Universität für Bodenkultur Wien
University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna

Institut für Hydraulik und Landeskulturelle Wasserwirtschaft

Auswirkungen unterschiedlicher Bearbeitungsformen auf die Erosion bei Starkniederschlägen

Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Diplomingenieur

eingereicht von

Jörg Sobl

Betreuer:

Ao.Univ.Prof.DI Dr.nat.techn. Andreas Klik

H9551244

Februar 2007

Danksagung

Ich bedanke mich bei meinem Betreuer Ao.Univ.Prof.DI Dr.nat.techn. Klik, der durch die Organisation und Durchführung der Beregnungsversuche in Mistelbach diese Diplomarbeit ermöglicht hat und mir am Institut einen Arbeitsplatz zur Verfügung gestellt. Er hat sich stets für meine Fragen Zeit genommen und mich auf Fehler aufmerksam gemacht.

Bedanken möchte ich mich bei allen, die bei den Versuchen in Mistelbach mitgearbeitet haben, bei allen, die mir bei der Erstellung der Diplomarbeit geholfen haben, insbesondere bei Karl Haigner für die Unterstützung bei den physikalischen Untersuchungen, bei Alina Busch-Petersen für die chemischen Analysen und bei DI Dr.nat.techn. Gerhard Kammerer für seine Hilfs- und Diskussionsbereitschaft.

Ich bedanke mich herzlich bei meinen Eltern und meiner Schwester für Ihre Unterstützung auch während der Jahre geringen Studienerfolges und ebenso bei meinen Freuden.

Kurzfassung

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden die Auswirkungen unterschiedlicher landwirtschaftlicher Bearbeitungsformen, nämlich konventioneller Bearbeitung, konservierender Bearbeitung und Direktsaat, auf die Erosion bei Starkniederschlägen untersucht. Dazu wurden in Mistelbach, Niederösterreich, 8 m lange und 2 m breite, etwa mit 10 % geneigte Flächen mit dem Regensimulator beregnet und der Abfluss aufgefangen. Weiters wurden die wesentlichen bodenphysikalischen und bodenchemischen Parameter und Zustandsgrößen von Sediment-, Boden- und Abflussproben gemessen. Die Ergebnisse zeigen keine bedeutenden Unterschiede bezüglich der Erosion, die auf niedrigem Niveau liegt, der Oberflächenabfluss ist bei der Direktsaat am geringsten.

Abstract

This thesis examines the impacts of three different agricultural tillage practices, conventional and conservative tillage and direct seeding, on erosion and runoff caused by heavy rainfall. Research was done in Mistelbach, Lower Austria using a rainfall simulator on an experimental plot with a 10% slope in which different physical and chemical soil properties were also examined. There was no difference found concerning erosion, Direct seeding had the smallest runoff.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Fragestellung 1

1.1 Literaturübersicht 1

2 Material und Methoden 4

2.1 Beschreibung der Lage 4

2.2 Versuchsablauf 5

2.3 Untersuchungen im Feld 7
Regensimulation 7
2.3.1 Bodenphysikalische Untersuchungen im Feld 8
Geschwindigkeitsmessung 8
Eindringwiderstand (Taschenpenetrometer) 8
Scherfestigkeit (Torvane) 9
Wasserspannung (Tensiometer) 9
Wasseranteil (TDR) 9
Neigungsmessung, Probennahme mit Stechzylinder und Schlagbohrer, Rauhigkeit der Bodenoberfläche 10
2.3.2 Bodenchemische Untersuchungen im Feld 10
pH – Wert 10
Elektrische Leitfähigkeit 11

2.4 Untersuchungen im Labor 11
2.4.1 Bodenphysikalische Untersuchungen 11
k – Wert, Wasseranteil, Trockendichte, Porenanteil 11
Aggregatstabilität nach Kemper 13
Korngrößenanalyse: Nasssiebung und Pipetteverfahren 13
Massenwassergehalt 15
2.4.2 Chemische Untersuchungen 15
Chemische Analyse des Wassers 15
Chemische Analyse des Bodens 16

2.5 Auswertung 17

3 Ergebnisse und Interpretation 18

3.1 Abfluß und Abtrag 18

3.2 Abflussgeschwindigkeit 22

3.3 Eindringwiderstand 23

3.4 Scherfestigkeit 23

3.5 Wasserspannung 24

3.6 Elektrische Leitfähigkeit und pH – Wert 28

3.7 Durchlässigkeit 28

3.8 Trockendichte und Porenanteil 31

3.9 Wassergehalt und Wasseranteil 34

3.10 Aggregatstabilität 37

3.11 Korngrößenanalyse 38

3.12 Chemische Analyse des Wassers 41

3.13 Chemische Analyse des Bodens 50

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen 57

5 Quellenverzeichnis 59

6 Anhang 60

6.1 Regensimulation 60

6.2 Abflussgeschwindigkeit 66

6.3 k – Werte 67

6.4 Wasseranteil, Trockendichte, Porenanteil 68

6.5 AS 69

6.6 Korngrößenanalyse 70

6.7 Chemische Analysen 71

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Mistelbach in Niederösterreich (ebod, 2007) ... 4
Abb. 2 Abmessungen des Versuchsfeldes; ... 5
Abb. 3 Versuchsfeld und Regensimulator ... 5
Abb. 4 Referenzmessung zur Bestimmung der Beregnungsintensitäten ... 18
Abb. 5 Verlauf von Beregnung, Abfluss, Infiltration und Erosion des 1TV ... 20
Abb. 6 Verlauf von Beregnung, Abfluss, Infiltration und Erosion des 1NV ... 21
Abb. 7 Abflussgeschwindigkeiten der Beregnungsversuche ... 22
Abb. 8 Eindringwiderstand vTV, nTV, vNV, nNV der 3 Versuchsfelder ... 23
Abb. 9 Scherfestigkeit vTV, nTV, vNV, nNV der 3 Versuchsfelder ... 24
Abb. 10 Wasserspannung der 3 Versuchsfelder in den 3 Messtiefen ... 25
Abb. 11 Wasserspannung von V5 ... 26
Abb. 12 Wasserspannung von V5 ... 26
Abb. 13 Wasserspannung von V6 ... 26
Abb. 14 k – Werte der 3 Versuchsfelder ... 30
Abb. 15 k – Werte aller Versuchsfelder vor den TV und nach den NV ... 30
Abb. 16 k – Werte (Mittelwerte aller Messungen) vor den TV und nach den NV, p > 0,05 ... 31
Abb. 17 Trockendichte vor den TV und nach den NV (p < 0,05) ... 32
Abb. 18 Porenanteil vor den TV und nach den NV ... 33
Abb. 19 Massenwassergehalt von V1 über die Tiefe vor und nach jedem Versuch 34
Abb. 20 Massenwassergehalt von V5 über die Tiefe vor und nach jedem Versuch 35
Abb. 21 Massenwassergehalt von V6 über die Tiefe vor und nach jedem Versuch 35
Abb. 22 Massenwassergehalt vor und nach den Versuchen aller Versuchsfelder .. 36
Abb. 23 Wasseranteil: Vergleich der Meßmethoden ... 37
Abb. 24 Aggregatstabilität der 3 Versuchsfelder (mit. Standardabweichung), alle 3 Felder unterscheiden sich signifikant voneinander (a,b,c, Signifikanzniveau p < 0,05)) ... 38
Abb. 25 Korngrößenverteilung der Bodenprobe und des erodierten Materials von V1 ... 39
Abb. 26 Korngrößenverteilung der Bodenprobe und des erodierten Materials von V5 ... 39
Abb. 27 Korngrößenverteilung der Bodenprobe und des erodierten Materials von V6 ... 40
Abb. 28 Korngrößenverteilung der Bodenproben der 3 Versuchsfelder ... 41
Abb. 29 N anorg: Verlauf der Konzentrationen des abgelaufenen Wassers ... 42
Abb. 30 NO3 - N: Verlauf der Konzentrationen des abgelaufenen Wassers ... 42
Abb. 31 NO2 - N: Verlauf der Konzentrationen des abgelaufenen Wassers ... 43
Abb. 32 NH4 - N: Verlauf der Konzentrationen des abgelaufenen Wassers ... 44
Abb. 33 PO4 - P: Verlauf der Konzentrationen des abgelaufenen Wassers ... 44
Abb. 34 Wasseranalyse: Mittelwerte der Konzentrationen ... 45
Abb. 35 Wasseranalyse: Konzentrationen der einzelnen Versuche ... 46
Abb. 36 Wasseranalyse: Mengen der ausgewaschenen Stoffe ... 46
Abb. 37 Wasseranalyse: Zuwachs der Konzentrationen durch den Bodenkontakt.. 48
Abb. 38 Wasseranalyse: Zuwachs der Konzentrationen der Versuche durch den Bodenkontakt ... 48
Abb. 39 Bilanz der aufs Feld aufgebrachten und der abgelaufenen Stoffmengen... 49
Abb. 40 Wasseranalyse: Mengen der abgeflossenen Stoffe, errechnet aus der Zunahme der Konzentrationen durch den Bodenkontakt und der angeflossenen Wassermenge ... 50
Abb. 41 Bodenanalyse: Stoffkonzentrationen des erodierten Bodens ... 51

Abb. 42 Bodenanalyse: Stoffkonzentrationen der Versuchsfelder 52
Abb. 43 Bodenanalyse: Stoffmengen des erodierten Bodens der Versuchsfelder .. 54
Abb. 44 Bodenanalyse: Stoffmengen des erodierten Bodens der Versuche 55
Abb. 45 Verlauf der erodierten Stoffmengen von 1TV 55

Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Bezeichnung der Korngrößen nach ÖN L 1050 (1992) 13
Tab. 2 Regensimulation im Überblick 19
Tab. 3 Berechnung der mindestens aufgebrachten Wasserhöhen aus der Zunahme des Bodenwassers und dem Abfluß der TV 21
Tab. 4 Tortuositätsindex und Gefälle der Versuchsflächen 23
Tab. 5 Wassergehalte in der Einbautiefe der Tensiometer beim Einbau 27
Tab. 6 Wasserspannungen zu Beginn der Messungen 27
Tab. 7 Anstieg der Wasserspannungen nach den Tiefstständen nach 24 h 27
Tab. 8 Elektrische Leitfähigkeit und pH – Wert des Beregnungswassers und des abgeflossenen Wassers 28
Tab. 9 Mittelwerte und Standardabweichungen der Durchlässigkeit vor und nach jedem Versuch und der Versuchsfelder 29
Tab. 10 Trockendichte (g/cm³) vor und nach jedem Versuch und der Versuchsfelder 31
Tab. 11 Porenanteil (%) vor und nach jedem Versuch und der Versuchsfelder (aus der Trockendichte und der Feststoffdichte errechnet) 32
Tab. 12 Porenanteil (%) vor und nach jedem Versuch und der Versuchsfelder (aus der Massendifferenz des gesättigten und ofentrockenen Bodens errechnet) 33
Tab. 13 Porenanteil (%) vor den TV und nach den NV 33
Tab. 14 Wasseranteil (TDR) 37
Tab. 15 Sand-, Schluff- und Tonanteile von Boden und Sediment am Feinboden 41
Tab. 16 Wasseranalyse: Stoffmengen der TV und der NV 47
Tab. 17 Bodenanalyse: Konzentrationsdifferenzen zwischen Boden und erodiertem Boden, positive Werte: erodierter Boden hat eine höhere Konzentration 52
Tab. 18 Bodenabtrag in g 54
Tab. 19 maximaler Bodenabtrag in g/min. 54
Tab. 20 Bodenanalyse: erodierte Stoffmengen der TV und der NV 56
Tab. 21 Gesamtverluste an Stoffmengen, errechnet aus der Bilanz der Stoffmengen aus Zulauf und Ablauf 56
Tab. 22 Gesamtverluste an Stoffmengen, errechnet aus dem Anstieg der Konzentrationen durch den Bodenkontakt und den abgeflossenen Wassermengen 56

Abkürzungsverzeichnis

V1	Versuchsfeld 1, konventionelle Bearbeitungsform
V5	Versuchsfeld 5, konservierende Bearbeitungsform
V6	Versuchsfeld 6, Direktsaat
1TV	Trockenversuch (60 mm/h) auf V1, 5TV und 6TV entsprechend
1NV	Nassversuch (40, 60, 20 mm/h) auf V1, 5NV und 6NV entsprechend
vTV, nTV	vor TV, nach TV, ebenso mit NV
MWG	Massenwassergehalt
N ges	Gesamtstickstoff
NO3-N	Nitratstickstoff
NO2-N	Nitritstickstoff
NH4-N	Ammoniumstickstoff
PO4-P	Phosphat – Phosphor
C ges	Gesamtkohlenstoff
C anorg	anorganischer Kohlenstoff
C org	organischer Kohlenstoff
g, mg..	Gramm, Milligramm
s, h, d, a	Sekunde, Stunde, Tag, Jahr
cm^2, ha..	Quadratzentimeter, Hektar
m	Mittelwert
s	Standardabweichung

1 Einleitung und Fragestellung

Das Experiment untersucht die Auswirkungen unterschiedlicher Bearbeitungsformen auf die Erosion bei Starkniederschlägen. Dazu fanden auf einem Feld bei Mistelbach, NÖ, im September 2005 Beregnungsversuche auf drei Feldern mit unterschiedlichen Bearbeitungsformen statt. Diese bestanden in konventionellem und konservierendem Anbau und Direktsaat. Zu untersuchen ist, wie sich die Bearbeitungsvarianten in bezug auf Erosion, Infiltration und chemische wie physikalische Bodeneigenschaften unterscheiden.

1.1 Literaturübersicht

Die Erosion durch Wasser (Scheffer, 1984) beginnt mit der Zerschlagung der Bodenaggregate durch die Regentropfen (splash erosion), die entstehenden kleineren Bodenteilchen können leichter durch die Schleppspannung des oberflächlich abfließenden Wassers abtransportiert werden. Bei nachlassendem Gefälle werden die Teilchen wieder abgelagert. Der anfänglich vorhandenen Flächenerosion (sheet erosion) folgt die Rillenerosion (rill erosion), wenn der zunehmende oberflächliche Abfluss in bevorzugten Bahnen abzurinnen beginnt und schließlich die Grabenerosion (gully erosion). Eine vierte, in Europa kaum vorkommende Erosionsart ist die Tunnelerosion, bei der das infiltrierte Wasser hangparallel abfließt und über Suffosion und Erosion einen Tunnel bildet. Der Bodenabtrag durch Flächenerosion ist mit dem Auge nicht zu erkennen, selbst wenn sehr große Mengen abgetragen werden (Richter, 1998). Er wird daher oft unterschätzt, schädigt den Boden aber irreparabel, indem der wertvolle Oberboden verloren geht, der Boden „geköpft" wird. In Mitteleuropa sind Flächenerosion und Rillenerosion vorherrschend (Richter, 1998). Das Ausmaß der Erosion ist abhängig von

- der Erosivität des Niederschlags: Nach Hudson (1973) ist sie bestimmt durch die Intensität des Niederschlages und die kinetische Energie des Regenfalls in Verbindung mit der Regenmenge. Erfahrungsgemäß liegt aber die Niederschlagsintenstiät, um Wasserabfluss und Erosion auszulösen, im mitteleuropäischem Klimaraum bei 0,3 mm/min (=18 mm/h), die Intensitäten der vorliegenden Arbeit sind also alle erosiv (Jung, 1980). Nach Blume (1992) ist die Niederschlagsintensität in 90% der Erosionsereignisse mit der Erosion korreliert. Auch die Tropfengröße ist für die Erosivität eines Niederschlages bedeutend: Tropfendurchmesser eines normalen Regenschauers sind 0,8-1,2 mm, an Beginn von Starkregenereignissen 4-4,9 mm, womit auch Grobsand bewegt werden kann. Mit steigender Intensität steigt der mediane Tropfendurchmesser , die Fallgeschwindigkeit und damit die kinetische Energie des Regentropfens. Die Regenintensität von 60 mm/h kann bei Gewitterregen erreicht und überschritten werden. Die Regentropfen treffen auf der Bodenoberfläche auf und werden radial nach außen abgelenkt, wobei sich die Geschwindigkeit des Regetropfens verdoppeln kann. Dadurch entstehen Scherspannungen, die Bodenteilchen aus ihrem Aggregatverband reißen (Splash) (Richter, 1998). Durch das abfließende Wasser werden die gelösten Bodenteilchen abtransportiert und auch neue Bodenteilchen abgelöst, allerdings mit geringeren Scherkräften als beim Splash.

- der Bodenbedeckung: Die Beschaffenheit des Bewuchses nach Vegetationsdichte, Wuchshöhe, Blattentwicklung, Blattform, aber auch Durchwurzelungstiefe und Wurzelmasse sind entscheidende Faktoren. Eine geschlossene Grasnarbe z.B. verhindert Erosion fast vollständig.
- den Bodeneigenschaften: Die Bodenart: Ein hoher Schluff- und Feinstsandanteil (0,002-0,1 mm) erhöht aufgrund der kleinen Korngröße, aber der noch nicht stark ausgebildeten Kohäsion zwischen den Bodenteilchen den Bodenabtrag; eine hohe Durchlässigkeit vermindert die Menge des abfließenden Wassers und somit die Erosion; ein hoher Gehalt an organischer Substanz, Ton und Sand (>0,1 mm), Steinbedeckung, ebenso eine hohe Aggregatstabilität und Scherfestigkeit der Bodenoberfläche vermindern die Erosionsanfälligkeit. Auch die Bodenchemie ist entscheidend: peptisierend wirkende Stoffe (Na+) fördern, koagulierend wirkende Stoffe (Ca++) hemmen die Erosion. Werden bestimmte Elemente (Ca, Fe, Al) oder Stoffgruppen (Humus, Komplexbildner) herausgelöst und pH-Wert und Puffervermögen verändert, wird das Bodengefüge zerstört und die Erosionsanfälligkeit erhöht. (Blume, 1992)
- der Geländeform: je größer Gefälle und Hanglänge, desto größer die Erosionsanfälligkeit
- der ackerbaulichen Nutzung: die Erosionsanfälligkeit wird durch geringe Bodenbedeckung, Reihenkulturen (Mais...) in Gefällsrichtung, und feine Saatbettbereitung, im allgemeinen geringe Rauhigkeit der Bodenoberfläche erhöht, durch dicht und niedrig wachsende Pflanzen und Bedeckung der Oberfläche mit Ernterückständen verringert. (Scheffer, 1984) Großflächige Monokulturen begünstigen die Abflussakkumulation und diese die Erosion. (Blume, 1992)
- der Bodenfeuchte: mit zunehmender Bodenfeuchte bei Beginn des Regenereignisses steigt die Bodenerosion an (Jung, 1980).

Folgen der Erosion

Die Bodengründigkeit nimmt ab, wenn die Erosion größer als die Bodenbildungsrate. In der Landwirtschaft bedeutet Erosion eine Verringerung des Wasserspeicherraumes und damit auch eine Vergrößerung der Erosionsgefahr, einen Verlust an Nähratoffen und Humus, eine Verkürzung der Fließstrecke bis zum Grundwasser und somit eine verringerte Reinigungsleistung. Die Ertragsfähigkeit des Bodens wird vermindert, Pflanzen können entwurzelt werden und so die Erosion verstärken, das Bodenleben verarmt, biologische Ab- und Umbauvorgänge (Mineralisierung, Humifizierung, Nitrifikation...) verlangsamt. Der Grundwasserflurabstand kann sich ändern; der Wasser- und Lufthaushalt wird beeinflusst.

In der Sedimentationszone werden Saatgut und vorwiegend junge Pflanzen verschüttet; das feine Erosionsmaterial kann die Poren verstopfen und ebenfalls den Wasser- und Lufthaushalt beeinträchtigen. Weitere Folgen sind das unerwünschte Ablagern von Sedimenten auf Wegen und Straßen, in Entwässerungsgräben mit entstehenden Wartungsarbeiten und der Nährstoffeintrag in Gewässer mit dem Problem der Eutrophierung (Scheffer, 1984). Der Nährstoffeintrag über Gewässer ins Meer kommt bei Stickstoff nur zu etwa 3% von Erosion und Abschwemmung, bei Phosphor aber zu 31% (UBA, 2006), wodurch Erosionsschutz einen wichtigen Beitrag zur Gewässerreinhaltung leisten kann.

Bodenabtrag

Bodenabtrag ist in der Landwirtschaft nicht zu vermeiden, er sollte aber auf eine langfristig tolerierbare Menge reduziert werden. Die Toleranzgrenze ist abhängig von der Bodengründigkeit und steigt mit dieser an, sie liegt bei etwa 1 bis 15 t/(ha*a). (Scheffer, 1984)

Gegenmaßnahmen

Prinzipiell müssen die Wassermengen und die Fließgeschwindigkeiten herabgesetzt werden. (Blume, 1992) Die Erodierbarkeit lässt sich vermindern, indem man den Humusgehalt erhöht, die Durchlässigkeit steigert und das Gefüge stabilisiert. Im Ackerbau können Zwischenfruchtanbau und organische Düngung in diese Richtung wirken. (Scheffer, 1984) Die Bodendurchporung durch Wurzeln und Bodendurchwühler ist durch Gestaltung von Bodenwasser- und Bodenlufthaushalt, Bodenbearbeitung und Nährstoffplatzierung zu fördern. Bodenverdichtung kann mit breiterer Aufstandsfläche der Maschinen, seltenerem Befahren und Lockerung der Fahrspuren vermindert werden. Die Bodenbiologie ist mit Strohmulch, Klärschlamm, Kompost oder Stalldung zu fördern, zwischen Hackfrüchte können Getreidedoppelreihen eingesät werden. Meliorationsdüngungen und Mulchverfahren durch Aufbringen von Kalk, Gips, Kompost etc. wird der Boden mechanisch und physikochemisch durch kolloidchemische Reaktionen. (Blume, 1992) Durch verminderte Bodenbearbeitung wird weniger transportierbares Material an die Oberfläche gebracht und diese bleibt kürzer ungeschützt. Die Länge des bearbeiteten Hanges sollte nicht zu groß sein, sie kann durch Erosionsschutzstreifen unterteilt werden; zu starkes Gefälle kann durch Terassierung beseitigt werden, auch die Konturnutzung (Bodenbearbeitung entlang der Höhenschichtlinien) vermindert die Erosion. In der Fruchtfolge sind länger und besser bodenbedeckende Früchte mit starken Wurzelgeflechten zu bevorzugen. (Scheffer, 1984)

Berechnung des Bodenabtrags

Neben Simulationen wie die vorliegende Arbeit kann die Erosion auch mit Abtragsgleichungen abgeschätzt werden. Die ersten stammen etwa aus der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts; die am meisten verbreitete ist die USLE (Universal Soil Loss Equation, = ABAG: Allgemeine Bodenabtragsgleichung) von Wischmeier und Smith (1958/59), die den jährlichen Bodenabtrag in t/(ha.a) angibt:

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

A ... Bodenverlust in t/(ha*a)

R ... Regenerosivitätsfaktor

K ... Bodenerodibilitätsfaktor

L*S ... Hanglängen- und Hangneigungsfaktor

C ... Bewirtschaftungsfaktor

P ... Schutzfaktor

Diese Formeln können auch in Verbindung mit digitalen Geländemodellen verwendet werden, um genauere und großflächigere Schätzungen des Bodenabtrags zu erhalten. Zur Berechnung des Bodenabtrags einzelner Starkregenereignisse ist diese Formel nicht anzuwenden.

2 Material und Methoden

2.1 Beschreibung der Lage

Das Versuchsfeld liegt wenige Kilometer östlich von Mistelbach in Niederösterreich. Es hat im untersuchten Bereich eine Neigung von etwa 10 %, eine Exposition nach Südwesten und liegt etwa 250 m üA.

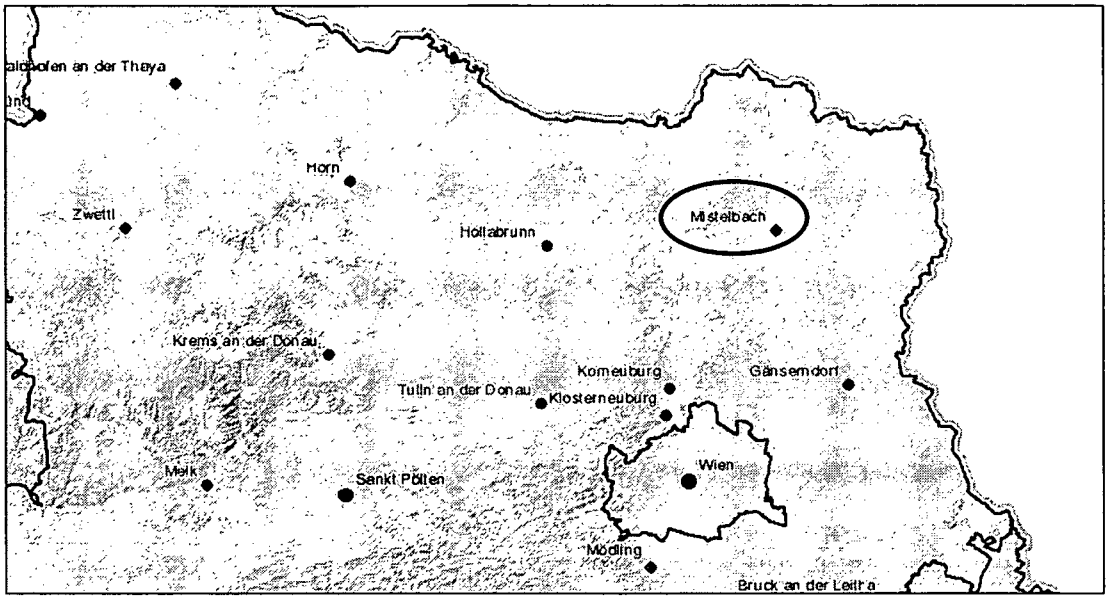


Abb. 1 Mistelbach in Niederösterreich (ebod, 2007)

Laut eBOD (digitale Bodenkarte von Österreich) liegt ein kalkhaltiger Kulturrohboden aus Löß vor (Bodenart: lU – uL), der trocken ist, mäßige Speicherkraft und mäßige Durchlässigkeit besitzt. Er ist schwach- bis mittel-humos, stark kalkhältig mit alkalischer Bodenreaktion, stark abschwemmungsgefährdet und mäßig windgefährdet. Er ist gut zu bearbeiten, sein natürlicher Bodenwert entspricht mittelwertigem Ackerland. Als Horizonte werden ein Ap – Horizont (lU / uL) bis 25-30 cm Tiefe und ein C – Horizont (lU / zum Teil sU) bis 100 cm Tiefe angegeben.

Das Klima ist gekennzeichnet durch trockene, heiße Sommer und eher kalte und schneearme Winter (pannonisch – mitteleuropäisches Übergangsklima).Der mittlere Jahresniederschlag von 1994 – 2004 betrug 637 mm. Im untersuchten Jahr sind bis zum Versuch Anfang September 2005 278 mm Niederschlag gefallen, der letzte Niederschlag vor dem Versuch lag einen knappen Monat zurück.

Auf den Feldern war Weizen angebaut, wobei bei allen Varianten Ernterückstände auf der Fläche verblieben sind. Während der ganzen Versuchsdauer war das Wetter sonnig warm und windig bis böig mit Windgeschwindigkeiten zwischen 15 und 40 km/h.

Der Versuch wurde auf Feldern mit 3 unterschiedlichen Bearbeitungsvarianten durchgeführt.

Die erste Versuchsfläche war konventionell bearbeitet, das bedeutet insbesondere den intensiven Einsatz vom Pflug und Schwarzbrache im Winter. Sie wird in dieser Arbeit als V1 (Versuchsfeld 1) bezeichnet und liegt am rechten Rand des Ackers vom Hangfuß betrachtet.

Die zweite Versuchsfläche liegt in der Mitte, wird als V5 (Versuchsfläche 5) bezeichnet und wird konservierend bearbeitet, das heisst reduzierte Bearbeitungsintensität und vermehrter Einsatz von Grubber statt Pflug und insbesondere Bodenbedeckung im Winter. Das Versuchsfeld 3 auf der linken Seite wird als V6 bezeichnet und als Direktsaat bewirtschaftet, was der geringsten Bearbeitungsintensität der 3 Felder und ebenfalls Bodenbedeckung im Winter entspricht.

2.2 Versuchsablauf

Die Versuchsreihe gliedert sich in drei Tage mit je zwei Versuchen, dem Trockenversuch, der am Vormittag durchgeführt wurde, und dem Nassversuch am Nachmittag. Der Trockenversuch dauerte 60 Minuten mit einer Beregnungsintensität von 60 mm/h, der Nassversuch 45 Minuten. 15 min wurde mit 40 mm/h beregnet, dann eine halbe Minute Pause, dann für 15 min 60 mm/h, eine halbe Minute Pause und danach 15 min lang 20 mm/h. Am ersten Tag wurden die Versuchsflächen mit Folienbändern abgegrenzt, um zu verhindern dass der Boden betreten würde. Es wurden am Rand der Längsseiten die 6 Punkte für die Untersuchungen mit Fähnchen markiert (Abb. 1). Um den erzeugten Niederschlag vor dem starken Wind zu schützen, wurde über die rechte Seite eine Plastikplane gespannt. Bei V1 lag die Oberkante des abgesteckten Versuchsfeldes 17 m unter dem oberen Feldrand, bei V5 24 m und bei V6 13 m.

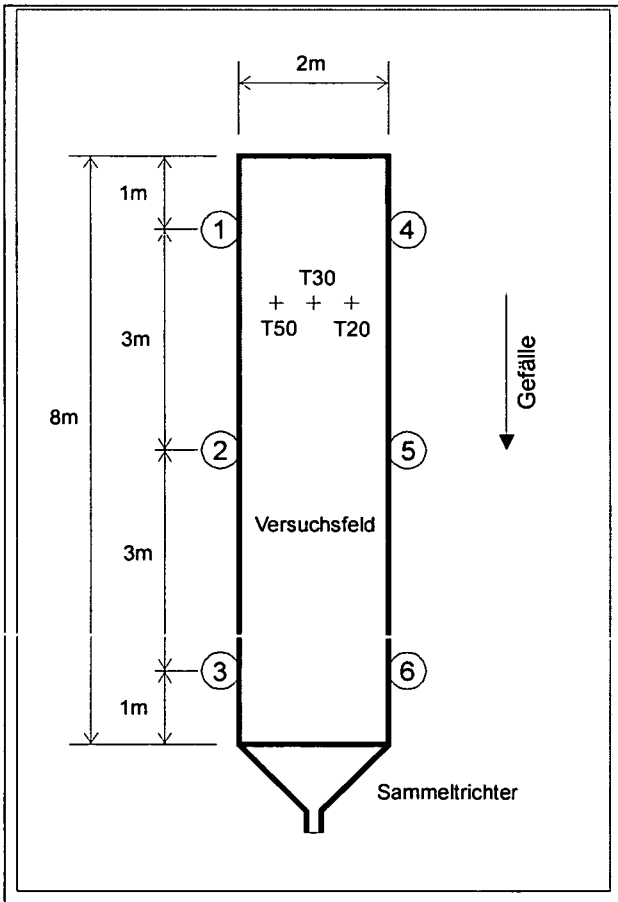


Abb. 2 Abmessungen des Versuchsfeldes;
T 50 = Tensiometer mit der Messtiefe von 50cm

Abb. 3 Versuchsfeld und Regensimulator

Untersuchte Parameter und Zustandsgrößen:

Vor jedem Trockenversuch wurde die Untersuchungsfläche (2 x 8 m, die Längsseite in Gefällsrichtung) mit Blechen, die in den Boden eingeschlagen wurden, abgegrenzt. Am hangabwärts gelegenen Ende wurde ein dreieckiges Auffangblech eingebaut, welches das abfließende Wasser samt erodiertem Material sammelte, das so in Kübel eingefangen wurde. Die losen Ernterückstände wurden mit einem Rechen grob beseitigt.

Es wurden in der Versuchsfläche die Löcher für die Tensiometer mit Schlagbohrern gebohrt und der ausgehobene Boden von je 10 cm Tiefe zur gravimetrischen Wassergehaltsbestimmung in Pergaminsackerl gepackt. An der Bodenoberfläche wurde der Boden durch Betonit rund um die eingebrachten Tensiometer abgedichtet. Die Messtiefen der Sensoren waren 20 cm, 30 cm und 50 cm. Sie wurden 2 m von der Obergrenze in einem Abstand von einem halben Meter eingebaut, auf der rechten Seite mit einer Messtiefe von 20 cm beginnend über die 30 cm Sonde in der Mitte zur 50 cm Sonde auf der linken Seite. Außerhalb der Versuchsfläche wurden 12 Stechzylinderproben zur Bestimmung der Durchlässigkeit, des Wasseranteils und der Trockendichte entnommen, und zwar oberhalb der Fläche an 3 Punkten mit je 2 Proben und unterhalb ebenso. Ebenfalls außerhalb der Versuchsfläche wurden an 6 Punkten mit einem Schlagbohrer Proben zur Bestimmung des gravimetrischen Wassergehaltes entnommen, und zwar in 10 Zentimeter Schritten bis in eine Tiefe von 60 cm und 2 Bohrungen pro Punkt, deren entsprechende Proben zusammen in ein Sackerl gepackt wurden.

In der Versuchsfläche wurden mittels Torvane die Scherfestigkeit und mit dem Taschenpenetrometer der Firma Soiltest der Eindringwiderstand an den 6 Punkten gemessen. Die Hangneigung wurde mit einer elektronischen Wasserwaage an 6 Punkten gemessen. Es wurden auch 2 Wasseranteilsmesser (Easy Agriculture, Easy Ag) eingebaut, deren Messergebnisse aber vom Datalogger nicht aufgezeichnet wurden.

Zur Messung der Beregnungsintensität wurde die Versuchsfläche vor jedem Trockenversuch mit Kunststoffplanen abgedeckt und die Intensität des Niederschlags (eingestellt: 60 mm/h) durch Wiegen des aufgefangenen Wassers bestimmt. Gleichzeitig waren an den 6 Messpunkten außerhalb des Feldes Referenzgefäße aufgestellt, deren aufgefangene Wassermasse mit der gemessenen Intensität verknüpft wurde, um bei den Beregnungsversuchen auf die tatsächliche Beregnungsintensität schließen zu können. Notwendig war dies, um die Einflüsse von Wind, Größe des Beregnungsfeldes, leicht unterschiedlicher Aufstellung des Regensimulators bei jedem Versuch und leichten Wasserdruckschwankungen berücksichtigen zu können.

Nach jedem Trockenversuch wurde in der Versuchsfläche an den 6 Punkten mit dem Schlagbohrer alle 10 cm Proben bis in eine Tiefe von 60 cm zur Bestimmung des gravimetrischen Wassergehaltes genommen. Die entstehenden Löcher wurden mit lockerer Erde zugeschüttet und leicht eingestampft. Des weiteren wurden in der Fläche Messungen mit Torvane und Taschenpenetrometer vorgenommen.

Vor jedem Nassversuch wurden Proben an den 6 Punkten mit dem Schlagbohrer innerhalb der Fläche genommen und die Untersuchungen mit Torvane und Taschenpenetrometer vorgenommen.

Nach jedem Nassversuch wurden an den 6 Punkten im Feld Proben mit dem Schlagbohrer genommen, mit Torvane und Taschenpenetrometer gemessen und die Stechzylinderproben genommen, zwei pro Punkt.

Die Tensiometer und Easy Ag Messsensoren zur Wassergehaltsbestimmung blieben sind ab ihrem Einbau bis zum Schluss der Versuchsreihe in der Erde, sodass vom V1 3 Tage aufgezeichnet wurden, vom V5 2 Tage und vom V6 1 Tag. Die Messergebnisse wurden von Dataloggern aufgezeichnet.

Die Pergaminsackerl mit den Bodenproben wurden nach jedem Versuch auf 1/100 g genau gemessen. Die Proben, die vor dem Versuch genommen wurden, wurden gemeinsam mit den Proben, die nach dem Versuch genommen wurden, gewogen. Es wurde mit einem TDR Gerät in regelmäßigem Raster an 24 Punkten mit je 3 Messungen der Wasseranteil mit 30 cm langen Messstäben, nach dem letzten Versuch mit 15 cm langen Messstäben gemessen,. An jedem Feld wurde mit einer Gliederkette die Rauhigkeit der Bodenoberfläche gemessen.

Während eines Versuchs wurde der Abfluss jede Minute aufgefangen, bei viel Wasser jede halbe Minute. Direkt an den 6 Punkten außerhalb der Fläche wurden die Referenzflaschen aufgestellt. Diese wurden beim Trockenversuch nach 30 min ausgetauscht, beim Nassversuch nach 15, 30,5 und 46 Minuten. Mit Uranin, einem stark färbenden Farbstoff in wässriger Lösung, wurde 3-5 mal die Geschwindigkeit des Oberflächenabflusses gemessen, und zwar die maximale Geschwindigkeit und die geschätzte durchschnittliche. Die Kübel mit dem abgeflossenen Wasser mit dem Bodenmaterial wurden am Hangfuß in einem Zelt gewogen und der pH – Wert und die elektrische Leitfähigkeit gemessen. Danach wurde der Kübelinhalt mit Stofffiltern, am 2. Versuchstag mit Papierfiltern gefiltert. Jeder Minute wurde ein neuer Filter verwendet. Das Filtrat von den Kübeln wurde verworfen, nur vom Abfluss jedes 5. Filters wurde Filtrat in 1 l Flaschen zur Bestimmung von Gesamtstickstoff und Gesamtphosphor aufgefangen.

Am Ende der Versuchsreihe (am 9. 9. 2005) wurden gestörte Bodenproben genommen: aus 0-10 cm Tiefe etwa ein Kilogramm zur Bestimmung der Korngrößenverteilung und der Nährstoffe (Gesamtstockstoff N ges und Phosphat – Phosphor PO4-P, außerdem den Gesamtkohlenstoff C ges und den Carbonatgehalt C anorg) und aus 0-2 cm Tiefe zur Bestimmung der Aggregatstabilität.

2.3 Untersuchungen im Feld

Regensimulation

Der verwendete Regensimulator entspricht dem vom U.S. National Soil Erosion Research Laboratory entwickelten Modell (Foster et al., 1982). Er besteht aus 2 auf einem Gerüst befestigten schwenkbaren Achsen mit je 4 Flachstrahldüsen (Veejet 80.100), deren Anordnung und Höhe über der Geländeoberfläche eine annähernd gleichmäßige Verteilung der Beregnungsintensität erreicht. Die Tropfengröße wird durch den Wasserdruck an den Düsen bestimmt, wobei ein Überdruck von 0,41 bar eine realitätsnahe Verteilung der Tropfengrößen erzeugt. Die Düsen sprühen das Wasser in eine Wanne mit einer Öffnung in der Mitte, durch die bei jedem Schwenk der Düsenachsen Wasser auf den Boden regnet. Da der Wasserdruck bei den Düsen konstant gehalten wird, werden die unterschiedlichen Beregnungsintensitäten durch Verändern der Anzahl der Schwenkungen der Düsenachsen pro Zeiteinheit erreicht. Das Beregnungsprogramm wurde mit einem Computer gesteuert. Die Niederschlagsintensität wurde vor Beginn jedes Trockenversuches gemessen. Dazu wurde eine Kunststoffplane über die Versuchsfläche gespannt und nach Einschalten des

Regners mit der für 60 mm/h eingestellten Anzahl der Schwenkungen und 0,41 bar Überdruck bei den Düsen das Einstellen eines stationären Abflusses abgewartet, was ein paar Minuten dauerte. Dann wurde für 5 – 8 Minuten durch wiegen der in Kübeln aufgefangene Abfluss gemessen. Gleichzeitig wurden am Rand des Versuchsfeldes an den 6 Messpunkten Referenzflaschen aufgestellt und das von diesen aufgefangene Wasser gewogen. Dadurch konnte eine Beziehung zwischen der mit den Kübelinhalten errechneten Beregnungsintensität in mm/h (aufgefangene Wassermenge einer Minute mal 60 min dividiert durch 17 m²) und dem Inhalt der Flaschen eine Eichgerade errechnet werden, aus der man mit den (bei den Beregnungsversuchen gemessenen) Flascheninhalten auf die tatsächliche Regenintensität der Versuche schließen konnte. Da bei der ersten Intensitätsmessung auf die Aufstellung der Referenzflaschen vergessen wurde, besteht die Eichfunktion nur aus zwei Wertepaaren.

2.3.1 Bodenphysikalische Untersuchungen im Feld

Geschwindigkeitsmessung

Die Geschwindigkeit ist für die Erosionskraft des oberflächlich abfließenden Wassers von Bedeutung: in der Formel für die Schleppspannung

$$\tau = \delta \times g \times h \times I_E$$

fließt die Geschwindigkeit über das Energiegefälle ein zur Messung der Geschwindigkeit wurde verdünntes Uranin verwendet, welches das Wasser hellgrün verfärbt. Pro Versuch wurden 3 – 6 Messungen, beginnend von der Mitte des Feldes (Verbindungslinie der Punkte 2 und 5) durchgeführt, wobei die Farbe auf die ganze Breite mit einer Spritzflasche aufgespritzt wurde. Gemessen wurden die Zeiten einen Meter vor der Unterkante der Fläche (Verbindungslinie der Punkte 3 – 6) und an der Unterkante selbst, und zwar der schnellste Abfluss als Wert für die Rillenerosion und der geschätzte mittlere für die Flächenerosion.

Eindringwiderstand (Taschenpenetrometer)

Zur Messung des Eindringwiderstandes des Bodens wurde ein Taschenpenetrometer der Firma Soiltest verwendet, der mit 3 Stempeln für unterschiedliche Messbereiche ausgestattet ist und eine Skala von 0 bis 4,5 aufweist. Zur Messung schiebt man den roten Messring in die Ausgangsposition, setzt das Taschenpenetrometer vertikal auf den Boden auf und drückt den Stempel langsam bis zur Kerbe in den Boden, dann wird die Messung an der angebrachten Skala (kg/cm²) abgelesen, wobei für den kleinen und den großen Stempel die Ablesung mit einem Faktor korrigiert wird. Es wurden vor und nach jedem Beregnungsversuch an den 6 Messpunkten 4 Messungen vorgenommen, und zwar 2 mit je 2 verschiedenen Stempeln, wobei die Ergebnisse beider Stempel zu einem Wert gemittelt und in kN / m² angegeben wurden. Werte über 4,5 wurden gestrichen, Messungen ohne Ausschlag wurden mitgerechnet, Werte <0,25 wurden als 0,12 mitgerechnet.

Scherfestigkeit (Torvane)

Die Scherfestigkeit gibt unter anderem die Widerstandsfähigkeit des Bodens gegenüber der Erosion durch abfließendes Wasser an. Sie hängt wesentlich vom Wassergehalt des Bodens ab. Zur Messung der Scherfestigkeit wurde ein Messgerät der Firma Soiltest verwendet. Es eignet sich zur raschen Messung von kohäsiven Böden und ist mit 3 Messrädern ausgestattet (Standard, Klein und Groß). Zur Messung drückt man das Rad mit den Messflügeln in den Boden und dreht den Griff, der über eine Spiralfeder mit dem Messrad verbunden ist, mit leichtem Anpressdruck im Uhrzeigersinn bis der Boden ausbricht. Die Anzeige am Griff gibt beim Standardrad direkt die Scherfestigkeit des Bodens in kg/cm² an, bei den anderen beiden wird das Ergebnis durch Multiplikation mit einem Korrekturfaktor ermittelt. Es wurde vor und nach jedem Beregnungsversuch pro Messpunkt je eine Messung vorgenommen. Die Schubspannung (=Schleppspannung) ist:

$$\tau = \delta \times g \times h \times I_E,$$

sie ist also abhängig von der Höhe des Wasserspiegels und der Energiehöhe. Die kritische Schubspannung für Schluff ist <0,5 N/m², für Feinsand 0,5 – 1 N/m².

Wasserspannung (Tensiometer)

Tensiometer werden zur Messung des Matrixpotentials oder der Wasserspannung des Bodenwassers verwendet. Diese ist abhängig von dem Wassergehalt und den Bodeneigenschaften (Porenvolumen und Porengrößenverteilung). Ein Tensiometer besteht aus einer wassergefüllten Röhre mit einer semipermeablen Keramikspitze (nur durchlässig für Wasser) und einem Manometer auf dem anderen Ende. In der Röhre dürfen keine Luftblasen sein und die Keramikspitze muss einen guten Kontakt mit dem umgebenden Boden haben. Durch die Keramikspitze stellt sich ein Druckgleichgewicht zwischen dem Bodenwasser und dem Wasser im Tensiometer ein. Sinkt der Wassergehalt des Bodens ab, wird Wasser vom Tensiometer in den Boden gesaugt und der Druck in der Röhre sinkt, steigt der Wassergehalt des Bodens, so steigt auch der Druck im Tensiometer. Zum Einbau wurde mit einem **Schlagbohrer**, der den gleichen Durchmesser wie der Tensiometer hat, ein Loch gebohrt. Vom ausgehobenen Boden wurde der gravimetrische Wassergehalt alle 10 cm Tiefe bestimmt. Nach dem Einbringen des Tensiometers wurde die Erde an der Oberfläche um das Rohr mit Bentonit abgedichtet, damit kein Wasser entlang der Röhre in die Tiefe rinnt. Die gemessene Wasserspannung und die Temperatur wurden alle 5 min vom Datalogger aufgezeichnet. Es wurden vor jedem TV je 3 Tensiometer mit den Einbautiefen 20, 30 und 50 cm 2 Meter unter der Oberkante der Versuchsfläche im Abstand von ½ Meter eingebaut. Die erhaltene Wasserspannung wird in hPa angegeben, das entspricht einem cm Wassersäule.

Wasseranteil (TDR)

Die TDR (Time Domain Reflectometry) – Methode misst rasch und zerstörungsfrei den Wasseranteil (volumetrischer Wassergehalt). Im Feld wurde nach jedem Nassversuch mit 30 cm (V1 und V5) und 15 cm (V6) langen Messstäben gemessen. Es wurden in einem regelmäßigen Raster an 24 Punkten je 3 Messungen im Feld durchgeführt. Bei der Messung wird mit 2 in die Erde gedrückten Metallstäben die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer ausgesendeten elektromagnetischen Welle gemessen und so die Dielektrizitätszahl des

Bodens ermittelt. Diese wird wesentlich vom Wassergehalt bestimmt, auf den somit geschlossen werden kann. Am Gerät wird direkt der Wasseranteil in Prozent angezeigt.

Neigungsmessung, Probennahme mit Stechzylinder und Schlagbohrer, Rauhigkeit der Bodenoberfläche

Zur **Neigungsmessung** wurde eine elektronische Wasserwaage verwendet. Vor der Messung wurde das Gerät auf einer ebenen, geneigten Fläche geeicht, die Messung selbst wurde an den 6 Messpunkten auf der Erde ohne Unterlage in Prozent gemessen.

Die verwendeten **Stechzylinder** haben eine Höhe von ca. 5 cm, einen Innendurchmesser von 7,2 cm und ein Volumen von ca. 200 cm^3. Zum Einschlagen wurden ein Aufsatzstück und ein Gummihammer verwendet und beim Ausgraben darauf geachtet, dass kein Boden aus dem Zylinder herausfiel. Die Probennahme erfolgte vor jedem Trockenversuch über- und unterhalb der Versuchsfläche im gleichen Bearbeitungsstreifen, wobei über dem Feld an 3 Punkten je 2 Stechzylinder nebeneinander genommen wurden und ebenso unterhalb (also insgesamt 12 vor jedem Trockenversuch). Nach jedem Nassversuch wurden bei den 6 Messpunkten im Feld je 2 Zylinder genommen (12 nach jedem Nassversuch). Insgesamt wurden also 72 Stechzylinderproben genommen.

Die **Schlagbohrer** wurden mit einem Gummihammer 60 cm tief eingeschlagen, wobei ca alle 10 cm der Bohrer einmal um seine Achse gedreht wurde, um die herauszuschneidende Bodensäule vom Boden zu lösen. Nach dem Herausziehen des Bohrers wurde die Probe im Bohrer alle 10 cm markiert und jeweils 10 cm der Bodenprobe in vorher beschriftete Pergaminsackerl gefüllt. Meist wurden pro Entnahmestelle 2 Bohrungen durchgeführt und die entsprechenden Tiefen in ein Sackerl gefüllt. Wurde die Probe im Versuchsfeld genommen, wurde das entstehende Loch wieder mit Erde verfüllt.

Die **Rauhigkeit der Bodenoberfläche** wurde mit einer 2m langen Gliederkette gemessen, die quer zur Gefällsrichtung bei den Messpunkten auf den Boden aufgelegt wurde. In jedem Versuchsfeld wurden also 3 Messungen durchgeführt. Die Auswertung erfolgte mit den Mittelwerten jedes Versuchsfeldes, indem die Kettenlänge auf die horizontale Strecke der ausgelegten Kette bezogen wurde. Die Ergebnisse in Prozent geben an, um wie viel die Bodenoberfläche "länger", d.h. rauer ist als die horizontale Länge.

2.3.2 Bodenchemische Untersuchungen im Feld

pH – Wert

Zur Messung wurde ein elektrometrisches pH-Meter mit einer Glaselektrode mit automatischem Temperaturausgleich verwendet. Zwischen den Messungen wurde die Sonde mit Wasser abgespült und abgetrocknet. Es wurde jeder Kübel mit dem aufgefangenem Oberflächenabfluss von entweder einer oder einer halben Minute gemessen, ebenso wie das zur Beregnung verwendete Wasser.

Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit ist ein Summenparameter und wird von der Konzentration der gelösten Salze, aber auch von der Temperatur, dem Dissoziierungsgrad der Ionen und der Wandergeschwindigkeit der Ionen im elektrischen Feld beeinflusst. Sie wurde mit einem Gerät mit automatischem Temperaturausgleich gemessen. Die Handhabung der Sonde war gleich jener der pH – Sonde. Die Ergebnisse sind in mS/cm angegeben.

2.4 Untersuchungen im Labor

2.4.1 Bodenphysikalische Untersuchungen

k – Wert, Wasseranteil, Trockendichte, Porenanteil

Für diese Größen wurden die Stechzylinderproben ausgewertet.

Der **k – Wert** gibt die Wasserleitfähigkeit des Bodens im gesättigten Zustand an (hier in m/s), er ist also unabhängig vom aktuellen Wassergehalt des Bodens. Je höher der Wert ist desto größer ist die Durchlässigkeit des Bodens, damit die Infiltration, und desto geringer ist die durch Oberflächenabfluss entstehende Erosion. Bei der Beregnung war der Boden immer ungesättigt und die Infiltration aufgrund der Kapillar- und Adsorptionswirkung des Bodens auf das Wasser höher als bei gesättigtem Boden. Nach Sättigung bei abnehmendem Wassergehalt entwässern zuerst die größten Poren, wodurch die Wasserleitfähigkeit des Bodens rasch stark abnimmt, da der Fließquerschnitt verringert wird. Die Stechzylinderproben wurden von der Bodenoberfläche genommen, um die Leitfähigkeit der obersten Bodenschicht zu bestimmen. Dabei wurde darauf geachtet, die Bodenoberfläche möglichst wenig zu beeinträchtigen und nicht mit dem Deckel zu verdichten.

Zur k – Wert Bestimmung wurde die Methode mit aufsteigendem Wasserspiegel nach ÖN L 1065 (1988) verwendet. Dazu werden die Bodenproben im Stechzylinder nach Aufsetzen eines leeren Zylinders und Abdichtung der Fuge zwischen den Zylindern mit einer Gummidichtung langsam von unten mit entlüftetem Wasser gesättigt, um den Einschluss von Luftblasen zu vermeiden, und in die Messpfanne gestellt. Nach dem Aufsetzen des Messkopfes, deren sechs unterschiedlich hohe Messnadeln in den aufgesetzten Zylinder reichen, und Eingabe der Versuchsdaten in den Computer wird die Messung durch rasches Aufspiegeln des äußeren Wasserspiegels bis 2 – 3 mm unter die Oberkante des aufgesetzten Zylinders gestartet. Der äußere Wasserspiegel wird mit Hilfe einer Boyle – Mariotte'schen Flasche auf konstanter Höhe gehalten und zusätzlich mit Ultraschall gemessen. Kommen die Nadeln mit dem aufsteigenden Wasserspiegel in Kontakt, schließt sich der Stromkreis und der Kontaktzeitpunkt wird aufgezeichnet. Die Auswertung erfolgte mit Excel. Dabei ist:

$$k_s = \frac{L}{t_2 - t_1} \times \ln \frac{h_{i,1} - h_{a,1}}{h_{i,2} - h_{a,2}}$$

k_s = Durchlässigkeitsbeiwert (cm/s)

L = Höhe des Stechzylinders (cm)

t_1 = Zeitpunkt der ersten Ablesung (s)

t_2 = Zeitpunkt der zweiten Ablesung (s)

$h_{i,t}$ = Höhe der Messnadel zum Zeitpunkt t (cm)

$h_{a,t}$ = Höhe des Außenwasserspiegels zum Zeitpunkt t (cm)

Nach Beendigung der Messung wird der obere Zylinder abgenommen und der Zylinder mit der gesättigten Bodenprobe rasch gewogen und in den Trockenschrank, der auf 105°C eingestellt ist, gestellt. Nach Erreichen der Gewichtskonstanz werden die Zylinder herausgenommen und nach dem Abkühlen gewogen.

Die **Trockendichte** gibt an, wie viel Gramm ofentrockenen Bodens ein Kubikzentimeter Boden enthält. Eine geringe Trockendichte bedeutet einen großen Porenanteil (die Feststoffdichte ist meist zwischen 2,65 und 2,75 g/cm³) und (ohne die Porenverteilung zu berücksichtigen) eine hohe Infiltration. Sie wurde nach ÖN L 1068 (1988) untersucht

$$Trockendichte\ (g/cm^3) = \frac{Boden\ ofentrocken\ (g)}{Stechzylindervolumen\ (cm^3)}$$

Der **Porenanteil** gibt keine Auskunft über die Porengrößenverteilung, die für die Beurteilung der Infiltration durch den Anteil der Grobporen (Durchmesser > 5µm) entscheidend ist. Der Porenanteil wurde mit einer angenommenen Feststoffdichte von 2,65 g/cm³ errechnet aus:

$$Porenanteil\ (\%) = \left(1 - \frac{Trockendichte\ (g/cm^3)}{Feststoffdichte\ (g/cm^3)}\right) \times 100$$

und aus:

$$Porenanteil\ (\%) = \frac{Porenvolumen\ (cm^3)}{Stechzylindervolumen\ (cm^3)} \times 100 =$$
$$= \frac{Boden\ gesättigt\ (g) - Boden\ ofentrocken\ (g)}{Stechzylindervolumen\ (cm^3)} \times 100$$

bei der Annäherung der Wasserdichte von 1g/cm³, d.h. 1 g = 1 cm³

Der **Wasseranteil** gibt an, wie viel Wasser (in g ≅ cm³) pro cm³ Boden vorhanden ist. Er errechnet sich aus:

$$Wasseranteil\ (\%) = \frac{Wasservolumen\ (cm^3)}{Stechzylindervolumen\ (cm^3)} \times 100 =$$
$$= \frac{Boden\ feucht\ (g) - Bodenofentrocken\ (g)}{Stechzylindervolumen\ (cm^3)} \times 100$$

Aggregatstabilität nach Kemper

Die Aggregatstabilität gibt Auskunft über den Zusammenhalt der Bodenaggregate. Sie können durch die Aufprallenergie der Regentropfen zerschlagen werden, wobei kleinere Bodenteilchen entstehen, die einerseits die Bodenporen verschlämmen und damit die Infiltration verringern und den Oberflächenabfluss erhöhen und andererseits durch die geringere Masse leichter erodiert werden.

Die Bodenproben zur Bestimmung der Aggregatstabilität nach Kemper/Koch wurden in 0 – 2 cm Tiefe am letzten Tag (9. 9. 2005) in den drei Versuchsflächen mit einer Handschaufel genommen und sind daher gestört.

Die lufttrockene Bodenprobe (4g) wird in einem Tauchbad in einem Zylinder mit einem 0,25mm Sieb als Bodenfläche in 22 – 25° warmen Wasser für 5 min gesiebt. Der Filterrückstand (Masse der stabilen Aggregate und des Sandes) wird ofengetrocknet, gewogen und in einer 0,4n Pyrophosphatlösung für 2h dispergiert (=Zerstörung der Bodenaggregate). Danach wird die Tauchsiebung wiederholt und der getrocknete Siebrückstand (=Masse des Sandes) erneut gewogen. Die Aggregatstabilität ist:

$$Aggregatstabilität\ (\%) = \frac{Masse\ stabile\ Agregate\ und\ Sand(g) - Masse\ Sand(g)}{Masse\ \mathrm{Pr}obe(g) - Masse\ Sand(g)} \times 100$$

Korngrößenanalyse: Nasssiebung und Pipetteverfahren

Zur Bestimmung der Korngrößenverteilung wurden die Bodenproben am 9. 9. 2005, nach den Versuchsreihen außerhalb der Versuchsfelder im jeweiligen Bearbeitungsstreifen in 1-10 cm Tiefe als gestörte Proben genommen. Durch die Korngrößenanalyse des Bodens wird die Bodenart bestimmt, die Einteilung erfolgt nach der ÖN L 1050 (1992):

Tab. 1 Bezeichnung der Korngrößen nach ÖN L 1050 (1992)

G	Kies	2 – 63 mm
S	Sand	0,063 – 2 mm
gS	Grobsand	2 – 0,63 mm
mS	Mittelsand	0,63 – 0,02 mm
fS	Feinsand	0,02 – 0,063 mm
U	Schluff	0,002 – 0,063 mm
gU	Grobschluff	0,063 – 0,020 mm
mU	Mittelschluff	0,020 – 0,063 mm
fU	Feinschluff	0,063 – 0,002 mm
T	Ton	< 0,002 mm

Die Hauptkomponente(n), das sind jene mit einem Masseanteil von mehr als 40 % werden groß, die Nebenbestandteile nach einem Beistrich klein geschrieben. Für die Erosion ist die Korngrößenverteilung von Bedeutung, da Feinsand und Schluff für die Wassererosion am anfälligsten sind, da einerseits die Korngrößen sehr klein sind und die zum Transport benötigte Schleppspannung daher klein ist und andererseits die Kohäsion der Bodenteilchen

verglichen mit Ton schwach ist. Böden mit großen Anteilen an Schluff und Feinsand sind daher erosionsanfällig. Die Bodenproben für die Korngrößenanalyse wurde am letzten Tag der Versuchsreihe am 9.09. 2005 in 0 - 10 cm Tiefe genommen. Da der geschätzte Skelettbodenanteil (=Grobbodenanteil, Korngrößen > 2 mm) weniger als 10 % betrug, wurde er nicht separat sondern zusammen mit der Nasssiebung zur Bestimmung der Sandanteile bestimmt und mit dieser die Schätzung bestätigt. Es wurden Maschensiebe mit den lichten Weiten von 2; 1; 0,63; 0,20; 0,125 und 0,063 mm verwendet. Für die **Nasssiebung** wurden die Bodenproben leicht im Mörser zerstoßen und durch ein 2 mm Sieb gesiebt. Anschließend wurde der Filterrückstand wieder gemörsert und Filtrat und Filterrückstand in die Bodenprobe zurückgegeben und vermischt, damit auch die Korngrößen größer als 2 mm (Grob- oder Skelettbodenanteil) erfasst werden. Zu 100g wurden 250 mm 0,4n Pyrophosphatlösung zur Dispergierung zugegeben, 8 h stehengelassen und nach Zugabe von 200 ml entionisiertem Wasser für 6 h im Überkopfschüttler geschüttelt. Vor der Siebung wurde zur Vermeidung von Verstopfungen die Suspension im 0,063 mm Sieb durchgespült und der Durchgang verworfen. Der Rückstand wurde dann in das größte Sieb geschüttet, das auf die anderen aufgesetzt war und auf das Rüttelgerät gestellt Dann wurde der Kopf mit den Wasserdüsen aufgesetzt, das Wasser aufgedreht und der Rüttler eingeschaltet. Es wurde so lange gesiebt, bis der Abfluss fast vollständig klar war, was im Schnitt 2 – 3 Stunden dauerte. Die Siebrückstände wurden dann in Abdampfschälchen gespült, wobei die aufschwimmenden organische Bestandteile zum größten Teil abgeleert wurden, und im Trockenschrank getrocknet. Der Massenanteil p vom Grobboden ist:

SR = Siebrückstand

$$p\,(Grobboden,\,\%) = \frac{Masse\ SR\ 2{,}0mm\ (g)}{Masse\ \mathrm{Pr}obe\ (g)} \times 100$$

$$p\,(Feinboden,\,\%) = 100 - p\,(Grobboden)$$

$$p\,(Sand,\,\%) = \frac{\sum Masse\ SR\ (ohne\ 2{,}0mm)(g)}{Masse\ \mathrm{Pr}obe(g) - Masse\ SR2{,}0mm(g)} \times 100$$

Das **Pipetteverfahren** ist ein Absetzverfahren zur Bestimmung der Feinanteile (Schluff- und Tonanteile) im Boden. Die Auswertung beruht auf dem Stokeschen Gesetz, das die Sinkgeschwindigkeit eines kugelförmigen Korns in Abhängigkeit von Radius, der Dichte von Wasser und Suspension und der dynamischen Zähigkeit berechnet.

Für das Pipetteverfahren wurde die Bodenprobe gemörsert und durch ein 2 mm Sieb gesiebt, der Filterrückstand wurde verworfen. 20g Boden wurden dann mit 50ml 0,4n Pyrophosphatlösung für 8h dispergiert und mit 50ml entionisiertem Wasser für 2h in den Überkopfschüttler gestellt. Danach wurde die Flasche mit entionisiertem Wasser auf 1l aufgefüllt, geschüttelt und gleichzeitig mit dem Starten der Stoppuhr in eine Wasserwanne mit 21 ± 0,4°C gestellt. Die Verdünnung ist notwendig, damit sich die Bodenteilchen beim Absinken möglichst wenig gegenseitig stören. Aus 10 cm Tiefe wurde nach 27 s; 4min 32s;

50min 19s; 3h 46min 25s 20 ml pipettiert und in Abdampfschälchen in den Trockenschrank mit 105°C gestellt.

PR = Pipetterückstand

$$p\,(Sand, \%) = 100 - \frac{Masse\ PR\ 0{,}063mm\ (g) \times 5000}{Masse\ \mathrm{Pr}obe\ lufttrocken\ (g)}$$

Die Sandanteile aus Nasssiebung und Pipettierung dürfen nicht mehr als 5 Prozentpunkte von einander abweichen, sonst ist die Nasssiebung und bei deren Bestätigung die Pipettierung zu wiederholen.

$$p\,(Ton, \%) = \frac{Masse\ PR\ 0{,}002mm\ (g) \times 5000}{Masse\ \mathrm{Pr}obe\ lufttrocken\ (g)}$$

$$p\,(Schluff, \%) = 100 - p\,(Sand, Feinsiebung) - p\,(Ton)$$

Massenwassergehalt

Der gravimetrische Wassergehalt wurde nach ÖN L 1062 (2003) bestimmt. Dazu wurden die Bodenproben möglichst rasch nach der Probennahme gewogen, im Trockenschrank bei 105°C im Pergaminsackerl bis zur Massenkonstanz getrocknet und nach kurzem Abkühlen erneut gewogen. Zur Auswertung wurde von der Masse der feuchten Bodenprobe die Masse des lufttrockenen Pergaminsackerls, von der ofentrockenen Bodenprobe die ofentrockene Masse des Pergaminsackerls abgezogen.

$$gravimetrischer\ Wassergehalt\ (\%) = \frac{Boden\ feucht\ (g) - Boden\ ofentrocken\ (g)}{Boden\ ofentrocken\ (g)} \times 100$$

2.4.2 Chemische Untersuchungen

Chemische Analyse des Wassers

Das oberflächlich abgeflossene Wasser jeder Minute wurde durch Papier- und Stofffilter filtriert, wobei das Filtrat jeder 5. Filterung in 1 Liter Flaschen aufgefangen wurde, um es auf wasserlösliche Stickstoffverbindungen und Phosphat zu untersuchen. Auch vom Beregnungswasser jedes Tages (jeder Bearbeitungsform) wurden Proben genommen und auf die gleichen Stoffe untersucht. Um die Inhaltsstoffe zu konservieren, wurden die Flaschen so schnell wie möglich in Kühlschränken zwischengelagert. Vor der Messung wurden die Wasserproben erneut filtriert, um restliche Schwebstoffe und Bodenteilchen zu entfernen. Es wurden die Konzentrationen von Nitrat, Nitrit, Ammonium und Phosphat gemessen und in mg/l angegeben. Die Ergebnisse von Nitrat, Nitrit und Ammonium in mg/l wurden in Stickstoffkonzentrationen dieser Verbindungen in mg/l umgerechnet und dann addiert, um den anorganischen Stickstoff zu erhalten.

Chemische Analyse des Bodens

Die Bodenproben wurden am Ende der Versuchsreihe am 9.09.2005 in einer Tiefe von 0 – 10 cm genommen. Es wurde auf Gesamtstickstoff, Phosphor, Gesamtkohlenstoff und Karbonat (=anorganischer Kohlenstoff, C anorg) untersucht. Von den Filterrückständen wurde der Inhalt von 15 Filtern (entspricht 15 Minuten Beregnung) zu einer Probe zusammengemischt, um genügend Material für die Untersuchung zur Verfügung zu haben. Alle Proben zur chemischen Untersuchung waren ofengetrocknet.

Die Messung des **Gesamtstickstoffs** (N ges) wurde mit einem CN-Analyser (vario MAX CN) bestimmt. Dieses Gerät arbeitet automatisch und nach dem Prinzip der katalytischen Rohverbrennung unter Sauerstoffzufuhr und hohen Temperaturen. Die mit spezifischen Adsorptionssäulen getrennten Messkomponenten werden mit einem Wärmeleitfähigkeitsdetektor bestimmt.

Der **Gesamtphosphor** wurde mit Königswasseraufschluß als ortho-Phosphat in Lösung gebracht, das dann zu alpha-Phosphormolybdänblau reduziert und mit dem Spektralphotometer bei 660 nm gemessen wurde.

Der **Gesamtkohlenstoff** (C ges) wurde im selben Gerät wie der Gesamtstickstoff gemessen.

Das **Karbonat** besteht aus Kalzium-, Magnesiumkarbonat und anderen Karbonaten. Es wurde mit dem Calcimeter nach Scheibler bestimmt:

Dabei wird das Carbonat durch Salzsäure zerstört und das Volumen des entstehenden CO2 – Gases gemessen. Zur Auswertung müssen Temperatur und Luftdruck gemessen werden. Jede Probe wurde drei mal gemessen und der Mittelwert errechnet. Der Kalkgehalt in Massenprozent ist:

$$CaCO3\ (\%) = \frac{0{,}1212 \times V_{Ablesung}\ (ml) \times p}{Bodeneinwage(g) \times (t + 273{,}15)}$$

p = Luftdruck (hPa)

t = Temperatur (°C)

Der anorganische Kohlenstoff errechnet sich aus dem Verhältnis der relativen Atommassen Ar von CaCO3 und C:

$$C_{anorg}(\%) = CaCO_3\ (\%) * \frac{12{,}0107}{100{,}0869}$$

Der **organische Kohlenstoff** errechnet sich aus der Differenz vom Gesamtkohlenstoff und anorganischem Kohlenstoff. Ein hoher Gehalt vermindert die Erosionsanfälligkeit

$$C_{org} = C_{tot} - C_{anorg}$$

2.5 Auswertung

Neben dem arithmetischen Mittel und der Standardabweichung wurde die einfaktorielle Varianzanalyse verwendet. Diese ist ein Verfahren, das die Wirkung einer unabhängigen Variablen auf eine abhängige Variable untersucht, wobei die abhängige Variable ein metrisches Skalenniveau aufweisen muss. Die Varianzanalyse ist speziell zur Auswertung von Experimenten geeignet. Sie wird hier mit einem Signifikanzniveau von 0,05 verwendet, um festzustellen, ob ein signifikanter Unterschied zwischen einer unabhängigen (z.B. Bearbeitungsform) und einer abhängigen Variable (z.B. Durchlässigkeit) besteht oder nicht:

P - Wert > 0,05 → kein signifikanter Unterschied

P - Wert < 0,05 → signifikanter Unterschied (Backhaus, 2000)

Diese Aussage ist mit 95% Wahrscheinlichkeit zutreffend. Mit einem größeren P – Wert würde bei gleichen Daten leichter ein signifikanter Unterschied festgestellt werden und umgekehrt. Die Berechnungen wurden mit Excel durchgeführt.

3 Ergebnisse und Interpretation

3.1 Abfluß und Abtrag

Auf jedem Versuchsfeld wurden 2 Regensimulationen durchgeführt: Zuerst am Vormittag der Trockenversuch, dann am Nachmittag der Nassversuch. Die Trockenversuche dauerten 60 min und wurden mit einer eingestellten Beregnungsintensität von 60 mm/h durchgeführt, die Nassversuche dauerten 45 min, wobei 15 min mit 40 mm/h beregnet wurde, dann 15 min mit 60 mm/h und schließlich 15 min mit 20 mm/h, mit jeweils 30 sec Pause dazwischen. Die Eichgerade (s. 2.1.1) lautet:

$$y = 2{,}9286 * x + 0{,}95$$

x ... Flascheninhalt von 5 min (g)

y ... Beregnungsintensität (mm/h)

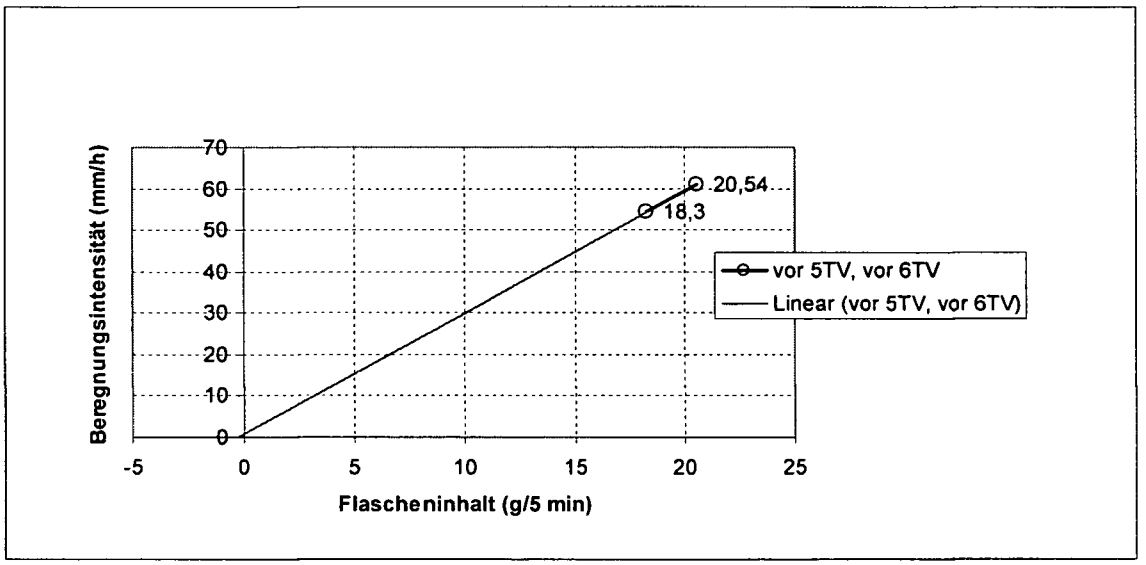


Abb. 4 Referenzmessung zur Bestimmung der Beregnungsintensitäten

Tab. 2 Regensimulation im Überblick

	Beregnung (mm)	Beregnung (mm/h)	Abfluß (mm)	erodierter Boden (g)	Infiltration (mm)	Infiltration (% von Beregnung)
1 TV	54,28	54,28	20,80	995	33,48	62
1 NV	8,25	33,00	1,66	44	6,59	80
	12,48	49,92	8,23	203	4,25	34
	4,39	17,56	3,15	48	1,24	28
Summe V1	79,40		33,84	1.290	45,56	57
5 TV	57,38	57,38	20,66	1.077	36,72	64
5 NV	9,92	39,67	2,09	53	7,83	79
	15,31	61,25	9,12	232	6,19	40
	5,60	22,39	2,96	38	2,64	47
Summe V5	88,21		34,83	1.400	53,38	61
6 TV	59,04	59,04	17,85	711	41,19	70
6 NV	8,64	34,54	1,55	79	7,09	82
	13,64	54,57	7,49	193	6,15	45
	4,68	18,73	2,42	36	2,26	48
Summe V6	86,00		29,31	1.018	56,69	66

Die angegebenen Mengen erodierten Bodens beziehen sich auf die 16 m² der Versuchsfläche. Man könnte die Werte auf 1 ha hochrechnen, eine entscheidende Größe bei der Erosion ist allerdings die Hanglänge, im Versuch 8m. Bei einem quadratischen Feld von 1 ha Größe ist die Hanglänge 100m und die Erosion wäre damit auch größer.

Die tatsächlichen Beregnungsintensitäten (s. Tab. oben) sind bis auf 5 NV kleiner als die eingestellten 20, 40 oder 60 mm/h. Dies kann auf teils starken, böigen Wind (v.a. bei V1 und V5), auf leicht verschobene Aufstellung des Regensimulators über dem jeweiligen Versuchsfeld und auf geringe Druckschwankungen durch nicht ganz zuverlässig arbeitende Stromgeneratoren (v.a. bei 6 NV war zeitweise zu niedriger, bei 1TV war bei einer Hälfte der Düsen ein zu hoher Druck vorhanden) zurückgeführt werden; zum Abfluss der einzelnen Intensitäten der NV wurde der Abfluss der darauffolgenden Beregnungspause mitgerechnet. Die Infiltration (mm) errechnet sich aus Beregnung (mm) – Abfluss (mm), Oberflächenbenetzung wurde nicht berücksichtigt. Bei den TV infiltrierte mehr als 60% des aufgebrachten Wassers, bei den NV sank der Anteil von ca. 80% in den ersten 15 min auf unter 50%, wobei beim 1NV der Anteil des versickerten Wassers zum aufgebrachten am geringsten ist. Die Mittelwerte der gesättigten Leitfähigkeit von den Stechzylindern, die nach den NV genommen wurden, widersprechen dem, da die Leitfähigkeit nach dem 1NV ca. 6 mal höher ist als nach dem 5NV. Abb. 5 zeigt den Verlauf der Intensitäten des 1TV von Beregnung, Abfluss und Infiltration (Ordinatenbeschriftung links) und die Erosion in g (Ordinatenbeschriftung rechts). In den ersten 10 Minuten ist der Abfluss noch sehr klein, steigt dann aber rasch an und erreicht ab der 30. Minute einen stabilen Wert, etwa gleich groß wie die Infiltration. Die Erosion steigt ab der 10. Minute sehr rasch an bis auf ca. 45 g/min und fällt dann kontinuierlich ab. Nach Ende der Beregnung fällt der Abfluss und die Erosion sehr rasch ab.

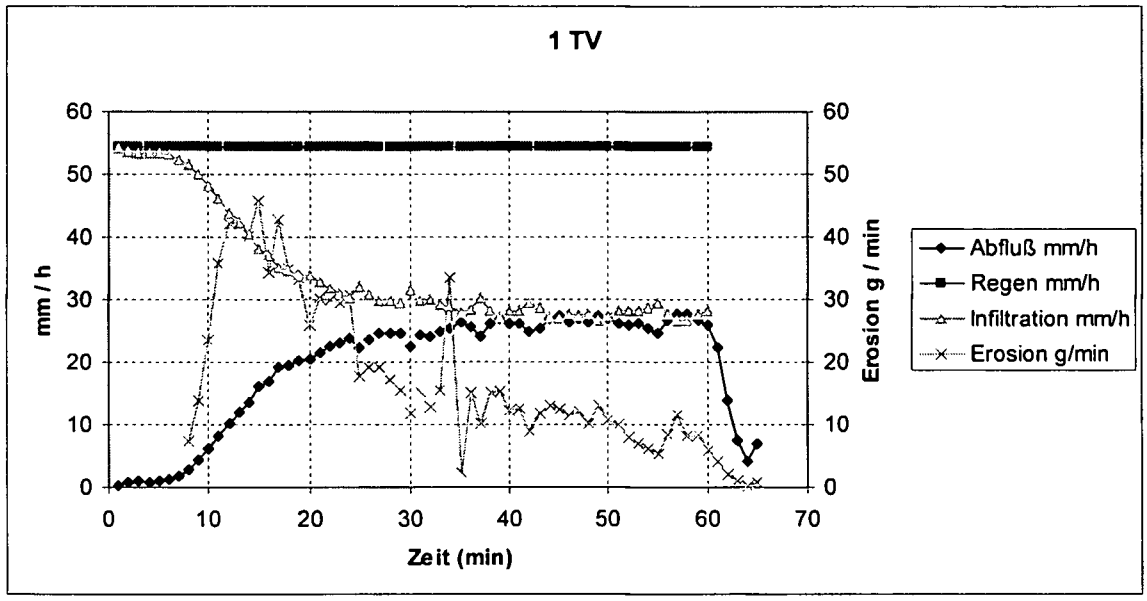


Abb. 5 Verlauf von Beregnung, Abfluss, Infiltration und Erosion des 1TV

Die Kurven der anderen beiden TV sind ähnlich: Der 5TV unterscheidet sich vom 1TV durch die größere Beregnungsintensität. Die Erosion erreicht einen höheren Spitzenwert und bleibt auf höherem Niveau als 1TV, der Abfluss ist nur geringfügig höher.

Der 6TV hat die höchste Beregnungsintensität, trotzdem aber den geringsten Abfluss, relativ zur Beregnung und auch absolut. Die Infiltration nähert sich dem Abfluss langsamer an und bleibt immer größer als dieser. Die Erosionskurve bleibt immer unter der Abflusskurve, das Maximum liegt bei 21 g/min.

Der Abfluss beim 1NV (Abb. 6) steigt nach der 8. Minute stark an und übersteigt zum Ende der ersten Beregnungsphase die Infiltration. Nach der ersten Beregnungspause steigt die Abflusskurve deutlich über die Infiltrationskurve. Nach der 2. Pause fällt der Abfluss auf das Niveau der Infiltration zurück. Die Erosion bleibt im Gegensatz zum TV deutlich unter der Abflusskurve und erreicht auch bei 60 mm/h mit 16 g/min nach der ersten Pause nicht den Spitzenwert des TV (46 g/min).

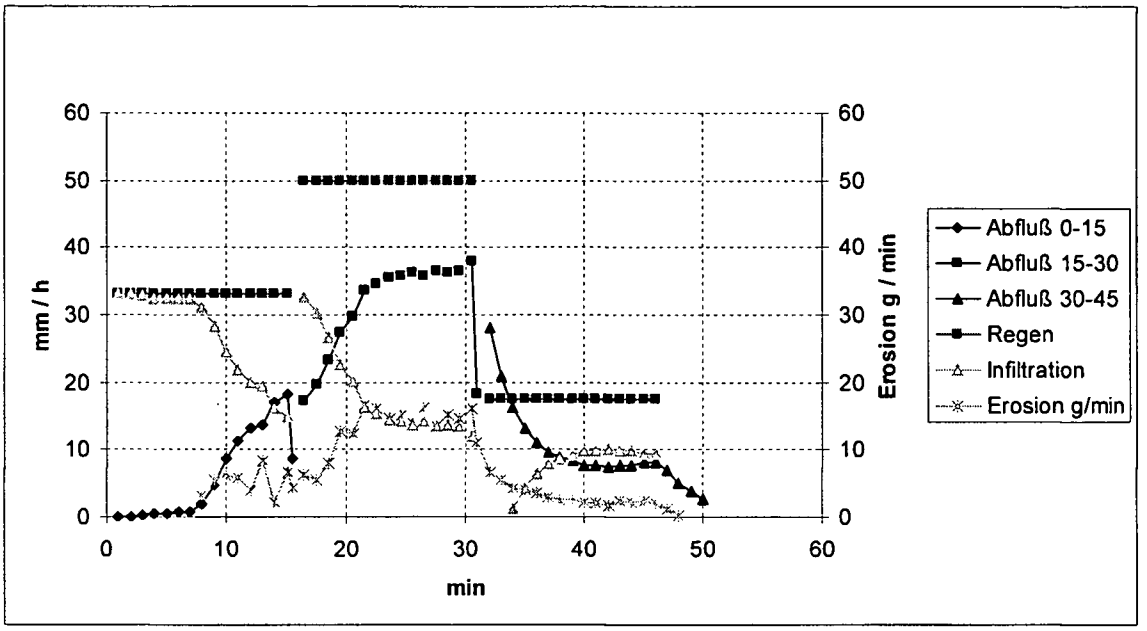


Abb. 6 Verlauf von Beregnung, Abfluss, Infiltration und Erosion des 1NV

Der Verlauf bei den anderen zwei NV ist ähnlich. 5NV hat die höchste Beregnungsintensität aller NV und absolut den höchsten Abfluss, relativ zur Beregnung ist er bei 1NV größer. Die Erosion ist bei 5NV am größten, auch die Erosionsspitze ist mindestens 20% größer als bei den anderen beiden.

Die Niederschlagsintensität von 6NV liegt über der des 1NV, 6NV hat aber den niedrigsten Abfluss. Bei der ersten Versuchsphase bleibt der Abfluss im Gegensatz zu den anderen beiden deutlich unter der Infiltration. Der Verlauf der Erosion weist zwei Spitzen auf, eine bei Minute 9, die andere bei Minute 19.

Der Abfluss übersteigt die Infiltration deutlich nur bei den NV in der 2. Versuchsphase mit der Niederschlagsintensität von 60 mm/h. Bei den einstündigen TV mit der gleichen Intensität gleichen sie sich nur etwa an, sie werden gleich groß.

Die folgende Tabelle (Tab. 3) zeigt die Differenz der Wasserhöhen vor den TV und vor den NV in 0 – 60 cm Tiefe und die gemessenen Abflüsse, die addiert die mindestens vorhandenen Beregnungshöhen ergeben. Da die Zunahme der Wassergehalte in 50 – 60 cm Tiefe (bei V1 2,11%, bei V5 3,41 % und bei V6 1,54 %) klein ist, ist anzunehmen dass nicht sehr viel Wasser unter 60 cm Tiefe versickert ist. Daraus kann man schließen, dass die Beregnungsintensität des Trockenversuches bei V6 niedriger ist als die durch die Referenzmessung ermittelte Intensität und bei 5 TV höher.

Tab. 3 Berechnung der mindestens aufgebrachten Wasserhöhen aus der Zunahme des Bodenwassers und dem Abfluß der TV

	Wasserhöhe vor TV (0-60cm) mm	Wasserhöhe vor NV (0-60cm) mm	Zunahme mm	Abfluss mm	min. Beregnungshöhe mm
1 TV	138,7	170,9	32,2	20,8	53,0
5 TV	151,9	195,9	44,0	20,7	64,7
6 TV	137,3	172,4	35,2	17,9	53,0

3.2 Abflussgeschwindigkeit

Die Abflussgeschwindigkeiten von der Mitte des Versuchsfeldes bis einen Meter über der Unterkante und bis zur Unterkante selbst wurden gemittelt und nach Versuch und mittlerer und maximaler Geschwindigkeit dargestellt (Abb. 7). Es muss erwähnt werden, dass die mittlere Geschwindigkeit geschätzt wurde und daher ein genauer Vergleich der Werte keinen Sinn ergibt; sie bewegen sich aber alle auf ähnlichem Niveau. Die gemessenen Geschwindigkeiten sind klein, sie bewegen sich im Schnitt zwischen 0,026 und 0,04 m/s bei den mittleren Geschwindigkeiten und zwischen 0,038 und 0,056 m/s bei den maximalen Geschwindigkeiten; die höchste errechnete Geschwindigkeit war 0,067 m/s bei 5TV und 6TV.

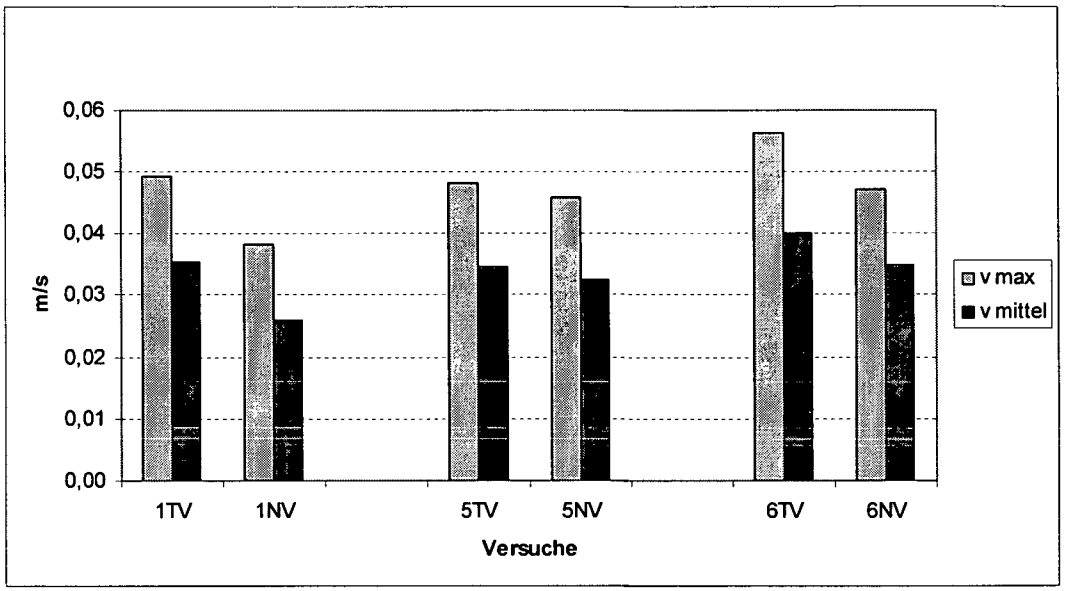


Abb. 7 Abflussgeschwindigkeiten der Beregnungsversuche

V6 hat immer die höchste Abflussgeschwindigkeit, gefolgt von V5; gleichauf oder mit niedrigeren Geschwindigkeiten liegt V1. Die TV haben größere Abflussgeschwindigkeiten als die NV. Sie korrelieren nicht direkt mit den Abflussmengen, da V6 die niedrigsten Abflussmengen hat aber die höchsten Abflussgeschwindigkeiten.

Mit der Varianzanalyse wurden die maximalen Abflussgeschwindigkeiten der Trockenversuche über 3 und 4 m paarweise verglichen: bei V1 / V5 ist kein Unterschied nachweisbar, zwischen V5 / V6 mit einem P – Wert von 0,06 und V1 / V6 mit 0,07 knapp ebenfalls nicht. Vergleicht man die maximalen Geschwindigkeiten jedes Versuchsfeldes (TV und NV) paarweise miteinander, so ist ebenfalls kein Unterschied festzustellen.

Tab. 4 gibt den Tortuositätsindex und die mittlere Neigung in % wieder. Der Tortuositätsindex ist umso größer, je rauer die Bodenoberfläche ist. Er errechnet sich aus:

$$\tau = \left(\frac{l_{rauh}}{l} \right)^2$$

Tab. 4 Tortuositätsindex und Gefälle der Versuchsflächen

	V1	V5	V6
Tortuostiätsindex	1,17	1,18	1,21
Gefälle %	9,6	10,1	9,9

Die Abflussgeschwindigkeit scheint auch nicht mit der Rauhigkeit der Bodenoberfläche zusammenzuhängen, da diese bei V6 am größten ist, vielleicht weil die Rauhigkeit quer zur Fließrichtung gemessen wurde und die Größe der Abflussbahnen nicht ermittelt wurde.

3.3 Eindringwiderstand

Der Eindringwiderstand wurde in Abhängigkeit des Massenwassergehaltes von 0 – 10 cm Tiefe ausgewertet. Die Ergebnisse jedes Feldes sind in einer Kurve mit je 4 Punkten (vTV, nTV, vNV, nNV) dargestellt. Er zeigt in allen 3 Bearbeitungsformen einen mit zunehmendem Wassergehalt abnehmenden Eindringwiderstand, wobei die Versuche 1 und 5 ähnliche Ergebnisse aufweisen, V6 aber eine etwa doppelt so hohen Trockenwert (vor 6TV) hat, dafür aber schon bei geringerem Wassergehalt sein Minimum erreicht.

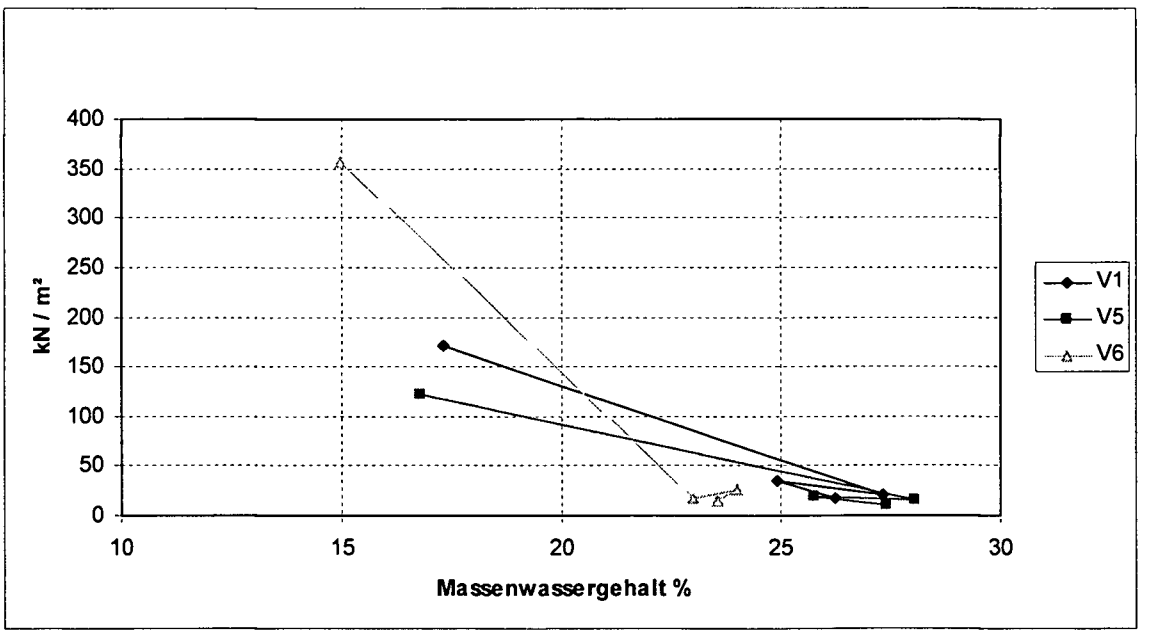


Abb. 8 Eindringwiderstand vTV, nTV, vNV, nNV der 3 Versuchsfelder

Die Varianzanalyse wurde paarweise für die Ergebnisse von vor und nach den TV erstellt. Ein signifikanter Unterschied ergibt sich für v5TV und v6TV mit einem P – Wert von 0,01, nach den TV und nach den NV ergeben sich keine signifikanten Unterschiede.

3.4 Scherfestigkeit

Die Scherfestigkeit wurde wie der Eindringwiderstand ausgewertet. Bei allen 3 Bearbeitungsformen ist ausgehend von einem Massenwassergehalt von 15 – 17% und dann steigendem Wassergehalt eine abnehmende Scherfestigkeit festzustellen. Bei V1 ist der

dritte Punkt (v1NV) sehr hoch (32 kN/m²), was als Messfehler interpretiert werden kann, er wurde aus den Berechnungen aber nicht ausgeschlossen.

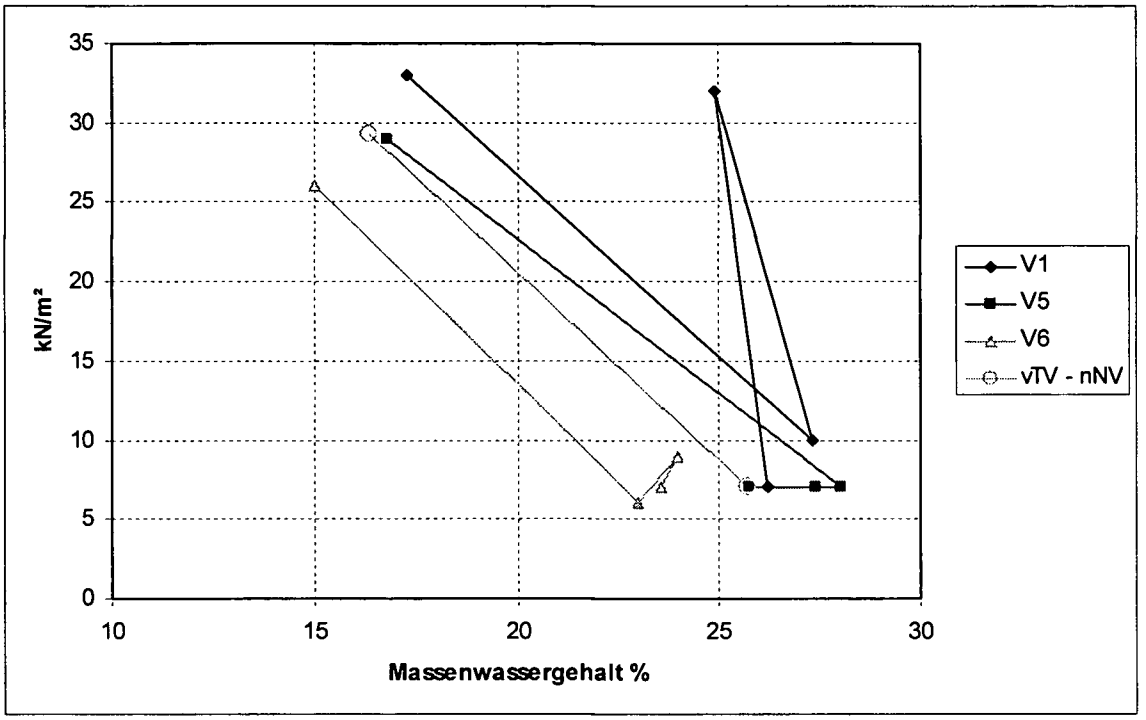


Abb. 9 Scherfestigkeit vTV, nTV, vNV, nNV der 3 Versuchsfelder

Um den Verlauf der Scherfestigkeit des Bodens über den Wassergehalt zu gewinnen, wären mehr Messungen bei unterschiedlichem Wassergehalt nötig. Bis auf den hohen Wert des 3. Punktes von V1 ist die Scherfestigkeit, die ein Maß für die Widerstandskraft des Bodens gegenüber Erosion ist, bei einem Massenwassergehalt von etwa 15 % am größten. Die konventionelle Bearbeitung hat den höchsten Ausgangswert und nach dem 1. TV den höchsten Wert, die Abnahme ist geringer als bei den anderen beiden Versuchsfeldern.

Die Varianzanalyse ergibt folgendes: vor den TV sind V1 und V6 signifikant verschieden (P – Wert = 0,01), V1 und V5 (0,28) und V5 und V6 (0,22) unterscheiden sich nicht. Nach den TV sind V1 und V5 (0,00) und V1 und V6 (0,00) signifikant verschieden, V5 und V6 hingegen nicht (P – Wert = 0,12).

3.5 Wasserspannung

Die Wasserspannung hält das Bodenwasser gegen die Schwerkraft im Boden. Sie wird in hPa = cm WS oder als pF Wert angegeben. Die Wasserspannung wird oft in Verbindung mit dem Wassergehalt als Wassergehalts- Wasserspannungskurve oder pF-Kurve dargestellt. Für die Vegetation sind 2 Grenzen maßgebend, die Feldkapazität und der Welkepunkt. Erstere liegt bei 60 – 300 hPa (= pF 1,8-2,5), die zweite bei etwa 15.000 hPa (= pF 4,2) (Blume, 1992). Die Differenz der dazugehörenden Wassergehalte ergibt das pflanzenverfügbare Bodenwasser. Der Wassergehalt bei Feldkapazität stellt sich drei Tage nach Sättigung durch Versickerung ein.

Die Wasserspannung des Wassers wurde mit Tensiometern mit unterschiedlicher Einbautiefe gemessen. Die Tensiometer wurden direkt vor jedem Trockenversuch in das

jeweilige Versuchsfeld eingebaut und bis zum letzten Versuchstag im Boden belassen. In Abb. unten sind die Wasserspannungen der 3 Versuchsfelder in hPa auf der linken Ordinatenachse aufgetragen, auf der rechten Ordinatenachse sind die Beregnungsintensitäten in mm/h aufgetragen. Die untersten Linien sind die Werte von 20 cm Tiefe, die darüberliegenden von 30 cm und die höchsten von 50 cm Tiefe.

Die Wasserspannungen vor den Beregnungsversuchen bewegen sich knapp über der Wasserspannung bei Feldkapazität. Die fallen in 20 cm Tiefe nach den TV schnell ab, das Wasser dringt rasch in diese Tiefe vor. Die minimalen Wasserspannungen werden in dieser Tiefe bei V1 (6 hPa) und V5 (1 hPa) knapp nach den NV erreicht, bei V6 (7 hPa) schon knapp nach dem TV. Die Wasserspannungen in 30 cm Tiefe nehmen bei V1 fast zeitgleich mit denen in 20 cm Tiefe ab, was auf eine große Durchlässigkeit dieser Bodenschicht hinweist. Dies ist wahrscheinlich auf die Bodenlockerung durch das intensive Pflügen dieser Bearbeitungsform bis zu etwa dieser Bodentiefe zurückzuführen. Bei V6 sinkt die Wasserspannung in 30 cm Tiefe langsamer, gefolgt von V5. In 20 und 30 cm Tiefe können die Absenkungen der Wasserspannungen direkt den einzelnen Beregnungsversuchen zugeordnet werden. In 50 cm Tiefe sind die einzelnen Beregnungen (bis eventuell ein Ausschlag bei V1) nicht mehr zu erkennen und die Reaktion tritt verzögert und abgeschwächt ein. Die niedrigste Wasserspannung in 50 cm Tiefe bei V5 ist 166 hPa, V1 hat trotz niedrigern Anfangswertes ein Minimum von 210 hPa; bei V6 wurde die Messung vor Erreichen des Minimums abgebrochen, es hat aber die langsamste Abnahme der Wasserspannung, das heißt das infiltrierte Wasser braucht am längsten, um in diese Tiefe zu gelangen.

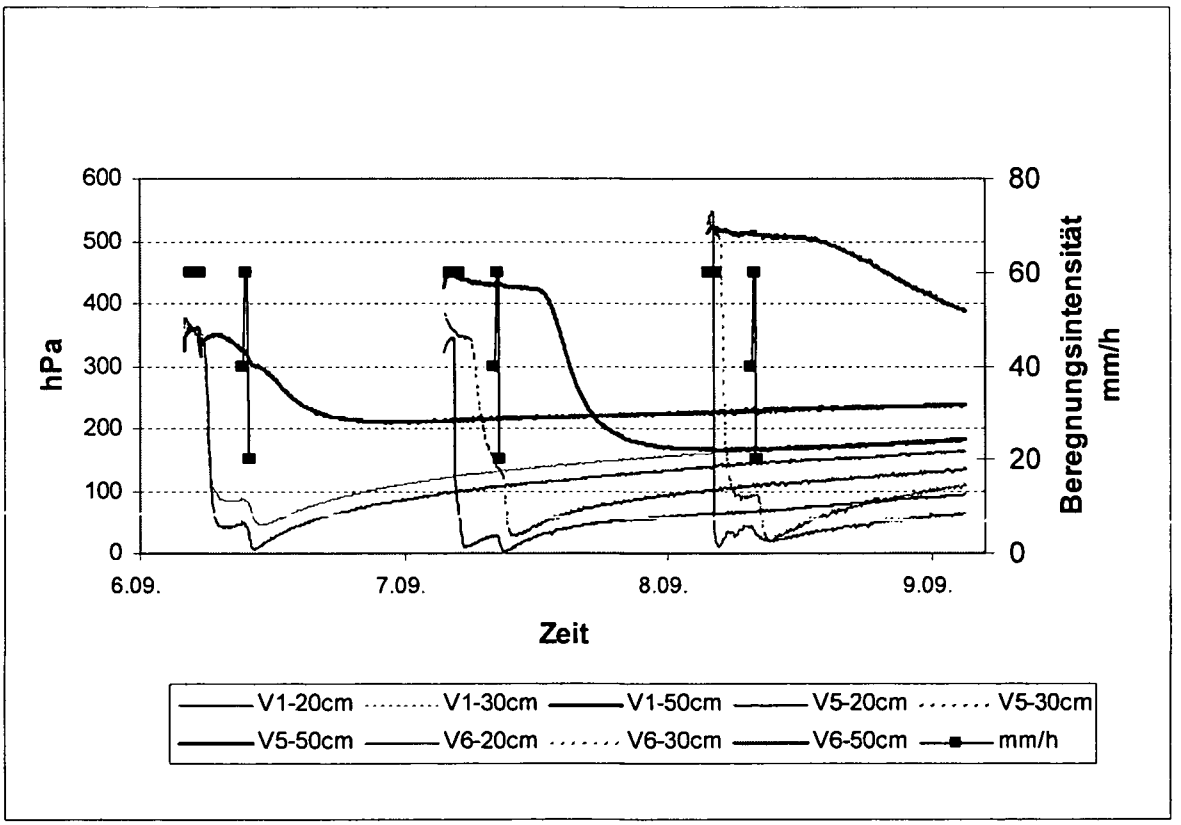


Abb. 10 Wasserspannung der 3 Versuchsfelder in den 3 Messtiefen

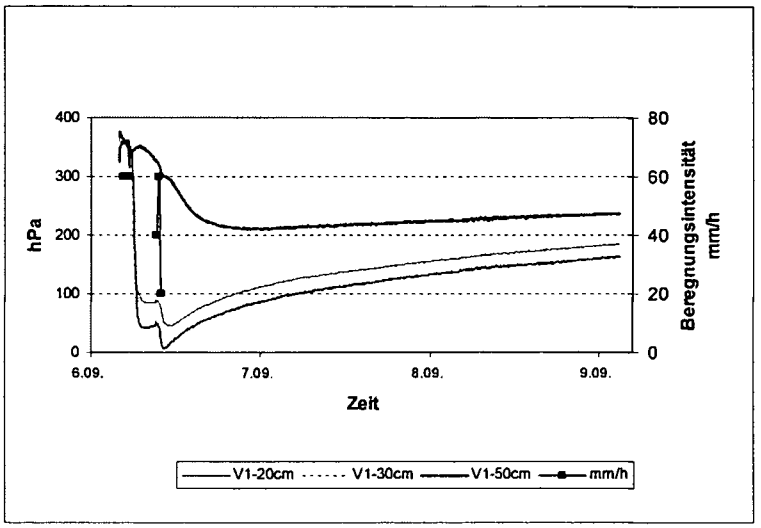


Abb. 11 Wasserspannung von V5

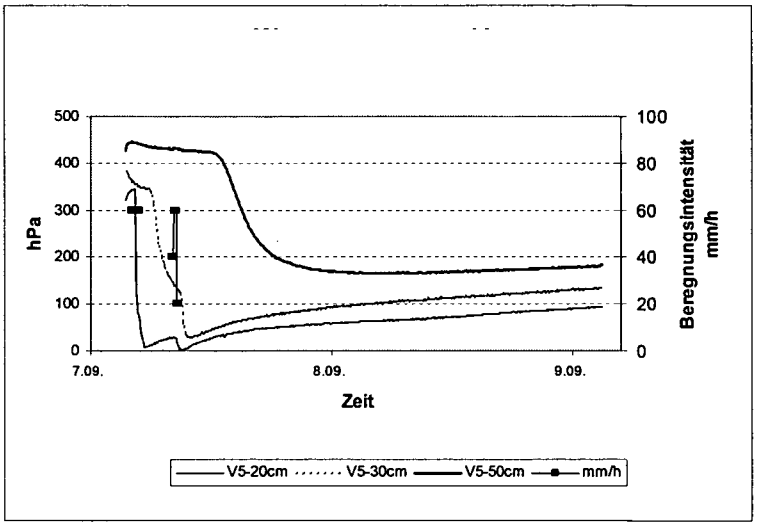


Abb. 12 Wasserspannung von V5

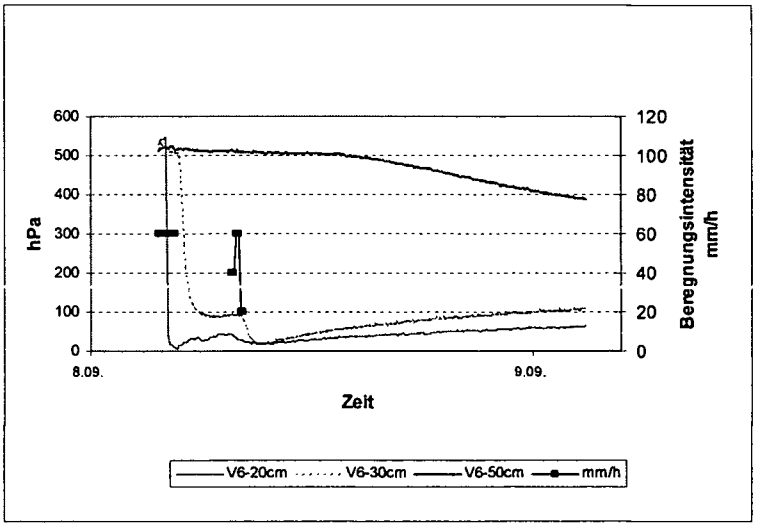


Abb. 13 Wasserspannung von V6

Tab. 5 zeigt die Massenwassergehalte der Bodenproben, die beim Einbau der Tensiometer in der Tiefe der Keramikspitzen vorhanden war. In 20 cm Tiefe ist der Wassergehalt bei V1

am größten und bei V6 am kleinsten, was sich mit den Anfangs-Wasserspannungen deckt. In 50 cm, wo die Anfangs-Wasserspannung bei V6 am größten sind, ist der Wassergehalt aber auch am größten. Das bedeutet, dass eine größere Anzahl kleinerer Poren vorhanden sind als bei den anderen Versuchsflächen.

Tab. 5 Wassergehalte in der Einbautiefe der Tensiometer beim Einbau

	V1 %	V5 %	V6 %
T-20 cm	18,0	16,5	15,8
T-30 cm	17,0	17,3	17,2
T-50 cm	17,6	16,7	17,9

In Tab. 6 sind die ungefähren Anfangswasserspannungen angegeben. Da es einige Zeit braucht bis sich ein Gleichgewicht zwischen Boden und Tensiometer einstellt, sind die Werte möglicherweise durch die kurze Zeitspanne bis zum ersten Beregnungsversuch nicht richtig. Die größten Ausgangswerte hat V6, die anderen beiden Felder liegen im Schnitt etwa 30 % darunter.

Tab. 6 Wasserspannungen zu Beginn der Messungen

	V1 hPa	V5 hPa	V6 hPa
20 cm	380	340	550
30 cm	370	380	530
50 cm	350	440	520

Der Anstieg der Wasserspannungen 24 h nach den Tiefstständen in 20 cm Tiefe ist bei V1 über 100 hPa, bei den anderen beiden etwa 65 hPa, das Wasser versickert bei V1 also schneller. Tab. 7 zeigt , um wieviel die Wasserspannungen nach den Tiefstständen in 12 Stunden angestiegen sind. Der kleine Wert von V6 aus 20 cm Tiefe ergibt sich daraus, dass das Minimum schon vor dem 6NV erreicht wird und der 6NV wieder eine Erniedrigung der Wasserspannung bringt und der Anstieg so verzögert wird. In 50 cm Tiefe sind die Veränderungen sehr klein.

Tab. 7 Anstieg der Wasserspannungen nach den Tiefstständen nach 24 h

	V1 hPa	V5 hPa	V6 hPa
20 cm	74	54	37
30 cm	63	58	75
50 cm	6	5	-

Im Allgemeinen werden die Veränderungen der Wasserspannung durch ein Niederschlagsereignis mit zunehmender Tiefe kleiner, und der Anstieg nach dem Minimum ist anfangs stark und dann immer kleiner werdend.

3.6 Elektrische Leitfähigkeit und pH – Wert

Die beiden Parameter wurden vom Beregnungswasser und vom aufgefangenem Abfluss gemessen. Tab. 8 zeigt die Werte des Beregnungswassers aus den Tanks und die Mittelwerte der Versuchsfelder.

Tab. 8 Elektrische Leitfähigkeit und pH – Wert des Beregnungswassers und des abgeflossenen Wassers

	eLF (mS)		pH - Wert	
	Tank	Abfluß	Tank	Abfluß
V1	0,81	0,91	8,1	7,6
V5	0,88	0,92	8,0	7,5
V6	0,86	0,90	8,3	7,5

Die Mittelwerte der **elektrische Leitfähigkeit** der 6 Beregnungsversuche unterscheiden sich kaum voneinander (etwa 0,9 mS). Es fällt auf, dass die Leitfähigkeit des Beregnungswassers immer kleiner ist als jene des aufgefangenen Wassers, was darauf hindeutet, dass durch den Kontakt des Wassers mit der Bodenoberfläche Salze aufgenommen und mittransportiert werden. Der Anstieg durch den Bodenkontakt ist bei V1 am größten (0,10 mS), bei V5 und V6 gleich groß (0,04 mS). Beim paarweisen Vergleich der Abflusswerte der Versuchsflächen konnte nur zwischen V1 und V6 kein statistisch signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. Diese Unterschiede ergeben sich trotz fast gleicher Mittelwerte aufgrund sehr kleiner Varianzen der Messwerte innerhalb der Versuchsflächen. Regenwasser hat dagegen viel niedrigere Werte, etwa 0,02 mS (UBA, 2006)

Die Mittelwerte der **pH – Werte** der Versuchsflächen des abgeronnenen Wassers liegen alle im leicht basischen Bereich (pH – Wert etwa 7,5) und unterscheiden sich kaum voneinander. Der pH - Wert des Beregnungswassers ist bei jedem Versuch größer als der Mittelwert der pH – Werte des aufgefangenem Wassers. Die Abnahme des pH – Wertes durch den Bodenkontakt ist bei V1 und V5 gleich groß (0,5), bei V6 mit 0,8 am größten.

V5 hat den niedrigsten pH – Wert (7,46) gefolgt von V6 (+0,5 %) und V1 (+1,2% zu V5). Trotz der kleinen Unterschiede der Mittelwerte besteht ein signifikanter Unterschied zwischen allen 3 Versuchsfeldern. Regenwasser hat niedrigere pH –Werte, etwa pH 5 (UBA, 2006).

3.7 Durchlässigkeit

Die gemessenen Durchlässigkeiten des gesättigten Bodens von der Bodenoberfläche bis in 5 cm Tiefe weisen große Schwankungen auf, wobei insbesondere nach dem 1. NV zwei Messwerte sehr hoch sind, und man ohne diese statt 41,6 m/d einen Mittelwert von 14,0 m/d mit einer Standardabweichung von 16,5 erhält. Die großen Schwankungen (Standardabweichungen etwa so groß wie die Werte selbst) können als natürlich akzeptiert oder als Fehler (bei Probennahme, Transport oder Versuch) interpretiert werden. Ein Vergleich der Standardabweichungen dieser mit einer früheren Untersuchung (Bauer, 2001) deutet darauf hin, dass die Messungen stimmen und die Durchlässigkeit des untersuchten Bodens kleinräumig stark variiert. Der höchste Wert ist (unter Vernachlässigung der beiden höchsten Einzelwerte) 48,8 m/d, der kleinste war 0 m/d, es war bei diesen Messungen nach

mehr als einem Monat kein Wasser durch die Bodenproben aufgestiegen (Zylinder Nr. 560, nach dem 1 NV genommen und Zylinder Nr. 54, nach dem 6 NV genommen).

Tab. 9 Mittelwerte und Standardabweichungen der Durchlässigkeit vor und nach jedem Versuch und der Versuchsfelder

	Mittelwert m/d	Standardabweichung m/d	Mittelwert der Bearbeitungsform m/d	Standardabweichung m/d
v1TV	8,7	12,3	25,2	50,4
n1NV	41,6 / 14,0*	66,3 / 16,5*	11,1*	14,6*
v5TV	4,0	5,9		
n5NV	2,4	4,7	3,2	5,4
v6TV	10,0	9,1		
n6NV	4,0	8,6	7,0	9,3

Bei Werten mit einem Stern* wurden 2 sehr große Werte (134,16 m/d und 225,50 m/d) weggelassen.

Nach der Bearbeitungsform betrachtet ist die Durchlässigkeit des konventionellen Anbaues (V1) am höchsten, bei der Direktsaat (V6) am zweithöchsten (ca. 63% des konventionellen Anbaues) und bei der konservierenden Bearbeitung (V5) am niedrigsten (29% des konventionellen Anbaues). Die Ursache liegt in der Bodenbearbeitung, wobei sich das Pflügen durch die intensive Bodenlockerung des Pflughorizontes (ca. 30 am tief) positiv auf die Durchlässigkeit auswirkt. Der Unterschied zwischen der konservierenden Bearbeitung und der Direktsaat ist vielleicht durch die Bodenbodenverdichtung infolge des häufigen Befahrens des konservierend bearbeiteten Feldes zu erklären. In Abb. 14 sind die Mittelwerte aller Messungen einer Bearbeitungsform und die nur nach oben aufgetragenen Standardabweichungen dargestellt. Mit der Varianzanalyse lässt sich ein signifikanter Unterschied zwischen V1 und V5 feststellen (P – Wert < 0,05).

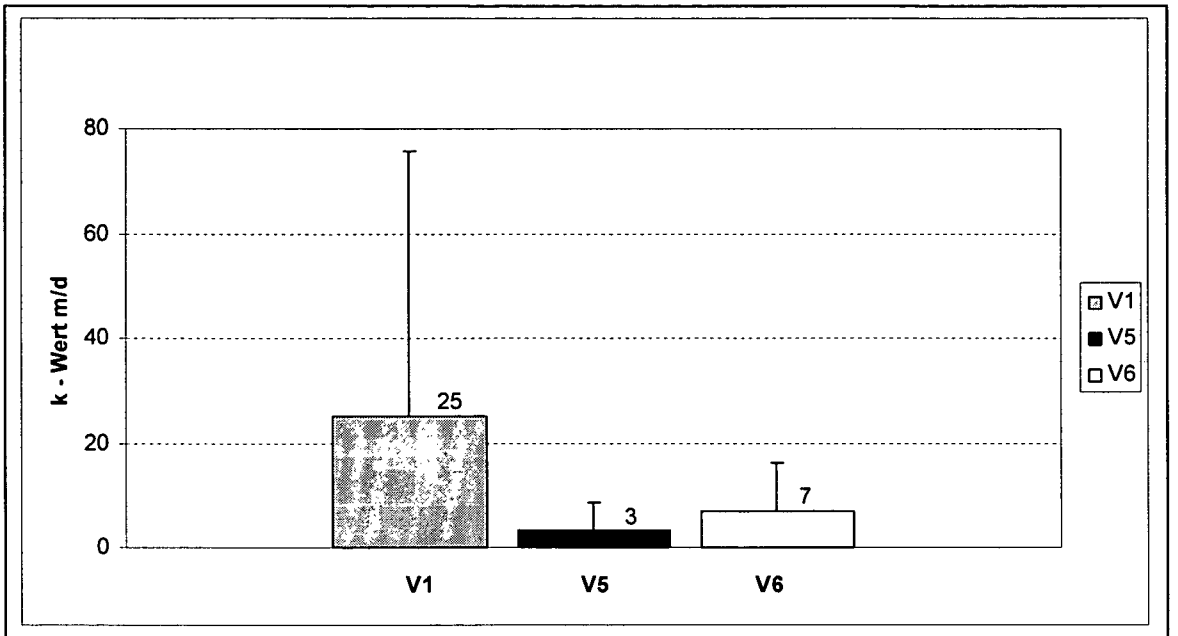


Abb. 14 k – Werte der 3 Versuchsfelder

Abb. 15 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen von den Versuchen. Bei V5 und V6 ist die Durchlässigkeit vor dem Trockenversuch höher als nach dem Nassversuch. Ursache könnte eine Verschlämmung der Poren an der Bodenoberfläche sein. Bei V1 ist die Durchlässigkeit nach dem TV auch ohne die großen Werte höher als nach dem NV. Statistisch ergibt sich kein Unterschied zwischen den TV der Versuchsfelder und den NV (sowohl beim Vergleich vor TV und nach NV eines Versuchsfeldes als auch beim Vergleich der TV der Versuchsfelder miteinander oder der NV der Versuchsfelder).

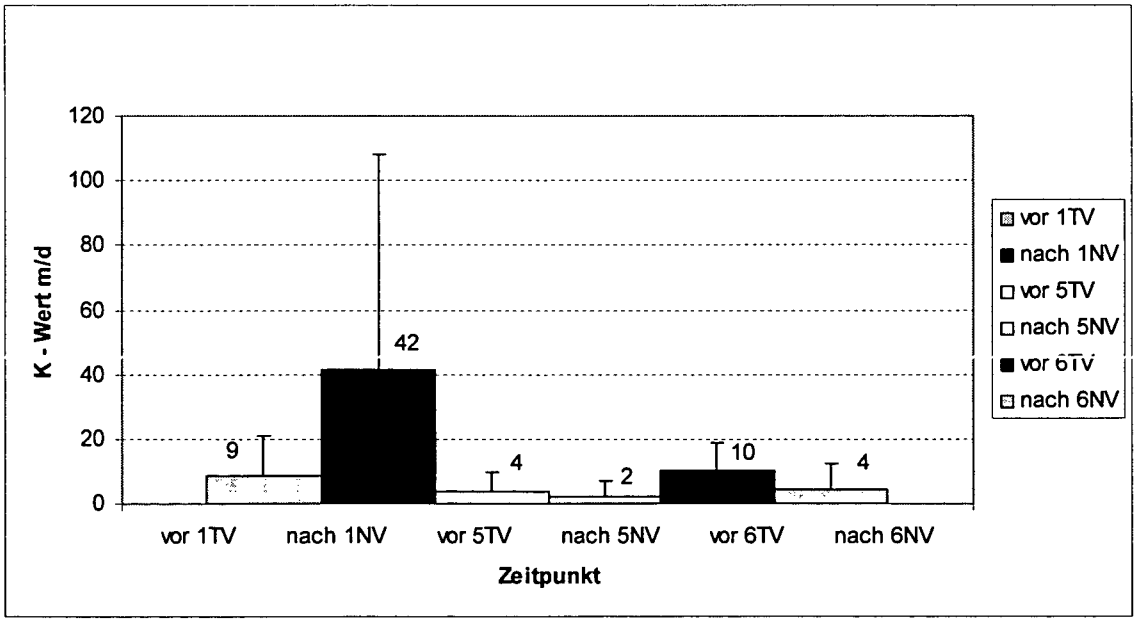


Abb. 15 k – Werte aller Versuchsfelder vor den TV und nach den NV

Die Mittelwerte aller Messergebnisse vor den Trockenversuchen sind nur halb so groß wie die aller Nassversuche (Abb. 16). Allerdings ist dies nur durch den großen Wert von n1NV

gegeben, die Werte der TV von V5 und V6 sind größer als die der jeweiligen NV. Statistisch gesehen besteht kein Unterschied zwischen allen Werten der TV und den der NV.

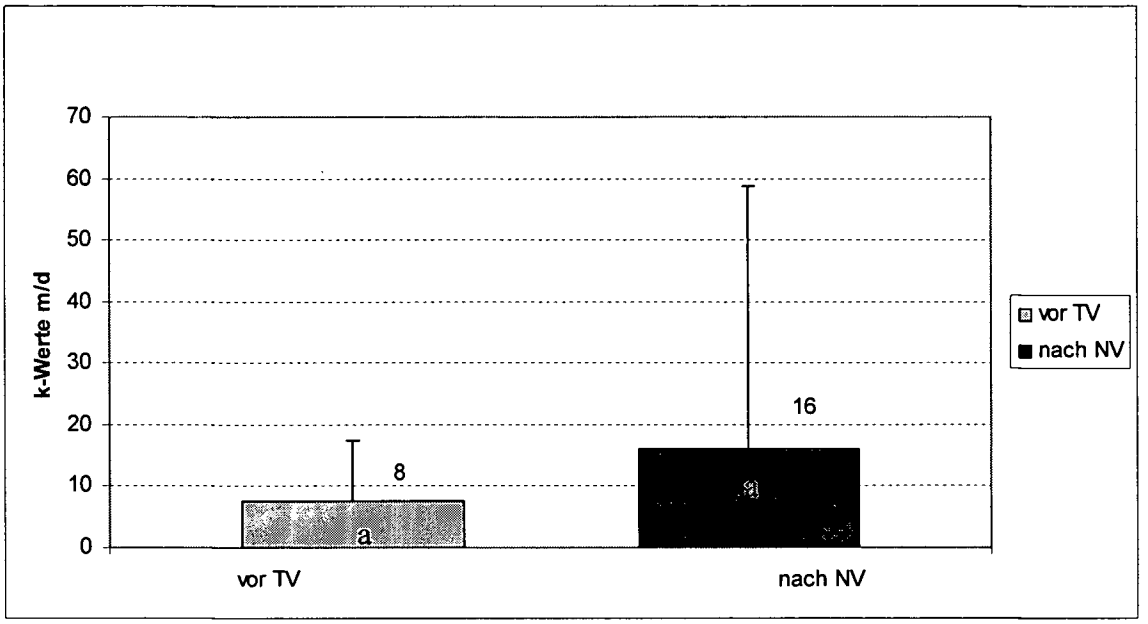


Abb. 16 k – Werte (Mittelwerte aller Messungen) vor den TV und nach den NV, $p > 0,05$

3.8 Trockendichte und Porenanteil

Die **Trockendichte** und der Porenanteil wurden aus den Stechzylinderproben bestimmt.

Tab. 10 Trockendichte (g/cm³) vor und nach jedem Versuch und der Versuchsfelder

	Mittelwert	St.abw.	Mittelwert	St.abw.	
vor 1TV	1,31	0,13			
nach 1NV	1,35	0,14	1,33	0,14	V1
vor 5TV	1,42	0,12			
nach 5NV	1,45	0,05	1,43	0,10	V5
vor 6TV	1,30	0,12			
nach 6NV	1,42	0,07	1,36	0,11	V6

Die Trockendichte der konservierenden Bearbeitung (V5) ist signifikant höher als die von V1 und V6 (siehe Tab. 10). Dies deckt sich mit den gemessenen Durchlässigkeiten, da eine geringere Trockendichte (bei konstanter Feststoffdichte) einen größeren Porenanteil bedingt und das V1 vor V6 und V5 auch die größte Durchlässigkeit besitzt. Dies kann mit der intensiven Bodenlockerung durch Pflügen und auch mit dem verstärktem Durchwühlen durch Bodenlebewesen (Regenwürmer,...) zusammenhängen, bei V5 scheint die intensivere Bodenbearbeitung verglichen mit V6 nur zu einer Bodenverdichtung zu führen.

Vergleicht man die vor den TV genommenen Proben der 3 Bearbeitungsvarianten untereinander und ebenso die der NV, ergibt die Varianzanalyse einen signifikanten Unterschied zwischen den Proben v5TV und v6TV. Zwischen den anderen Ergebnissen ist kein Unterschied feststellbar. Nach den NV ist V1 signifikant kleiner als V5, zwischen V1 und V6 bzw. V5 und V6 besteht kein Unterschied.

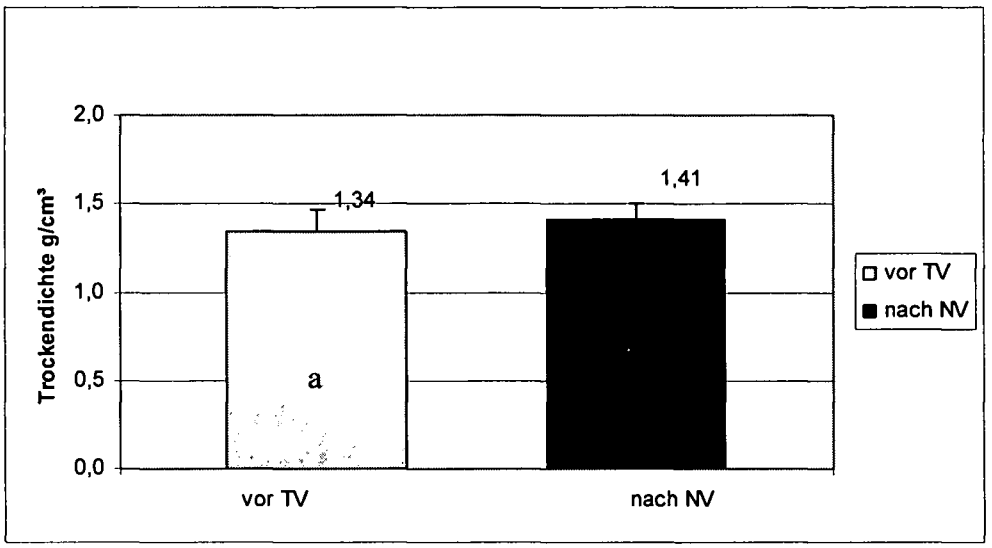


Abb. 17 Trockendichte vor den TV und nach den NV ($p < 0,05$)

Der Mittelwert der Trockendichten vor den 3 Trockenversuchen ist signifikant kleiner als der nach den 3 Nassversuchen (Abb. 17), was durch Zerstörung des Bodengefüges und Verschlämmung der Bodenporen erklärt werden kann. Betrachtet man die Werte vor den TV und nach den NV der einzelnen Versuchsfelder, ergibt sich bei einem Signifikanzniveau von 0,05 ein signifikanter Unterschied zwischen v6TV und n6NV mit einem P-Wert von 0,01. Bei V1 und V5 ist zwischen vTV und nNV kein Unterschied vorhanden (P – Wert: 0,47 und 0,42).

Die **Porenanteile** mit den 2 verwendeten Berechnungsmethoden unterscheiden sich leicht voneinander. Bei der ersten Methode (s. Kapitel 2.4.1) könnte die angenommene Feststoffdichte (=2,65 g/cm³) kleine Ungenauigkeiten bringen, bei der zweiten eventuell bei der Sättigung eingeschlossene Luftblasen, welche die Masse des gesättigten Bodens und somit die Trockendichte verringern würden.

Tab. 11 Porenanteil (%) vor und nach jedem Versuch und der Versuchsfelder (aus der Trockendichte und der Feststoffdichte errechnet)

	Mittelwert	St.abw.	Mittelwert	St.abw.	
vor 1TV	50,49	4,90			
nach 1NV	48,90	5,35	49,69	5,19	V1
vor 5TV	46,59	4,67			
nach 5NV	45,35	1,85	45,97	3,60	V5
vor 6TV	50,78	4,52			
nach 6NV	46,44	2,59	48,61	4,27	V6

Tab. 12 Porenanteil (%) vor und nach jedem Versuch und der Versuchsfelder (aus der Massendifferenz des gesättigten und ofentrockenen Bodens errechnet)

	Mittelwert	St.abw.	Mittelwert	St.abw.	
vor 1TV	49,66	3,00			
nach 1NV	45,26	1,80	47,46	3,31	V1
vor 5TV	47,35	3,35			
nach 5NV	46,54	1,29	46,95	2,57	V5
vor 6TV	49,72	4,76			
nach 6NV	46,98	2,65	48,35	4,09	V6

Die Porenanteile sind bei beiden Methoden beim V5 am niedrigsten. Die Reihenfolge der Porenanteile der 3 Versuchsfelder entspricht aber nur bei der ersten Methode (V1 – V6 – V5) jener der Trockendichte (V1 – V6 – V5) (bei der 1. Methode hängt der Porenanteil auch nur von der Trockendichte ab), bei der 2. Methode ist sie: V6 – V1 – V5.

Tab. 13 Porenanteil (%) vor den TV und nach den NV

	Mittelwert	St.abw.
vor TV	48,91	3,94
nach NV	46,26	5,49

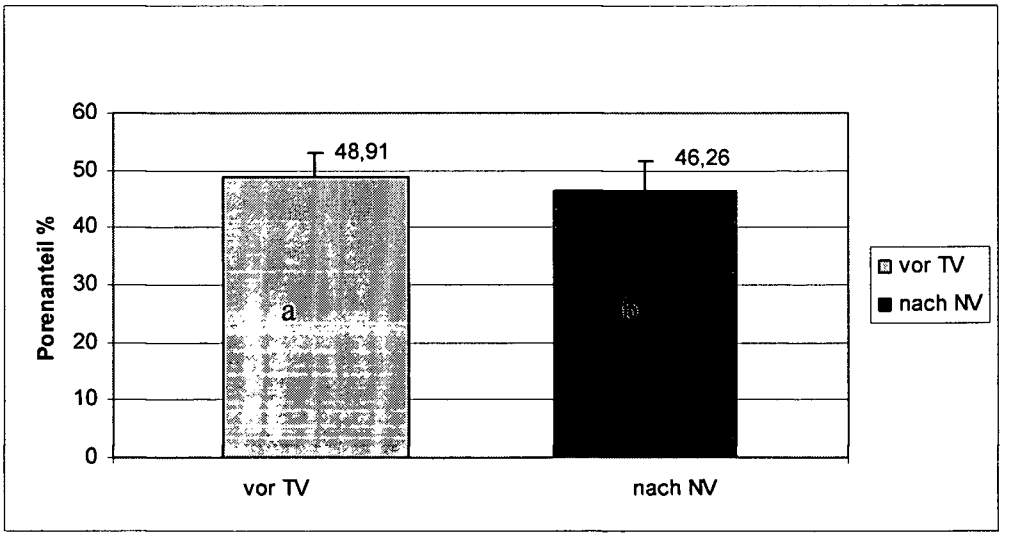


Abb. 18 Porenanteil vor den TV und nach den NV

In Übereinstimmung mit der Auswertung der Trockendichte zeigt sich, dass der Porenanteil, der mit der gesättigten und der ofentrockenen Masse und dem Stechzylindervolumen errechnet wurde, vor den TV signifikant größer ist als nach den NV (P – Wert: 0,00; s. Abb. 18). Die Durchlässigkeiten von V5 und V6 sind damit übereinstimmend nach den NV kleiner als vor den TV. Dagegen ist die Durchlässigkeit vor dem 1TV kleiner als nach dem 1NV, hier ist trotz größeren Porenanteils vor dem TV eine kleinere Durchlässigkeit vorhanden als nach dem NV.

3.9 Wassergehalt und Wasseranteil

Der Wassergehalt wurde mit drei unterschiedlichen Methoden gemessen: mit Wägung der mit dem Schlagbohrer entnommenen feuchten und ofentrockenen Bodenproben zur Bestimmung des Massenwassergehaltes; mit den Stechzylinderproben, die nach der k - Wert Messung ofentrocken gewogen wurden bzw. mit der errechneten Trockendichte und der angenommenen Feststoffdichte zur Ermittlung des Wasseranteils; mit der TDR - Methode zur Bestimmung des Wasseranteils.

Der **Massenwassergehalt** wurde nach den 3 Bearbeitungsformen und nach dem Zeitpunkt der Messung ausgewertet.

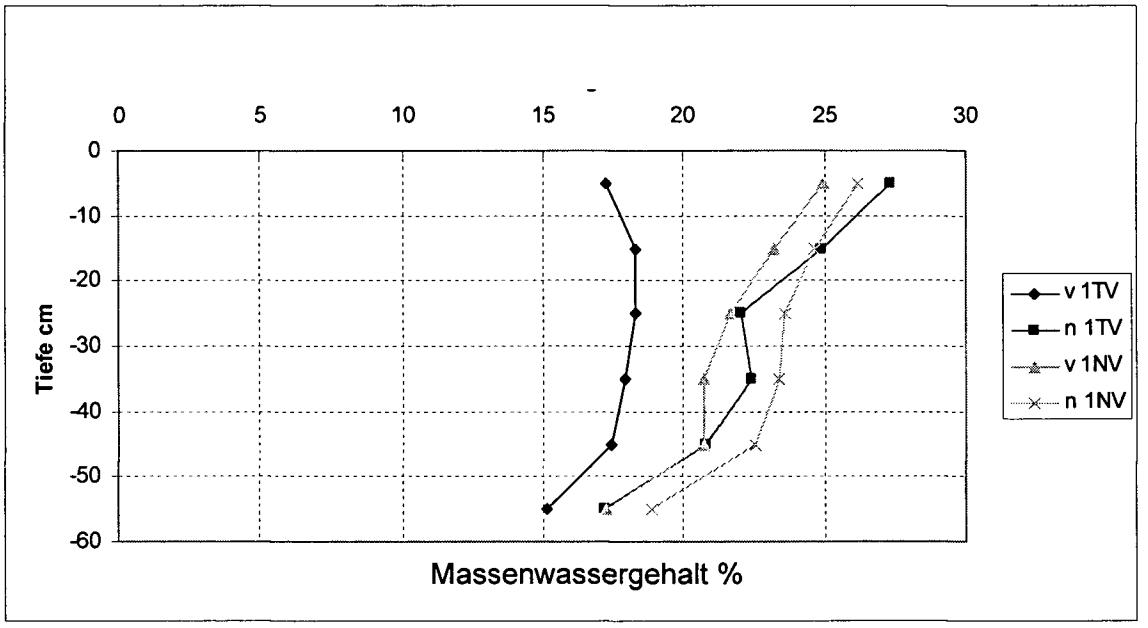


Abb. 19 Massenwassergehalt von V1 über die Tiefe vor und nach jedem Versuch

Der Wassergehalt ist vor dem 1 TV über alle Tiefen am niedrigsten. Nach dem 1 TV erreicht der Wassergehalt an der Bodenoberfläche seinen Höchstwert. Vor dem 1 NV ist der Boden trockener als zuvor und hat nach dem 1 NV unter 20 cm Tiefe die höchsten Werte dieser Versuchsfläche. Steigt der Wassergehalt an der Bodenoberfläche maximal um 10,1 %, so steigt er in 50-60 cm Tiefe nur um 3,8 %. Der Wasserdurchfluss nimmt von oben nach unten ab, da jede Bodentiefe Wasser speichert und nur ein Teil des ankommenden Wassers nach unten versickert.

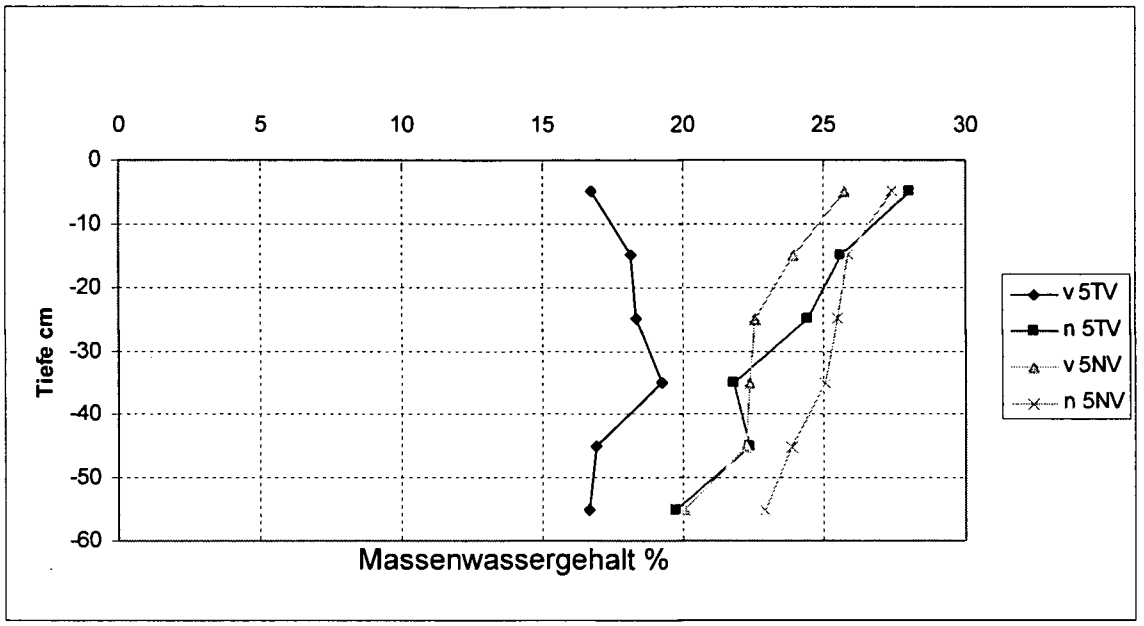


Abb. 20 Massenwassergehalt von V5 über die Tiefe vor und nach jedem Versuch

Beim V5 zeigt sich ein ähnliches Bild wie beim V1, auch hier ist der Wassergehalt an der Bodenoberfläche nach dem 5 TV am höchsten, unter 10 cm ist der Wassergehalt nach dem 5 NV am größten. Hier ist der Abstand vom kleinstem zu größtem Wassergehalt von 0 – 10 cm 11,3 % und in 50-60 cm 6,3 % und damit ähnlich zum V1, allerdings ist der Wassergehalt in 50-60 cm mit 22,9 % deutlich höher als beim V1 mit 18,9 % und der Wassergehaltsrückgang mit zunehmender Bodentiefe ist nicht so stark.

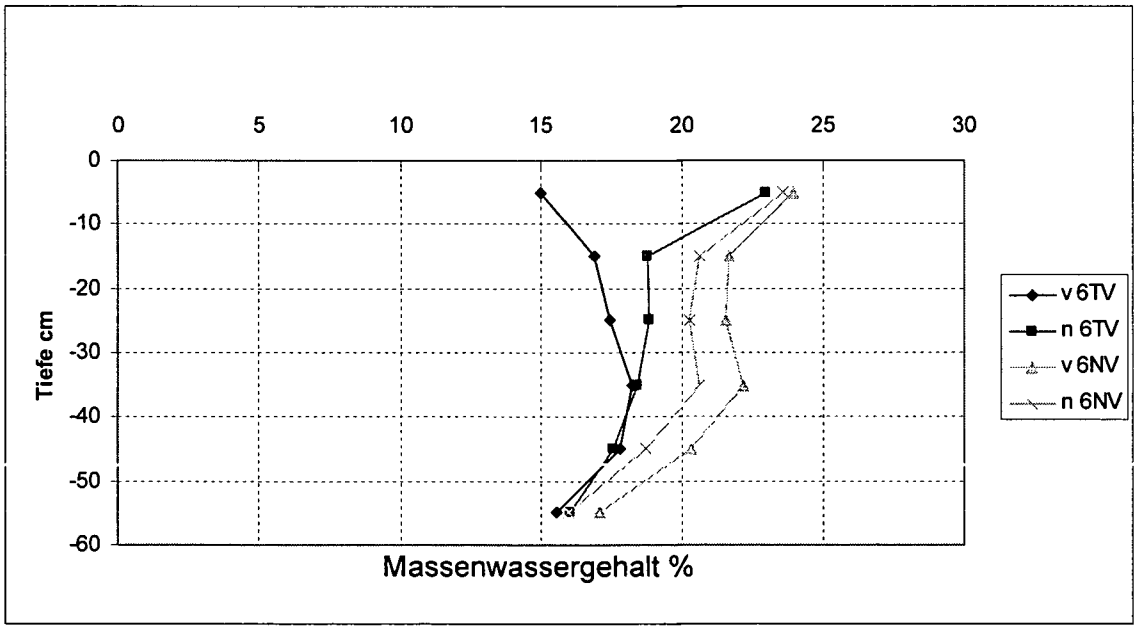


Abb. 21 Massenwassergehalt von V6 über die Tiefe vor und nach jedem Versuch

Der Wassergehalt vom V6 ist vom Anfang an niedriger als bei den anderen beiden Feldern. An der Oberfläche steigt der Wassergehalt um 9,0 %, in 50 – 60 cm um nur 1,5 %. Das Wasser sickert langsamer in größere Tiefen als bei den anderen beiden Feldern und der Abfall des Wassergehaltes ist an der Oberfläche und ab 40 cm Tiefe größer als bei den

anderen Versuchsfeldern (der Wassergehalt nimmt mit der Tiefe schneller ab.) Dabei ist die infiltrierte Wassermenge in Summe beim V6 am größten (s. unten). Der Massenwassergehalt vor den TV ist bei den 3 Versuchsfeldern über alle Tiefen am niedrigsten (außer V6, 40-50 cm Tiefe). Mit zunehmender Tiefe wird die Differenz der vor den TV gemessenen Wassergehalte zu den später gemessenen Werten am gleichen Feld kleiner, es sickert also immer weniger Wasser von einer Bodenschicht zur nächsten. Man kann erkennen, dass vor jedem TV der Wassergehalt von 0-10 cm niedriger ist als in mittlerer Tiefe und darunter wieder kleiner wird. Das deutet auf die Verdunstung von der Bodenoberfläche hin, da die Pflanzen schon abgeerntet waren (und deshalb keine Transpiration mehr stattfand) und der letzte Niederschlag ein knappes Monat zurücklag. Dass der Wassergehalt bis in 60cm Tiefe abnimmt, kann mit einer veränderten Korngrößenverteilung (weniger Grobporen) zusammenhängen, was z.B. durch die Verdichtung der Bearbeitungsmaschinen, aber auch durch das Zusammendrücken aufgrund der Bodenauflast erklärt werden kann.

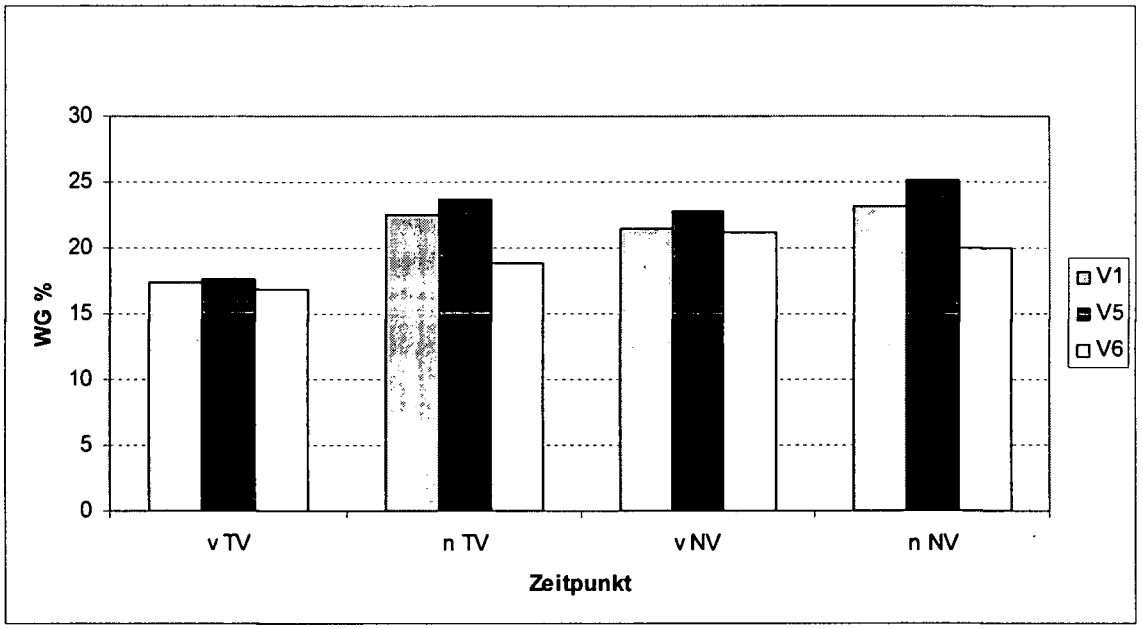


Abb. 22 Massenwassergehalt vor und nach den Versuchen aller Versuchsfelder

Abb. 22 zeigt die Mittelwerte der Messungen von allen Tiefen vor und nach jedem Beregnungsversuch. V6 hat im Vergleich zu den anderen Feldern immer die niedrigsten Wassergehalte und V5 die höchsten. Nimmt man den Mittelwert aller Messungen einer Bearbeitungsform, so ist er bei V6 am niedrigsten (19,2 %), gefolgt von V1 (21,1 %) und V5 (22,3 %). Nicht zu erklären ist, wieso der Mittelwert der Wassergehalte vor dem 6NV höher ist als nach dem 6NV.

Der mit dem **TDR** gemessene Wassergehalt ist auf das Bodenvolumen bezogen, er wird als **Wasseranteil** bezeichnet. Die Messungen wurden auf jedem Versuchsfeld nach dem NV vorgenommen, bei V1 und V5 mit 30 cm langen Messstäben und bei V6 mit 15 cm langen Messstäben, die Ergebnisse sind also nur bedingt vergleichbar. Der Wassergehalt der 15 cm langen Messstäbe müsste eigentlich größer sein, da er mit der Tiefe abnimmt, er ist bei V6

aber deutlich kleiner als bei V1 und V5, die Differenz muss bei gleichen Messstäben also noch größer sein. Statistisch sind der Wasseranteil von V6 signifikant kleiner als V1 und V5.

Tab. 14 Wasseranteil (TDR)

	m (%)	s
nach 1NV	33,9	2,7
nach 5NV	33,2	1,9
nach 6NV	28,1	2,1

Der Wasseranteil wurde auch aus den **Stechzylinderproben** (0-5 cm Tiefe) ermittelt. Die Ergebnisse dieser Methode sind verglichen mit den anderen beiden am größten. Der Wasseranteil v5TV ist signifikant größer als v6TV. Nach den NV sind die Werte von V1 signifikant kleiner als V5 und V6. Allerdings ist bei n6NV ein sehr hoher Wert berücksichtigt (55,4 %), ohne den der Mittelwert bei 40,0 % läge. Abb. unten zeigt diese Wasseranteile, die mit dem Massenwassergehalt von 0-10 cm und der Trockendichte ausgerechneten Wasseranteile und die TDR – Werte(aus 0 – 15 bzw. 0 - 30 cm Tiefe). Bis auf die TDR – Messungen hat V5 die höchsten, V6 die niedrigsten Wasseranteile. Die errechneten Werte der Massenwassergehalte liegen immer unter den Werten der Stechzylinderproben. Bei V1 und V5 um etwa 12 %, bei V6 um 20%. Die TDR – Werte sind am niedrigsten, es misst aber auch am tiefsten (bis 30 cm).

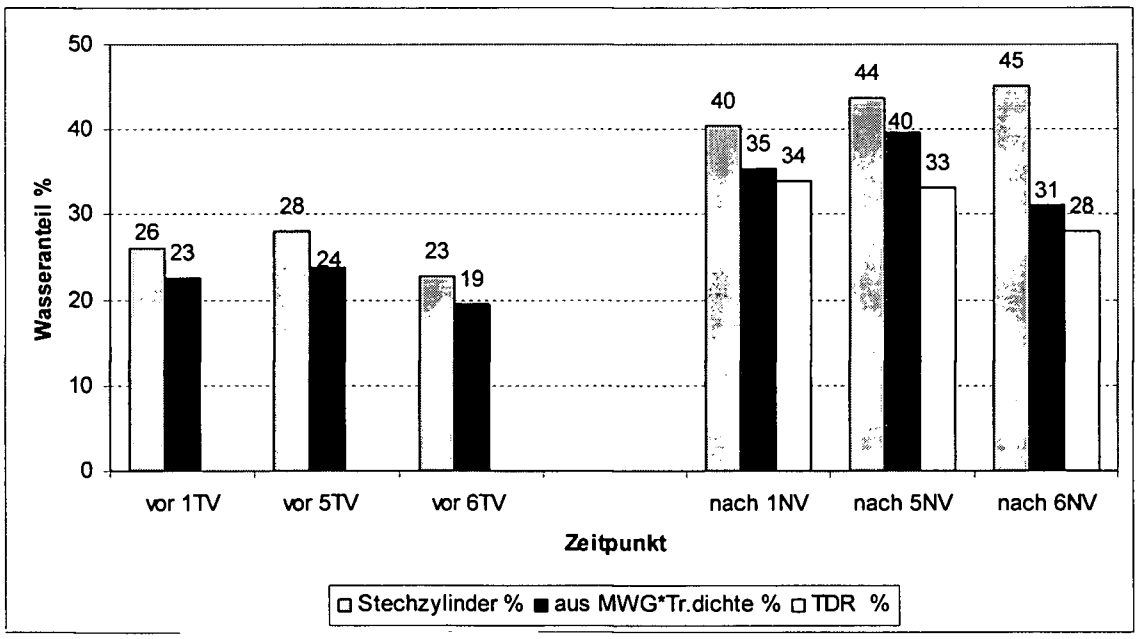


Abb. 23 Wasseranteil: Vergleich der Meßmethoden

3.10 Aggregatstabilität

Diese wurde von jeder der 3 Bodenproben 6 mal ermittelt und Mittelwert und Standardabweichung errechnet. Die konventionelle Bearbeitungsform hat die größte Aggregatstabilität, gefolgt von der konservierenden und der Direktsaat, die Aggregatstabilität nimmt also mit zunehmender Bearbeitungsintensität zu. Das deckt sich mit früheren Untersuchungen (Bauer, 2001). Die Werte sind allerdings sehr niedrig verglichen mit

früheren Untersuchungen am selben Ort, eventuell aufgrund die Schwankungen der Aggregatstabilität im Laufe der Vegetationsperiode. Die Unterschiede sind statistisch signifikant, auch noch bei einem Signifikanzniveau von 0,001.

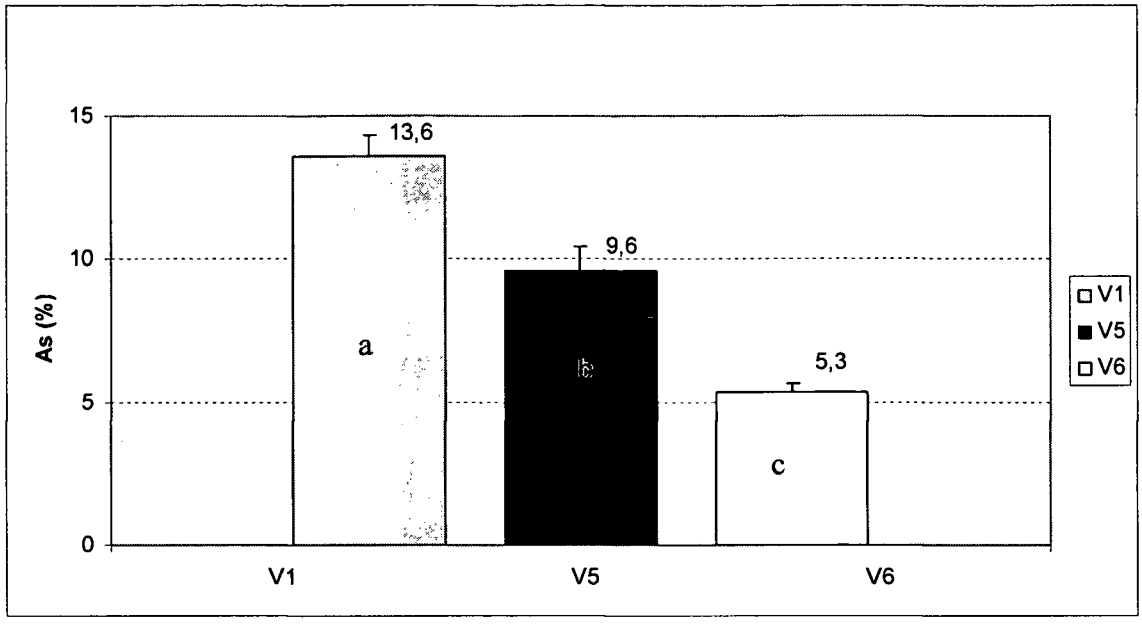


Abb. 24 Aggregatstabilität der 3 Versuchsfelder (mit. Standardabweichung), alle 3 Felder unterscheiden sich signifikant voneinander (a,b,c Signifikanzniveau $p < 0,05$))

3.11 Korngrößenanalyse

Die Korngrößenanalyse wurde von Bodenproben jeder Bearbeitungsform und vom erodierten Boden jedes Trockenversuchs gemessen, und zwar von einer Mischprobe des erodierten Materials der ersten 30 Minuten. Bei den Nassversuchen wurde nicht genug Bodenmaterial für eine Korngrößenanalyse erodiert.

Die Korngröße hat Einfluss auf das Porenvolumen, das im allgemeinen mit abnehmender Korngröße zunimmt, weiters auf die Durchlässigkeit bzw. Wasserleitfähigkeit...

Die gemessene Bodenart entspricht der in der digitalen Bodenkarte Österreichs (s. Einleitung) angegebenen, es handelt sich um einen schluffigen Lehm (uL), nach ÖN L 1050 (1992) liegt ein toniger Schluff vor (S, t). Die Ergebnisse vom Boden und vom erodierten Material sind jeweils in einem Diagramm dargestellt. Die Kurven des erodierten Materials liegen leicht über denen der Bodenproben bei sonst ähnlichem Verlauf. Das bedeutet dass die kleineren Korngrößen häufiger vorkommen als die größeren und dass alle Korngrößen erodiert werden, die Korngrößen größer als Mittelsand aber zu sehr kleinen Anteilen.

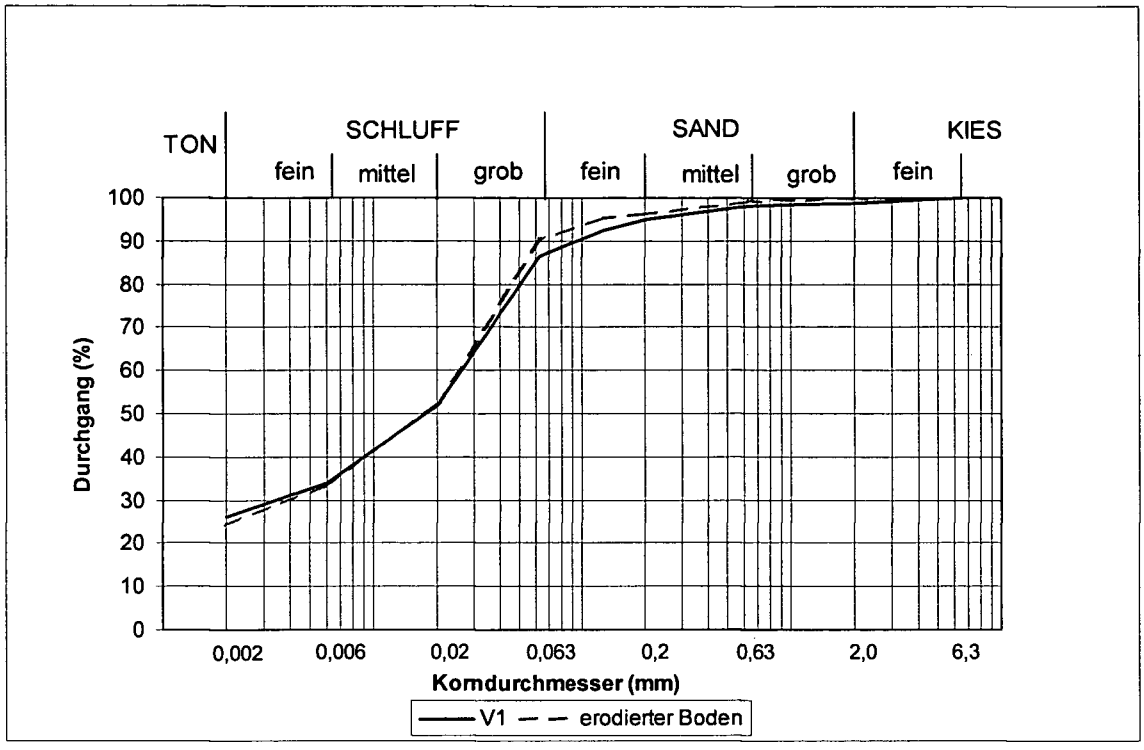


Abb. 25 Korngrößenverteilung der Bodenprobe und des erodierten Materials von V1

Bei V1 (Abb. 25) unterscheiden sich die Korngrößen beim Grobschluff, der erodierte Boden hat hier höhere Anteile; beim erodierten Boden bilden die Korngrößen größer als 0,63 mm (Grobsand und größer) einen Massenprozent, bei der Feldprobe zwei. Der Tongehalt ist beim erodierten Material etwas kleiner als bei der Feldprobe.

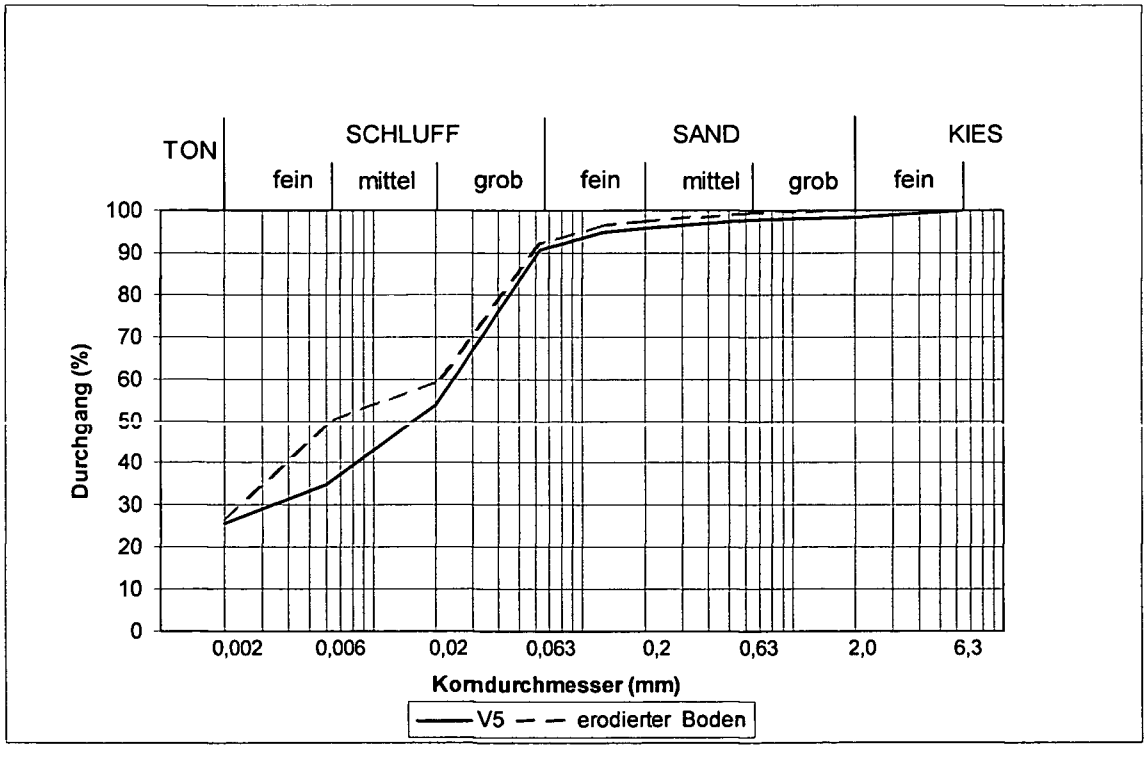


Abb. 26 Korngrößenverteilung der Bodenprobe und des erodierten Materials von V5

Bei V5 (Abb. 26) enthält der erodierte Boden mehr Feinschluff, dafür weniger Mittelschluff. Die übrige Kurve verläuft parallel, d.h. die Anteile der Fraktionen sind bis auf die größten Fraktionen gleich groß.

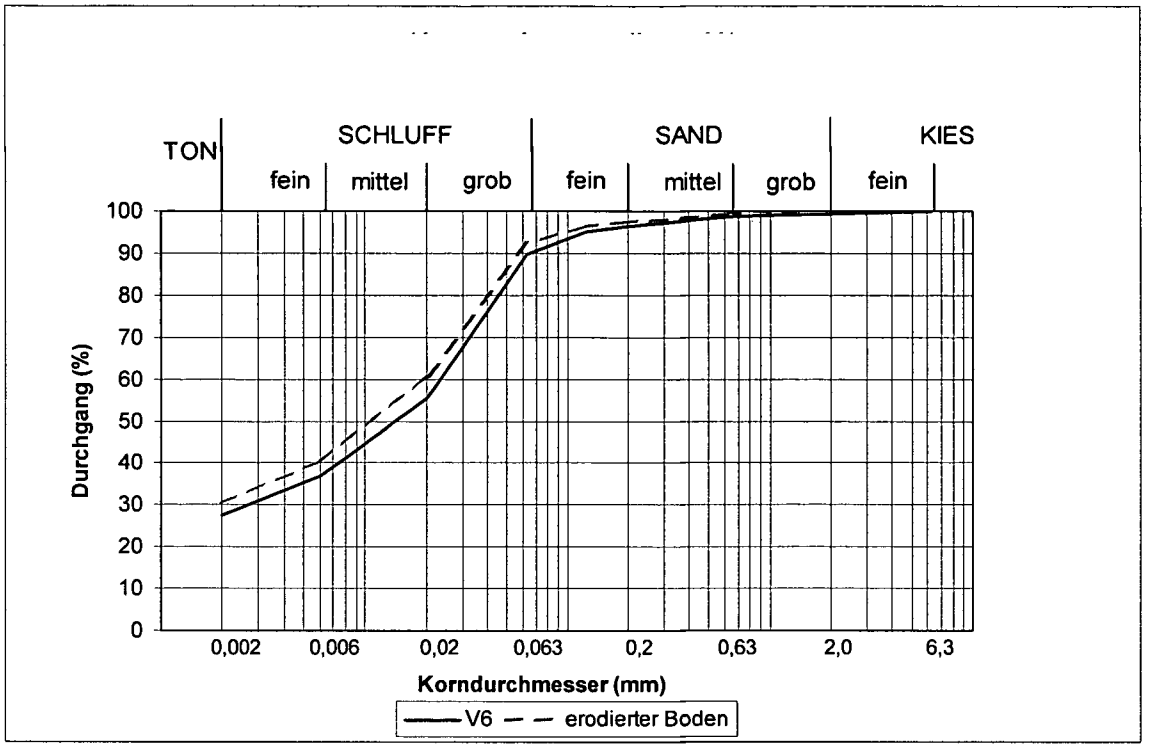


Abb. 27 Korngrößenverteilung der Bodenprobe und des erodierten Materials von V6

Bei V6 (Abb. 27) sind die Kurven annähernd parallel, was bedeutet dass der Tonanteil beim erodierten Material größer und der Grobsandanteil kleiner ist als bei der Bodenprobe. Abb. 28 unten vergleicht die Bodenproben der 3 Bearbeitungsvarianten.

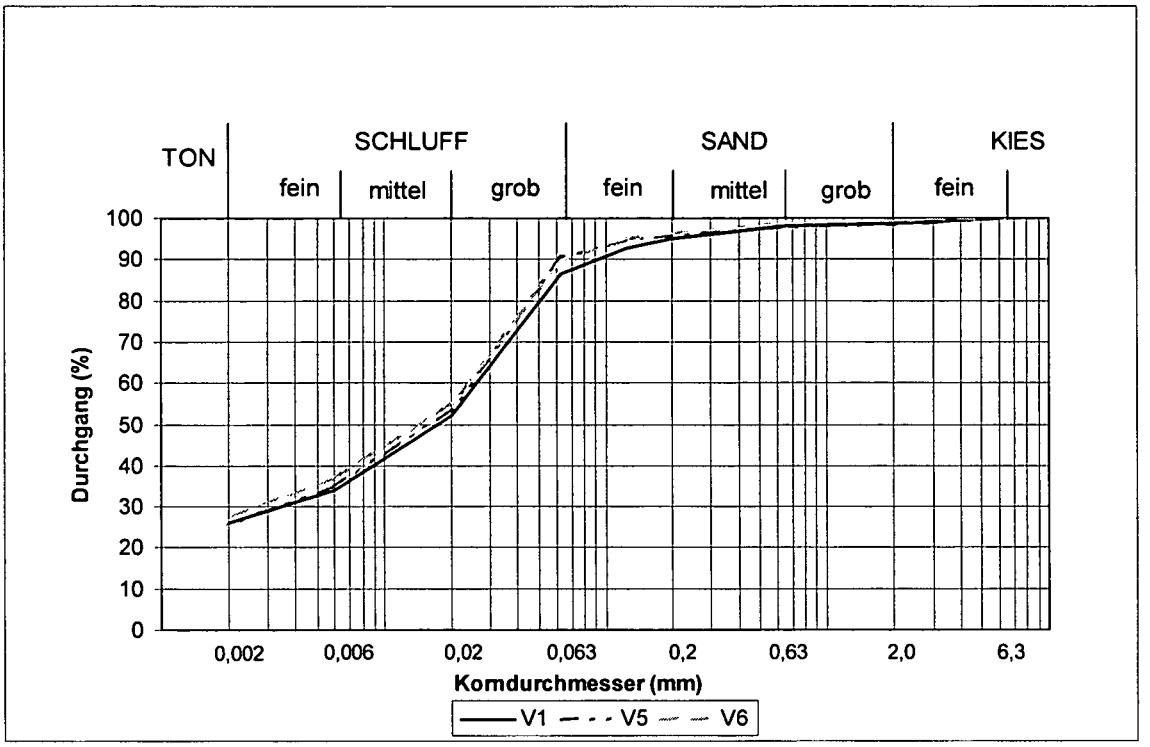


Abb. 28 Korngrößenverteilung der Bodenproben der 3 Versuchsfelder

Die Korngrößenverteilungen des erodierten Bodens der 3 Varianten unterscheiden sich besonders beim Feinschluff (0,006-0,002 mm) voneinander: Der Anteil bei 1TV und 6TV liegt bei etwa 10 %, bei 5TV sind es 23%. Der Anteil der größeren Korngrößen ist bei 5TV größer als bei den anderen beiden.

Tab. 15 Sand-, Schluff- und Tonanteile von Boden und Sediment am Feinboden

	Boden V1	Boden V5	Boden V6	Sediment V1	Sediment V5	Sediment V6
Sandanteil (%)	12	8	10	10	8	7
Schluffanteil (%)	59	66	62	66	67	62
Tonanteil (%)	29	26	28	24	25	30

3.12 Chemische Analyse des Wassers

Es wurden das oberflächlich abgeronnene Wasser und das Beregnungswasser untersucht. Die Ergebnisse werden zuerst in Zeitdiagrammen dargestellt und dann in Abhängigkeit von Bearbeitungsform und Stoffen in Konzentrationen und Mengen.

Die Konzentration des anorganischen Stickstoffs ist die Summe der Stickstoffkonzentrationen von Nitrat, Nitrit und Ammonium.

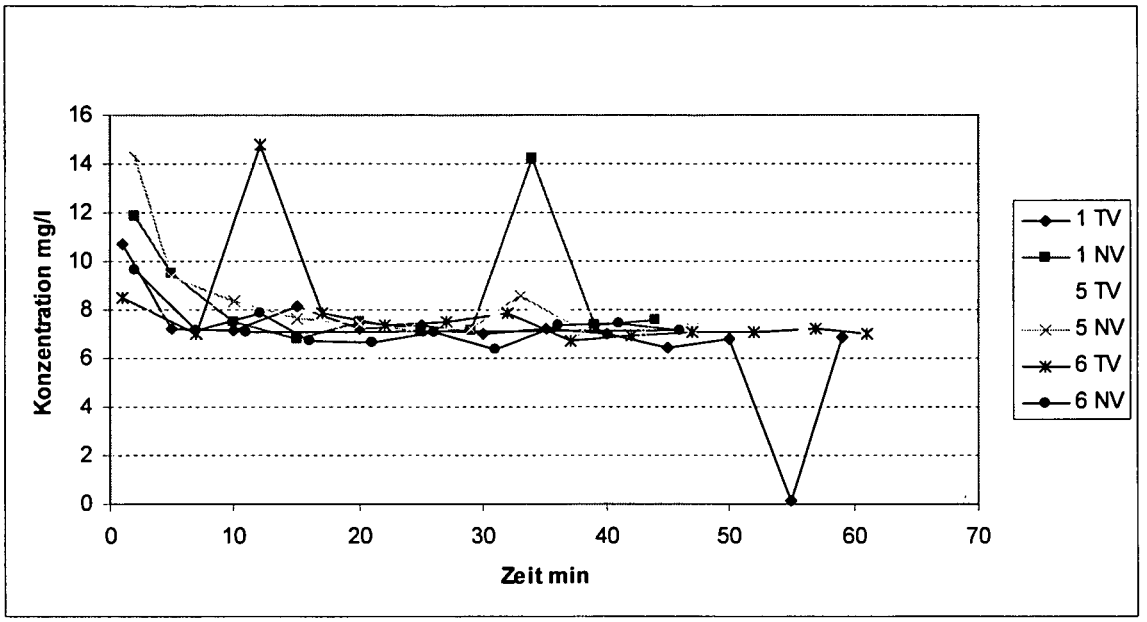


Abb. 29 N anorg: Verlauf der Konzentrationen des abgelaufenen Wassers

Der anorganische Stickstoff (Abb. 29) zeigt bei allen 6 Versuchen zuerst eine in den ersten Minuten abnehmende Konzentration und dann eine Stabilisierung auf 6 – 8 mg/l . Der Mittelwert der 3 Proben aus den Beregnungstanks ist 6,92 mg/l, nach den anfänglich höheren Werten entspricht das etwa der Konzentration im aufgefangenem Abfluss. Daraus kann man schließen, dass vom Boden nur in den Anfangsminuten anorganischer Stickstoff ans oberflächlich abfließende Wasser abgegeben wird. Den höchsten Anfangswert hat 5NV mit 14,28 mg/l, den kleinsten 5TV mit 7,78 mg/l. Der Mittelwert aller Werte der ersten 5 Minuten ist mit 9,87 mg/l um 27 % höher als jener aller Messungen. Die 3 auffälligen Zacken von 1TV, 1NV und 6TV sind möglicherweise Fehlmessungen, wurden aber aus der Berechnung nicht herausgenommen.

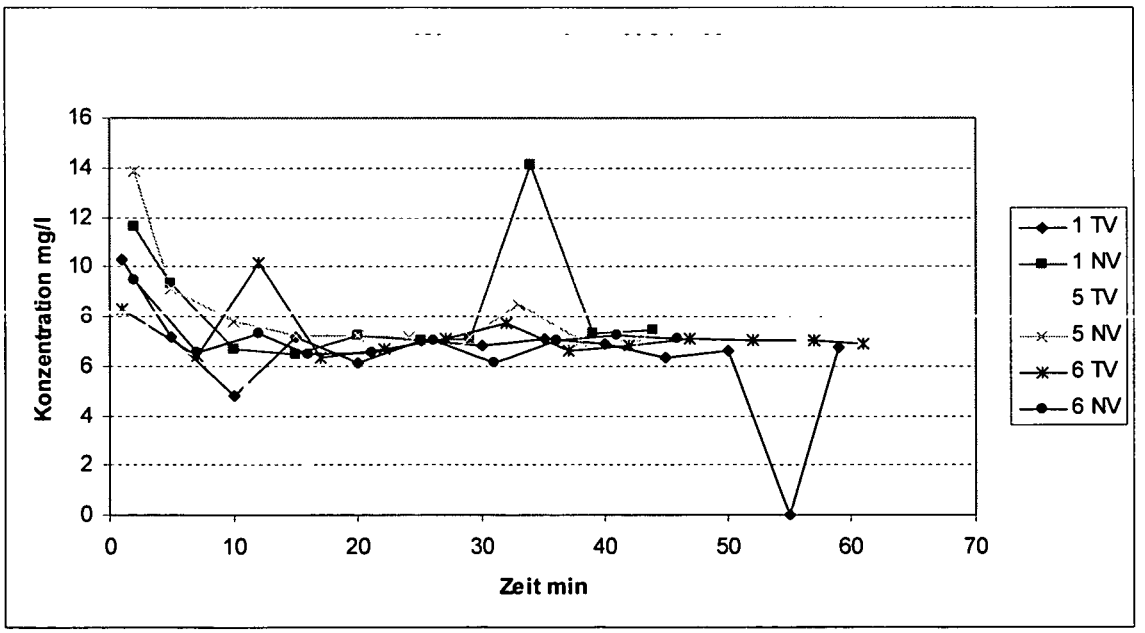


Abb. 30 NO3 - N: Verlauf der Konzentrationen des abgelaufenen Wassers

Beim NO3 – N sieht man ein ähnliches Bild wie beim anorganischen N. Anfänglich höhere Werte pendeln sich nach etwa 10 min auf ein konstantes Niveau (6 – 8 mg/l) ein. Die Werte sind etwa gleich groß wie beim anorganischen N, dieser besteht also zum Großteil aus NO3. Das Mittel des Beregnungswassers ist 6,85 mg NO3 - N/l, was wieder etwa das Niveau des Abflusses nach 10 min entspricht. Man sieht auch, dass der erste ungewöhnliche Ausschlag (6TV) aus Abb. 30 nur zum Teil aus NO3 besteht (10,2 mg/l, 4 mg/l kommen vom NO2) und daher wahrscheinlich kein Messfehler ist.

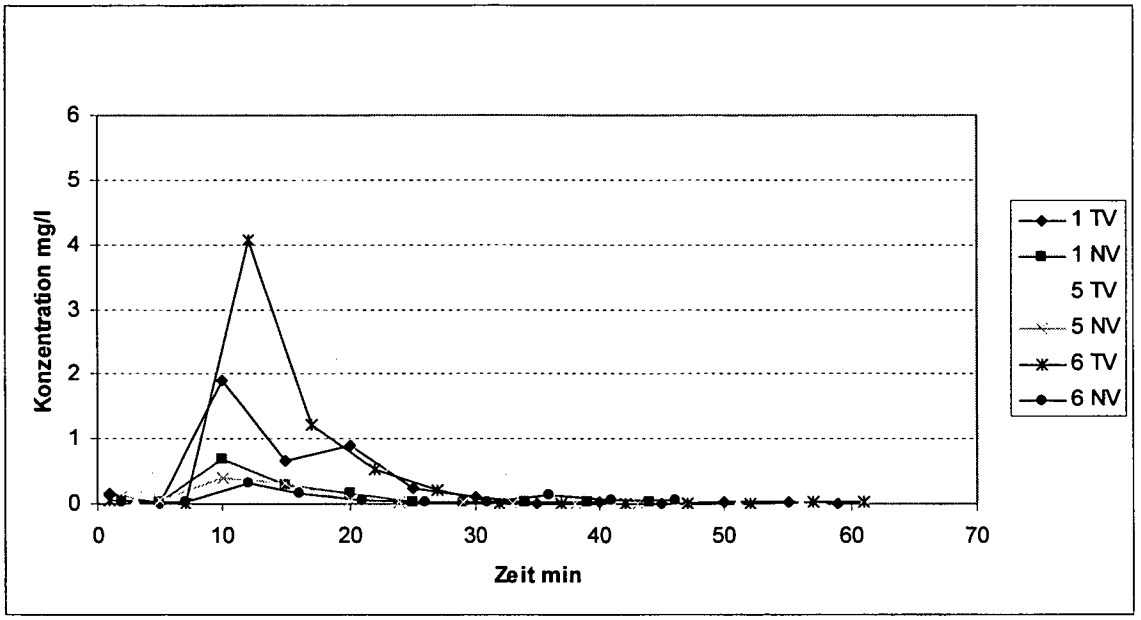


Abb. 31 NO2 - N: Verlauf der Konzentrationen des abgelaufenen Wassers

Der Verlauf der NO2 – N Konzentration unterscheidet sich von den vorherigen (N anorg und NO3), alle Versuche haben einen sehr kleinen Anfangswert, erreichen bei min 5 bis 20 ihr Maximum und sinken ab min 40 auf unter 0,05 mg/l ab. Die TV haben in dieser Zeit (min 5 - 20) einen Mittelwert von 1,90 mg/l und sind etwa dreimal so hoch wie die NV mit 0,66 mg/l. Im Beregnungswasser war kein Nitrit vorhanden, es wurde also alles vom Boden aufgenommen und mit dem Wasser abtransportiert.

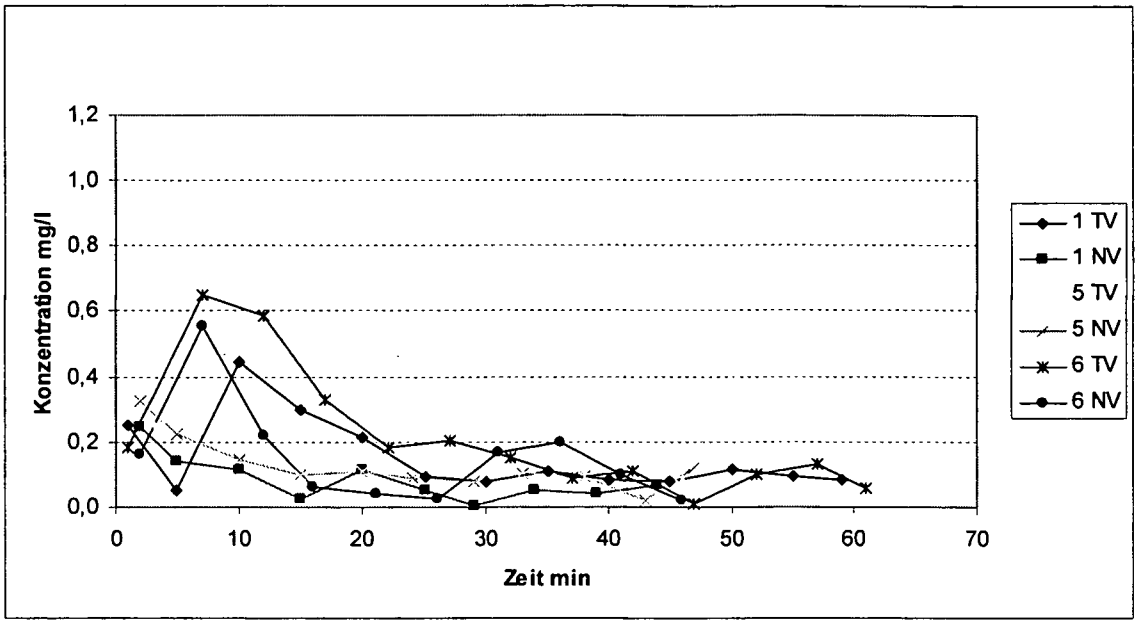


Abb. 32 NH4 - N: Verlauf der Konzentrationen des abgelaufenen Wassers

Der Ammonium – Stickstoff zeigt im Verlauf am Anfang höhere Werte, allerdings auf sehr niedrigem Niveau. Das Mittel der 3 Beregnungsproben ist 0,07 mg/l, der Ablauf hat eine schwach höhere Konzentration.

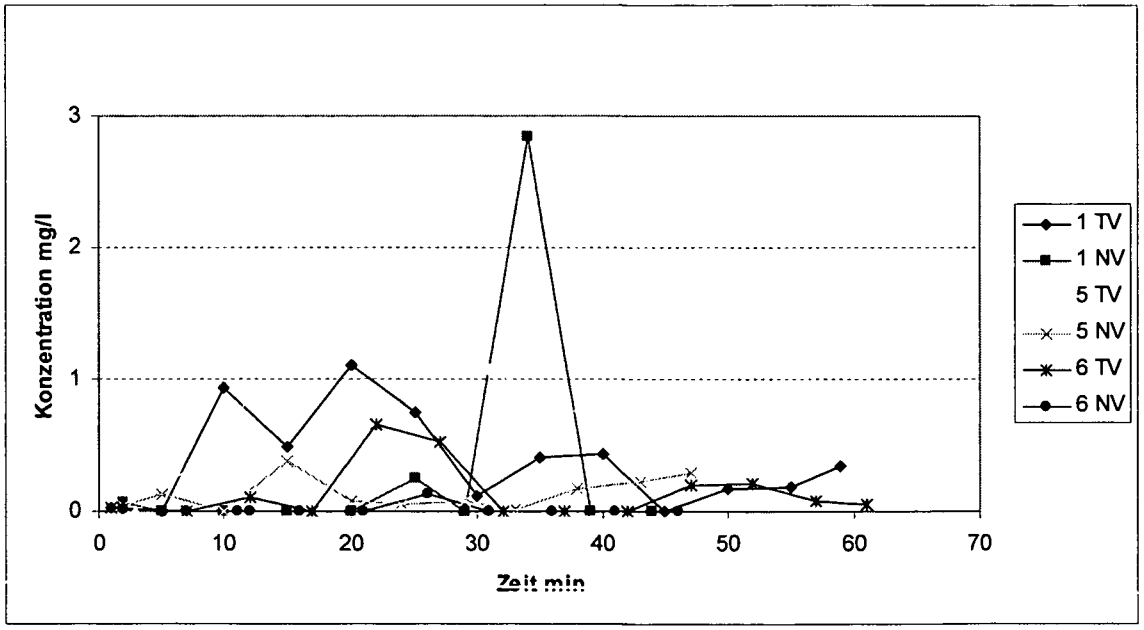


Abb. 33 PO4 - P: Verlauf der Konzentrationen des abgelaufenen Wassers

Der Verlauf der PO4-P Konzentrationen zeigt den Unterschied zwischen den TV und den NV, die deutlich kleinere Spitzenwerte aufweisen als die TV (ausgenommen die Spitze von 1NV bei min 34). Die Mittelwerte der 3 Beregnungswasserproben ist 0.

In Abb. 34 sieht man die Mittelwerte der Konzentrationen aller Messungen einer Bearbeitungsform der 4 untersuchten Stoffe plus N anorg als Summe der 3 Stickstoffkonzentrationen.

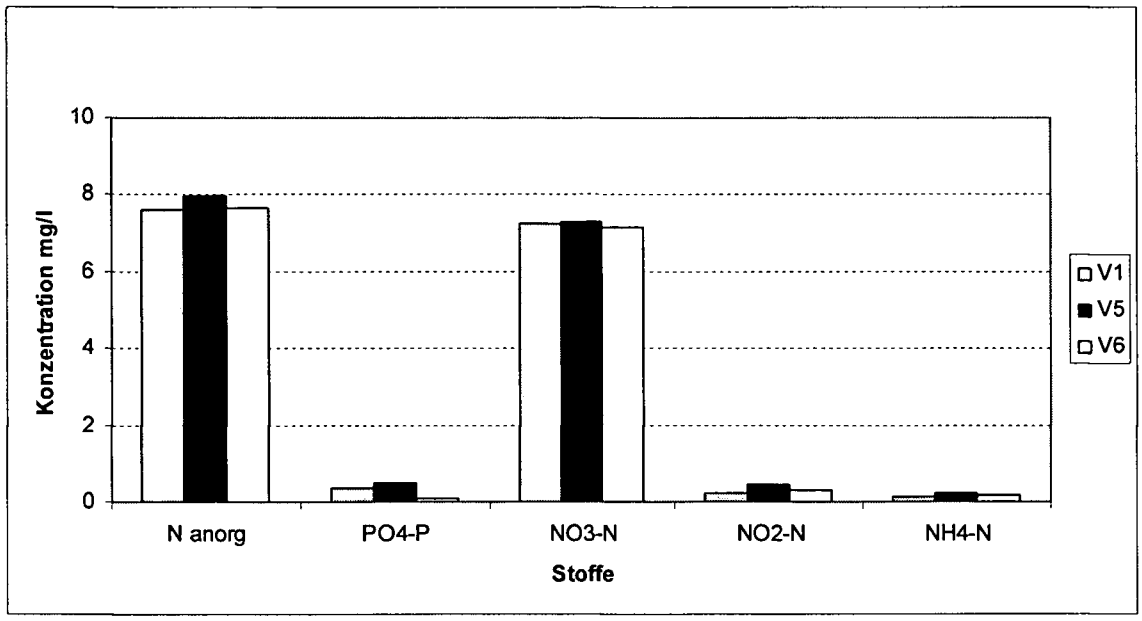


Abb. 34 Wasseranalyse: Mittelwerte der Konzentrationen

V5 hat bei allen Stoffen die höchsten Werte. Der größte Unterschied der Bearbeitungsformen ist bei PO4 festzustellen, wobei V6 mit 0,09 mg/l den kleinsten Wert aufweist, gefolgt von V1 mit 0,35 mg/l (=V6*3,9) und V5 mit 0,50 mg/l (=V6*5,6), wobei im Beregnungswasser aller 3 Versuchsfelder kein PO4 enthalten war. Beim NO2-N liegt V5 um das 1,5-fache über V6 und das 1,9-fache über V1, beim NH4-N liegt V5 um 21 % über V6 und um 50 % über V1.

Abb. 35 zeigt die Konzentrationen der Versuche ohne NO3 und N anorg, da diese mindestens die 10-fachen Konzentrationen aufweisen und die Grafik dominieren würden. Der 5TV weist die höchsten Werte auf; V6 hat die kleinsten PO4-P Konzentrationen, bei V6 sind diese auch die niedriger als die anderen Stoffe, bei den anderen Versuchen sind die PO4-P Konzentrationen größer als die Konzentrationen der anderen Stoffe am selben Feld. Die NO3-N Konzentrationen bewegen sich zwischen 6,4 und 8,4 mg/l, wobei die NV bei V1 und V5 die größeren Werte aufweisen, bei V6 sind die Konzentrationen von TV und NV gleich groß (7,2 mg/l).

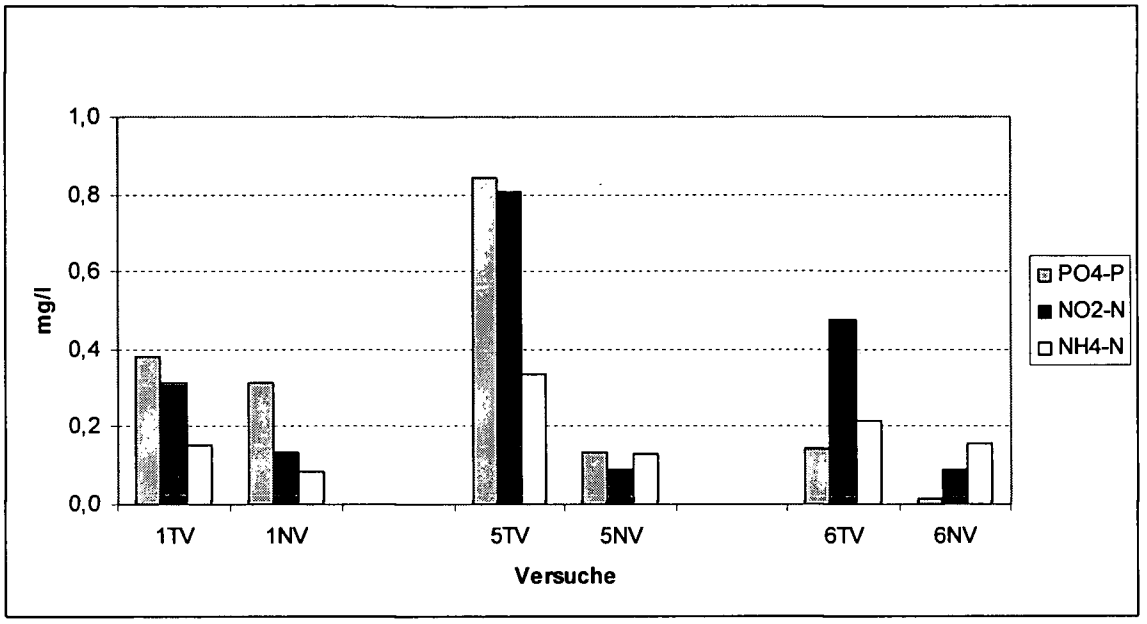


Abb. 35 Wasseranalyse: Konzentrationen der einzelnen Versuche

Die Gesamtmengen der abgespülten Stoffe in Gramm sind bei V5 am größten, gefolgt von V1 und V6 (Abb. 36). Die N ges - Konzentration im Boden von V1 ist aber um 10 % höher als bei V5 und beim PO4-P haben V1 und V5 die gleichen Werte. Das kann bedeuten, dass die Verteilung von anorganischem und organischen N unterschiedlich ist, also dass V5 mehr anorganischen N enthält als V1, obwohl V1 mehr Gesamtstickstoff aufweist, es ist das aber auch aufgrund der größeren Beregnungsmenge von V5 gegenüber V1 (-10%) und der dabei höheren Konzentration von N anorg im Beregnungswasser von V5 zu erklären.

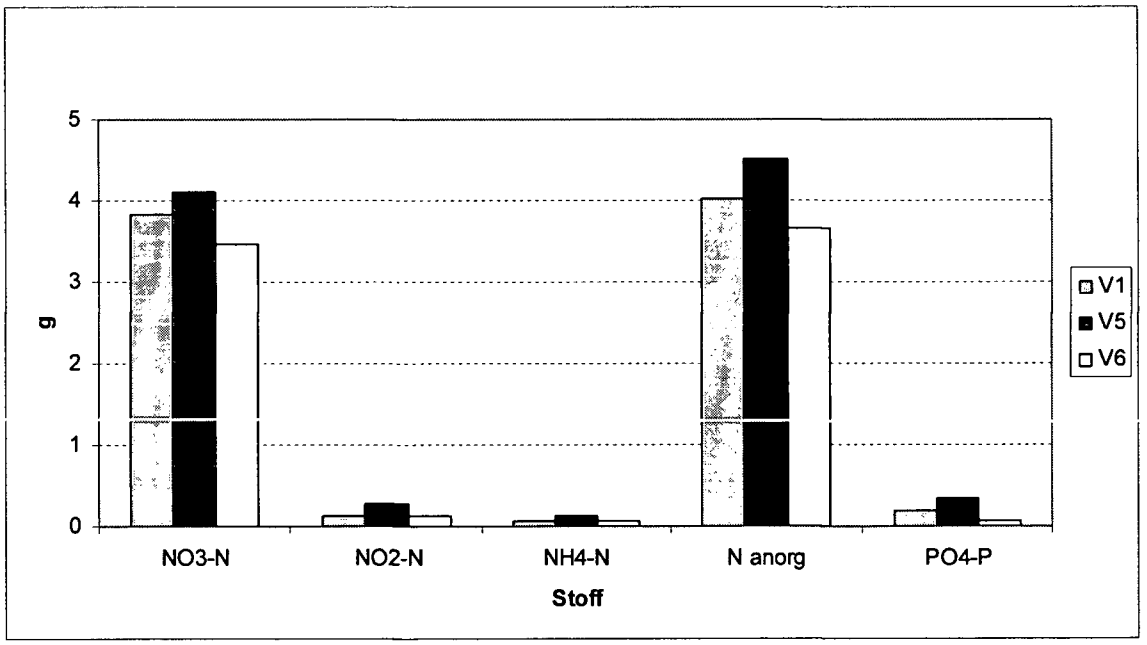


Abb. 36 Wasseranalyse: Mengen der ausgewaschenen Stoffe

Der Niederschlag der TV beträgt im Schnitt 56,9 mm und der NV 27,6 mm (TV –51 %). Die TV haben bei allen Stoffen höhere Verluste, die beim NO2-N, NH4-N und beim PO4-P größer sind als aufgrund der Niederschlagsdifferenz der TV gegenüber den NV zu erwarten

wäre: Die Werte der NV betragen bei diesen -80 %, -66 % und –77 % der jeweiligen TV. Das scheint mit der Dauer des intensivsten Niederschlags (60 mm/h sind bei den NV um 75% kürzer als bei den TV) zusammenzuhängen. Vielleicht wurden durch die TV die am leichtesten auswaschbaren Stoffe schon ausgewaschen und bei den NV daher in der obersten Bodenschicht nur mehr geringere Mengen im Boden vorhanden. Anders ist es beim N anorg (und NO3), bei dem der Abstand der TV-Werte zu den NV-Werten nur 18 % (bzw. 12%) beträgt.

Tab. 16 Wasseranalyse: Stoffmengen der TV und der NV

	NO3-N g	NO2-N g	NH4-N g	N anorg g	PO4-P g
TV	174,82	11,67	5,51	192,00	13,31
NV	153,95	2,36	1,87	158,17	3,02

Im Folgenden sind von den Konzentrationen und Mengen des Ablaufs jene des Zulaufs abgezogen, um die Bilanz der Nährstoffe darzustellen. Die Konzentrationen wurden nicht von den Messergebnissen genommen und gemittelt, da die Konzentrationen am Beginn jedes Versuches am größten waren, die dazugehörenden Abflüsse aber noch sehr klein und dadurch durch das arithmetische Mittel eine Verzerrung bringen würde, sondern aus den abgelaufenen Wassermengen von 5 Minuten mit den dazugehörenden Stoffmengen errechnet. Die meisten Werte sind positiv. Positiv bedeutet, dass die Konzentration des Ablaufs größer ist als die des Zulaufs. In Abb. 37 sieht man, dass die Nettokonzentrationen aller Stoffe bei V5 am größten sind. Bei V1 (NH4-N) und V6 (NO3-N) sind die Konzentrationen negativ, das bedeutet dass sie im Beregnungswasser höher sind als im Ablauf, der Boden nimmt also mehr N auf als er an das Wasser abgibt. Bei allen anderen Fällen gibt der Boden mehr ab als er aufnimmt. Dies stimmt mit der Zunahme der elektrischen Leitfähigkeit des abgeflossenen Wassers verglichen mit dem Beregnungswasser überein. Interessant ist auch, dass PO4-P so große Werte aufweist, bei V1 hat es sogar die höchste Konzentration. Die größten Anteile am N anorg stammen hier nicht vom NO3-N, sondern von den beiden anderen N-Formen. Die NO3-N Konzentration des Beregnungswassers und des Ablaufs sind etwa gleich hoch (ca. 6.6 mg/l). Da Regen nicht so große Nährstofffrachten mit sich führt, kann man aus diesem Anstieg der meisten Konzentrationen durch die Überströmung des Bodens annehmen, dass auch bei abfließendem Regenwasser Nährstoffe aus dem Boden gelöst und abtransportiert werden.

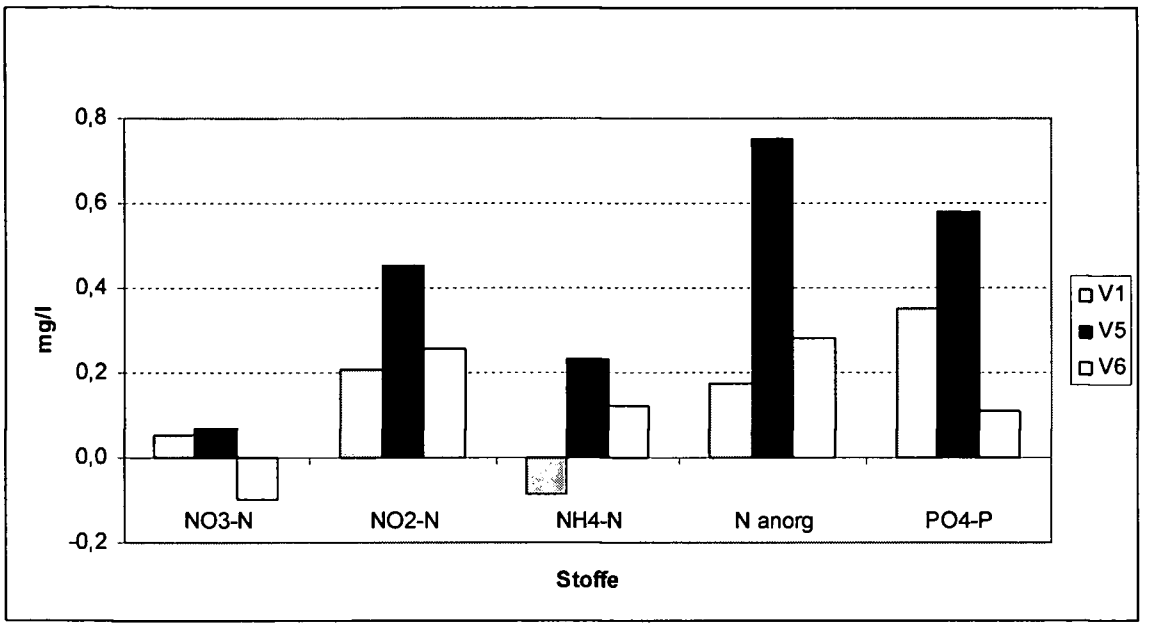


Abb. 37 Wasseranalyse: Zuwachs der Konzentrationen durch den Bodenkontakt

Betrachtet man dieselbe Abbildung mit den Versuchen (Abb. 38), so sieht man ein komplizierteres Bild: Die TV haben immer höhere Werte, bis auf NO3-N (bei V1 und V5) und N anorg (bei V1). Von einer Düngung (Stoffzufuhr) kann man aber bei den negativen Werten noch nicht sprechen, da einerseits mit dem Wasser auch Boden abgetragen wurde, der wiederum Nährstoffe mittransportiert hat, andererseits die abgeflossenen Wassermengen pro Versuchsfeld mindestens um die Hälfte kleiner sind als die aufgebrachten. (Mehr dazu siehe unten). Die Mittelwerte der Konzentrationen beider Versuche eines Versuchsfeldes sind nicht gleich der Konzentration des Versuchsfeldes, da der Ablauf beim TV größer ist und die Konzentration des TV daher durch die Gewichtung nach dem Ablauf stärker zählt.

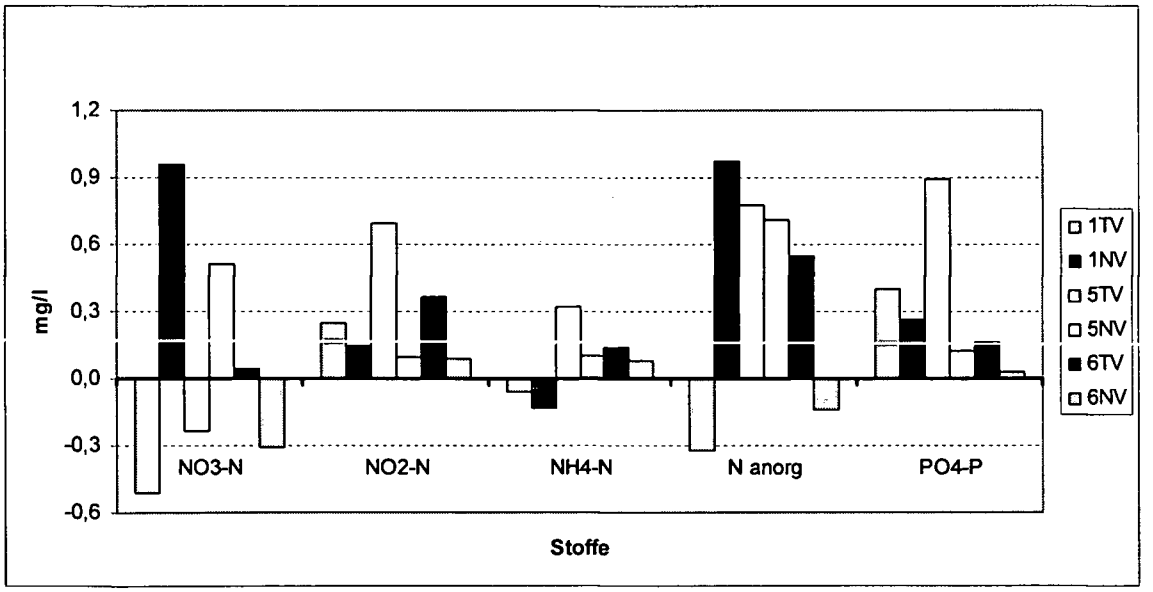


Abb. 38 Wasseranalyse: Zuwachs der Konzentrationen der Versuche durch den Bodenkontakt

Abb. 39 zeigt die Bilanz der Stoffmengen des Ablaufs und des Zulaufs jedes Versuchsfeldes. Positive Werte bedeuten, dass durch die Beregnung mehr gelöste Stoffe

abgewaschen als auf das Feld aufgebracht werden (NO2, NH4 bis auf V1 und PO4-P). Die Verluste bei PO4-P. NO2-N und NH4-N erklären sich daraus, dass diese nicht oder minimal (NH4-N) im Beregnungswasser vorhanden sind. Die großen negativen Werte von NO3-N und N anorg ergeben sich daraus, dass die Zulauf- und Ablaufkonzentrationen etwa gleich bleiben, durch die Infiltration aber etwa die Hälfte des aufgebrachten Wassers mit den gelösten Stoffen in den Boden infiltriert und damit nicht abläuft.

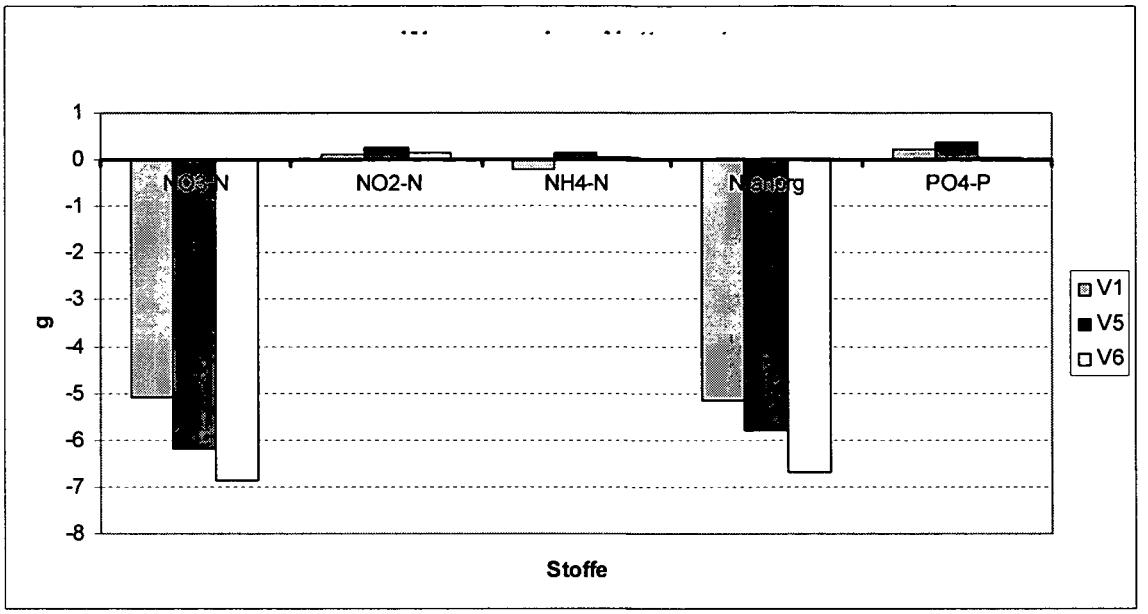


Abb. 39 Bilanz der aufs Feld aufgebrachten und der abgelaufenen Stoffmengen

Der Anstieg der Konzentrationen der Nährstoffe durch den Bodenkontakt wird mehr als kompensiert durch die Differenz von aufgebrachtem und abgeflossenem Wasser. Abb. 40 zeigt die erodierten Stoffmengen, die sich aus der Zunahme der Konzentrationen durch den Bodenkontakt und der abgeflossenen Wassermenge ergeben. Damit wird am genauesten angegeben, wie groß die erodierten Stoffmengen bei natürlichem Regen wären.

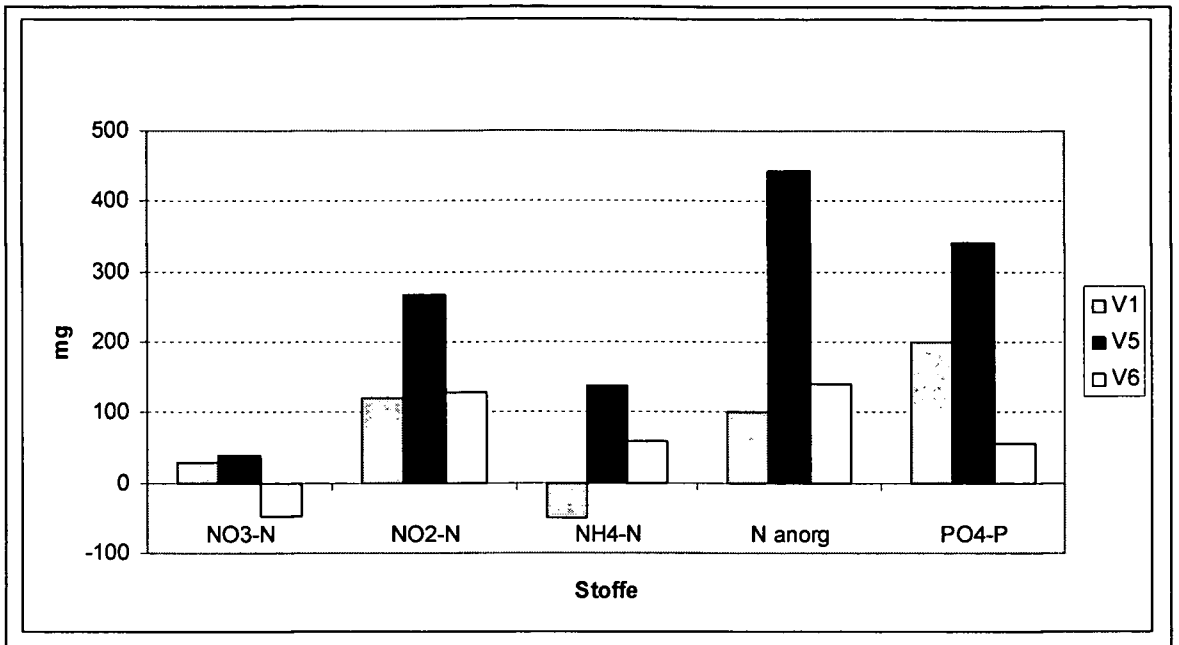


Abb. 40 Wasseranalyse: Mengen der abgeflossenen Stoffe, errechnet aus der Zunahme der Konzentrationen durch den Bodenkontakt und der angeflossenen Wassermenge

3.13 Chemische Analyse des Bodens

Der abgeschwemmte Boden und die Bodenproben aus den 3 Bearbeitungsfeldern wurden auf Gesamtstickstoff, Gesamtkohlenstoff und anorganischen Kohlenstoff und auf Phosphor untersucht. Die Werte sind in Prozent der Trockenmasse angegeben. Der organische Kohlenstoff wurde aus der Differenz von gesamtem und anorganischem C errechnet. Untenstehend werden die **Konzentrationen** des Bodens und des erodierten Materials untersucht.

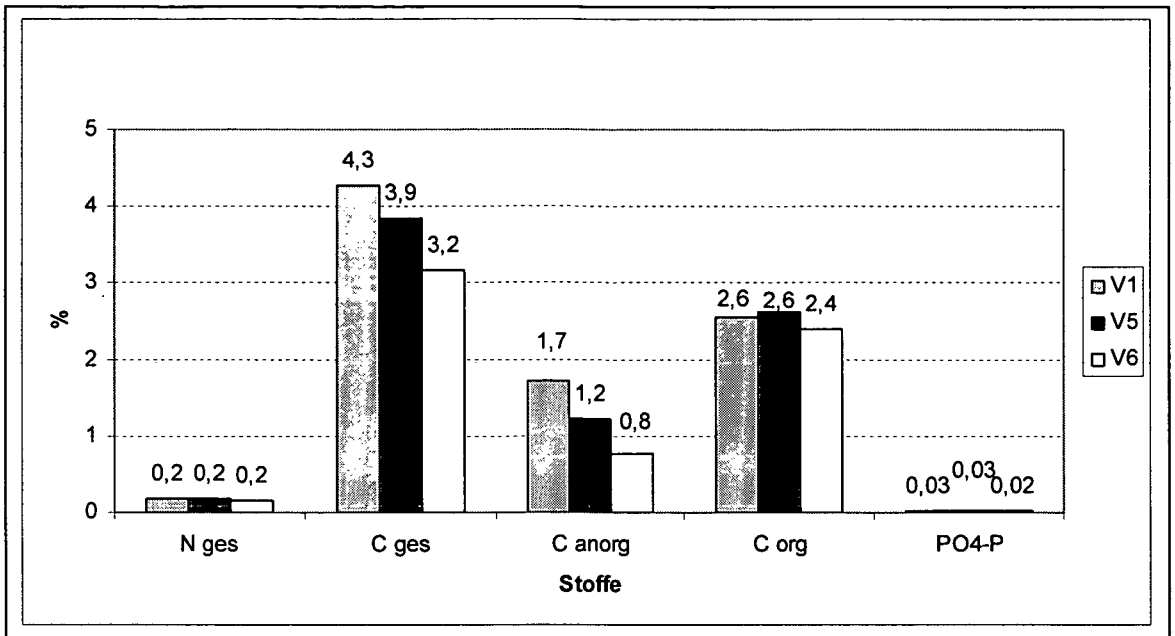


Abb. 41 Bodenanalyse: Stoffkonzentrationen des erodierten Bodens

Abb. 41 zeigt die Mittelwerte der Konzentrationen von N ges, C ges und PO4-P des abgeschwemmten Bodens. Die Bearbeitungsformen unterscheiden sich bei der Stickstoff- und Phosphorkonzentration kaum, nur der V6 hat leicht niedrigere Werte. Die Werte für den gesamten Kohlenstoff sind bei V1 mit 4,3 % am größten, gefolgt von V5 mit 3,9 % und V6 mit 3,2 %. Der Anteil des C org am C ges ist bei V6 am größten, gefolgt von V5 und V1. Die Konzentrationen der einzelnen Versuche schwanken nur bei C ges etwas, indem die NV um 6-8% höhere Werte aufweisen als die TV; bei N ges und PO4-P sind alle Werte fast gleich. Unterschiede im absoluten Abtrag ergeben sich also bei N ges und PO4-P aus den abgetragenen Bodenmengen, die bei V5 am größten sind (s.u.).

Die Analyse der Proben aus dem Feld (Abb. 42) zeigt ein ähnliches Bild: Der Kohlenstoffgehalt der 3 Bearbeitungsvarianten ist in der gleichen Weise abgestuft und die Stickstoff- und Phosphorwerte stehen in ähnlichem Verhältnis zueinander. Die Mittelwerte der Konzentrationen von N ges und C ges des erodierten Bodens sind höher als bei den Feldproben. Der erodierte Boden enthält also mehr N und C als der Boden selbst. Das könnte aber auch damit zusammenhängen, dass die Feldproben aus 0-10 cm Tiefe genommen wurden und die Bodenoberfläche, die in Kontakt mit dem abfließenden Wasser stand, mehr dieser Stoffe enthält. Der Anteil von C org am C ges ist im Feld immer kleiner als beim erodierten Boden, der organische Kohlenstoff wird also stärker vom Wasser abgespült als der anorganische.

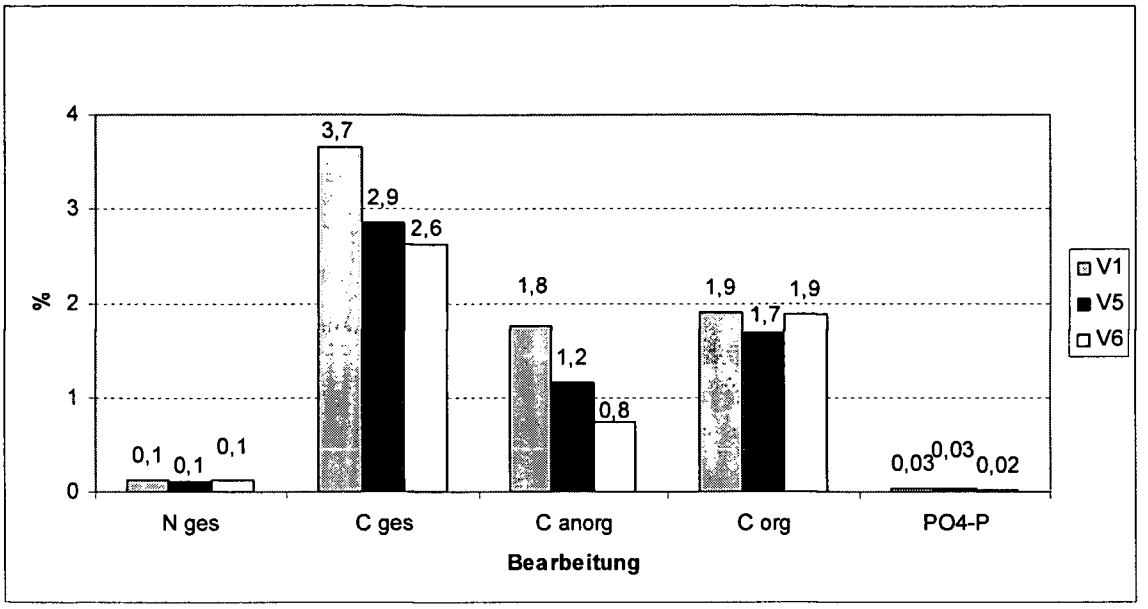


Abb. 42 Bodenanalyse: Stoffkonzentrationen der Versuchsfelder

Vergleicht man die Konzentrationen der Feldproben mit denen des abgeflossenen Wassers, so fällt auf dass die PO4-P Konzentrationen vom Feld (V1 und V5 haben die gleiche, V6 liegt 33 % darunter) nicht mit den Nettokonzentrationen der Wasserproben übereinstimmen. Bei diesen hat V5 die größte Konzentration gefolgt von V1 (-30 %) und V6 (-82 % zu V5). Das Wasser bei V5 nimmt also trotz vergleichbarer Bodenkonzentrationen mit V1 mehr PO4-P vom Boden auf. V6 hat eine um 33 % geringere Bodenkonzentration, aber die Nettokonzentration im abgeflossenen Wasser ist um 82 % niedriger, auch hier nimmt also V5 mehr PO4-P vom Boden auf als durch höhere Konzentration im Boden zu erwarten wäre.

Tab. 17 Bodenanalyse: Konzentrationsdifferenzen zwischen Boden und erodiertem Boden, positive Werte: erodierter Boden hat eine höhere Konzentration

	N ges %	C ges %	C anorg %	C org %	PO4-P %
V1	0,05	0,62	-0,04	0,66	0,00
V5	0,06	0,99	0,06	0,94	0,00
V6	0,03	0,53	0,02	0,52	0,00

Tab. 17 gibt die Konzentrationsdifferenzen zwischen Boden und erodiertem Boden an (Feld – erodiertem Boden), diese sind also bis auf den C anorg bei V1 vom erodierten Boden größer als von den Feldproben. Besonders der Gehalt an C org ist beim erodierten Boden größer, die höheren Werte von C ges vom erodierten Boden sind also auf vermehrten Abtrag von C org zurückzuführen.

Der **Bodenabtrag in g** ist bei V5 am größten, gefolgt von V1 und V6 (

Tab. 18). Daraus und aus den Konzentrationen ergeben sich nachfolgende Nährstoffabträge in g. Zu berücksichtigen sind auch die Niederschlagsmengen, die bei V5 über V1 (5 % weniger), aber unter V6 (3 % mehr als V5) liegen. V6 hat also trotz des höchsten Niederschlags den geringsten Bodenverlust.

Tab. 18 Bodenabtrag in g

	V1	V5	V6
TV	995	1077	711
NV	295	323	307
Summe	1290	1400	1018

Tab. 19 maximaler Bodenabtrag in g/min.

	V1	V5	V6
TV Maximum g/min	46,00	54,19	20,93
NV Maximum g/min	16,51	27,11	20,90

Der **Nährstoffabtrag in absoluten Zahlen** (g) durch Bodenverlust ist bei V5 am größten (s Abb. unten). Beim PO4-P liegt V5 ca. 25 % über V1 und V6. C ges liegt bei V5 über V1 und 40 % über V6. Die geringsten Nährstoffverluste hat (bis auf N) V6, es hat aber auch die geringsten Bodenkonzentrationen. Bei dieser Tabelle muss allerdings berücksichtigt werden, dass für 1NV keine Messwerte für N ges und C ges vorliegen, man kann aber aus den Verhältnissen von TV und NV bei V5 und V6 (s. Abb. 44) schließen, dass die Verluste von V1 etwa gleich groß sind wie von V5.

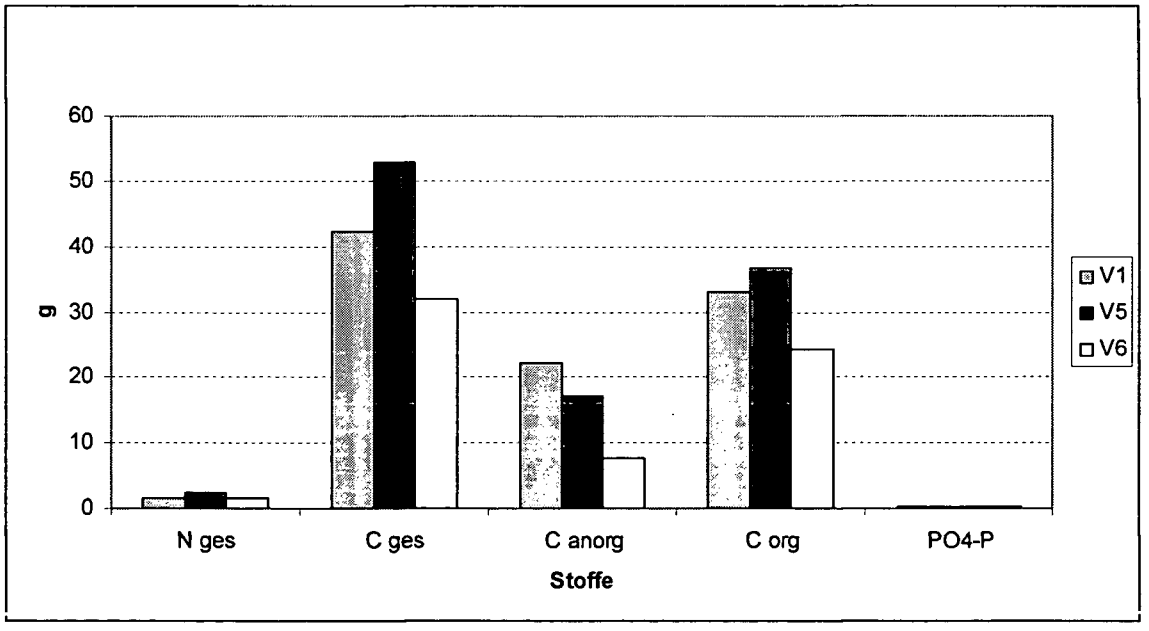


Abb. 43 Bodenanalyse: Stoffmengen des erodierten Bodens der Versuchsfelder

Abb. 39 zeigt die Verluste der Versuche an. Die Werte bei 1NV (C ges und N ges) sind nicht Null, sondern fehlende Messergebnisse. 6TV hat bei N ges und C ges die niedrigsten Werte, bei PO4-P sind sie etwa gleich groß wie bei 1TV.

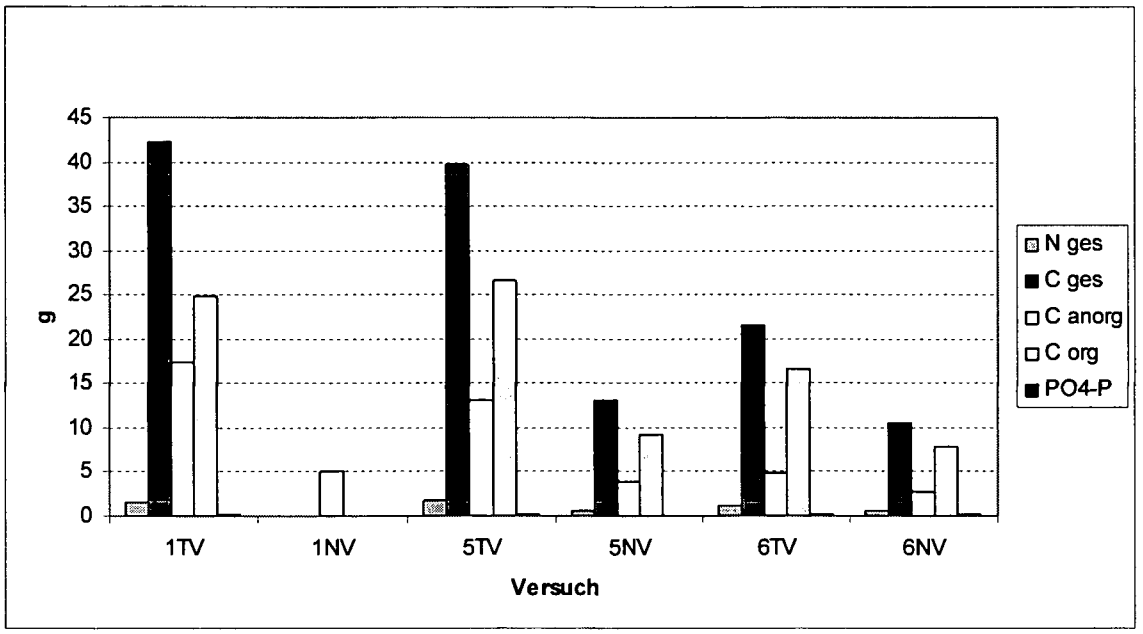


Abb. 44 Bodenanalyse: Stoffmengen des erodierten Bodens der Versuche

Der zeitliche Verlauf der erodierten Stoffmengen ist bei allen TV ähnlich (dargestellt ist 1TV,. Abb. 45): C ges steigt bis zur Minute 15 steil an bis zu einem Maximum von ca. 2 g/min und fällt dann bis zum Versuchsende hin kontinuierlich ab. Für N ges und PO4-P gilt dasselbe mit weniger ausgeprägten Maxima und auf jeweils niedrigerem Niveau.

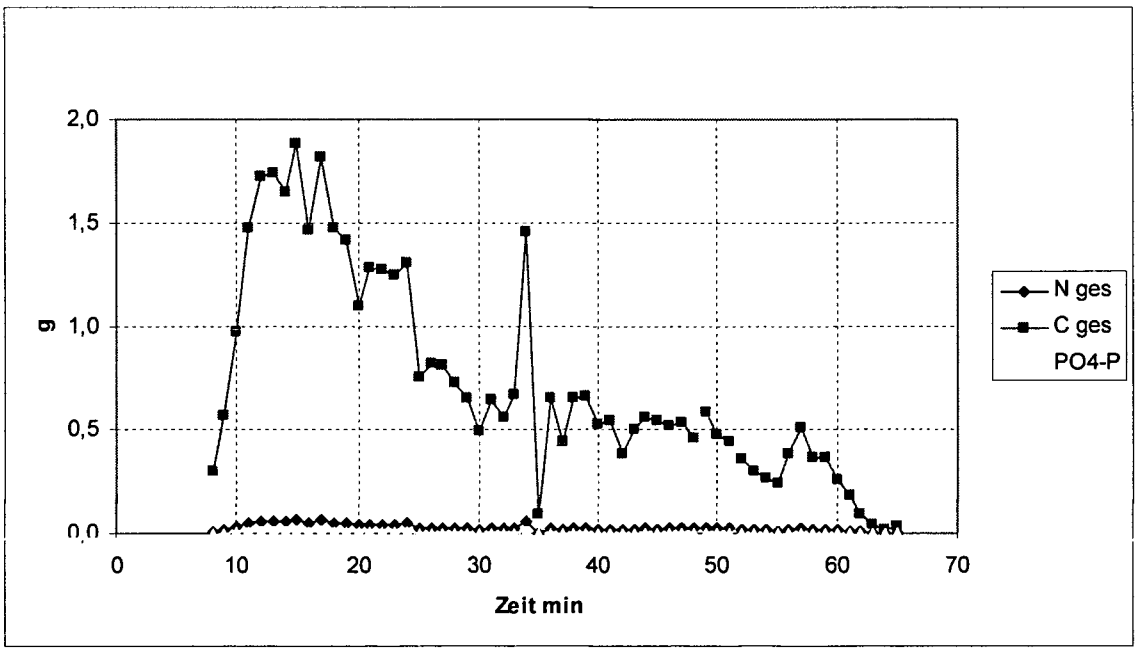


Abb. 45 Verlauf der erodierten Stoffmengen von 1TV

Die NV haben ihr C ges - Maximum etwa bei Minute 20, 6 NV ein kleineres bei Minute 10, und einen steilen Abfall zwischen min 30 und 35. N ges und PO4-P zeigen einen ähnlichen Verlauf.

Die TV unterscheiden sich bezüglich der Nährstoffverluste durch Bodenabtrag von den NV stark (s.Tab. 20): Bei N ges haben die NV 75 % weniger als die TV, bei C ges 77 % weniger

und bei PO4-P 62 %. Dabei ist der Niederschlag der NV nur um etwa 50 % geringer als bei den TV, und die Niederschlagsintensität ist im Durchschnitt um 1/3 geringer.

Tab. 20 Bodenanalyse: erodierte Stoffmengen der TV und der NV

	N ges g	C ges g	C anorg g	C org g	PO4-P g
TV	4,5	103,6	34,0	69,6	0,7
NV	1,1	23,6	11,7	11,9	0,3

Die **Nährstoffverluste durch Bodenverlust und Wasserabfluss** der Versuchsfelder sind zwei Varianten angegeben: die erste ergibt sich aus den Stoffmengen im Abfluss minus den Stoffmengen im Zufluss, sie ist also beeinflusst von den im Beregnungswasser enthaltenen Stoffmengen. Da Regen aber viel weniger gelöste Stoffe enthält, wurden die Stoffmengen in der 2. Variante aus dem Anstieg der Konzentrationen des abgeflossenen Wassers durch den Bodenkontakt ermittelt.

Der N anorg des abgeflossenen Wassers und der N ges des erodierten Bodens wurden addiert. Die Verluste durch erodierten Boden sind in beiden Fällen ident.

Tab. 21 Gesamtverluste an Stoffmengen, errechnet aus der Bilanz der Stoffmengen aus Zulauf und Ablauf

	Boden N ges g	Wasser N anorg g	B+W N g	Boden PO4-P g	Wasser PO4-P g	B+W PO4-P g
V1	1,59	-5,17	**-3,58**	0,30	0,20	**0,50**
V5	2,33	-5,79	**-3,46**	0,39	0,34	**0,73**
V6	1,69	-6,68	**-4,99**	0,32	0,06	**0,38**

Geht man von der Differenz der abgeflossenen und aufgebrachten Stoffmengen aus (Tab. 21), sind die auf das Feld aufgebrachten N – Mengen bei V6 am größten, d.h. es verbleiben die größten N – Mengen auf dem Feld (Düngung), die kleinste Menge verbleibt auf V5. Beim PO4-P sind die Verluste von V5 am größten und bei V6 am kleinsten.

Tab. 22 Gesamtverluste an Stoffmengen, errechnet aus dem Anstieg der Konzentrationen durch den Bodenkontakt und den abgeflossenen Wassermengen

	Boden N ges g	Wasser N anorg g	B+W N g	Boden PO4-P g	Wasser PO4-P g	B+W PO4-P g
V1	1,59	0,10	**1,69**	0,30	0,20	**0,50**
V5	2,33	0,44	**2,77**	0,39	0,34	**0,73**
V6	1,69	0,14	**1,83**	0,32	0,06	**0,38**

Die obige Tabelle (Tab. 22) zeigt die Verluste, die aus der Differenz der Konzentrationen aus Ablauf und Zulauf multipliziert mit der abgelaufenen Wassermenge entstehen: hier hat V5 die höchsten Verluste. Beim N ist der Anteil des Bodens am Gesamtverlust deutlich höher als beim PO4-P, bei diesem ist der Verlust durch Boden und Wasser ausgeglichener.

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Bodenerosion durch Wasser auf landwirtschaftlichen Flächen stellt im mitteleuropäischen Raum ein Problem mit negativen Auswirkungen für die Landwirtschaft und die Umwelt dar. Durch sie entstehen Kosten durch zusätzlich erforderliche Düngung, durch Ernteverluste und Kosten in der öffentlichen Verwaltung (Straßenreinigung, Reinigen von Drängräben etc.) und auch zur Erfüllung der Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union und anderer Normen zur Reinhaltung der Gewässer. Schutz vor Bodenerosion durch Wasser ist Teil des Bodenschutzes, der Bodenverlust durch Versiegelung, Erosion, Bodenkontamination etc. behandelt.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit den Auswirkungen von 3 Bodenbearbeitungsvarianten auf die Erosion bei Starkregensimulation. Dazu wurden in Mistelbach in Niederösterreich im September 2005 auf jeder Bearbeitungsvariante 2 Beregnungsversuche durchgeführt, ein Trockenversuch und ein Nassversuch. Die Hangneigung betrug etwa 10 %, die Bearbeitungsvarianten sind:

V1 ... konventionelle Bearbeitung

V5 ... konservierende Bearbeitung

V6 ... Direktsaat.

- Der Bodenabtrag ist bei V6 am niedrigsten, gefolgt von V1 und V5. Allerdings ist das Gefälle bei allen 3 Versuchsfeldern gleich, der Niederschlag ist bei V6 fast so groß wie bei V5 und knapp 10% größer als bei V1, die Aggregatstabilität ist bei V6 am kleinsten, die Scherfestigkeit ist vor den TV bei V6 am kleinsten, der Gehalt an organischem Kohlenstoff ist bei V6 am geringsten, die Abflussgeschwindigkeit ist bei V6 immer am größten, allerdings nicht signifikant; der Eindringwiderstand vor den TV ist bei V6 signifikant größer als bei V5, dieser Vorteil ist nach den NV aber nicht mehr festzustellen. Diese Parameter können den Unterschied im Bodenabtrag also nicht erklären. Die Rauhigkeit der Bodenoberfläche ist bei V6 um über 10 % größer als bei den anderen Versuchsfeldern (das widerspricht der gemessenen Abflussgeschwindigkeit) und die Infiltration ist höher, wodurch auch der Abfluss von V6 am kleinsten ist. Verglichen mit V5 hat V6 ein größeres Porenvolumen, das die größere Infiltration erklärt, allerdings hat V1 einen ähnlichen Porenanteil wie V6 aber eine geringere Infiltration. Die gesättigte Leitfähigkeit von V6 ist deutlich kleiner als von V1, was der gemessenen Infiltration widerspricht. Die größere Infiltration von V6 ist auch durch das höhere Matrixpotential am Beginn der Beregnungsversuche zu erklären.
- Unter trockenen Bedingungen hat V6 die härteste Bodenoberfläche (ca. 360 kN/m²), was aufgrund der geringsten Bearbeitungsintensität (Bodenlockerung) auch zu erwarten ist. Dies bedingt auch eine größere Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Verdichtungsdruck der Bearbeitungsmaschinen. Nach dem ersten Beregnungsversuch fällt er bei allen Feldern auf sehr niedrige Werte ab ohne signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsfeldern.
- Die Scherfestigkeit ist vor dem 6 TV signifikant höher als bei V1, nach den TV ist sie bei V1 signifikant höher als bei V5 und V6. Nach den NV ist sie bei jedem Versuchsfeld gleich groß

- Die Anfangswerte der Wasserspannung sind bei V6 am größten, was mit dem niedrigeren Wassergehalt zusammenpasst. Die Absenkung der Wasserspannungen erfolgt bei allen Versuchsfeldern sehr rasch, in 30 cm Tiefe bei V1 am schnellsten und bei V5 am langsamsten, d.h. das Wasser infiltriert am langsamsten. In 50 cm Tiefe ist die Abnahme bei V5 am größten, bei V1 und V6 etwa gleich groß, wobei die Messung bei V6 vor Erreichen des Minimums abgebrochen wurde. Bei V1 liegt unter 30 cm Tiefe also eine undurchlässigere Bodenschicht vor als bei V5, was auf Verdichtung durch das häufige Befahren zurückgeführt werden kann. Bei V6 tritt die Abnahme der Wasserspannung am langsamsten ein. Nach den kleinsten Werten steigt die Wasserspannung in 20 cm Tiefe bei V1 am schnellsten, bei diesem Feld infiltriert und versickert das Wasser in dieser Tiefe am schnellsten.
- Die elektrische Leitfähigkeit des Wassers aller Versuchsfelder nimmt durch den Bodenkontakt zu, es werden also Ionen vom Boden an das Wasser abgegeben. Bei den pH – Werten ist es umgekehrt, durch den Bodenkontakt nehmen die pH – Werte ab. Es bestehen keine Unterschiede zwischen den Bearbeitungsformen.
- Der Mittelwert der gemessenen Durchlässigkeiten (der k – Werte) des V1 ist signifikant größer als die des V5, allerdings sind bei 1NV 2 sehr große Werte dabei, die nicht ausgeschlossen wurden. Sonst ergibt sich in keinem Vergleich ein signifikanter Unterschied.
- Der Massenwassergehalt ist als Mittelwert über alle Tiefen bei V5 immer am größten, bei V6 am kleinsten. Dies widerspricht den errechneten Infiltrationsmengen
- Die Aggregatstabilität ist bei V1 am größten und bei V6 am geringsten. Eine verminderte Bodenbearbeitung verringert hier die Aggregatstabilität. Möglicherweise werden durch das Bodenwenden neue und stabilere Teilchen an die Oberfläche gebracht.
- Die Korngrößenverteilungen der Bodenproben sind sehr ähnlich. V1 hat einen leicht geringeren Anteil an Grobschluff als die anderen beiden . Der erodierten Boden hat eine ähnliche Korngrößenverteilung wie die jeweilige Feldprobe, nur etwas nach oben verschoben, d.h. die kleinste Fraktion ist stärker vertreten als die größte. In Bezug auf die Bearbeitungsform kann kein Unterschied festgestellt werden.
- Mit dem Boden erodierten die meisten Stoffe bei V5 (bis auf C anorg) und die wenigsten bei V6. Die Konzentrationen der im abgeflossenen Wasser gelösten Stoffe nehmen durch den Bodenkontakt zu, immer am stärksten bei V5.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Erosion bei V5 am größten und bei V6 am kleinsten ist, allerdings liegen alle auf sehr niedrigem Niveau. Das konservierend bearbeitete Feld (V5) weist die schlechtesten Eigenschaften den Nährstoffhaushaltes betreffend auf, die Direktsaat (V6) die besten. Teilweise konnten signifikante Unterschiede nachgewiesen werden, teilweise sind die Ergebnisse nicht eindeutig und widersprechen sich gegenseitig. Die Genauigkeit muss daran gemessen werden, dass es sich bei diesen Versuchen um Freilandexperimente mit nicht beeinflussbaren Größen (Wind..) handelt.

5 Quellenverzeichnis

- eBOD digitale Bodenkarte (2005): http://bfw.ac.at/ebod/ebod.main (25.11.2005).
- Niederschlagszahlen (2005): http://www.noel.gv.at/SERVICE/WA/wa5/wiskiwebpublic/stat_122552.htm (25.11.2005).
- UBA (2006): Nährstoffbilanzierung der Flussgebiete Deutschlands, http://www.umweltbundesamt.de/wasser/veroeffentlich/bmu_umwelt/7599.htm (16. 10. 2006).
- UBA (2006): Nasse Deposition saurer und säurebildender Regeninhaltsstoffe an UBW Messstationen, http://www.env-it.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=2382 (16. 10. 2006).

- Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W., Weiber, R. (2000): Multivariante Analysemethoden, 9. Auflage, Springer Verlag, Berlin.
- Bauer, M. (2001): Einfluß der Bewirtschaftung auf ausgewählte Bodenparameter. Wien, Diplomarbeit am Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft, Univ. f. Bodenkultur.
- Blume, H.P. (1992): Handbuch des Bodenschutzes, 2. Auflage, ecomed-Verlag, Landsberg/Lech.
- Hudson, N. (1973): Soil Conservation, Verlag B.T. Batsford, London.
- Jung, L., Brechtel, R. (1980): Messungen von OberflächenAbfluss und Bodenabtrag auf verschiedenen Böden der Bundesrepublik Deutschland, Schriftenreihe des deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau, Heft 48, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- Kemper, W. D., Koch, J. E. (1966): Technical Bulletin No 1355, United States Department of Agriculture: Agricultural Research Service.
- ÖN L 1050 (1992): Boden als Pflanzenstandort – Begriffsbestimmungen, Untersuchungsverfahren, Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- ÖN L 1062 (2003): Physikalische Bodenuntersuchungen – Bestimmung des Wassergehaltes und des Wasseranteils, Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- ÖN L 1065 (1988): Physikalische Bodenuntersuchungen – Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit in gesättigten Zylinderproben, Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- ÖN L 1068 (1988): Physikalische Bodenuntersuchungen – Bestimmung der Dichte von Böden, Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- Richter, G., (Hrsg.), (1998): Bodenerosion – Analyse und Bilanz eines Umweltproblems, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- Scheffer, F., Schachtschabel P. (1984): Lehrbuch der Bodenkunde, 11. Auflage, Enke Verlag, Stuttgart.

6 Anhang

6.1 Regensimulation

Mistelbach 05					
Rainfalll simulation			Sweeps/ min.:	105	
Nr.:	**1 TV**				
Date:	06.09.2005			Time:	10.20
eLF (us/cm) of irrigation water:		0,81		pH:	8,11

Bucket Nr.	Bucket (g)	Bu+W+S (g)	W+S (g)	W (g)	Time: (min)	Filter Nr.	Soil 105°C (g)	eLF (mS/cm)	pH
1	493	540	47		1				
2	493	695	202		2				
3	493	785	292		3				
4	494	743	249		4				
5	493	782	289		5				
6	494	822	328		6				
7	493	1.035	542		7				
8	493	1.264	771	764	8	1	7,32	0,95	8,05
9	494	1.720	1.226	1.212	9	2	13,88	0,95	7,87
10	493	2.264	1.771	1.747	10	3	23,65	0,96	7,81
11	493	2.840	2.347	2.311	11	4	35,90	0,96	7,67
12	493	3.466	2.973	2.931	12	5	42,03	0,95	7,68
13	494	3.933	3.439	3.397	13	6	42,45	0,95	7,72
14	493	4.400	3.907	3.867	14	7	40,13	0,94	7,57
15	494	5.111	4.617	4.571	15	8	46,00	0,94	7,63
16	493	5.346	4.853	4.819	16	9	34,47	0,94	7,61
17	493	5.984	5.491	5.448	17	10	42,87	0,93	7,57
18	493	6.085	5.592	5.557	18	11	34,78	0,93	7,59
19	494	6.256	5.762	5.729	19	12	33,28	0,93	7,56
20	493	6.328	5.835	5.809	20	13	25,78	0,92	7,52
21	566	6.671	6.105	6.075	21	14	30,23	0,92	7,48
22	566	6.993	6.427	6.397	22	15	29,91	0,91	7,48
23	567	7.167	6.600	6.571	23	16	29,43	0,91	7,40
24	567	7.387	6.820	6.789	24	17	30,78	0,91	7,40
25	494	6.826	6.332	6.314	25	18	17,79	0,91	7,41
26	493	3.782			25,5			0,90	7,52
27	491	3.906	6.704	6.685	26	19	19,27	0,91	7,52
28	494	4.044			26,5			0,91	7,51
29	548	3.988	6.990	6.971	27	20	19,12	0,91	7,53
30	491	3.924			27,5			0,91	7,53
31	489	4.020	6.964	6.947	28	21	17,21	0,90	7,40
32	547	4.150			28,5			0,90	7,49
33	492	3.915	7.026	7.011	29	22	15,42	0,90	7,32
34	491	3.705			29,5			0,90	7,38
35	491	3.712	6.435	6.423	30	23	11,70	0,90	7,37
36	491	3.965			30,5			0,90	7,35
37	500	3.971	6.945	6.930	31	24	15,01	0,90	7,37
38	491	3.945			31,5			0,90	7,53
39	493	3.901	6.862	6.849	32	25	12,94	0,90	7,43
40	494	3.937			32,5			0,90	7,55
41	493	4.140	7.090	7.075	33	26	15,42	0,90	7,55
42	492	7.703	7.211	7.177	34	27	33,65	0,90	7,43
43	493	7.970	7.477	7.475	35	28	2,19	0,89	7,54
44	492	7.798	7.306	7.291	36	29	15,14	0,89	7,53
45	492	7.317	6.825	6.815	37	30	10,29	0,89	7,56
46	490	7.915	7.425	7.410	38	31	15,18	0,89	7,55
47	493	8.156	7.663	7.648	39	32	15,40	0,89	7,57
48	493	7.882	7.389	7.377	40	33	12,29	0,88	7,57
49	493	7.926	7.433	7.420	41	34	12,61	0,89	7,54
50	609	7.645	7.036	7.027	42	35	8,99	0,89	7,58
51	567	7.805	7.238	7.226	43	36	11,70	0,88	7,57
52	567	8.234	7.667	7.654	44	37	12,98	0,89	7,57
53	567	8.338	7.771	7.758	45	38	12,65	0,89	7,57
54	566	8.078	7.512	7.500	46	39	11,62	0,89	7,54
55	567	8.180	7.613	7.601	47	40	12,09	0,88	7,55

Mistelbach 05
Rainfalll simulation — Sweeps/ min.: 105
Nr.: **1 NV**
Date: 06.09.2005 — Time: 15.00
eLF (us/cm) of irrigation water: 0,81 — pH: 8,11

Bucket Nr.	Bucket (g)	Bu+W+S (g)	W+S (g)	W (g)	Time: (min)	Filter Nr.	Soil 105°C (g)	eLF (mS/cm)	pH
1	493	0			1				
2	493	0			2				
3	493	544	51		3				
4	494	659	165		4				
5	493	650	157		5				
6	494	699	205		6			0,94	7,70
7	493	671	178		7			0,95	7,68
8	493	1.012	519	516	8	61	3,01	0,97	7,65
9	494	1.830	1.336	1.331	9	62	5,47	0,96	7,65
10	493	2.922	2.429	2.423	10	63	6,24	0,96	7,64
11	493	3.666	3.173	3.167	11	64	5,72	0,94	7,59
12	493	4.218	3.725	3.721	12	65	3,95	0,94	7,61
13	494	4.376	3.882	3.874	13	66	8,40	0,93	7,59
14	493	5.317	4.824	4.822	14	67	2,06	0,93	7,57
15	494	5.638	5.144	5.137	15	68	6,81	0,92	7,54
16	493	2.965	2.472	2.470	15,5	69	2,11	0,92	7,57
17	493	5.389	4.896	4.890	16,5	70	6,12	0,92	7,53
18	493	6.050	5.557	5.551	17,5	71	5,51	0,92	7,57
19	494	7.070	6.576	6.568	18,5	72	8,03	0,91	7,59
20	493	8.227	7.734	7.721	19,5	73	12,73	0,91	7,60
21	566	9.013	8.447	8.434	20,5	74	12,51	0,90	7,55
22	566	10.115	9.549	9.532	21,5	75	16,51	0,90	7,58
23	567	5.422			22			0,90	7,56
24	567	5.494	9.782	9.766	22,5	76	16,20	0,90	7,52
25	494	5.518			23			0,90	7,53
26	493	5.548	10.079	10.064	23,5	77	14,68	0,90	7,51
27	491	5.553			24			0,90	7,54
28	494	5.556	10.124	10.109	24,5	78	15,02	0,90	7,53
29	548	5.666			25			0,90	7,55
30	491	5.637	10.264	10.250	25,5	79	14,02	0,90	7,50
31	489	5.491			26			0,90	7,52
32	547	5.690	10.145	10.129	26,5	80	16,35	0,90	7,53
33	492	5.755			27			0,89	7,50
34	491	5.600	10.372	10.359	27,5	81	13,48	0,89	7,53
35	491	5.625			28			0,89	7,52
36	491	5.660	10.303	10.288	28,5	82	15,17	0,90	7,52
37	500	5.507			29			0,90	7,53
38	491	5.803	10.319	10.304	29,5	83	14,64	0,89	7,53
39	493	5.836			30			0,90	7,54
40	494	5.883	10.732	10.716	30,5	84	16,07	0,90	7,52
41	493	5.682	5.189	5.184	31	85	5,48	0,89	7,54
42	492	8.448	7.956	7.949	32	86	6,81	0,90	7,51
43	493	6.395	5.902	5.897	33	87	5,45	0,90	7,52
44	492	5.140	4.648	4.644	34	88	4,27	0,90	7,53
45	492	4.223	3.731	3.727	35	89	4,11	0,90	7,52
46	490	3.652	3.162	3.158	36	90	3,58	0,90	7,54
47	493	3.241	2.748	2.745	37	91	2,89	0,91	7,57
48	493	3.012	2.519	2.516	38	92	2,53	0,90	7,54
49	493	2.871	2.378	2.375	39	93	2,58	0,91	7,58
50	609	2.784	2.175	2.173	40	94	2,15	0,91	7,59
51	567	2.729	2.162	2.160	41	95	2,19	0,92	7,55
52	567	2.672	2.105	2.103	42	96	1,76	0,91	7,58
53	567	2.715	2.148	2.146	43	97	2,37	0,90	7,62
54	566	2.765	2.199	2.197	44	98	2,15	0,91	7,58
55	567	2.860	2.293	2.291	45	99	2,44	0,91	7,58

Mistelbach 05
Rainfalll simulation — Sweeps/ min.: 105
Nr.: **5 TV**
Date: 7.9.2005 — Time: 9.50
eLF (ms/cm) of irrigation water: 0,88 — pH: 7,97

Bucket Nr.	Bucket (g)	Bu+W+S (g)	W+S (g)	W (g)	Time: (min)	Filter Nr.	Soil 105°C (g)	eLF (mS/cm)	pH
1	493	757	264		1			0,95	7,78
2	493	1.118	625		2			0,87	7,76
3	493	1.042	549		3			0,86	7,82
4	494	1.104	610		4			0,86	7,79
5	493	1.225	732		5			0,88	7,73
6	494	1.213	719		6			0,90	7,67
7	493	1.152	659		7			0,89	7,68
8	493	1.362	869		8			0,91	7,63
9	494	1.480	986	980	9	1	6,30	0,91	7,52
10	493	1.564	1.071	1.064	10	2	6,66	0,91	7,49
11	493	2.087	1.594	1.583	11	3	10,65	0,91	7,50
12	493	3.179	2.686	2.657	12	4	29,49	1,02	7,34
13	494	4.181	3.687	3.645	13	5	41,73	1,02	7,31
14	493	4.642	4.149	4.095	14	6	54,19	1,03	7,36
15	494	5.333	4.839	4.793	15	7	45,53	1,02	7,34
16	493	5.530	5.037	5.000	16	8	37,29	1,00	7,32
17	493	5.684	5.191	5.159	17	9	32,05	0,99	7,33
18	493	5.861	5.368	5.338	18	10	30,48	0,99	7,33
19	494	5.963	5.469	5.441	19	11	28,37	0,98	7,35
20	493	5.822	5.329	5.302	20	12	27,45	0,99	7,34
21	566	6.293	5.727	5.697	21	13	30,38	0,97	7,39
22	566	6.333	5.767	5.741	22	14	26,10	0,98	7,35
23	567	6.537	5.970	5.944	23	15	26,14	0,95	7,35
24	567	6.901	6.334	6.308	24	16	26,28	0,95	7,33
25	494	6.980	6.486	6.457	25	17	29,44	0,95	7,34
26	493	7.402	6.909	6.877	26	18	31,81	0,94	7,34
27	491	7.327	6.836	6.808	27	19	27,95	0,94	7,35
28	494	7.272	6.778	6.756	28	20	21,58	0,94	7,34
29	548	6.741	6.193	6.183	29	21	9,55	0,93	7,36
30	491	7.404	6.913	6.894	30	22	19,48	0,93	7,35
31	489	6.968	6.479	6.460	31	23	18,74	0,94	7,35
32	547	7.743	7.196	7.174	32	24	22,38	0,92	7,37
33	492	7.492	7.000	6.982	33	25	18,39	0,93	7,36
34	491	7.745	7.254	7.234	34	26	20,22	0,92	7,43
35	491	7.735	7.244	7.226	35	27	17,84	0,93	7,42
36	491	7.758	7.267	7.248	36	28	18,66	0,92	7,40
37	500	7.733	7.233	7.216	37	29	17,18	0,93	7,42
38	491	7.692	7.201	7.184	38	30	16,71	0,92	7,40
39	493	7.871	7.378	7.361	39	31	16,96	0,91	7,39
40	494	7.727	7.233	7.218	40	32	15,46	0,91	7,39
41	493	7.960	7.467	7.451	41	33	16,17	0,91	7,37
42	492	8.174	7.682	7.664	42	34	17,85	0,92	7,38
43	493	8.280	7.787	7.772	43	35	14,92	0,91	7,38
44	492	7.950	7.458	7.444	44	36	14,37	0,90	7,39
45	492	8.035	7.543	7.527	45	37	16,21	0,91	7,39
46	490	8.396	7.906	7.890	46	38	16,36	0,90	7,38
47	493	8.563	8.070	8.054	47	39	16,28	0,90	7,41
48	493	8.549	8.056	8.040	48	40	16,42	0,91	7,40
49	493	8.492	7.999	7.983	49	41	16,49	0,90	7,36
50	609	8.526	7.917	7.903	50	42	14,47	0,91	7,39
51	567	8.485	7.918	7.904	51	43	13,97	0,90	7,40
52	567	8.451	7.884	7.870	52	44	13,96	0,90	7,38
53	567	8.040	7.473	7.460	53	45	12,90	0,91	7,36
54	566	8.228	7.662	7.649	54	46	12,91	0,90	7,39
55	567	7.236	6.669	6.660	55	47	8,81	0,90	7,40

Mistelbach 05
Rainfalll simulation — Sweeps/ min.: 105
Nr.: **5 NV**
Date: 7.9.2005 — Time: 13.00
eLF (us/cm) of irrigation water: 0,88 — pH: 7,97

Bucket Nr.	Bucket (g)	Bu+W+S (g)	W+S (g)	W (g)	Time: (min)	Filter Nr.	Soil 105°C (g)	eLF (mS/cm)	pH
1	493	0	0		1				
2	493	592	99		2				
3	493	667	174		3				
4	494	592	98		4				
5	493	744	251		5			0,96	7,62
6	494	1.332	838	835	6	101	2,77	0,94	7,59
7	493	1.600	1.107	1.104	7	102	3,30	0,92	7,62
8	493	2.228	1.735	1.731	8	103	4,34	0,92	7,60
9	494	3.086	2.592	2.587	9	104	5,45	0,92	7,55
10	493	3.433	2.940	2.936	10	105	4,04	0,91	7,55
11	493	4.129	3.636	3.631	11	106	5,09	0,92	7,55
12	493	4.965	4.472	4.466	12	107	6,11	0,92	7,52
13	494	5.175	4.681	4.675	13	108	5,82	0,92	7,49
14	493	5.419	4.926	4.920	14	109	6,45	0,91	7,50
15	494	5.877	5.383	5.376	15	110	7,02	0,91	7,48
16	493	3.143	2.650	2.648	15,5	111	2,46	0,91	7,49
17	493	5.185	4.692	4.687	16,5	112	4,69	0,92	7,50
18	493	6.932	6.439	6.430	17,5	113	8,95	0,91	7,50
19	494	8.999	8.505	8.478	18,5	114	27,11	0,91	7,49
20	493	10.025	9.532	9.515	19,5	115	17,09	0,91	7,49
21	566	5.575			20			0,91	7,50
22	566	5.773	10.216	10.209	20,5	116	7,25	0,91	7,49
23	567	5.800			21			0,90	7,49
24	567	5.805	10.471	10.454	21,5	117	17,39	0,91	7,50
25	494	5.905			22			0,91	7,52
26	493	6.130	11.048	11.032	22,5	118	16,47	0,91	7,50
27	491	6.366			23			0,90	7,49
28	494	6.029	11.410	11.393	23,5	119	17,45	0,90	7,50
29	548	6.144			24			0,90	7,50
30	491	5.889	10.994	10.979	24,5	120	15,38	0,90	7,49
31	489	5.863			25			0,90	7,47
32	547	5.979	10.806	10.791	25,5	121	15,25	0,90	7,48
33	492	6.038			26			0,90	7,49
34	491	6.273	11.328	11.311	26,4	122	17,20	0,90	7,48
35	491	6.251			27			0,90	7,49
36	491	6.181	11.450	11.432	27,5	123	17,60	0,90	7,46
37	500	6.105			28			0,90	7,46
38	491	5.985	11.099	11.084	28,5	124	14,81	0,90	7,44
39	493	5.947			29			0,90	7,44
40	494	5.949	10.909	10.895	29,5	125	14,16	0,90	7,45
41	493	6.181			30			0,90	7,46
42	492	6.068	11.264	11.248	30,5	126	15,57	0,90	7,48
43	493	5.596	5.103	5.097	31	127	5,74	0,90	7,47
44	492	4.691	4.199	4.196	31,5	128	3,43	0,90	7,48
45	492	7.061	6.569	6.565	32,5	129	4,49	0,90	7,48
46	490	5.703	5.213	5.209	33,5	130	3,73	0,90	7,48
47	493	4.590	4.097	4.094	34,5	131	3,00	0,91	7,49
48	493	3.827	3.334	3.332	35,5	132	2,45	0,91	7,48
49	493	3.460	2.967	2.965	36,5	133	2,36	0,91	7,48
50	609	3.277	2.668	2.666	37,5	134	2,08	0,91	7,49
51	567	3.005	2.438	2.436	38,5	135	1,96	0,91	7,50
52	567	2.838	2.271	2.269	39,5	136	1,94	0,91	7,48
53	567	2.775	2.208	2.206	40,5	137	1,80	0,91	7,51
54	566	2.705	2.139	2.137	41,5	138	1,81	0,92	7,49
55	567	2.642	2.075	2.073	42,5	139	2,27	0,91	7,50

Mistelbach 05
Rainfalll simulation — Sweeps/ min.: 105
Nr.: **6 TV**
Date: 8.9.2005 — Time: 9.25
eLF (us/cm) of irrigation water: 0,86 — pH: 8,30

Bucket Nr.	Bucket (g)	Bu+W+S (g)	W+S (g)	W (g)	Time: (min)	Filter Nr.	Soil 105°C (g)	eLF (mS/cm)	pH
1	493	570	77		1				7,42
2	493	818	325		2			0,90	7,56
3	493	825	332		3			0,87	7,60
4	494	758	264		4			0,86	7,59
5	493	745	252		5			0,86	7,64
6	494	899	405		6			0,87	7,58
7	493	821	328	328	7	103	0,47	0,87	7,64
8	493	967	474	473	8	104	0,88	0,88	7,50
9	494	1.217	723	722	9	105	1,35	0,89	7,45
10	493	1.865	1.372	1.370	10	106	1,98	0,96	7,34
11	493	2.427	1.934	1.930	11	107	3,75	0,96	7,32
12	493	2.702	2.209	2.205	12	108	4,47	0,97	7,29
13	494	3.141	2.647	2.641	13	109	5,57	0,96	7,29
14	493	3.366	2.873	2.867	14	110	6,32	0,95	7,28
15	494	4.001	3.507	3.498	15	111	9,14	0,94	7,30
16	493	4.580	4.087	4.074	16	112	13,09	0,94	7,32
17	493	4.986	4.493	4.478	17	113	14,97	0,93	7,32
18	493	5.145	4.652	4.636	18	114	16,47	0,93	7,31
19	494	5.420	4.926	4.909	19	115	17,04	0,92	7,36
20	493	5.633	5.140	5.122	20	116	17,95	0,92	7,35
21	566	5.329	4.763	4.748	21	117	15,17	0,92	7,36
22	566	5.383	4.817	4.799	22	118	17,79	0,91	7,36
23	567	5.284	4.717	4.703	23	119	13,54	0,91	7,33
24	567	5.154	4.587	4.575	24	120	11,97	0,91	7,35
25	494	5.145	4.651	4.638	25	121	12,55	0,91	7,38
26	493	5.565	5.072	5.057	26	122	15,45	0,91	7,36
27	491	5.700	5.209	5.195	27	123	14,34	0,91	7,37
28	494	5.720	5.226	5.212	28	124	14,07	0,90	7,35
29	548	6.192	5.644	5.626	29	125	18,29	0,90	7,38
30	491	6.719	6.228	6.207	30	126	20,93	0,90	7,36
31	489	6.446	5.957	5.942	31	127	14,79	0,90	7,39
32	547	6.746	6.199	6.180	32	128	18,61	0,90	7,38
33	492	6.601	6.109	6.093	33	129	16,19	0,90	7,40
34	491	6.769	6.278	6.260	34	130	17,79	0,89	7,43
35	491	6.876	6.385	6.368	35	131	16,75	0,89	7,42
36	491	6.871	6.380	6.363	36	132	16,64	0,89	7,45
37	500	6.950	6.450	6.435	37	133	15,22	0,89	7,42
38	491	6.979	6.488	6.472	38	134	15,77	0,89	7,42
39	493	7.588	7.095	7.076	39	135	19,22	0,89	7,41
40	494	7.160	6.666	6.649	40	137	16,57	0,89	7,42
41	493	7.099	6.606	6.591	41	138	15,01	0,89	7,44
42	492	7.264	6.772	6.756	42	139	16,40	0,89	7,44
43	493	7.231	6.738	6.724	43	140	14,22	0,89	7,44
44	492	6.758	6.266	6.254	44	141	11,63	0,89	7,43
45	492	6.912	6.420	6.407	45	142	13,36	0,89	7,43
46	490	7.211	6.721	6.706	46	143	14,92	0,89	7,45
47	493	7.328	6.835	6.821	47	144	14,49	0,89	7,46
48	493	7.418	6.925	6.911	48	145	13,73	0,89	7,45
49	493	7.169	6.676	6.664	49	146	12,23	0,89	7,48
50	609	7.155	6.546	6.534	50	147	12,23	0,89	7,46
51	567	6.978	6.411	6.401	51	148	10,20	0,89	7,48
52	567	7.111	6.544	6.533	52	149	10,84	0,89	7,46
53	567	7.607	7.040	7.026	53	150	13,70	0,89	7,47
54	566	7.908	7.342	7.329	54	151	13,32	0,88	7,46
55	567	8.182	7.615	7.601	55	152	14,41	0,88	7,45

Mistelbach 05
Rainfalll simulation — Sweeps/ min.: 105
Nr.: **6 NV**
Date: 8.9.2005 — Time: 13.20
eLF (ms/cm) of irrigation water: 0,86 — pH: 8,30

Bucket Nr.	Bucket (g)	Bu+W+S (g)	W+S (g)	W (g)	Time: (min)	Filter Nr.	Soil 105°C (g)	eLF (mS/cm)	pH
1	493	499	6		1				
2	493	676	183		2			1,13	7,68
3	493	703	210		3			0,98	7,75
4	494	798	304		4			0,91	7,77
5	493	742	249		5			0,90	7,75
6	494	740	246		6			0,90	7,75
7	493	812	319	317	7	161	2,49	0,90	7,73
8	493	1.175	682	672	8	162	10,22	0,90	7,64
9	494	2.326	1.832	1.811	9	163	20,90	0,90	7,61
10	493	2.899	2.406	2.395	10	164	10,65	0,91	7,60
11	493	4.051	3.558	3.548	11	165	10,25	0,90	7,59
12	493	4.543	4.050	4.042	12	166	8,40	0,90	7,58
13	494	4.143	3.649	3.644	13	167	5,06	0,90	7,59
14	493	3.983	3.490	3.485	14	168	5,33	0,90	7,59
15	494	3.996	3.502	3.498	15	169	3,88	0,90	7,58
16	493	2.177	1.684	1.683	15,5	170	1,34	0,90	7,57
17	493	3.940	3.447	3.444	16,5	171	3,49	0,90	7,57
18	493	4.903	4.410	4.404	17,5	172	6,13	0,90	7,58
19	494	6.304	5.810	5.801	18,5	173	8,93	0,90	7,54
20	493	7.831	7.338	7.318	19,5	174	19,71	0,89	7,55
21	566	8.960	8.394	8.379	20,5	175	14,64	0,90	7,56
22	566	9.380	8.814	8.801	21,5	176	12,67	0,89	7,54
23	567	4.959			22			0,89	7,54
24	567	5.083	8.908	8.895	22,5	177	13,32	0,89	7,53
25	494	4.935			23			0,89	7,56
26	493	4.952	8.900	8.895	23,5	178	4,89	0,89	7,57
27	491	5.074			24			0,89	7,57
28	494	5.332	9.421	9.404	24,5	179	17,25	0,89	7,56
29	548	5.282			25			0,89	7,54
30	491	5.109	9.352	9.339	25,5	180	12,82	0,89	7,52
31	489	5.003			26			0,89	7,55
32	547	5.233	9.200	9.186	26,5	181	13,58	0,89	7,54
33	492	5.201			27			0,89	7,54
34	491	5.162	9.380	9.366	27,5	182	14,25	0,89	7,54
35	491	5.305			28			0,89	7,55
36	491	5.500	9.823	9.807	28,5	183	15,73	0,89	7,52
37	500	5.575			29			0,89	7,55
38	491	5.510	10.094	10.078	29,5	184	15,78	0,89	7,54
39	493	5.400			30			0,89	7,56
40	494	5.350	9.763	9.749	30,5	185	13,89	0,89	7,55
41	493	4.944	4.451	4.445	31	186	5,51	0,89	7,56
42	492	7.543	7.051	7.045	32	187	6,42	0,89	7,51
43	493	5.691	5.198	5.193	33	188	4,98	0,89	7,55
44	492	4.271	3.779	3.776	34	189	3,38	0,89	7,58
45	492	3.262	2.770	2.767	35	190	2,95	0,89	7,55
46	490	2.826	2.336	2.334	36	191	2,33	0,90	7,54
47	493	2.630	2.137	2.135	37	192	1,88	0,89	7,54
48	493	2.437	1.944	1.943	38	193	1,48	0,90	7,54
49	493	2.356	1.863	1.861	39	194	1,69	0,90	7,54
50	609	2.416	1.807	1.805	40	195	1,69	0,90	7,55
51	567	2.251	1.684	1.682	41	196	1,53	0,90	7,52
52	567	2.224	1.657	1.656	42	197	1,33	0,90	7,55
53	567	2.258	1.691	1.689	43	198	1,62	0,90	7,56
54	566	2.252	1.686	1.685	44	199	1,37	0,90	7,54
55	567	2.250	1.683	1.681	45	200	1,60	0,90	7,55

6.2 Abflussgeschwindigkeit

Rainfallsimulation	Mistelbach 2005

Current Velocity

Nr.	Start Time:	4-1 m				4-0 m			
1TV	(min)	max. (s)	v (cm/s)	average (s)	v (cm/s)	max. (s)	v (cm/s)	average (s)	v (cm/s)
	16´	59,0	5,1						
	30´	53,0	5,7	71	4,2	94	4,3	-	
	45´	56,0	5,4	75,0	4,0	93,0	4,3	130,0	3,1
	55´	54,0	5,6	91,0	3,3	95,0	4,2	129,0	3,1
			5,4		3,8		4,3		3,1
Nr.	Start Time:	4-1 m				4-0 m			
1NV	(min)	max. (s)	v (cm/s)	average (s)	v (cm/s)	max. (s)	v (cm/s)	average (s)	v (cm/s)
	10´	70,0	4,3	101,0	3,0	130,0	3,1	183,0	2,2
	25´	45,0	6,7	85	3,5	78	5,1	108,0	3,7
	40´	165,0	1,8	172,0	1,7	205,0	2,0	272,0	1,5
			4,3		2,7		3,4		2,5

Nr.	Start Time:	4-1 m				4-0 m			
5TV	(min)	max. (s)	v (cm/s)	average (s)	v (cm/s)	max. (s)	v (cm/s)	average (s)	v (cm/s)
	15´	65,0	4,6	82,0	3,7	116,0	3,4	176,0	2,3
	30´	64,0	4,7	83,0	3,6	111,0	3,6	130,0	3,1
	37´	60,0	5,0	82	3,7	105	3,8	130,0	3,1
	45´	45,0	6,7	74,0	4,1	85,0	4,7	121,0	3,3
	56´	47,0	6,4	71,0	4,2	75,0	5,3	108,0	3,7
			5,5		3,8		4,2		3,1
Nr.	Start Time:	4-1 m				4-0 m			
5NV	(min)	max. (s)	v (cm/s)	average (s)	v (cm/s)	max. (s)	v (cm/s)	average (s)	v (cm/s)
	10´	59,0	5,1	85,0	3,5	94,0	4,3	132,0	3,0
	25´	40,0	7,5	60,0	5,0	71,0	5,6	97,0	4,1
	40´	104,0	2,9	144,0	2,1	191,0	2,1	242,0	1,7
			5,2		3,5		4,0		2,9

Nr.	Start Time:	4-1 m				4-0 m			
6TV	(min)	max. (s)	v (cm/s)	average (s)	v (cm/s)	max. (s)	v (cm/s)	average (s)	v (cm/s)
	15´	57,0	5,3	79,0	3,8	100,0	4,0	120,0	3,3
	24´	47,0	6,4	58,0	5,2	85,0	4,7	119,0	3,4
	30´	45,0	6,7	70,0	4,3	83,0	4,8	105,0	3,8
	39´	47,0	6,4	63	4,8	72	5,6	110,0	3,6
	45´	47,0	6,4	65,0	4,6	75,0	5,3	115,0	3,5
	55´	46,0	6,5	70,0	4,3	71,0	5,6	113,0	3,5
			6,3		4,5		5,0		3,5
Nr.	Start Time:	4-1 m				4-0 m			
6NV	(min)	max. (s)	v (cm/s)	average (s)	v (cm/s)	max. (s)	v (cm/s)	average (s)	v (cm/s)
	10´								
	25´	42	7,1	48	6,3	61	6,6	85	4,7
	40´	82	3,7	116	2,6	130	3,1	165	2,4
	45´	58	5,2	87	3,4	93	4,3	130	3,1
	55´	71	4,2	102	2,9	109	3,7	165	2,4
			5,0		3,8		4,4		3,2

6.3 k – Werte

K-Werte m/d					
V1		V5		V6	
vTV	nNV	vTV	nNV	vTV	nNV
20,5	1,1	1,0	2,9	3,1	1,4
1,2	31,3	0,6	0,1	5,5	3,1
1,4	1,7	0,3	0,1	4,3	0,2
0,8	0,2	2,5	0,7	8,7	32,4
12,6	0,0	1,1	0,8	8,5	2,7
44,8	3,2	0,4	17,5	2,3	0,1
6,0	30,7	18,1	0,2	3,8	0,0
7,7	48,8	0,6	0,2	0,3	0,8
1,5	134,2	15,3	2,5	22,2	2,4
1,9	225,4	0,8	0,6	15,8	2,7
0,7	3,8	1,2	2,5	32,2	1,6
5,5	18,9	6,4	0,3	13,4	1,1

6.4 Wasseranteil, Trockendichte, Porenanteil

Rainfallsimulation **Mistelbach 2005**

Datum: 6.9.
Stechzylinder vor 1. TV

Pos.	Zylinder Nr.	Masse ohne Kappe (g)	Masse ges. (g)	Masse 105°C (g)	Wasseranteil (%)	Massen-WG (%)	Masse $_{Zyl}$ (g)	Vol $_{Zyl}$ (cm³)	Trockendichte (g/cm³)	Porenanteil (%)	Porenanteil (%) A
1	282	525,86	560,52	465,12	30,32	21,22	178,82	200,32	1,43	46,07	47,62
	440	529,42	563,73	468,60	30,42	21,04	179,52	199,95	1,45	45,44	47,58
2	323	544,15	577,72	482,50	30,91	20,26	178,21	199,48	1,53	42,44	47,73
	279	501,86	546,66	447,43	27,22	20,29	179,16	199,98	1,34	49,38	49,62
3	491	455,97	519,22	410,62	22,35	19,99	183,78	202,90	1,12	57,81	53,52
	326	450,36	518,00	410,80	19,73	17,28	181,89	200,55	1,14	56,93	53,45
4	284	490,05	530,04	438,84	25,58	19,63	177,96	200,23	1,30	50,83	45,55
	499	502,29	547,20	454,99	23,38	17,48	184,38	202,34	1,34	49,53	45,57
5	426	479,56	521,58	419,97	29,90	24,57	177,45	199,29	1,22	54,08	50,99
	388	475,30	538,00	433,48	20,96	16,57	181,05	199,50	1,27	52,25	52,39
6	464	456,74	520,06	411,71	22,51	19,41	179,66	200,06	1,16	56,23	54,16
	348	526,98	565,56	470,12	28,45	19,46	178,00	199,84	1,46	44,84	47,76

Datum: 6.9.
Stechzylinder nach 1. NV

Pos.	Zylinder Nr.	Masse ohne Kappe (g)	Masse ges. (g)	Masse 105°C (g)	Wasseranteil (%)	Massen-WG (%)	Masse $_{Zyl}$ (g)	Vol $_{Zyl}$ (cm³)	Trockendichte (g/cm³)	Porenanteil (%)	Porenanteil (%) A
1	412	542,12	551,13	466,46	37,81	26,29	178,67	200,08	1,44	45,72	42,32
	591´	578,64	582,03	481,51	47,76	32,72	184,68	203,37	1,46	44,92	49,43
2	371	553,82	558,86	469,08	42,52	29,19	178,79	199,29	1,46	45,03	45,05
	407	567,64	566,50	472,58	47,56	32,36	178,79	199,88	1,47	44,53	46,99
3	560	592,77	590,14	500,34	45,09	27,89	168,97	205,00	1,62	39,00	43,80
	352	551,94	555,70	463,64	44,14	30,96	178,40	200,05	1,43	46,19	46,02
4	468	489,12	507,19	417,85	35,64	29,89	179,37	199,96	1,19	54,99	44,68
	256	494,23	510,61	421,48	36,39	30,10	179,82	199,91	1,21	54,38	44,59
5	288	498,21	511,30	423,90	37,06	30,27	178,39	200,49	1,22	53,79	43,59
	313	468,68	495,18	404,25	32,24	28,98	181,89	199,82	1,11	58,01	45,51
6	278	519,59	533,12	443,71	37,59	28,79	180,19	201,86	1,31	50,74	44,29
	274	518,89	531,37	439,29	40,55	30,26	176,27	196,30	1,34	49,44	46,91

Rainfallsimulation **Mistelbach 2005**

Datum: 7.9.
Stechzylinder vor 5. TV

Pos.	Zylinder Nr.	Masse ohne Kappe (g)	Masse ges. (g)	Masse 105°C (g)	Wasseranteil (%)	Massen-WG (%)	Masse $_{Zyl}$ (g)	Vol $_{Zyl}$ (cm³)	Trockendichte (g/cm³)	Porenanteil (%)	Porenanteil (%) A
1	252	553,49	579,05	490,88	31,23	20,10	179,34	200,47	1,55	41,36	43,98
	208	538,17	569,78	478,00	29,99	20,00	177,13	200,61	1,50	43,40	45,75
2	472´	529,88	557,78	457,04	36,45	26,21	179,08	199,86	1,39	47,52	50,41
	289	514,13	556,94	457,69	28,18	20,17	177,83	200,30	1,40	47,28	49,55
3	209	536,28	569,87	477,79	29,18	19,49	177,71	200,47	1,50	43,51	45,93
	246	574,00	597,75	507,14	33,26	20,32	178,10	201,02	1,64	38,23	45,08
4	353	446,96	517,42	409,48	18,71	16,21	178,31	200,32	1,15	56,45	53,88
	294	512,24	545,36	458,72	26,69	19,06	177,98	200,56	1,40	47,18	43,20
5	296	477,99	536,51	432,64	22,65	18,09	181,89	200,26	1,25	52,75	51,87
	386	523,43	569,05	472,69	25,35	17,43	181,65	200,14	1,45	45,13	48,15
6	571	510,14	552,79	455,44	26,63	19,12	169,29	205,42	1,39	47,43	47,39
	367	505,65	537,34	451,52	27,17	20,04	181,37	199,25	1,36	48,84	43,07

Date: 7.9.
Stechzylinder nach 5. NV

Pos.	Zylinder Nr.	Masse ohne Kappe (g)	Masse ges. (g)	Masse 105°C (g)	Wasseranteil (%)	Massen-WG (%)	Masse $_{Zyl}$ (g)	Vol $_{Zyl}$ (cm³)	Trockendichte (g/cm³)	Porenanteil (%)	Porenanteil (%) A
1	98.	498,52	504,56	413,82	42,61	30,56	136,69	198,80	1,39	47,40	45,64
	12	525,83	530,38	435,83	45,75	29,98	135,58	196,70	1,53	42,40	48,07
2	3´	501,70	509,07	415,07	43,29	30,61	132,10	200,10	1,41	46,64	46,98
	82	492,08	508,58	412,56	40,00	28,80	136,46	198,80	1,39	47,59	48,30
3	137	499,06	500,15	408,55	45,44	33,22	136,08	199,20	1,37	48,38	45,98
	18	507,26	508,06	418,45	45,29	31,23	134,07	196,10	1,45	45,28	45,70
4	145	514,02	515,29	424,73	45,03	30,94	136,18	198,30	1,46	45,09	45,67
	50	526,75	531,56	436,06	45,94	30,19	135,69	197,40	1,52	42,58	48,38
5?!	124	525,13	520,32	433,12	46,14	31,03	136,59	199,40	1,49	43,88	43,73
	30	510,26	520,91	428,34	41,50	28,08	136,63	197,40	1,48	44,24	46,89
6	87	504,58	512,26	420,37	42,36	29,64	136,22	198,80	1,43	46,06	46,22
	24	506,72	519,20	426,06	40,66	27,73	135,15	198,40	1,47	44,67	46,95

Rainfallsimulation **Mistelbach 2005**

Date: 8.9.
Stechzylinder vor 6. TV

Pos.	Zylinder Nr.	Masse ohne Kappe (g)	Masse ges. (g)	Masse 105°C (g)	Wasseranteil (%)	Massen-WG (%)	Masse $_{Zyl}$ (g)	Vol $_{Zyl}$ (cm³)	Trockendichte (g/cm³)	Porenanteil (%)	Porenanteil (%) A
1	25	462,77	507,90	421,69	20,78	14,32	134,81	197,70	1,45	45,24	43,61
	106´	414,39	483,76	373,15	20,78	17,36	135,56	198,50	1,20	54,83	55,72
2	29	471,86	496,66	406,25	33,14	24,20	135,17	198,00	1,37	48,34	45,66
	4	462,06	517,21	414,46	23,99	16,88	132,46	198,40	1,42	46,36	51,79
3	36	431,80	497,41	389,10	21,74	16,79	134,73	196,40	1,30	51,13	55,15
	182	468,45	528,86	423,48	22,69	15,66	136,36	198,20	1,45	45,33	53,17
4	57	457,17	488,57	404,13	26,88	19,73	135,27	197,30	1,36	48,58	42,80
	51	457,00	501,24	415,77	20,83	14,70	135,28	197,90	1,42	46,52	43,19
5	58	386,42	461,89	354,19	16,36	14,80	136,38	197,00	1,11	58,28	54,67
	134	399,70	470,85	363,83	18,10	15,79	136,71	198,20	1,15	56,76	54,00
6	89.	437,74	481,05	385,90	26,29	20,66	135,02	197,20	1,27	51,99	48,25
	22	408,66	462,06	365,80	21,68	18,57	135,02	197,70	1,17	55,95	48,69

Datum 8.9.
Stechzylinder nach 6. NV

Pos.	Zylinder Nr.	Masse ohne Kappe (g)	Masse ges. (g)	Masse 105°C (g)	Wasseranteil (%)	Massen-WG (%)	Masse $_{Zyl}$ (g)	Vol $_{Zyl}$ (cm³)	Trockendichte (g/cm³)	Porenanteil (%)	Porenanteil (%) A
1	55	509,91	512,52	413,58	48,80	34,60	135,18	197,40	1,41	46,78	50,12
	99.	499,25	505,35	409,76	45,27	32,72	136,23	197,70	1,38	47,79	48,35
2	120	440,68	532,03	442,76	-1,05	-0,68	136,10	198,30	1,55	41,64	45,02
	115´	508,11	511,17	405,77	51,63	37,92	135,89	198,20	1,36	48,62	53,18
3	77	527,81	506,26	418,48	55,36	38,61	135,29	197,50	1,43	45,89	44,45
	19	507,94	513,98	425,35	41,86	28,45	135,04	197,30	1,47	44,47	44,92
4	54	511,49	519,20	426,14	43,32	29,35	135,30	197,00	1,48	44,29	47,24
	72	499,77	505,91	413,14	43,73	30,88	132,63	198,10	1,42	46,57	46,83
5	118	517,99	519,97	433,61	42,47	28,31	135,59	198,70	1,50	43,40	43,46
	151	472,30	489,82	392,92	39,95	30,98	136,72	198,70	1,29	51,34	48,77
6	88	478,60	489,81	400,56	39,53	29,39	135,02	197,40	1,35	49,24	45,21
	161	499,77	505,28	413,47	43,43	31,08	135,79	198,70	1,40	47,26	46,21

6.5 AS

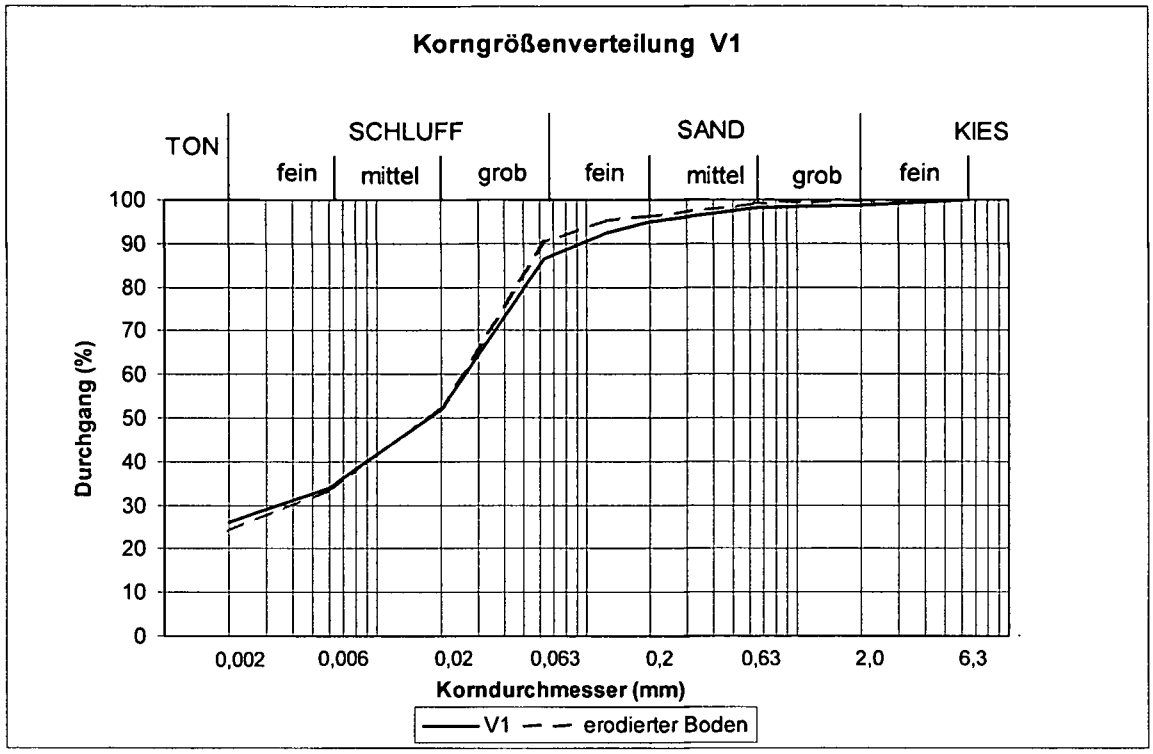
Aggregatstabilität
Mistelbach 2005 Datum der Probennahme: 8.9.2005
0-2 cm Datum der Untersuchung:21.9.2005

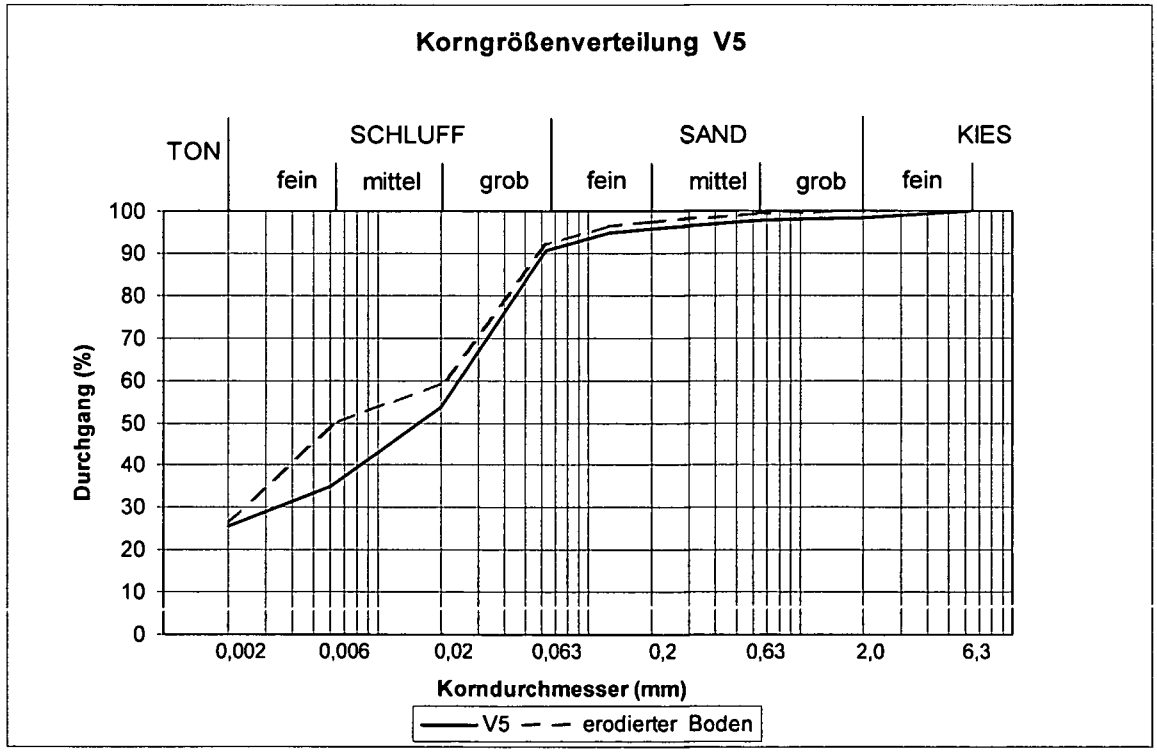
Probenbez.	Massen WG in %	Aggregatgr. in mm	Probenmenge in g	Schale #	Schale in g	SCH+Sand+ stabile AGG in g	SCH+Sand in g	AS in %	AS Mittelwert in %	Standardabw. s.d.
V 1	2,83	1-2	4,00	2	57,85	58,71	58,16	14,91		
V 1	2,83	1-2	4,00	5	46,40	47,16	46,68	12,90		
V 1	2,83	1-2	4,00	9.	56,24	57,05	56,56	13,32		
V 1	2,83	1-2	4,00	33	39,51	40,27	39,77	13,37		
V 1	2,83	1-2	4,00	43	48,65	49,46	48,97	13,32		
V 1	2,83	1-2	4,00	80	43,52	44,29	43,77	13,87	**13,6**	**0,70**

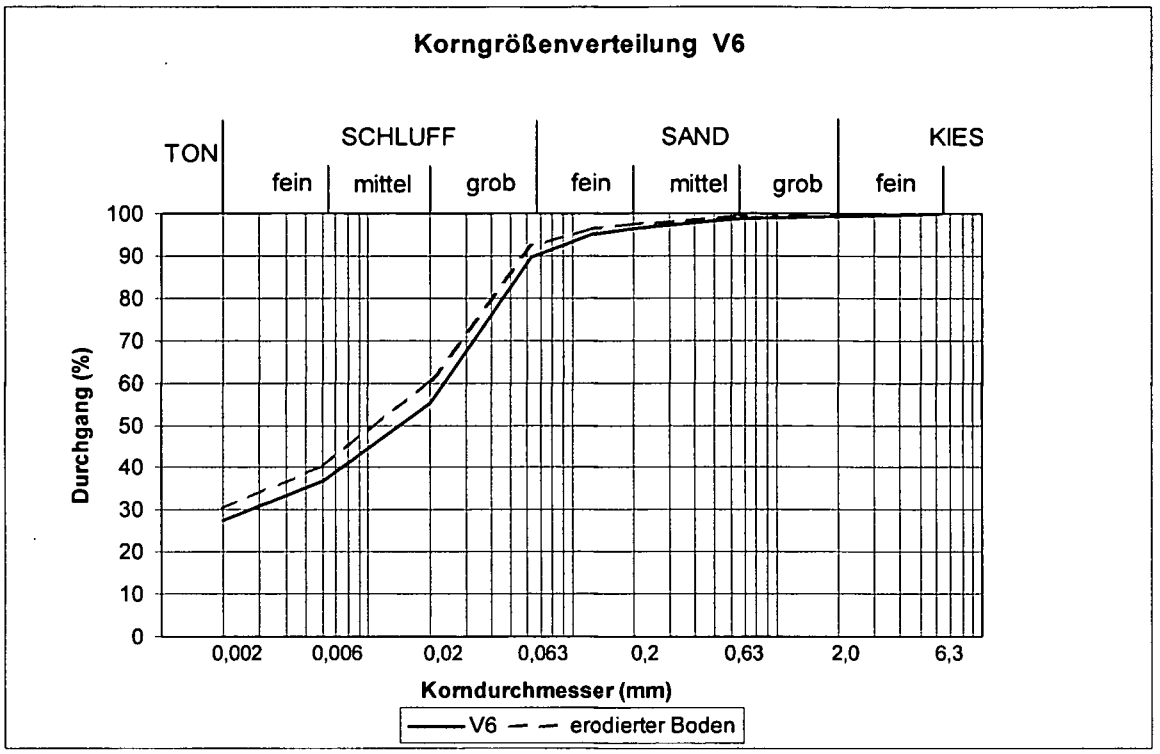
Probenbez.	Massen WG in %	Aggregatgr. in mm	Probenmenge in g	Schale #	Schale in g	SCH+Sand+ stabile AGG in g	SCH+Sand in g	AS in %	AS MEAN in %	s.d.
V 5	3,72	1-2	4,00	12	62,49	63,09	62,74	9,33		
V 5	3,72	1-2	4,00	16	43,89	44,48	44,10	10,03		
V 5	3,72	1-2	4,00	38	53,56	54,15	53,78	9,79		
V 5	3,72	1-2	4,00	2	45,03	45,55	45,24	8,18		
V 5	3,72	1-2	4,00	54	49,28	49,88	49,53	9,33		
V 5	3,72	1-2	4,00	751	45,83	46,51	46,11	10,75	**9,6**	**0,86**

Probenbez.	Massen WG in %	Aggregatgr. in mm	Probenmenge in g	Schale #	Schale in g	SCH+Sand+ stabile AGG in g	SCH+Sand in g	AS in %	AS MEAN in %	s.d.
V 6	7,53	1-2	4,00	39	40,36	40,69	40,48	5,41		
V 6	7,53	1-2	4,00	40	61,41	61,70	61,52	4,63		
V 6	7,53	1-2	4,00	52	61,29	61,61	61,40	5,40		
V 6	7,53	1-2	4,00	62	50,32	50,66	50,44	5,67		
V 6	7,53	1-2	4,00	75	69,34	69,65	69,44	5,38		
V 6	7,53	1-2	4,00	293	59,23	59,55	59,34	5,40	**5,3**	**0,35**

6.6 Korngrößenanalyse







6.7 Chemische Analysen

Wasseranalyse Oberflächenabfluss und Tank
Mistelbach 2005

V1			NO3	(NO3) N	NO2	(NO2) N	NH4	(NH4) N	N-anorg.	PO4-P
Probe	Versuch	Zeit: (min)	Messwert (mgNO3/l)	NO3 x 0,226 (mgNO3-N/l)	Messwert (mgNO2/l)	NO2 x 0,304 (mgNO2-N/l)	Messwert (mgNH4/l)	NH4 x 0,777 (mgNH4-N/l)	Summe (mgN/l)	Messwert (mgPO4-P/l)
A1bl	1TV	1	45,54	10,29	0,56	0,17	0,32	0,25	10,71	0,03
A2bl		5	31,58	7,14	0,01	0,00	0,07	0,05	7,19	0,00
A3bl		10	21,25	4,80	6,29	1,91	0,58	0,44	7,16	0,94
A4bl		15	31,78	7,18	2,18	0,66	0,39	0,30	8,14	0,49
A5bl		20	26,99	6,10	2,95	0,90	0,28	0,21	7,21	1,11
A6bl		25	30,98	7,00	0,78	0,24	0,12	0,09	7,33	0,75
A7bl		30	30,12	6,81	0,39	0,12	0,11	0,08	7,01	0,11
A8bl		35	31,36	7,09	0,04	0,01	0,14	0,11	7,21	0,40
A9bl		40	30,36	6,86	0,07	0,02	0,11	0,08	6,97	0,43
A10bl		45	28,14	6,36	0,04	0,01	0,10	0,08	6,45	0,00
A11bl		50	29,38	6,64	0,07	0,02	0,15	0,12	6,78	0,17
A12bl		55	0,00	0,00	0,05	0,02	0,12	0,09	0,11	0,18
6.1		59	30,01	6,78	0,00	0,00	0,11	0,08	6,87	0,34
1.1	1 NV	2	51,29	11,59	0,16	0,05	0,32	0,25	11,89	0,06
1.2		5	41,17	9,30	0,13	0,04	0,18	0,14	9,48	0,00
1.3		10	29,67	6,71	2,27	0,69	0,15	0,11	7,51	0,00
1.4		15	28,59	6,46	0,94	0,29	0,03	0,02	6,77	0,00
1.5		20	31,89	7,21	0,53	0,16	0,15	0,12	7,49	0,00
1.6		25	31,08	7,02	0,07	0,02	0,07	0,05	7,10	0,24
1.7		29	31,51	7,12	0,08	0,02	0,01	0,00	7,15	0,00
1.8		34	62,40	14,10	0,09	0,03	0,07	0,05	14,18	2,84
1.9		39	32,29	7,30	0,10	0,03	0,06	0,04	7,37	0,00
1.10		44	32,95	7,45	0,08	0,02	0,09	0,07	7,54	0,00
6.2	Tank 1 TV		29,28	6,62	0,00	0,00	0,25	0,19	6,81	0,00
			Mittel V1	**6,39**		**0,31**		**0,15**	**6,86**	**0,35**

Wasseranalyse Oberflächenabfluss und Tank

Mistelbach 2005

V5			NO3	(NO3) N	NO2	(NO2) N	NH4	(NH4) N	N-anorg.	PO4-P
Probe	Versuch	Zeit:	Messwert (mgNO3/l)	NO3 x 0,226 (mgNO3-N/l)	Messwert (mgNO2/l)	NO2 x 0,304 (mgNO2-N/l)	Messwert (mgNH4/l)	NH4 x 0,777 (mgNH4-N/l)	Summe (mgN/l)	Messwert (mgPO4-P/l)
3.1	5 NV	2	61,24	13,84	0,36	0,11	0,42	0,33	14,28	0,04
3.2		5	40,19	9,08	0,21	0,06	0,29	0,23	9,37	0,13
3.3		10	34,49	7,79	1,32	0,40	0,19	0,15	8,34	0,00
3.4		15	31,87	7,20	1,01	0,31	0,13	0,10	7,61	0,39
3.5		20	32,11	7,26	0,15	0,05	0,14	0,11	7,41	0,08
3.6		24	31,59	7,14	0,05	0,02	0,11	0,09	7,24	0,06
3.7		29	31,57	7,13	0,05	0,02	0,10	0,08	7,23	0,08
3.8		33	37,51	8,48	0,00	0,00	0,14	0,10	8,58	0,02
3.9		38	31,08	7,02	0,01	0,00	0,12	0,09	7,12	0,17
3.10		43	31,20	7,05	0,03	0,01	0,03	0,02	7,08	0,23
3.11		47	31,39	7,09	0,10	0,03	0,15	0,12	7,24	0,29
7.1	5 TV	3	33,18	7,50	0,07	0,02	0,34	0,26	7,78	0,00
7.2		11	22,66	5,12	8,92	2,71	0,71	0,55	8,38	0,63
7.3		16	9,44	2,13	16,32	4,96	1,35	1,04	8,13	2,34
7.4		21	24,39	5,51	0,74	0,22	0,66	0,51	6,24	1,44
7.5		26	29,34	6,63	3,15	0,96	0,49	0,38	7,96	1,20
7.6		31	31,66	7,16	1,83	0,56	0,29	0,23	7,94	1,08
7.7		36	33,17	7,50	0,71	0,22	0,35	0,27	7,98	0,82
7.8		41	33,45	7,56	0,07	0,02	0,23	0,18	7,76	0,66
7.9		46	33,08	7,48	0,01	0,00	0,09	0,07	7,55	0,61
7.10		51	32,27	7,29	0,00	0,00	0,59	0,45	7,75	0,49
7.11		56	32,01	7,23	0,00	0,00	0,06	0,05	7,28	0,44
7.12		61	31,52	7,12	0,13	0,04	0,06	0,05	7,21	0,44
7.13	Tank 5 TV		30,41	6,87	0,00	0,00	0,00	0,00	6,87	0,00
			Mittel V5	**7,28**		**0,47**		**0,24**	**7,98**	**0,50**

Wasseranalyse Oberflächenabfluss und Tank

Mistelbach 2005

V6			NO3	(NO3) N	NO2	(NO2) N	NH4	(NH4) N	N-anorg.	PO4-P
Probe	Versuch	Zeit:	Messwert (mgNO3/l)	NO3 x 0,226 (mgNO3-N/l)	Messwert (mgNO2/l)	NO2 x 0,304 (mgNO2-N/l)	Messwert (mgNH4/l)	NH4 x 0,777 (mgNH4-N/l)	Summe (mgN/l)	Messwert (mgPO4-P/l)
4.1	6 TV	1	36,60	8,27	0,17	0,05	0,24	0,18	8,51	0,03
4.2		7	28,21	6,38	0,00	0,00	0,84	0,65	7,03	0,00
4.3		12	44,93	10,15	13,37	4,06	0,76	0,59	14,81	0,11
4.4		17	28,03	6,33	3,96	1,20	0,43	0,33	7,87	0,00
4.5		22	29,42	6,65	1,72	0,52	0,24	0,18	7,35	0,66
4.6		27	31,27	7,07	0,72	0,22	0,27	0,20	7,49	0,53
4.7		32	34,14	7,72	0,03	0,01	0,20	0,15	7,88	0,00
4.8		37	29,15	6,59	0,04	0,01	0,12	0,09	6,69	0,00
4.9		42	30,18	6,82	0,04	0,01	0,14	0,11	6,94	0,00
4.10		47	31,27	7,07	0,00	0,00	0,01	0,01	7,08	0,20
A2Schw.		52	30,95	6,99	0,04	0,01	0,13	0,10	7,11	0,21
A3Schw.		57	31,14	7,04	0,08	0,02	0,17	0,13	7,19	0,08
A4Schw.		61	30,62	6,92	0,08	0,02	0,07	0,06	7,00	0,06
5.1	6 NV	2	41,88	9,46	0,09	0,03	0,21	0,16	9,66	0,01
5.2		7	29,06	6,57	0,10	0,03	0,72	0,55	7,15	0,00
5.3		12	32,46	7,34	1,07	0,33	0,28	0,22	7,88	0,00
5.4		16	28,71	6,49	0,54	0,16	0,08	0,06	6,72	0,00
5.5		21	28,83	6,52	0,19	0,06	0,06	0,04	6,62	0,00
5.6		26	31,09	7,03	0,09	0,03	0,03	0,02	7,08	0,13
5.7		31	27,21	6,15	0,10	0,03	0,22	0,17	6,35	0,00
5.8		36	31,01	7,01	0,41	0,12	0,26	0,20	7,33	0,00
5.9		41	32,07	7,25	0,15	0,05	0,13	0,10	7,39	0,00
5.10		46	31,27	7,07	0,16	0,05	0,03	0,02	7,14	0,00
6.5	Tank 6 TV		31,23	7,06	0,00	0,00	0,03	0,02	7,08	0,00
			Mittel V6	**7,17**		**0,31**		**0,19**	**7,66**	**0,09**

Bodenanalyse
Mistelbach **08.09.2005**

Probenbezeichnung	Probe von min:	**Gesamt-N** Messwert (% N)	**Ctot** Messwert (% C)	**PO4-P** Messwert PO4-P %
Boden V1		0,121	3,66	0,03
Boden V5		0,110	2,86	0,02
BodenV6		0,129	2,63	0,02
6TV103-117	8	0,165	3,18	0,02
6TV118-132	23	0,148	2,93	0,02
6TVF.133-147	38	0,158	2,98	0,02
6TVF.148-160	53	0,169	3,17	0,02
6NVF.161-175	8	0,162	3,04	0,02
6NVF.176-190	23	0,219	3,69	0,03
6NVF.191-204	38	0,115	3,13	0,03
5TV1-15	8	0,142	3,46	0,04
5TV16-30	23	0,156	3,59	0,02
5TVF.31-45	38	0,166	3,69	0,03
5TVF.46-56	53	0,197	4,10	0,03
5NVF.101-119	8	0,200	4,11	0,03
5NVF.116-130	23	0,187	4,08	0,03
5NVF.131-146	38	0,112	3,89	0,03
1TV1-15	8	0,142	4,10	0,03
1TV16-30	23	0,152	4,25	0,03
1TVF.31-45	38	0,163	4,31	0,03
1TVF.46-60	53	0,212	4,45	0,03
1NVF.61-75	8	#BEZUG!	#DIV/0!	0,03
1NVF.76-90	23	#BEZUG!	#DIV/0!	0,03
1NVF.91-102	38	#BEZUG!	#DIV/0!	0,03