spring induce high amounts of soil erosion caused by rainfall events. The resulting landforms resulting from such rainfall events can be rills, channels and/or areas with sheet erosion. Soil erosion is furthermore produced by tillage methods.

This thesis makes use of two different methods to estimate the amount of soil erosion under natural conditions for a large catchment area. The main assumption of this thesis is that during intense rainfall events soil erosion takes place on agriculturally used fields and that this process can be assessed in the field.

The two methods applied to determine the soil erosion of the study area were a manual field mapping technique, as defined by Rohr et al. (1990), and the use of a terrestrial laser scanner. For the analysis with the terrestrial laser scanner the field was scanned three times. The scanning was first done at the end of winter, once after seeding and the third and final scanning took place after a heavy rainfall event. For this reason a laser scanner of the type Optech Iris 3D was used. The resolution of the scanned area was selected as 8 mm at a distance of 100 m. Both methods were used to analyze the soil erosion after a rainfall event with roughly 15 mm of intense precipitation.

This study was carried out in Petzenkirchen in Lower Austria in an area where the surface runoff flows into a small creek called Seitengrabenbach. The catchment size is 66.7 ha and is used intensively by local farmers for agricultural purposes.

The results of both methods were compared and the errors and uncertainties were estimated. Both methods lead to similar results. It is shown that the mapping method after Rohr et al. (1990) is already well developed for mapping soil erosion in the field. The mapping method showed a magnitude of $2 \text{ m}^3/\text{ha}$ of soil erosion for the entire study area. For the field where the laser scanning was applied, the mapping method produced results of $11 \text{ m}^3/\text{ha}$ of soil erosion.

Until now, the implementation of the terrestrial laser scanner for applications in larger areas has not been fully developed. Especially the handling, analyzing and managing of the acquired data requires lengthy processing. However, the laser scanning method produces good results for the change of the soil surface. The soil surface change caused by erosion, as measured with the laser scanner, lies at $73 \text{ m}^3/\text{ha}$ for this field site.

The results of both methods can be compared although there are some significant discrepancies between them. The mapping method only collects data from erosion caused by the rainfall event. In contrast the laser scanning method collects data for all surface-changing processes between two time series.

It may be noted that the two methods - the field mapping and the laser scanning - are useful and valuable methods for estimating the rate of soil erosion caused by rainfall. For future studies it would be advisable to continue to focus on the combination of

the two methods applied in this thesis, in particular the laser scanning method, as its potential needs further discovery.

13.Literaturverzeichnis

AGUILAR M., F. AGUILAR, J. NEGREIROS; (2009); Off-the-shelf laser scanning and close-range digital photogrammetry for measuring agricultural soils microrelief; In: Biosystems Engineering, 103, S. 504-517

AUERSWALD K.; (1998a); Bodenerosion durch Wasser; In: RICHTER G. (Eds.); (1998) Bodenerosion – Analyse und Bilanz einer Umweltproblems, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, Deutschland S. 33-42

AUERSWALD K.; (1998b); Gravitative Bodenverlagerung; In: RICHTER G. (Eds.); (1998) Bodenerosion – Analyse und Bilanz einer Umweltproblems, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, Deutschland S. 61-68

BARTH W., K. FOPPE, T. SCHÄFER; (Eds.); (2005); Terrestrisches Laserscanning (TLS) – Ein geodätisches Messverfahren mit Zukunft – Beiträge zum 65.DVW-Seminar am 21. und 22. November 2005 in Fulda; Schriftenreihe des DVW, 48, Augsburg, Deutschland

BERGSMA E., A. FARSHAD; (2003); Multiple use of microtopographic erosion features; In: Gabriels D., W. Cornelis; (2003); 25 Years of Assessment of Erosion – International Symposium, Ghent, Belgien, S. 129-134

BISSONNAIS Y., C. MONTIER, M. JAMAGNE, J. DAROUSSIN, D. KING; (2001); Mapping erosion risk for cultivated soil in France; In: Catena 46; S.207-220

BREDURDA J., G. RICHTER; (1998); Kurze Geschichte der Bodenerosion und ihrer Forschung in Mitteleuropa; In: RICHTER G. (Eds.);(1998) Bodenerosion – Analyse und Bilanz einer Umweltproblems, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, Deutschland S. 21-29

BOARDMAN J.; (2006); Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches; In: Catena 68, S. 73-86

BOARDMAN J., J. POESEN; (Eds.); (2006); Soil Erosion in Europe; Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, Großbritannien

CASALI J., J. LOIZU, M. CAMPO, L. DE SANTISTEBAN, J. ALVAREZ-MOZOS; (2006); Accuracy of methods for field assessment of rill and ephemeral gully erosion; In: Catena 67, S. 128-138

CERDAN O., J. POESEN, G. GOVERS, N. SABY, Y. BISSONNAIS, A. GOBIN, A. VACCA, J. QUINTON, K. AUERSWALD, A. KLIK, F. KWAAD, M. ROXO; (2006); Chapter 2.4 Sheet and Rill Erosion; In: BOARDMAN J., J. POESEN; (Eds.); (2006); Soil Erosion in Europe; Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, Großbritannien; S. 205-212

CHISCI G.; (1981); Upland erosion: evaluation and measurement; In: o.A.; (1981); International Association of Hydrological Sciences - Erosion and Sediment Transport Measurement – Symposium Florence; IAHS-AISH Publication No. 133 S.331-349

DARBOUX F., P. DAVY, C. GASCUEL-ODOUX, C. HUANG; (2001); Evolution of soil surface roughness and flowpath connectivity in overland flow experiments; In: Catena 46, S. 125-139

DARBOUX F., C. HUANG; (2003); An Instantaneous-Profile Laser Scanner to Measure Soil Surface Microtopography; In: Soil Science Society of America Journal, 67, S. 92-99

DONGES A.; (1993); Lasermeßtechnik – Grundlagen und Anwendungen; Hüthig Verlag, Heidelberg, Deutschland

DONGES, A.; (2000²); Physikalische Grundlagen der Lasertechnik; Hüthig Verlag Heidelberg, Deutschland

ERASMI S., B. CYFFKA, M. KAPPAS; (Eds.); (2005); Remote Sensing & GIS for Environmental Studies: Applications in Geography; Göttinger Geographische Abhandlungen, Göttingen, Deutschland

EVANS R.; (2002); An alternative way to assess water erosion of cultivated land – field-based measurements: and analysis of some results; In: Applied Geography, 22, S. 187-208

EVANS R.; (2005); Monitoring water erosion in lowland England and Wales – A personal view of its history and outcomes In: Catena 64, S. 142-161

EVANS R., R. BRAZIER; (2005); Evaluation of modelled spatially distributed predictions of soil erosion by water versus field-based assessments; In: Environmental Science & Policy, 8, S. 493-501

FAUST J.; (2011); Kurzrefernz 3D Reconstructor 2 – geo-konzept GmbH, pp.23

FENTON T.; (1982); Estimating soil erosion by remote sensing techniques; In: JOHANNSEN C., J. SANDERS (Eds.); (1982); Remote sensing for resource management; Soil Conservation Society of America; Ankeny, USA S. 217-231

FOHRER N., J. BERKENHAGEN, M. HECKER, A. RUDOLPH; (1999); Changing soil and surface conditions during rainfall Single rainstorm/subsequent rainstorms; In: Catena, 37, S. 355-375

GABRIELS D., W. CORNELIS; (2003); 25 Years of Assessment of Erosion – International Symposium, Ghent, Belgien

GRAZHDANI S., SHUMKA S.; (2007); An approach to mapping soil erosion by water with application to Albania; In: Desalination, 213, S.263-272

GUARNIERI A., A. VETTORE, F. PIROTTI, M. MENETI, M. MARANI; (2009); Retrieval of small-relief marsh morphology from Terrestrial Laser Scanner, optimal spatial filtering, and laser return intensity; In: Geomorphology, 113, S.12-20

GORDON B.; (2008); Zur Bestimmung von Messunsicherheiten terrestrischer Laserscanner – Dissertation; Darmstadt, Deutschland

HAMMER D., J. Astroth, G. Henderson, F. Young; (1991); Geographic Information Systems for Soil Survey and Land-Use Planning; In: MAUSBACH M., L. WILDING (Eds.); (1991); Spatial Variabilities of Soils and Landforms – SSSA Special Publication Number 28; Soil Science of America; Madison, Wisconsin, USA, S.243-270

HASENPFLUG W.; (1998); Bodenerosion durch Wind; In: RICHTER G. (Eds.);(1998) Bodenerosion – Analyse und Bilanz einer Umweltproblems, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, Deutschland S. 69-82

HAUBROCK S., S. CHABRILLAT, H. KAUFMANN; (2005); Application of hyperspectral imaging and laser scanning for the monitoring and assessment of soil erosion in a recultivation mining area; In: ERASMI S., B. CYFFKA, M. KAPPAS (Eds.); (2005); Remote Sensing & GIS for Environmental Studies: Applications in Geography; Göttinger Geographische Abhandlungen, Göttingen, Deutschland S.230-237

HAUBROCK S.-N., M. KUHNERT, S. CHABRILLANT, A. GÜNTNER, H. KAUFMANN; (2009); Spatiotemporal variations of soil surface roughness from in-situ laser scanning; In: Catena 79, S.128-139

HENG P., J. CHANDLER, A. ARMSTRONG; (2010); Applying close range digital photogrammetry in soil erosion studies; In: The Photogrammetric Record, 25,131, S. 240-265

JESTER W., A. KLIK; (2005); Soil surface roughness measurement – methods, applicability, and surface representation; In: Catena, 64, S. 174-192

KHEIR R.; O. CERDAN; C. ABDALLAH; (2006); Regional soil erosion risk/mapping in Lebanon; In Geomorphology 82; S.347-359

KLAGHOFFER E.; (2002); Die Bodenerosion – Ein zentrales Thema des Bodenschutzes; In: Jahrestagung der ÖBG, 2002, Wien, Österreich

LAL R.; (Ed.); (1994²); Soil Erosion Research Methods; St. Lucie Press; Delray Beach, USA

LAL R. (1994²); Soil Erosion by Wind and Water Problems and Prospects; In: LAL R. (Ed.); (1994²); Soil Erosion Research Methods; St. Lucie Press; Delray Beach, USA ; S. 1-9

LAL R., W. ELLIOT; (1994²); Erodibility and Erosivity; In: LAL R. (Ed.); (1994²); Soil Erosion Research Methods; St. Lucie Press; Delray Beach, USA, S. 181-208

LEDERMANN T., K. HERWIG, H. LINIGER, H. HURNI, V. PRASUHN (2010); applying Erosion Damage Mapping to Assess and Quantify Effects of Soil Erosion in Switzerland; In: Land Degradation & Development, 21, S. 353-366

MARTINEZ-CASANOVAS J., M. RAMOS, M. RIBES-DASI; (2002); Soil erosion caused by extreme rainfall events: mapping and qualification in agricultural plots from very detailed digital elevation models; In: Geoderma 105, S. 125-140

MORGAN R.; (1979); Soil Erosion - Topics in Applied Geography; Longman Group; New York, USA

MORGAN R.; (1986); Soil Erosion & Conservation; Longman Group; Hong Kong, Großbritannien

MULDERS M.; (1987); Remote Sensing in Soil Science – Developments in Soil Science 15; Elsevier; Amsterdam – Oxford - New York – Tokyo

MUTCHLER C., C. MURPHREE, K. MCGREGOR; (1994²); Laboratory and Field plots for Erosion Research; In: LAL R. (Ed.); (1994²); Soil Erosion Research Methods; St. Lucie Press; Delray Beach, USA; S. 11-37

NIGEL R., S. RUGHOOPUTH; (2010); Mapping of monthly soil erosion risk of mainland Mauritius and its aggregation with delineated basins; In: Geomorphology, 114, S. 101-114

PRASHUN V.; (o.J); Mapping of actual soil erosion in Switzerland; Agroscope FAL Reckenholz – Swiss Federal Research Station for Agroecology and Agriculture; Zürich-Reckenholz, Schweiz

PRASUHN V.; (2011); Soil erosion in the Swiss midlands: Result of a 10-year field survey; In: Geomorphology 126, S. 32- 41

RICHTER G; (Ed.); (1998); Bodenerosion – Analyse und Bilanz einer Umweltproblems; Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, Deutschland

RICHTER G.; (1998); Bodenerosion durch Schneeschmelze; In: RICHTER G. (Eds.);(1998) Bodenerosion – Analyse und Bilanz einer Umweltproblems, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, Deutschland S. 43-50

ROHR W., T. MOSIMANN, R. BONO, M. RÜTTIMANN, V. PRASUHN; (1990); Kartieranleitung zur Aufnahme von Bodenerosionsformen und –Schäden auf Ackerflächen – Legende, Erläuterungen zur Kartiertechnik, Schadensdokumentation und Fehlerabschätzung; In: Basler Beiträge zur Physiogeographie, Heft 14, Schweiz

SCHMID T., H. SCHACK-KIRCHNER, E. HILDEBRAND; (o.J.); A case study of terrestrial laser scanning in erosion Research: calculating of roughness and volume balance at a logged forest site; in: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences

SCHMIDT K.; (1998); Beobachtung, Messung und Kartierung der Wassererosion; In: RICHTER G. (Eds.); (1998) Bodenerosion – Analyse und Bilanz einer Umweltproblems, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, Deutschland S. 33-42

SCHNABEL W.; (Ed.); (2002); Geologische Karte von Niederösterreich 1:200 000; Geologische Bundesanstalt – Land Niederösterreich; Wien, Österreich

SMITH M., N. COX, L. BRACKEN; (2011); Terrestrial laser scanning soil surfaces: a field methodology to examine soil surface roughness and overland flow hydraulics; In: Hydrological Processes, 25, S. 842-860

STAIGER R.; (2005); Terrestrisches Laserscaning – eine neue Universalmessmethode? In: BARTH W., K. FOPPE, T. SCHÄFER (Eds.); (2005); Terrestrisches Laserscaning (TLS) – Ein geodätisches Messverfahren mit Zukunft – Beiträge zum 65.DVW-Seminar am 21. und 22. November 2005 in Fulda; Schriftenreihe des DVW, 48, Augsburg, Deutschland, S. 3-15

STRAUSS P., E. KLAGHOFER; (2006); Kapitel: 1.17 Austria; In: BOARDMAN J., J. POESEN (Eds.); (2006); Soil Erosion in Europe; Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, Großbritannien; S. 205-212

STRAUSS P., A. PEINSITT; (2002); Die erosiven Niederschläge des März 2002 und ihre Folgen in zwei landwirtschaftlich genutzten Kleineinzugsgebieten; In: Arbeitsgemeinschaft landwirtschaftlicher Versuchsanstalten Jahrestagung 2002 in Klosterneuburg – Fachgruppe Boden, Fachgruppe Düngemittel und verwertbare Abfallstoffe

STRAUSS P.; (2007); Flächenhafter Bodenabtrag durch Wasser – Kapitel 8.4.- In: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.): Hydrologischer Atlas Österreich, Wien, Österreich

STROOSNIJDER L.; (2005); Measurement of erosion: Is it possible?; In: Catena 64, S. 162-173

TAKKEN I., L. BEUSELINCK, J. NACHTERGAELE, G. GOVERS, J. POESEN, G. DEGRAER; (1999); Spatial evaluation of a physically-based distributed erosion model (LISEM); In: Catena 37, S. 431-447

TOY T., G. FOSTER, K. RENARD; (2002); Soil Erosion – Processes, Prediction, Measurement, and Control; Wiley & Sons, New York, USA

VANOOST K., G. GOVERS, S. deALBA, T. QUINE; (2006); Tillage erosion: a review of controlling factors and implications for soil quality; In: Progress in Physical Geography 30, 4, S. 443-466

VERHOEST N, H. LIEVENS, W. WAGNER, J. ALAREZ-MOZOS, S. MORAN, F. MATTIA; (2008); On the Soil Roughness Parameterization in Soil Moisture Retrieval of Bare Surfaces from Synthetic Aperture Radar; In: Sensors, 8, S. 4213-4248

VANDIJK P., A. AUZET, M. LEMMEL; (2005); Rapid assessment of field erosion and sediment transport pathways in cultivated catchments after heavy rainfall events; In: Earth surface Process and Landforms, 30, S. 169-182

13.1. Internetquellen

EBOD des BMLFUW:

http://gis.lebensministerium.at/eBOD/frames/index.php?&145=true&gui_id=eBOD am 11.03.2011

GEOLEXIKON:

<http://www.geodsz.com/deu/d/Froude-Zahl>; am 03.08.2011

UMWELTBUNDESAMT Link 1

<http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/boden/zustand/> am 10.11.2010

UMWELTBUNDESAMT Link 2

http://www.umweltbundesamt.at/umweltkontrolle/ukb2007/ukb8_boden/ukb8_boden_bewertung/ am 10.11.2010

PRASUHN V.; Bodenerosion hat viele Gesichter: 10 Jahre Foto-Monitoring:

<http://www.agroscope.admin.ch/gewaesserschutz-stoffhaushalt/04047/04056/index.html?lang=de> am 16.12.2010

WORDPRESS: Hjulström-Diagramm

<http://achoyce.files.wordpress.com/2008/09/hjulstrom-diagram.jpg>, am 28.03.2011 um 11:00

(1) Anhang: Legende zur Kartierung

Geographisches Institut der Universität Basel
Geoökologie

NFP "Boden"
Projekt "Bodenerosion in
der Schweiz"

LEGENDE ZUR KARTIERUNG VON EROSIONSSCHÄDEN AUF ACKERFLÄCHEN

W. Rohr und R. Bono

Kartiermassstab 1 : 5'000

EROSIONSFORMEN

Flächenhafte Formen

- 1.1  Flächenerspülung: kleinflächige Verspülungen, nicht quantifizierbar (Fläche < 5 a)
- 1.2  Flächenerspülung: wie 1.1, aber quantifizierbar (Fläche > 5 a), 1.1 und 1.2 meist in Falllinie
- 1.3  Flächenerspülung in Bearbeitungsspuren (Rad- und Gerätespuren), quantifizierbar (Fläche > 5 a)
- 1.4  Beginnende Tiefenerosion: Häufung von Kleinstrillen, quantifizierbar (Fläche > 5 a) meist in Falllinie, Einzelform < 2 cm tief/ < 5 cm breit
- 1.5  Beginnende Tiefenerosion: wie 1.4, aber in Bearbeitungsspuren (Rad- und Gerätespuren)
- 1.6  Beginnende Tiefenerosion: wie 1.5, aber vorwiegend in Radschienen (Radschienen dicht nebeneinander)

Lineare Formen

- 2.1  mehrere Kleinstrillen, nicht flächendeckend, häufig an Parzellenrand und kurz (1 bis 2 m), Signaturenwahl entsprechend der vorliegenden Erosionsform, vgl. Signaturen 1.4 bis 1.6, Einzelform > 2 cm tief/ > 5 cm breit
- 2.2  Rille: 2 - 15 cm tief/ > 5 cm breit, Angabe des erodierten Bodenvolumens in m³ (am Ansatzpunkt der Signatur) und der Rillengrösse (am Ende der Signatur) gemäss Nomogramm RILLEN
- 2.3  Rinne: 15 - 45 cm tief/ > 10 cm breit, Angabe des erodierten Bodenvolumens in m³ (am Beginn der Signatur) und der Rinnengrösse (am Ende der Signatur) gemäss Nomogramm RINNEN
- 2.4  Graben: > 45 cm tief/variable Breite, Angabe des erodierten Bodenvolumens in m³ (immer "x" angeben, vgl. unten)
- 2.2 - 2.4  liegen mehrere Rillen und/oder Rinnen dicht nebeneinander, die betroffene Fläche ist aber zu klein für Signatur 3.1: Einzelsignatur mit Volumenangabe (Total), ohne Buchstaben!
- 2.5  Zusammenlaufende lineare Erosion: die Erosionsrillen/-rinnen laufen konvergent zu einander und vereinen sich häufig in einer einzelnen grossen Erosionsrinne, Angabe des erodierten Bodenvolumens in m³
- 2.6  Tiefenerosion in vorgegebener Leitlinie (z.B. Ackerrandfurche), ohne Volumenangabe
- 2.7  Erosionsrinne auf Strassen und Wegen, ohne Volumenangabe

Flächenhaft - lineare Formen (Auflösung in Einzelformen nicht möglich oder nicht sinnvoll)

- 3.1  Streifenerosion: wie 2.2 bis 2.4, mehrere Erosionsformen liegen parallel nebeneinander, (meist in Rad- oder Gerätespur), Signaturenwahl entsprechend der vorliegenden Grösse der Rillen/Rinnen, betroffene Fläche umgrenzen, Angaben des erodierten Bodenvolumens in m³ (Zahl umkreisen)

- 3.2  Rutschenspülung: Netzwerk von Rillen und/oder Rinnen; Angabe des erodierten Bodenvolumens in m^3 (vgl. Nomogramm RILLEN, RINNEN)
- 3.3  Rutschenspülung: grosse Anzahl parallel verlaufender Rillen und/oder Rinnen; (meist unabhängig von einer Rad- oder Gerätespur); Angabe des erodierten Bodenvolumens in m^3 (vgl. Nomogramm RILLEN, RINNEN)
- 3.3.1  Rille dominierend unter den Einzelformen (Zusatzsignatur + entspr. Buchstabe)
- 3.3.2  Rinne dominierend unter den Einzelformen (Zusatzsignatur + entspr. Buchstabe)

Massenversatz

- 4.1  Rutschung in Schollen (Einzelsignatur; falls möglich: massstäbliche Abgrenzung)

OBERFLÄCHENABFLUSS OHNE EROSIVE WIRKUNG

- 5.1  Erosionsfreier Abfluss in bearbeitungsbedingter Leitlinie wie Pflug- und Fahrspur (vgl. 3.3) keine Volumenangabe
- 5.2  Erosionsfreier Abfluss in Tiefenlinie (z.B. auf Wiese) oder in alter Erosionsform, die beispielsweise mit Ernterückständen bedeckt ist, keine Volumenangabe
- 5.3  Oberflächendrainage (z.B. Wasserfurche), speziell für Wasserabfluss angelegt, keine Volumenangabe

AKKUMULATION

- 6.1  kleinflächige Akkumulation variabler Mächtigkeit, Fläche $< 20 m^2$
- 6.2  Akkumulation mit durchschnittlicher Mächtigkeit von $< 3 cm$, Fläche $> 20 m^2$, Flächenangabe in m^2
- 6.3  Akkumulation mit durchschnittlicher Mächtigkeit von $3 - 10 cm$, Fläche $> 20 m^2$, Flächenangabe in m^2
- 6.4  Akkumulation mit durchschnittlicher Mächtigkeit $> 10 cm$, Fläche $> 20 m^2$, Flächenangabe in m^2
- 6.5  Akkumulation variabler Mächtigkeit in länglicher Hohlform, Länge $> 30 m$
- 6.6  Fliessspuren auf Strassen und Wegen

BEOBACHTUNGEN ZUM OBERFLÄCHENWASSER

- 7.1  Dole
- 7.2  Verstopfte Dole
- 7.3  Hangnässe
- 7.4  Fliessendes Quellwasser
- 7.5  Stehendes Wasser in Reliefverflachung
- 7.6  Fliessendes Wasser, nicht eingezeichneter Bachlauf
- 7.7  Offener Wassersammler für Oberflächen- und Drainagewasser

ZUSATZSIGNATUREN

- | | | |
|-----|---|--|
| 8.1 |  | Feldkasten |
| 8.2 |  | Parzellengrenzen sind bei den Linienerosionen wenn möglich anzugeben |
| 8.3 |  | Oberflächenversiegelung (z.B. Anbau unter Plastikfolie) |

(Rohr et al. 1990, S14/15)

(2) Anhang: Produktdaten des terrestrischen Laserscanners

productsurveys

2006 3D Laser Scanner Hardware Survey

MANUFACTURER	Optech Incorporated
PRODUCT	ILRIS
PERFORMANCE	
Laser Wavelength (in nm)	1550nm
Laser Power (in W, mW)	N/A
FDA Laser Classification (Class)	Class 1
Beam Diameter at Specified Distance from the Scanner (0.Y ft at X ft/Ymm at X m)	29 mm @ 100 m
Measurement Technique	Time of flight
Average Data Acquisition Rate (pps)	2000
Maximum Data Acquisition Rate (pps)	>2000
Distance Accuracy at Specified Distance (0.Y ft at X ft/Ymm at X m)	7 mm @ 1000 m
Position Accuracy at Specified Distance (0.Y ft at X ft/Ymm at X m)	8 mm @ 100 m
Angular Accuracy (degrees-min-sec)	0.00115°
Minimum Range (feet/m)	2 m
Maximum Range (feet/m) at Specified Reflectivity (specify 4%, 10%, 30% or 80% targets)	1500 m @80%
Field of View (vertical angle) (degrees-min-sec)	180°
Field of View (horizontal angle) (degrees-min-sec)	360°
Minimum Vertical Scan Increment (degrees-min-sec)	0.00115°
Minimum Horizontal Scan Increment (degrees-min-sec)	0.00115°
Surface Reflectivity Range (%)	Yes
Onboard camera for aiming or for creating photomosaic, etc. (single image pixel resolution)	Yes
Is hardware interoperable with optical total stations and GPS? If yes, how?	Yes, post-processing workflow
Is the scanner better for scanning topography or for as-built surveys?	Both
Is software technology for processing data from scanner manufacturer?	[51]
Can scanner be set up over a known point? (E.g., height of instrument, backsight point, etc.) If yes, can station information be entered?	Yes
Can the user specify the field of view and scan density?	Yes
Maximum sample density (mm/ft)	2 mm @ 100 m
Does the scanner support scan filters (e.g., range, intensity, area of interest)?	Yes
Does the scanner have interchangeable parts that allow for upgrades (e.g., the camera, other modular components, etc.)	Yes
Communication Method (e.g., ethernet card, firewire, wireless)	[52]
Does the scanner operate when out of level? Does it have compensators?	Yes/yes
ENVIRONMENTAL	
Storage Temperature Range (degrees F/C)	-20 to 50°C
Operating Temperature Range (degrees F/C)	0 to 40°C
Humidity (%)	Sealed, 100%
Ambient Light	Yes
GENERAL	
Scanner Dimensions (LxWxH) (inches/cm)	32 cm x 32 cm x 22cm
Scanner Weight (pounds/kg)	13kg
Is scanner recommended for mounting on standard survey tripod? If no, what is recommended stand?	Yes
AC Power Requirements (volts/watts)	24 VDC
DC Power Requirements (volts/watts)	24 VDC
Batteries	
Battery Dimensions (LxWxH) (inches/cm)	3 cm x 10 cm
Battery Weight (pounds/kg)	2 lbs
Battery Life (hours)	4 batteries = 5 hours
Are batteries hot-swappable? (Y/N)	Yes
Computer Requirements for Control (handheld option?)	Wireless Pocket PC or laptop
Computer Requirements for Data Processing	1 gh, Pentium 4 minimum
Standard Accessories (list)	Carry case, AC power supply
Optional Accessories (list)	[53]
Warranty	1 year inclusive

THOMAS BAUER

Larnhaus 7
4300 St.Valentin
Tel.:0650 / 88 11 432

Goldschlagstrasse 110/12
1150 Wien
E-Mail: thomas_bauer_geo@yahoo.com

**(3) Anhang: Lebenslauf****PERSÖNLICHE DATEN:**

geboren am 18. September 1985 in Steyr,
Österreichische Staatsbürgerschaft, ledig

AUSBILDUNG:

1992 – 1996	Volksschule St.Valentin
1996 – 2000	Hauptschule St.Valentin
2000 – 2005	HTBLA für Chemische-Betriebstechnik Wels
10/2005 – 09/2006	Zivildienst am Krisenpflegeplatz Mogli in Linz
Seit 2006	Diplomstudium Geographie an der Universität Wien Schwerpunkt angewandte Geomorphologie, geplanter Abschluss: November 2011

BERUFLICHE TÄTIGKEITEN:

08/2003; 07/2004	Berufspraktikum der HTBLA im Laborbereich der OMV in St. Valentin
10/2008 – 03/2009	Freier Mitarbeiter bei wpa (beratende Ingenieure) in Wien
SS 2009/ 2010/ 2011	Tutor für Übungen zur Bodengeographie an der Universität Wien
07/2010	Praktikum am Institut für Wasserbau und hydrometrische Prüfung in Wien (UBA)
07/2011	Praktikum am Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt in Petzenkirchen (UBA) diverse Ferialjobs während der Sommerferien bei Backaldrin, Linz AG, Stadtgemeinde St.Valentin

BESONDERE KENNNTNISSE:

Fremdsprachen:	Englischkenntnisse in Wort und Schrift
EDV-Kenntnisse:	geübter Umgang mit MS Office SPSS (Statistikprogramm) ArcGis (Geoinformationssystem) JRC 3D Reconstructor (Software für Laserscandaten)
Methodenkenntnisse:	terrestrischer Laserscanner (Iiris Optech 3D) Kartierung von geomorphologischen Formen im Gelände Auswertung von Luft- und Satellitenbilddaten Labormethoden der Physiogeographie (chemische und physikalische)

SONSTIGES:

Seit 2002	Führerschein B
2003 – 2005	Finanzbeauftragter der Katholischen Jugend St.Valentin
2009 und 2010	Leistungsstipendium der Universität Wien
Seit 2009	Mitglied in der Theatergruppe St.Valentin Interesse an Kultur, Theater und Reisen

Erklärung:

Ich versichere hiermit, dass ich die hier vorliegende Diplomarbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer, als der angegebenen und zitierten Hilfsmittel, angefertigt habe.

Das aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedankengut ist als solches kenntlich gemacht.

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

Wien, September 2011

Unterschrift: _____
(Thomas Bauer)