Universität für Bodenkultur Wien

Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt (WAU)

Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft (IHLWW)

Einfluss von Bodenbearbeitung und Hangposition auf den Bodenwassergehalt

Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades
Diplom - Ingenieur

Betreuer:
Ao. Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Andreas Klik

Harald Johann Vorwagner

Wien, September 2007

Vorwort

Die vorliegende Diplomarbeit entstand an der Universität für Bodenkultur Wien am Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt, Institut für Hydraulik und Landeskulturelle Wasserwirtschaft unter der Leitung von Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Andreas Klik.

An dieser Stelle möchte ich allen jenen danken, die durch ihre fachliche oder persönliche Unterstützung zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen haben.

Für die wissenschaftliche Betreuung dieser Arbeit danke ich Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Andreas Klik.

Besonderer Dank gebührt meinen Eltern, die mir durch ihre Unterstützung dieses Studium und letztendlich auch diese Arbeit ermöglicht haben.

Einen großen Dank möchte ich meiner gesamten Familie, besonders meinem Bruder Alois Franz und meiner Schwester Eva–Maria aussprechen. Sie haben mir oft viel Kraft gegeben.

Auch bei meinen Freunden und Studienkollegen möchte ich mich für die schöne Zeit des Studentenlebens und für ihre Begleitung bedanken.

Mein größter Dank gilt meiner Partnerin Kathrin, die mich immer unterstützte und in meinem Leben ein wichtiger Rückhalt ist.

Kurzfassung

Bei verschiedenen Bodenbearbeitungsmaßnahmen und unterschiedlicher Lage an einem Hang, verhält sich auch der Bodenwassergehalt im Bodenprofil unterschiedlich.

Um dies feststellen zu können, wurden an einem landwirtschaftlich genutzten Feld, das mit konventioneller, konservierender Bodenbearbeitung sowie mit Direktsaat bearbeitet wurde, Rohrsonden zur Wasseranteilsmessung an je drei Hangpositionen installiert. Zusätzlich zu deren Messergebnissen wurde auch der Niederschlag aufgezeichnet. Durch die Gegenüberstellung des Niederschlages und der Wassergehaltsänderung nach einem Niederschlagsereignisses konnten die Messergebnisse kontrolliert werden und somit ein zeitlicher Verlauf des Bodenwassergehalts dargestellt werden.

Die eingesetzten Sensoren zur Wasseranteilsmessung sind für die Erfassung des zeitlichen Verlaufs des Bodenwassergehalts geeignet, für eine genaue Messung wäre jedoch eine Eichung der Sensoren notwendig.

Abstract

On the basis of different tilling methods and different position on a slope, there are also different soil water contents. Therefore access tubes were installed vertically in three different slope positions at an agricultural field.

The tillage of this field (in different parts) was conventional tillage with ploughing, conservation tillage without ploughing and direct sowing. Beside the soil water content measurement, there was also a rainfall measurement.

With the confrontation between the rainfall data and the soil water content change after a rainfall, it was possible to check the test readings. Therefore a display of the temporal course of the soil water content has been feasible.

The used sensors are useful to register temporal courses of soil water content but for exact measurement it's important to calibrate the sensors.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Aufgabenstellung 1

2 Allgemeine Grundlagen 2

- Boden 2
- Bodenwasser 3
- Wasseranteil Θ 4
- Massenwassergehalt w 5
- Feldkapazität (FK) 5
- Permanenter Welkepunkt (PWP) 6
- Wasserspannung / Bodenwasserpotenzial Ψ 6

3 Material und Methode 8

3.1 Beschreibung des Standortes 8

3.2 Bodenbearbeitung der Versuchsfläche 11

3.3 Datenerhebung im Feld 15

3.3.1 Bodenwasseranteilsmessung 15

3.3.2 Niederschlag und Temperatur 16

3.4 Datenaufbereitung 17

3.4.1 Aufbereitung der Niederschlagsdaten 17

3.4.2 Berechnung der Profilwassermenge W im Bodenprofil 17

3.4.3 Berechnung der Profilwasseränderung ΔW 20

3.4.4 Aufbereitung der kontinuierlich gemessenen Wasseranteilsdaten in der Hangmitte (EnviroScan) 21

3.4.5 Aufbereitung der wöchentlich gemessenen Wasseranteilsdaten am Hangkopf und am Hangfuß (Diviner) 23

3.4.6 Vergleich der kontinuierlich gemessenen Wassergehaltsdaten (EnvironScan) mit den wöchentlich gemessenen Wassergehaltsdaten (Diviner) 24

4 Ergebnisse und Interpretation 26

4.1 Niederschlagsverlauf 26

4.1.1 Niederschlagsverlauf für das Jahr 2002 26

4.1.2 Niederschlagsverlauf für das Jahr 2003 27

4.1.3 Niederschlagsverlauf für das Jahr 2004 28

4.2 Vergleich zwischen Wasseranteil (EnvironScan) und Niederschlag in der Hangmitte und Auswahl der verwendeten Messrohre. 29

4.3 Ermittlung der Wasseranteilswerte an Hangkopf und Hangfuß 35

4.4 Zeitlicher Verlauf des Wasseranteils 37

4.5 Zeitlicher Verlauf der Profilwassermenge 39

4.6 Wasseranteil entlang des Hanges 45

5 Zusammenfassung 47

6 Literaturverzeichnis 49

7 Tabellenverzeichnis 50

8 Abbildungsverzeichnis 51

9 Anhang 53

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Im Zuge einer Dissertation (HOFMANN, 2005) wurden am Standort Mistelbach Wassergehaltsdaten und Niederschlagsdaten für die Jahre 2002, 2003 und 2004 erhoben. Der große Umfang der erhobenen Daten bietet die Möglichkeit einer umfassenden Auswertung. In dieser Diplomarbeit werden nun diese erhobenen Daten ausgewertet, miteinander verglichen und gegenübergestellt.

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist es, den zeitlichen Bodenwassergehaltsverlauf einer Versuchsfläche für die Jahre 2002, 2003 und 2004 zu erstellen. Es soll der Wassergehalt an Hangkopf, Hangmitte und Hangfuß dargestellt werden, wobei die Versuchsfläche mit unterschiedlichen Bodenbearbeitungsmaßnahmen bearbeitet wurde. Die Wassergehalte wurden auch mit unterschiedlichen Messsystemen an den Hangpositionen erhoben.

Es soll mit Hilfe dieser Beobachtung untersucht werden, ob sich die unterschiedlichen Bodenbearbeitungsvarianten der Versuchsfläche im Betrachtungszeitraum auch auf den Bodenwassergehalt auswirken. In einem weiteren Schritt wird der Bodenwassergehalt entlang des Versuchhanges beobachtet.

2 Allgemeine Grundlagen

Im folgenden Kapitel werden Begriffe definiert, die für diese Arbeit grundlegend sind.

- **Boden**

BLUM (1992) definiert Boden wie folgt: „Boden ist das mit Wasser, Luft und Lebewesen durchsetzte, unter dem Einfluß [sic] der Umweltfaktoren an der Erdoberfläche entstandene und im Ablauf der Zeit sich weiterentwickelnde Umwandlungsprodukt mineralischer und organischer Substanzen mit eigener morphologischer Organisation, das in der Lage ist, höheren Pflanzen als Standort zu dienen und die Lebensgrundlage für Tiere und Menschen bildet."

Der Boden besteht aus festen, flüssigen und gasförmigen, organischen und mineralischen, lebenden und toten Bestandteilen.

Den Boden kann man als thermodynamisch offenes System betrachten. Dieses System besteht aus

- Bodenluft
- Bodenwasser
- Bodenfeststoffe

In Abbildung 1 sind die festen, flüssigen und gasförmigen Bestandteile des Bodens dargestellt KASTANEK (1998).

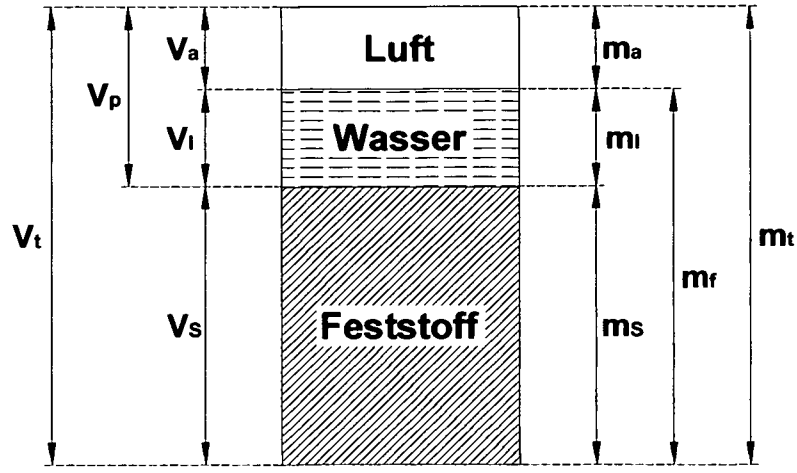


Abbildung 1: Phasenverhältnis zwischen den Bodenbestandteilen (KASTANEK, 1998)

V_a	**Volumen Luft (air)**	m_a	**Masse Luft**
V_l	**Volumen Wasser (liquid)**	m_l	**Masse Wasser**
V_s	**Volumen Feststoff (soil)**	m_s	**Masse Feststoff**
V_p	**Porenvolumen**	m_f	$m_l + m_s$
V_t	**Gesamtvolumen**	m_t	**Masse Gesamt**

- **Bodenwasser**

Das Bodenwasser ist die flüssige Komponente der Bodenbestandteile. Es dringt hauptsächlich über Niederschläge in den Untergrund ein. Ein kleiner Teil des Bodenwassers kann aber auch durch Kondensation (dampfförmige Luftfeuchtigkeit) in den Boden gelangen.

Je nach Niederschlagsmenge und Niederschlagsintensität, Durchlässigkeit des Bodens und Hangneigung kann das Wasser in den Boden eindringen, oberflächlich abfließen (Oberflächenwasser) oder Verdunsten (Evaporation). Das Wasser, das in den Boden eindringt, verbleibt dort als Haftwasser oder kann als Sickerwasser Grund- oder Stauwasser bilden. Wasser kann aber auch durch den kapillaren Aufstieg aus dem Grund- oder Stauwasser wieder das

Haftwasser bilden (vgl. BLUM 1992).

In Abbildung 2 sieht man das Schema der Verteilung des Niederschlages und des Bodenwassers.

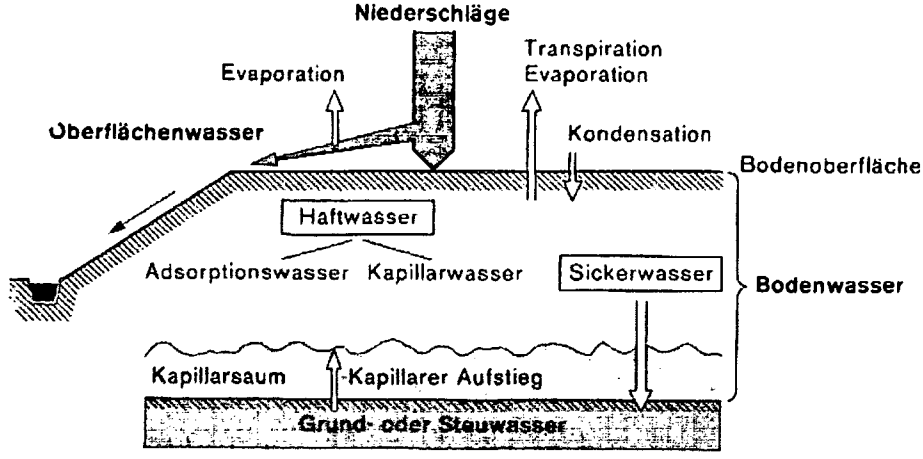


Abbildung 2: Schema der Verteilung von Niederschlag und Bodenwasser (BLUM, 1992)

- **Wasseranteil Θ**

Der Wasseranteil Θ ist das Volumen des Bodenwassers bezogen auf das Gesamtvolumen.

$$\Theta = \frac{V_l}{V_t}$$

Θ **Wasseranteil; [Θ] = $cm^3 \cdot cm^{-3}$**

V_l **Wasservolumen; [V_l] = cm^3**

V_t **Gesamtvolumen ; [V_t] = cm^3**

- **Massenwassergehalt w**

Der Massenwassergehalt ist die Masse des Wassers, die der Boden bei Trocknung abgibt, ausgedrückt in kg Wasser pro kg des getrockneten Bodens.

$$w = \frac{m_w}{m_s}$$

w **Massenwassergehalt [w] = kg . kg –1**

m_w **Masse des im Boden vorhandenen Wassers; [m_w] = kg**

ms **Masse der Bodenfeststoffe; [m_s] = kg**

- **Feldkapazität (FK)**

Unter Feldkapazität wird der Wassergehalt verstanden, den ein Boden an seinem Standort in ungestörter Lagerung maximal gegen die Schwerkraft speichern kann. Konventionell wird die Feldkapazität als Wassergehalt 2 bis 3 Tage nach voller Wassersättigung, beispielsweise nach einer lagen Regenperiode oder Beregnung angegeben (MUTH, 1991).

Die Feldkapazität ist kein konstanter Bodenkennwert, sondern ein Standortfaktor, der von der Vegetation, dem Relief, dem Bodenaufbau, der Lage des Grundwasserspiegels und dem Klima abhängig ist. Als Bodenwasser – Konstante (Abbildung 3) für die Feldkapazität wird der Wasseranteil bei einer Wasserspannung von 0,1 bar bis 0,33 bar eingeführt (vgl. ÖBG (1980), zit. in MIKOVITS ,1998).

- **Permanenter Welkepunkt (PWP)**

Der permanente Welkepunkt ist jener Wasseranteil, der noch im Boden vorhanden ist, wenn die Turgeszens der Pflanze nach Wasserzufuhr nicht wiederkehrt (vgl. SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL ,1998). Es treten bei den Pflanzen irreversible Schäden bei sonst optimalen Bedingungen auf. Als Bodenwasser-Konstante (Abbildung 3) wird der Wasseranteil bei einer Wasserspannung von 15 bar angegeben. (vgl. MITKOVITS, 1998).

- **Wasserspannung / Bodenwasserpotenzial Ψ**

Die Wasserspannung gibt die hydrostatische Kraft an, mit welcher das Wasser an den Bodenteilchen gebunden ist. Je trockener der Boden (also niedriger Wassergehalt), desto größer ist die Wasserspannung (vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Wasserspannung).

Das Bodenwasser wird auch als Bodenwasserpotential Ψ bezeichnet, es entspricht jene Arbeit, die verrichtet werden muss, um eine gewisse Mengeneinheit Bodenlösung (Wasser) dem Boden in einer bestimmten Höhe zu entziehen (vgl. HARTGE und HORN,1999).

Die Wasserspannungskurve (Abbildung 3) beschreibt den Zusammenhang zwischen dem Potential des Wassers im Boden und der im Boden enthaltenen Wassermenge. Sie ist für den Boden charakteristisch und gibt Auskunft über die Menge des pflanzenverfügbarem Wasser (vgl. HARTGE und HORN, 1999).

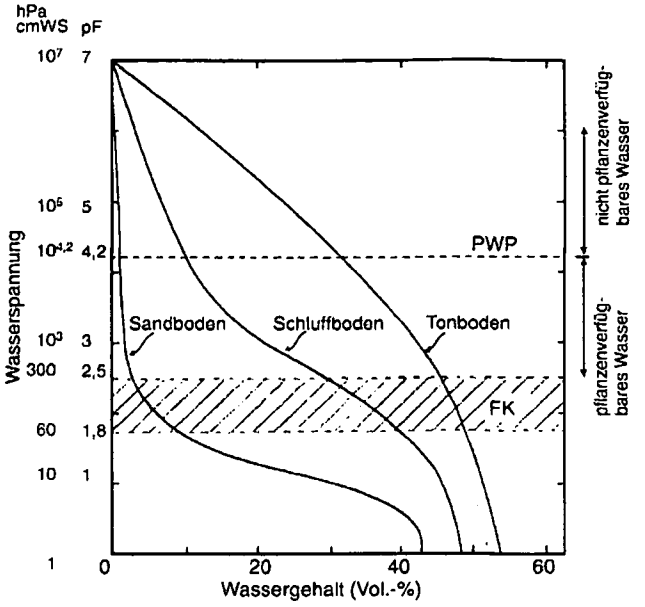


Abbildung 3: Beziehung zwischen Wasserspannung und Wassergehalt (pF-Kurven) bei einem Sandboden, einem tonigen Schluffboden (Lößboden) und einem Tonboden (A-Horizonte), (SCHEFFER / SCHACHTSCHABEL, 1998)

3 Material und Methode

3.1 Beschreibung des Standortes

Die Messstation befindet sich in Mistelbach. Mistelbach befindet sich ca. 50 km nördlich von Wien. In der Tabelle 1 sind die geographischen Koordinaten der Messstelle angegeben.

Tabelle 1: Geographische Koordinaten der Messstelle:

Geographische Koordinaten:	Länge	Breite	Blattnummer der ÖK 50
Mistelbach:	16° 34' O	48° 34' N	24

In Abbildung 4 ist der Standort der Messstelle ersichtlich.

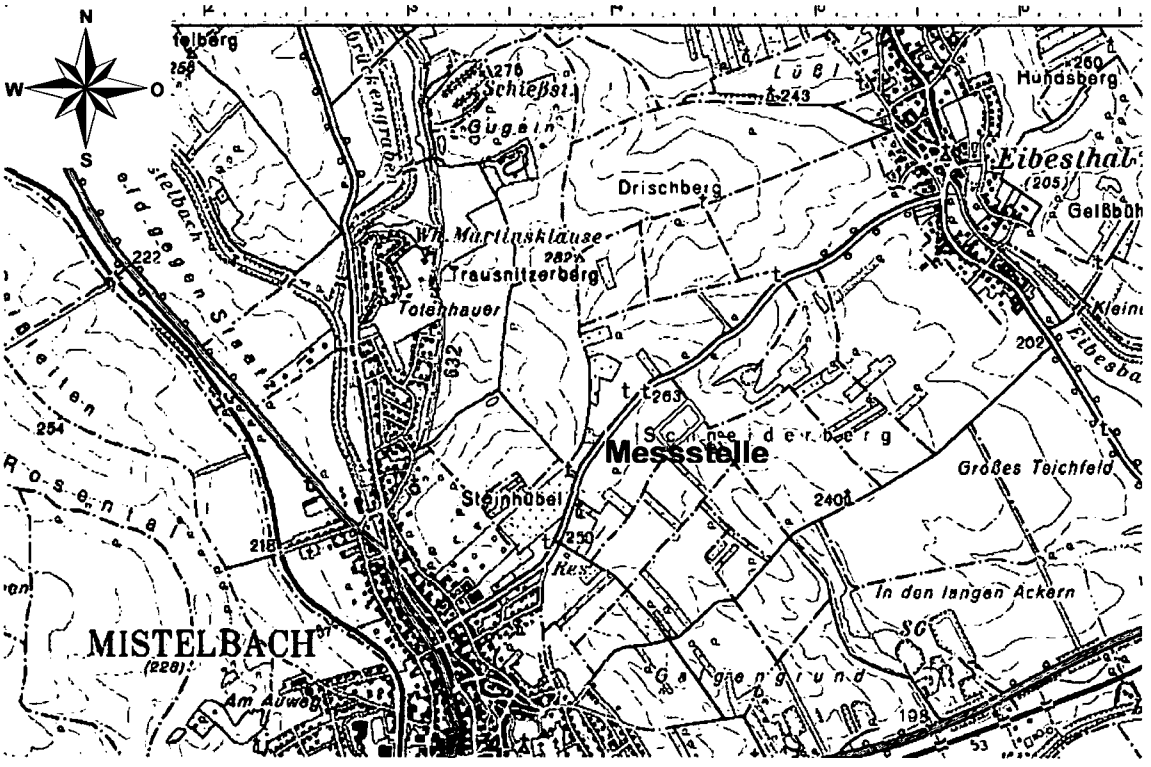


Abbildung 4: Standort der Messstelle (HOFMANN, 2005)

Die Messstelle befindet sich auf einem Hang in Richtung Südwesten, auf einer Seehöhe von ca. 250 m ü. A. Der Versuchshang hat eine Neigung von 12 – 13 %. (vgl. HOFMANN, 2005).

Mistelbach liegt im östlichen Teil des Weinviertels. Diese Region ist durch

sanfte Hügel und flache Muldentäler gekennzeichnet. Die Höhenlage dieses Gebietes liegt zwischen 200 und 300 m ü. A. Der östliche Teil des Weinviertels liegt im Wiener Becken. Es handelt sich um einen jungen posttektonischen Einbruch in den Gebirgskörper der Alpen und der Karpaten. Nachdem die Faltung und Überschiebung dieses Gebirgskörpers schon beendet war, kam es zu vertikalen Bewegungen. Diese Bewegungen waren Hebungen des Gebirgsköpers als Ganzes und Einbrüche in diesen. Das Becken ist mit jungtertiären Schichten von Sedimentgesteinen gefüllt. Solche Schichten sind oft sehr mächtig.

Die Österreichische Bodenkartierung (1995) klassifiziert diesen hier vorliegenden Boden als Bodenform 50 mit der Bezeichnung „kalkhaltiger Kulturboden aus Löß" (kKU). Die Wasserverhältnisse dieses Bodens sind trocken mit mäßiger Speicherkraft und Durchlässigkeit. Er ist stark abschwemmungsgefährdet und mäßig windgefährdet. Der Boden ist ein gut zu bearbeitendes, mittelwertiges Ackerland.

Mistelbach befindet sich im Bereich des pannonisch- mitteleuropäischen Übergangsklimas, wo die Anklänge des kontinentalen Klimas bereits erkennbar sind. Trockenen, heißen Sommern stehen kalte, aber nicht sehr schneereiche Winter gegenüber. Nach pflanzengeographisch- klimatologischen Gesichtspunkten gehört das Gebiet bereits zur Gänze dem Pannonikum an. Dieses Gebiet zählt zu den wärmsten und trockensten Gebieten Österreichs.

Es kommt an 90 bis 100 Tagen im Jahr zu Niederschlägen, an durchschnittlich 22 Tagen davon zu Gewittern. Die Winter sind niederschlagsarm. An 15 bis 20 Tagen gibt es Schneefall. Der Schnee bleibt aufgrund der tiefen Temperaturen im Winter 40 bis 50 Tage liegen. Zwischen Anfang Dezember und Anfang März ist mit Schneefall zu rechnen (vgl. HOFMANN, 2005).

Tabelle 2: Profilbeschreibung (HOFMANN, 2005)

	Von cm	Bis cm	
Ap	0	25	erdfrisch; lehmiger Schluff; schwach humos; Mull; stark kalkhaltig; deutlich mittelkrümelig; mittelporös; leicht zerdrückbar; olivbraun; (2,5 Y 4/4); gut durchwurzelt; mäßige Regenwurmtätigkeit; absetzend
C	25	100	erdfrisch; lehmiger Schluff; stark kalkhaltig, Kalknester, Pseudomycel; undeutlich feinblockig/Kanten gerundet; mittelporös (Lößgefüge); leicht zerdrückbar; lichtgelblichbraun; (2,5 Y 6/4); einzelne Lößkindln (5 mm ∅); wenig durchwurzelt, Wurzeln auslaufend; geringe Regenwurmtätigkeit

In Tabelle 3 ist ein Überblick über die Bodeneigenschaften und Klimadaten des Versuchsstandortes angegeben.

Tabelle 3: Überblick über die Bodeneigenschaften und Klimadaten

Bodeneigenschaften			Klima	
Sand (%)	Ton (%)	Schluff (%)	Jahres NS S(mm)	Mittl. Jahres-temp (°C)
12.8	64.2	23.0	637.2	9.6

Die mittleren Monats- und Jahresniederschläge und die mittleren Monats- und Jahrestemperaturen für Mistelbach sind in Tabelle 4 und Tabelle 5 angegeben.

Tabelle 4: Langjährige mittlere Monats- und Jahresniederschläge (mm) für Mistelbach

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	MW
1961-90	27,0	30,0	31,0	39,0	63,0	74,0	63,0	58,0	42,0	37,0	39,0	29,0	44,3
MW 94-04	27,7	21,6	39,3	36,2	62,0	86,3	92,0	59,7	74,4	46,9	53,5	37,7	53,1
2002	8,5	22,5	48,4	35,6	47,6	77,0	105,2	145,6	37,7	81,5	55,1	52,8	59,8
2003	51,0	2,2	1,3	25,6	36,2	31,8	29,9	25,0	44,5	46,6	33,8	61,7	32,5
2004	51,6	51,6	76,5	16,7	36,7	85,1	60,7	11,2	37,1	40,6	33,7	12,0	42,8
MW 02-04	37,0	25,4	42,1	26,0	40,2	64,6	65,3	60,6	39,8	56,2	40,9	42,2	45,0

Tabelle 5: Langjährige mittlere Monats- und Jahrestemperaturen (°C) für Mistelbach

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	MW
1961-90	-2,9	-0,9	3,2	8,2	12,9	16,0	18,0	17,6	14,0	8,8	2,8	-1,1	8,1
MW 94-04	-1,3	0,9	4,6	9,6	15,1	18,1	19,9	20,3	14,6	9,7	4,5	-0,5	9,6
2002	-0,5	4,6	5,9	9,0	16,6	19,4	20,6	19,5	13,7	8,0	6,2	-1,7	10,1
2003	-2,1	-2,9	4,9	8,8	16,7	20,9	20,3	23,0	15,0	6,6	5,5	-0,1	9,7
2004	-3,0	1,4	3,1	10,2	13,0	16,6	18,6	20,3	14,7	10,7	4,8	0,2	9,2
MW 02-04	-1,8	1,0	4,6	9,3	15,4	19,0	19,8	21,0	14,5	8,4	5,5	-0,6	9,7

3.2 Bodenbearbeitung der Versuchsfläche

An der Versuchsfläche wurden die Auswirkungen von drei unterschiedlichen Bodenbearbeitungsvarianten auf den Bodenwassergehalt untersucht. Diese Bodenbearbeitungsvarianten sind:

KV: Konventionelle Bearbeitung mit Pflug, Saatbettbereitung, keine Gründecke

KS: Anbau mit konservierender Bearbeitung durch Mulchsaat (ohne Pflug), mit Gründecke

DS: Direktsaat in abgefrostete Gründecke

Die konventionelle Bodenbearbeitung ist die sogenannte „Wendende Bodenbearbeitung", hier kommt der Pflug zum Einsatz.

Bei der konservierenden Bodenbearbeitung wird auf dem Pflug verzichtet, stattdessen werden verschiedene Grubberbauarten verwendet.

Bei der Direktsaat wird auf jegliche Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung vor der Aussaat verzichtet (vgl. SCHÖN et. al., 1998).

In der Abbildung 5 sind die unterschiedlichen Bodenbearbeitungs- bzw. Saatgeräte für die unterschiedlichen Bodenbearbeitungsverfahren dargestellt.

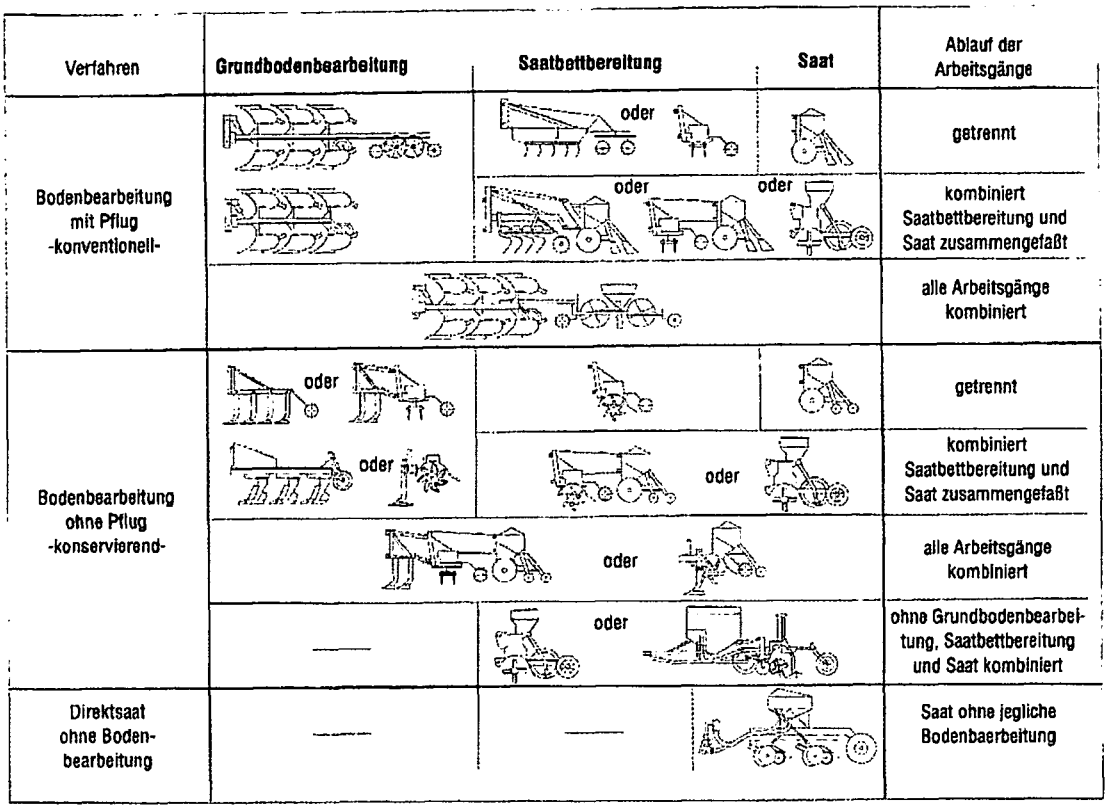


Abbildung 5: Unterschiedliche Bodenbearbeitungsverfahren, (SCHÖN et. al., 1998)

In Tabelle 6 sind die Versuchsvarianten für den Standort Mistelbach angegeben.

Tabelle 6: Versuchvarianten (HOFMANN, 2005)

KV	Standard, konventionelle Bodenbearbeitung mit Pflug, Saatbettbereitung, keine Gründecke
KS	Gründecke (12,5kg/ha Platterbse, 20 kg Saatwicke, 3 kg Buchweizen, 7,5 kg Alexandrienerklee, 5 kg Phyazelie, je 1 kg Malve und nematodenhemmender Senf), Anbau mit konservierender Bodenbearbeitung durch Mulchsaat – keine Gründecke 2002/2003
DS	Direktsaat in abgefrostete Gründecke (2,4 kg/ha nematodenhemmender Senf und 5,6 kg Phyazelie), folgend pfluglos ohne Tiefenlockerung – keine Gründecke 2002/2003

Die Tabelle 7 zeigt die Bodenbearbeitungsmaßnahmen, die während des Untersuchungszeitraumes 2002, 2003 und 2004 durchgeführt wurden.

Tabelle 7: Bearbeitungsmaßnahmen im Betrachtungszeitraum 2002, 2003 und 2004, (HOFMANN, 2005)

2002				
Datum	Arbeitsschritt	**KV**	**KS**	**DS**
17.04.2002	Pflanzenschutz	5 l/ha Roundup ultra		
25.04.2002	Bearbeitung	Kreiselegge		
26.04.2002	Saat	Mais (LG 32.26)		
02.05.2002	Düngung	500 kg NAC/ha (135kg N/ha)		
14.05.2002	Pflanzenschutz	20 g/ha Titus + 0,5 l/ha Pardner + 0,2 l/ha Neowett		
03.06.2002	Pflanzenschutz	0,5 l/haPardner + 0,2 l/ha Neowett		
08.10.2002	Ernte	Nettoparzellenernte 45 m²		
29.10.2002	Bearbeitung	Bodenbearbeitung mit Scheibenegge		
06.11.2002	Bearbeitung	Pflug		Grubber
07.11.2002	Anbau	Winterweizen Capo, 170 kg/ha mir Kreisselegge und Sämaschine		
2003				
Datum	Arbeitsschritt	**KV**	**KS**	**DS**
29.10.2002	Bearbeitung	Scheibenegge		
06.11.2002	Bearbeitung	Pflug		Grubber
07.11.2002	Saat	Winterweizen Capo, 170 kg/ha mit Kreisselegge und Sämaschine		
27.03.2003	Düngung	111 kg NAC/ha (30 kg N/ha)		
06.05.2003	Pflanzenschutz	0,6 kg/ha Platform S + 15 g/ha Express + 250 ml/ha Netzmittel		
07.05.2003	Düngung	200kg NAC/ha (54 kg N/ha)		
23.05.2003	Düngung	148 kg NAC/ha (40 kg N/ha)		
15.07.2003	Ernte	Nettoparzellenernte 45 m²		
2004				
Datum	Arbeitsschritt	**KV**	**KS**	**DS**
14.04.2004	Bearbeitung	Saatbettbereitung mit Kreiselegge		
14.04.2004	Saat	Sonnenblume, Sorte: Alzan, 58.00 Korn/ha		
15.04.2004	Pflanzenschutz	2 l/ha Racer CS + 2,1 kg/ha Roundup Turbo (BBCH 0)		
18.05.2004	Pflanzenschutz	0,6 l/ha Targa Super + 2 l/ha Paroil (BBCH 16)		
30.09.2004	Ernte	Nettoparzellenernte 45 m²		
08.10.2004	Fräsen	Fräsen		
11.10.2004	Bearbeitung	Pflug		Grubber
27.10.2004	Anbau	180 kg/ha Winterweizen, Sorte Edson, mit Kreiselegge und Sämaschine		

Die Versuchsfläche wurde in acht Streifen aufgeteilt (Variante 1 bis Variante 8). Die Sensoren zur Wasseranteilsmessung wurden am Hangbeginn und Hangfuß (Diviner) und in der Hangmitte (EnviroScan) eingebaut. Gemessen wurde immer auf den Streifen Variante 1 (konventionelle Bearbeitung), Variante 5

(konservierende Bearbeitung) und auf Variante 6 (Direktsaat). In Abbildung 6 ist eine Skizze der Versuchsfläche dargestellt.

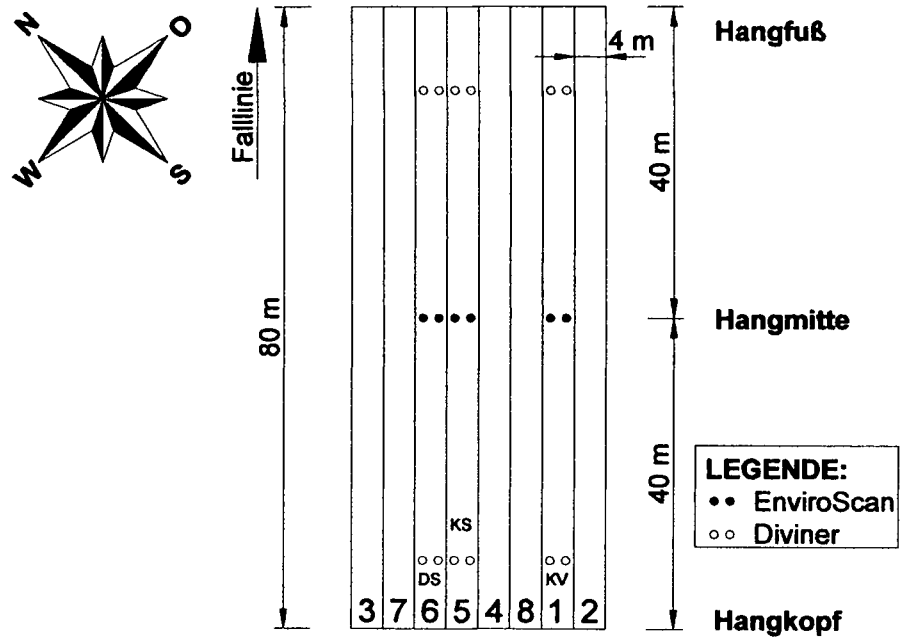


Abbildung 6: Skizze der Messstelle

3.3 Datenerhebung im Feld

Im folgenden Kapitel werden die angewendeten Messmethoden des Wasseranteils, Niederschlags und der Temperatur beschrieben.

3.3.1 Bodenwasseranteilsmessung

Die Messung des Bodenwasseranteils wurde mittels indirekter Methode durchgeführt. Es wurden Diviner2000™ und EnviroScan – Sensoren eingesetzt. Bei diesen Systemen wird die elektrische Kapazität zwischen zwei Elektroden gemessen, welche von den Dielektrizitätskonstanen des Bodens, der Luft und des Wassers abhängig ist. Durch diesen Zusammenhang wird auf den Bodenwasseranteil geschlossen.

Um Absolutwerte bestimmen zu können, müssen die Geräte für jeden Standort geeicht werden (vgl. ZARTL et al., 2001, zit. in HOFMANN, 2005).

Der Einbau der Diviner- und EnviroScan- Rohre wurde mittels einer kombinierten Bohr-Schlag-Technik durchgeführt. Die Diviner- und EnviroScan-Systeme wurden im Frühjahr 2002 installiert. Die Einbaupositionen der Diviner Sonden waren am Hangkopf und am Hangfuß und die der EnviroScan Sonden waren in der Hangmitte. In allen drei Versuchsjahren wurde diese Messanordnung wiederholt.

Das EnviroScan System war mit einem Datenlogger ausgestattet, welcher in einem Messintervall von 30 Minuten den Bodenwasseranteil aufzeichnete. Die Einbautiefen der Messsensoren lagen bei 10 cm, 20 cm, 30 cm, 50 cm und in 100 cm.

Die Diviner – Sonden sind für wöchentliche Messungen verwendet worden und wurden manuell eingeführt. Die Bodenfeuchte wurde von diesen Sonden in 10 cm Schritten bis zu einer Tiefe von 100 cm gemessen. Die Daten der Diviner Sonde wurden mittels einem Datenlogger erfasst und konnten somit vor Ort gesichert werden. Die Daten der EnviroScan Sonden konnten kontinuierlich aufgezeichnet werden, dies war möglich, weil die EnviroScan Sonde aus

mehreren Sonden bestand, die in 10, 20, 30, 50 und 100 cm Tiefe eingebaut waren. Diese Daten wurden bei einem Messintervall von 30 Minuten monatlich ausgelesen. (vgl. HOFMANN, 2005).

3.3.2 Niederschlag und Temperatur

Der Niederschlag ist mittels Regenschreiber in 5–Minuten–Intervallen erhoben worden. Ein Temperatursensor wurde aufgestellt der auch alle fünf Minuten Daten aufzeichnete.

Leider fehlten für die Jahre 2002 und 2003 zum Teil einige Niederschlags - Messwerte. Als Ersatz für die fehlenden Niederschlagsdaten wurden Tagesniederschlagswerte von der Messstelle Naglern und Schletz herangezogen.

Im Anhang 1 sind die Zeiträume für 2002 und 2003 angegeben, für die Ersatzniederschlagsdaten notwendig waren.

3.4 Datenaufbereitung

3.4.1 Aufbereitung der Niederschlagsdaten

Wie bereits angegeben, sind die Niederschläge mittels Regenschreiber erhoben worden. Damit die registrierten Niederschläge mit den erhobenen Wasseranteilen, die alle 30 Minuten erhoben wurden, verglichen werden konnten, mussten die Niederschlagsdaten vorerst einmal in „Halbstunden-Werte" addiert werden. Ein weiterer Schritt war es die in Halbstunden-Werte aufsummierten Niederschlagsdaten in Tageswerte umzurechnen. Dies erfolgte täglich um 7:00 für die letzten 24 Stunden.

3.4.2 Berechnung der Profilwassermenge W im Bodenprofil

Da die Messsensoren der Wasseranteilsmessung den Wasseranteil für einen Bereich von 10 cm (100 mm) Höhe ermittelten, konnte direkt vom Wasseranteil, ausgedrückt in Prozent (Vol% oder $cm^3 \cdot cm^{-3}$), auf das auf die Querschnittsfläche A bezogenen Wasservolumen $h_w = V_w \cdot A^{-1}$ geschlossen werden.

Über den gemessenen Wasseranteil konnte man direkt auf die Profilwassermenge in Millimeter pro Dezimeter Profilhöhe schließen.

$$1\% = 1mm / dm$$

Bei der Berechnung des Profilwassermenge W konnte man nun den Wasseranteil in Millimeter pro Dezimeter Profilhöhe ansehen und aufsummieren.

Waren die Sensoren nicht alle 10 cm eingebaut oder fehlten dazwischen einige Sensoren, so konnte dies durch eine Vergrößerung der Einflussbreite d berücksichtigt werden. Die Profilwassermenge konnte durch Aufsummieren der Wasseranteile multipliziert mit der Einflussbreite d berechnet werden.

$$W = \sum_{i=1}^{n} \Theta_i \cdot d_i$$

W **Profilwassermenge; [W] = mm**

Θ_i **Wasseranteil in der Tiefe zi; [Θ_i] = %**

d_i **Einflussbreite des Wasseranteils; [d_i] = dm**

Für die Berechung der Profilwassermenge in 50 cm Tiefe wurden die Wasseranteile der Tiefenabschnitte 0 cm – 15 cm, 15 cm – 25 cm, 25 cm – 40 cm und 40 cm – 50 cm betrachtet. Für die Ermittlung der Profilwassermenge in 100 cm Tiefe wurden die Wasseranteile der Tiefenabschnitte 0 cm – 15 cm, 15 cm – 25 cm, 25 cm – 40 cm, 40 cm – 75 cm und 75 cm – 100 cm herangezogen.

Da die Wasseranteilswerte mit EnviroScan Sensoren in 10 cm, 20 cm, 30 cm, 50 cm und 100 cm Tiefe gemessen wurden, mussten für die Ermittlung der Profilwassermenge in den oben genannten Tiefenabschnitte die EnviroScan – Werte mit der Einflussbreite d multipliziert werden.

Tabelle 8 gibt einen Überblick über die Tiefenabschnitte, sowie die Einflussbreiten d die zur Berechnung der Profilwassermenge für 50 cm Tiefe (W_{50}) und 100 cm Tiefe (W_{100}) notwendig sind.

Tabelle 8: Bereiche der aufsummierten Wasseranteilswerte und Einflussbreite d, mit welchen die Wasseranteile für die jeweiligen Tiefenabschnitte multipliziert wurden.

Sensortiefe cm	**Bezugstiefe** 50 cm	**Einflussbreite d**	**Bezugstiefe** 100 cm	**Einflussbreite d**
10	0 cm – 15 cm	**1,5 dm**	0 cm – 15 cm	**1,5 dm**
20	15 cm – 25 cm	**1,0 dm**	15 cm – 25 cm	**1,0 dm**
30	25 cm – 40 cm	**1,5 dm**	25 cm – 40 cm	**1,5 dm**
50	49 cm – 50 cm	**1,0 dm**	40 cm – 75 cm	**3,5 dm**
100			75 cm – 100cm	**2,5 dm**

Die Berechung der Profilwassermenge für 50 cm Tiefe (W_{50}) und für 100 cm Tiefe (W_{100}) erfolgte mit folgenden Formeln:

$$W_{50} = \Theta_{10} \cdot 1{,}5 + \Theta_{20} \cdot 1{,}0 + \Theta_{30} \cdot 1{,}5 + \Theta_{50} \cdot 1{,}0$$

$$W_{100} = \Theta_{10} \cdot 1{,}5 + \Theta_{20} \cdot 1{,}0 + \Theta_{30} \cdot 1{,}5 + \Theta_{50} \cdot 3{,}5 + \Theta_{100} \cdot 2{,}5$$

Das folgende Beispiel (Tabelle 9 und Tabelle 10) dient zum besseren Verständnis der Berechung der Profilwassermenge.

Tabelle 9: Beispiel zur Berechnung der Profilwassermenge in 50 cm Tiefe

Tiefe (cm)	**Messwert Θ (%)**	**gültig für (cm)**	**Profilwasserinhalt (mm)**
10	18,64	0 – 15	27,96
20	18,66	15 – 25	18,66
30	24,62	25 – 40	36,93
50	27,80	40 – 50	27,80
0 - 50			**111,35**

Tabelle 10: Beispiel zur Berechnung des gespeicherten Bodenwassers in 100 cm Tiefe

Tiefe (cm)	**Messwert Θ (%)**	**gültig für (cm)**	**Profilwasserinhalt (mm)**
10	18,64	0 – 15	27,96
20	18,66	15 – 25	18,66
30	24,62	25 – 40	36,93
50	27,80	40 – 75	97,30
100	36,83	75 - 100	92,08
0 - 100			**272,93**

3.4.3 Berechnung der Profilwasseränderung ΔW

Nach jedem Niederschlagsereignis steigt der Wasseranteil im Boden. Je nach Regendauer und Intensität des Regenereignisses infiltrierte eine gewisse Menge das Regenwassers in den Boden und somit stieg auch der Wasseranteil im Boden. Dieser Anstieg des Wasseranteils konnte durch die Profilwasseränderung ΔW berechnet werden. Nachdem die Profilwassermenge W in 50 cm Tiefe und 100 m Tiefe berechnet worden war, konnte man die Profilwasseränderung ΔW für 50 cm Tiefe und 100 cm Tiefe berechnen. Durch Subtraktion der Profilwassermenge nach einem Regenereignis von der Profilwassermenge vor einem Regenereignis konnte die Profilwasseränderung ΔW ermittelt werden. Somit konnte man erkennen, wie viel Wasser sich zusätzlich durch ein Regenereignis im Boden befindet.

$$\Delta W = W_{t2} - W_{t1}$$

ΔW **Profilwasseränderung [ΔW] = mm**

W_{t1} **Profilwassermenge vor einem Regenereignis [W_{t1}[= mm**

W_{t2} **Profilwassermenge nach einem Regenereignis [W_{t2}] = mm**

Im folgendenden Beispiel (Tabelle 11) ist die Berechnung der Profilwasseränderung ersichtlich.

Tabelle 11: Berechung der Profilwasseränderung ΔW

Datum und Zeit	NS (mm)	W_{t1} (mm)	W_{t2} (mm)	ΔW (mm)
26.05.2002 03:30		263,78		
10.06.2002 15:30			270,97	
	9,40			**7,19**

3.4.4 Aufbereitung der kontinuierlich gemessenen Wasseranteilsdaten in der Hangmitte (EnviroScan)

Die Wassergehaltsdaten wurden für jedes Jahr (2002, 2003 und 2004) und für jede Bodenbearbeitungsvariante (KV, KS, DS) in der Hangmitte mittels EnviroScans erhoben. Dabei kamen jeweils zwei Messrohre zum Einsatz. Für alle zwei Messrohren liegen Halbstunden-Werte vor.

In Tabelle 12 ist der Zeitraum der Datenerfassung (EnviroScan) für die Jahre 2002, 2003 und 2004 ersichtlich.

Tabelle 12: Zeitraum der Datenerfassung

Jahr	Varianten	Zeitraum der Messungen
2002	KV KS DS	15.05.2002 15:33 – 19.09.2002 09:24
2003	KV	01.04.2003 13:50 – 21.07.2003 10:10
	KS DS	28.03.2003 17:10 – 21.07.2003 10:10
2004	KV KS DS	31.05.2004 14:36 – 14.09.2004 09:01

Nun war es erforderlich, jenes Messrohr zu ermitteln, welches die genaueren Messwerte lieferte. Das Messrohr, welches die plausibelsten Wasseranteilswerte anzeigte war jenes, welches bei einem Niederschlagsereignis die gefallene Niederschlagsmenge am besten wiedergab. Um dies kontrollieren zu können, wurden die in 3.4.1 aufbereiteten Niederschlagsdaten mit den in 3.4.3 ermittelten Profilwasseränderung ΔW verglichen.

Für diese Gegenüberstellung war es erforderlich, einzelne Regenereignisse der drei Beobachtungsjahre gesondert zu betrachten. Welche Niederschlagsereignisse der Jahre 2002, 2003 und 2004 für die weitere Betrachtung herangezogen wurden, ist in Tabelle 13 bis Tabelle 15 ersichtlich.

Tabelle 13: Ausgewählte Niederschlagsereignisse für das Jahr 2002

Zeitraum	Niederschlagshöhe (mm)	Niederschlagsdauer (h)
26.05.2002 01:04 – 26.05.2002 07:04	9,4	6,0
06.06.2002 20:34 – 07.06.2002 04:34	7,7	8,0
08.06.2002 01:34 – 08.06.2002 06:34	5,8	5,0
09.06.2002 16:34 – 09.06.2002 19:34	15,4	3,0
10.06.2002 04:34 – 10.06.2002 10:34	2,8	6,0
10.06.2002 15:04 – 10.06.2002 18:34	12,2	3,5
31.07.2002 15:53 – 31.07.2002 17:23	17,4	2,5
02.08.2002 07:38 – 02.08.2002 10:38	3,4	3,0
04.08.2002 14:08 – 04.08.2002 16:38	3,0	2,5
06.08.2002 22:38 – 07.08.2002 17:38	3,0	19,0
11.08.2002 15:08 – 11.08.2002 20:08 – 11.08.2002 20:08	8,5	5,0
12.08.2002 12:08 – 12.08.2002 23.08	12,8	11
13.08.2002 05:38 – 13.08.2002 19:08	36,2	13,5

Tabelle 14: Ausgewählte Niederschlagsereignisse für das Jahr 2003

Zeitraum	Niederschlagshöhe (mm)	Niederschlagsdauer (h)
02.04.2003 14:58 – 02.04.2003 21:58	8,3	7,0
10.04.2003 17:58 – 11.04.2003 00:28	13,0	6,5
03.05.2003 08:23 – 03.05.2003 09:53	7,7	1,5
09.05.2003 17:04 – 09.05.2003 21:04	11,7	4,0
14.06.2003 23:20 – 15.06.2003 00:50	9,60	1,5
23.06.2003 22:46- 24.06.2003 04:16	9,9	5,5

Tabelle 15: Ausgewählte Niederschlagsereignisse für das Jahr 2004

Zeitraum	Niederschlagshöhe (mm)	Niederschlagsdauer (h)
02.06.2004 07:36 – 02.06.2004 15:36	9,4	8,0
02.06.2004 23:36 – 04.06.2004 01:36	28,6	26,0
19.06.2004 18:13 – 21.06.2004 01:13	27,4	31,0
23.06.2004 21:43 – 24.06.2004 04:13	5,3	6,5
01.07.2004 16:25 – 01.07.2004 21:55	16,3	5,5
16.07.2004 01:23 – 16.07.2004 11:23	9,9	10,0

Die Profilwasseränderung ΔW (Einheit Millimeter) wurde dem Niederschlag (Einheit Millimeter) gegenübergestellt. Diese Gegenüberstellung wurde für die Tiefen von 0 – 50 cm und von 0 – 100 cm Tiefe in einem Diagramm dargestellt. In diesen Abbildungen (siehe 4.2) wurde der lineare Zusammenhang zwischen den beiden Größen beobachtet. Dabei wurden Trendlinien mit einem gemeinsamen Nullpunkt ($y = k \cdot x$) und der dazugehörende Korrelationskoeffizient berechnet.

Ausschlaggebend für die Auswahl des Messrohres war die beste Übereinstimmung zwischen Profilwasseränderung und der Niederschlagshöhe.

3.4.5 Aufbereitung der wöchentlich gemessenen Wasseranteilsdaten am Hangkopf und am Hangfuß (Diviner)

Die Wasseranteilsdaten am Hangkopf und Hangfuß wurden für jedes Jahr (2002, 2003 und 2004) und für jede Bodenbearbeitungsvariante (KV, KS, DS) mittels Diviner erhoben. Es liegen keine kontinuierlichen Wasseranteilswerte für den Hangkopf und Hangfuß des Versuchsfeldes vor. Da auch bei der Wasseranteilsmessung mit dem System Diviner zwei Messrohre zum Einsatz kamen, wurden Mittelwerte der erhobenen Wasseranteile beider Messrohre für Hangkopf und Hangfuß gebildet.

3.4.6 Vergleich der kontinuierlich gemessenen Wassergehaltsdaten (EnvironScan) mit den wöchentlich gemessenen Wassergehaltsdaten (Diviner)

Um einen zeitlichen Verlauf der Bodenfeuchte der Versuchsfelder für die jeweiligen Beobachtungsjahren erstellen zu können, waren kontinuierliche Datensätze erforderlich. Bei Wasseranteilsmessung mit dem System EnviroScan wurden kontinuierlich Wasseranteile im 30 Minuten Intervall in der Hangmitte gemessen. Bei Hangkopf und Hangfuß war das nicht der Fall. Damit man sowohl am Hangkopf als auch am Hangfuß kontinuierlich Wasseranteile erhielt, wurden die mit Diviner wöchentlich erhobenen Wasseranteile mit den mit EnviroScan kontinuierlich gemessenen Wasseranteilen verglichen. Bei diesem Vergleich wurden die ausgewählten Datensätze des EnviroScan - System den Diviner – Datensätzen gegenübergestellt. Es wurden die Wasseranteile der beiden Messsystemen in den Tiefen 10 cm, 20 cm, 30 cm, 50 cm und 100 cm betrachtet. Ein linearer Zusammenhang der beiden Messwerte wurde angenommen und für die jeweiligen Tiefen Trendlinien mit einem gemeinsamen Nullpunkt ($y = k \cdot x$) berechnet.

Abbildung 7 zeigt als Beispiel die Gegenüberstellung der Messwerte der Systeme EnviroScan und Diviner für die Variante „konventionelle Bodenbearbeitung“ am Hangkopf im Jahr 2002. Die weiteren Diagramme für die Varianten „konservierende Bodenbearbeitung“ und „Direktsaat“ sowie für die Jahre 2002 bis 2004 sind im Anhang 2 dargestellt.

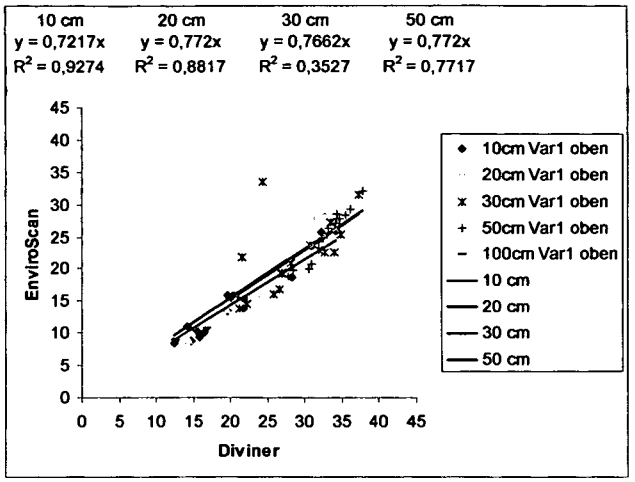


Abbildung 7: Gegenüberstellung der Messwerte Diviner und EnviroScan; KV; 2002

Mit der Formel für die Trendlinie

$$y = k \cdot x$$

konnten nun die fehlenden Wasseranteilsdaten an Hangkopf und Hangfuß mit der Formel

$$x = \frac{y}{k}$$

berechnet werden.

Da die Gegenüberstellung für 10 cm, 20 cm, 30 cm, 50 cm und 100 cm Tiefe erfolgte, konnten auch nur für diese Tiefenbereiche die fehlenden Wasseranteile für Hangkopf und Hangfuß berechnet werden. Die Steigungen (k) der Trendlinien der einzelnen Tiefen sind in Kapitel 4.3 aufgezeigt.

4 Ergebnisse und Interpretation

4.1 Niederschlagsverlauf

Um eine übersichtliche Darstellung der Niederschläge in den Betrachtungszeiträumen (2002, 2003 und 2004) erstellen zu können, wurden die im 5–Minuten–Intervall erhobenen Daten zu Tagesniederschlägen addiert (vgl. 3.4.1). Im Folgenden werden die zeitlichen Niederschlagsverläufe für die Jahre 2002, 2003 und 2004 im jeweiligen Betrachtungszeitraum dargestellt und interpretiert.

4.1.1 Niederschlagsverlauf für das Jahr 2002

Das Jahr 2002 war ein niederschlagsreiches Jahr und es wurde im Betrachtungszeitraum von 15. Mai 2002 bis 19. September 2002 ein durchschnittlicher Niederschlag von 59,8 mm registriert. Anfang Juni hatte es viel geregnet, der Niederschlag nahm in der Mitte des Monats etwas ab, stieg aber wieder Ende Juni bis Mitte Juli. Speziell im Monat August waren von Anfang bis Mitte dieses Monats überdurchschnittliche Niederschläge gefallen. Der niederschlagreichste Tag war der 14. August 2002 mit einer Niederschlagshöhe von 39,1 mm.

Abbildung 8 zeigt die Tagesniederschläge des Jahres 2002 im Beobachtungszeitraum von 15.Mai.2002 bis 19. September 2002.

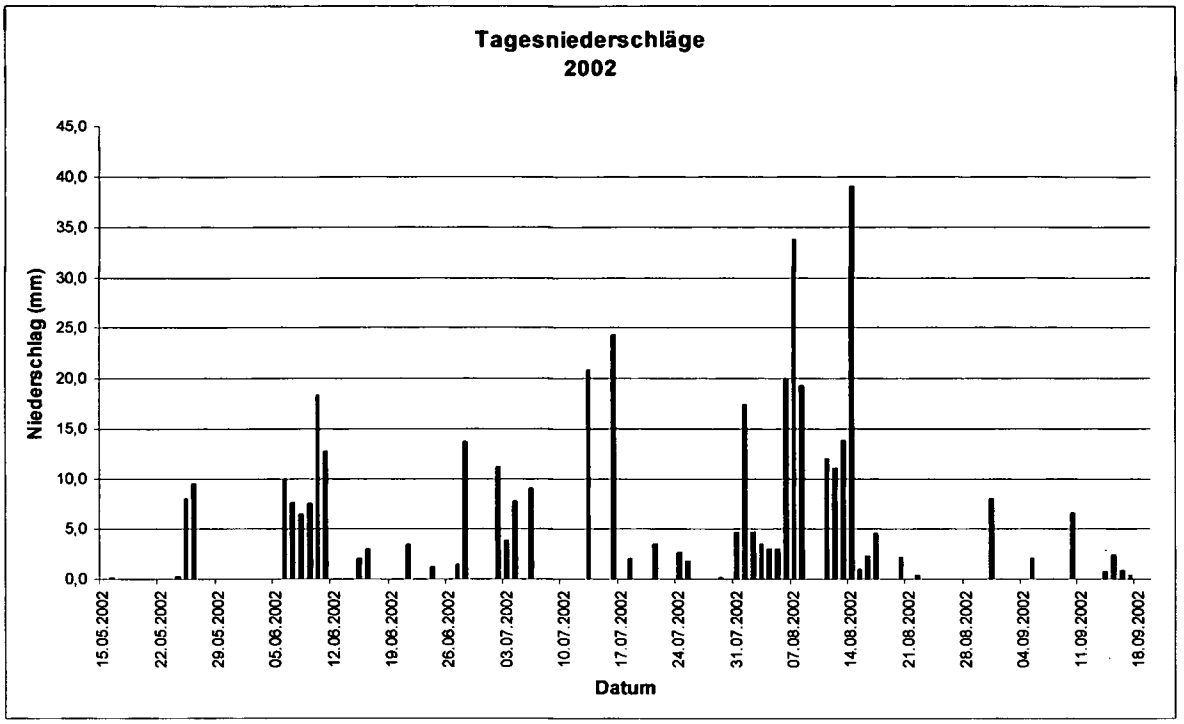


Abbildung 8: Tagesniederschläge 2002; 15.05.2002 bis 19.09.2002

4.1.2 Niederschlagsverlauf für das Jahr 2003

Das Jahr 2003 war ein sehr trockenes Jahr mit einem durchschnittlichen Niederschlag von 32,5 mm. Der niederschlagreichste Tag im Betrachtungszeitraum von 28. März bis 21. Juli 2003 war der 14. Mai 2003 mit nur 14,5 mm Niederschlag. Im April hatte es nur vereinzelt geregnet. Der Monat Mai war der niederschlagsreichste Monat im Betrachtungszeitraum mit einer monatlichen Niederschlagsmenge von 63,10 mm.

In den Monaten Juni und Juli dagegen gab es nur vereinzelt Niederschläge mit Höchstwerten von maximal 10 mm. In Abbildung 9 ist der zeitliche Verlauf der Tagesniederschläge des Jahres 2003 dargestellt.

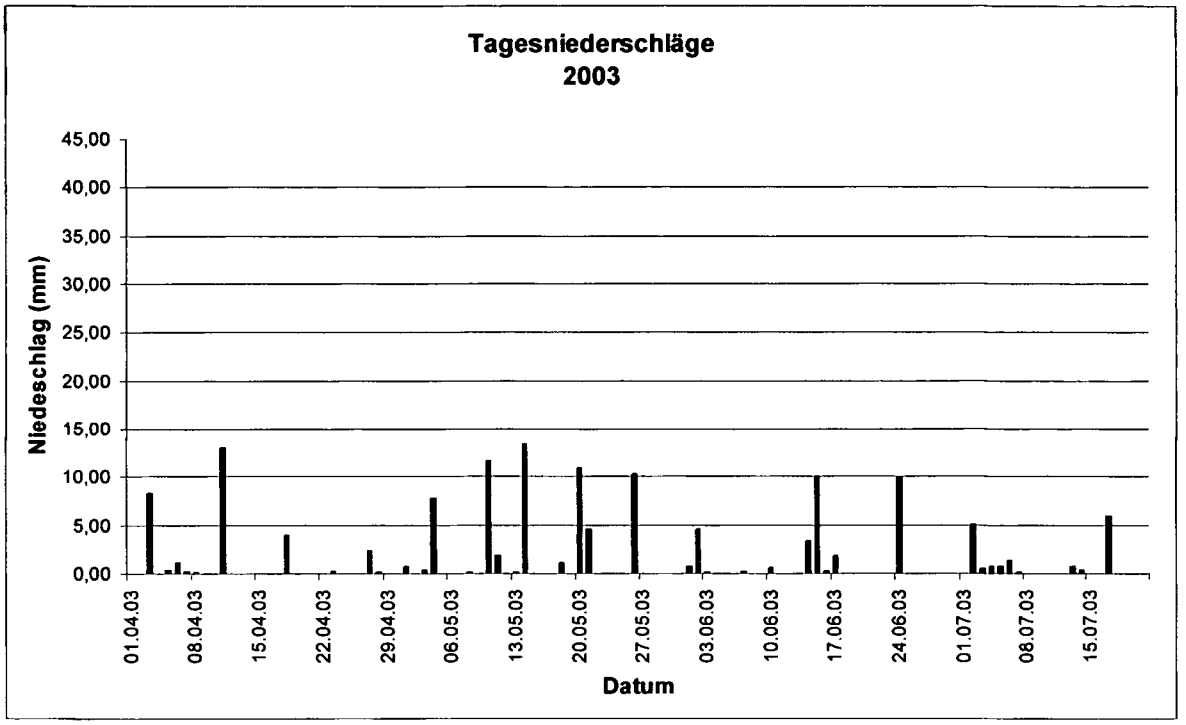


Abbildung 9: Tagesniederschläge 2003; 28.03.2003 bis 21.07 2003

4.1.3 Niederschlagsverlauf für das Jahr 2004

Im Jahr 2004 ist eine durchschnittliche Niederschlagshöhe von 42,8 mm gemessen worden. Der niederschlagreichste Tag im Betrachtungszeitraum von 31. Mai bis 14. September 2004 war der 04.Juni 2004 an dem 24,1 mm Niederschlag gemessen wurde. Am intensivsten hatte es im Juni geregnet mit einer monatlichen Niederschlagshöhe von 90,70 mm. In den weiteren Monaten war der Niederschlag nicht mehr so intensiv. In Abbildung 10 sind die Tagesniederschläge für das Jahr 2004 dargestellt.

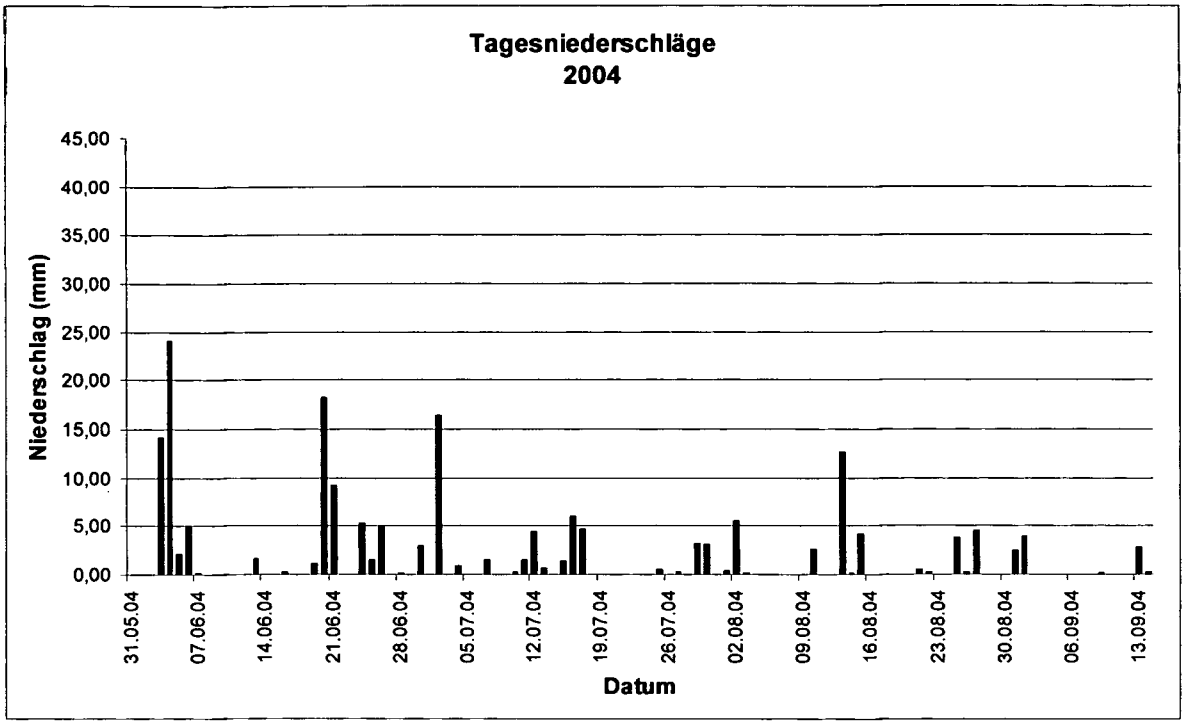


Abbildung 10: Tagesniederschläge 2004; 31.05.2003 bis 14.09.2004

4.2 Vergleich zwischen Wasseranteil (EnviroScan) und Niederschlag in der Hangmitte und Auswahl der verwendeten Messrohre

Durch die Gegenüberstellung der Profilwasseränderung ΔW (vgl. 3.4.3) und der Niederschlagshöhe konnte die Auswahl jenes Messrohres in der Mitte des Versuchshanges (EnviroScan) erfolgen, die den Wasseranteil am besten gemessen hat. Die Entscheidung erfolgte durch Berechnung und Vergleich des Korrelationskoeffizienten der beiden Messrohre. Es sind in den Diagrammen die Gegenüberstellungen zwischen Profilwasseränderungen und Niederschlag für die Tiefen sowohl von 50 cm als auch von 100 cm Tiefe berücksichtigt worden. Dies hatte den Grund, dass im Jahr 2004 einige Wasseranteilsdaten in 100 cm Tiefe fehlten und somit keine ausreichende Gegenüberstellung zwischen Profilwasseränderung ΔW und Niederschlag erfolgen konnte.

In Abbildung 11 sind die Gegenüberstellung von Profilwasseränderung und Niederschlag für die Messrohre I und II sowie für die Tiefen 0 – 50 cm und 0 – 100 cm der Variante 1 im Jahr 2002 dargestellt.

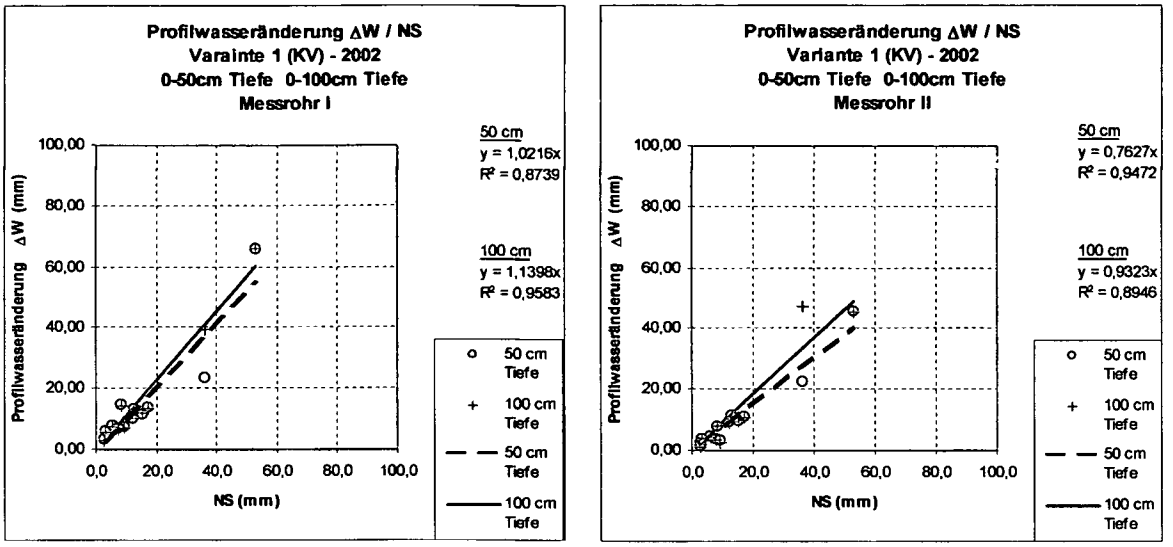


Abbildung 11: Gegenüberstellung von Profilwasseränderung ΔW und Niederschlag; Variante 1 (KV); 2002

Bei der Versuchfläche, die mit konventioneller Bodenbearbeitung bearbeitet wurde, ist im Jahr 2002 beim Messrohr I ein guter Zusammenhang zwischen der Profilwasseränderung ΔW und dem Niederschlag erkennbar.

Die Trendlinie der Wertepaare Profilwasseränderung ΔW und Niederschlag beschreibt beim Messrohr I annähernd eine 1:1 – Beziehung . Da der lineare Zusammenhang der beiden Wertepaare mit einem gemeinsamen Nullpunkt ($y = k \cdot x$) angenommen wurde, weist die Trendlinie bei der Gegenüberstellung in 50 cm Tiefe eine Steigung k von 0,9712 und in 100 cm Tiefe eine Steigung k von 1,1162 auf. Die Trendlinie des Messrohres II verläuft dagegen flacher mit einer Steigung in 50 cm Tiefe von k = 0,7451 und in 100 cm Tiefe von k = 0,8971. Dies zeigt, dass die Wertepaare des Messrohres I besser korrelieren als die Werte von Messrohr II. Der berechnete Korrelationskoeffizient bestätigt auch die Entscheidung, dass das Messrohr I die plausibleren Messwerte liefert. Durch diese Beobachtung ist den Messwerten des Messrohres I für die weiteren Verlauf der Vorzug zu geben.

Für das Jahr 2002 wurden für jede Bodenbearbeitungsvariante die Messwerte des Messrohres I gewählt. Die Gegenüberstellung zwischen Profilwasseränderung und Niederschlag zeigte jeweils beim Messrohr I eine ausreichende Übereinstimmung der beiden Wertepaare. Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigt die Gegenüberstellungen von Profilwasseränderung und Niederschlag der beiden Messrohre, der Varianten 5 (KS) und 6 (DS) im Jahr 2002.

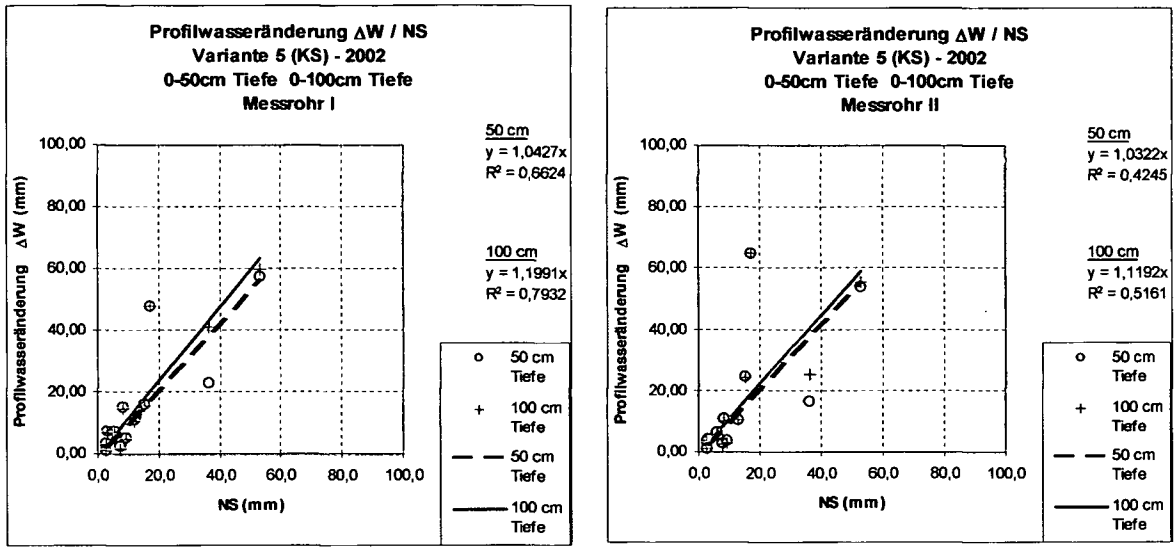


Abbildung 12: Gegenüberstellung von Profilwasseränderung ΔW und Niederschlag; Variante 5 (KS); 2002

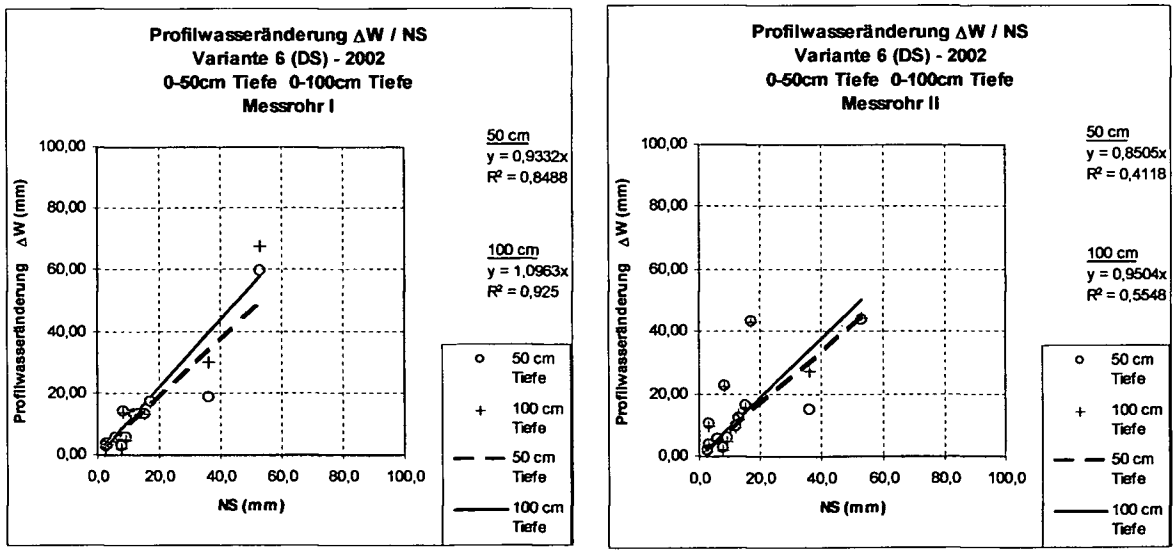


Abbildung 13: Gegenüberstellung von Profilwasseränderung ΔW und Niederschlag; Variante 6 (DS); 2002

Die Auswahl der Messrohre für das Jahr 2003 wurde wie folgt getroffen: Für die Versuchsfläche mit konventioneller Bodenbearbeitung (Variante1) wurde das Messrohr II gewählt. Für die Versuchsfläche mit konservierender Bodenbearbeitung (Variante 5) wurden die Messwerte des Messrohres I ausgewählt. Für die Versuchsfläche mit Direktsaat (Variante 6) wurde im Vergleich der beiden Messrohre das Messrohr II ausgewählt. In Abbildung 14 bis Abbildung 16 sind die Gegenüberstellungen von Profilwasseränderung und Niederschlag der beiden Messrohre, der Varianten 1 (KV), 5 (KS) und 6 (DS) im Jahr 2003 dargestellt.

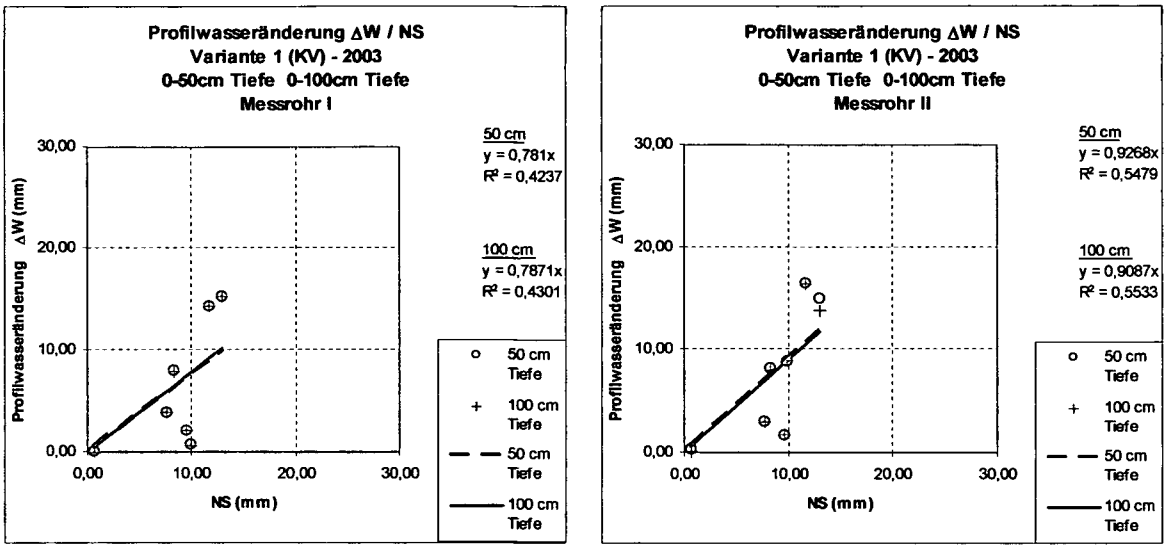


Abbildung 14: Gegenüberstellung von Profilwasseränderung ΔW und Niederschlag; Variante 1 (KV); 2003

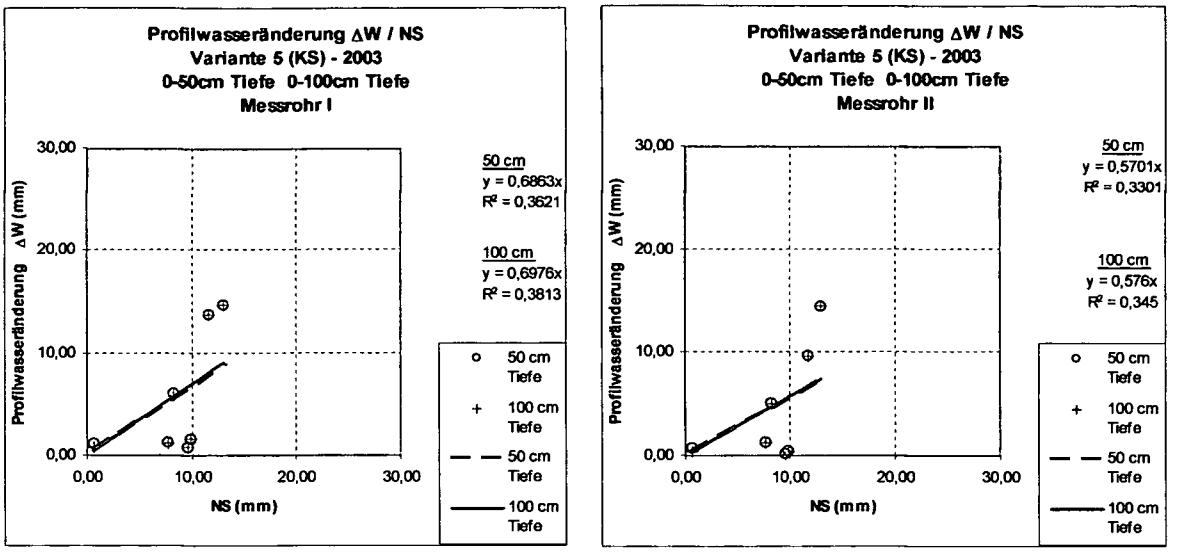


Abbildung 15: Gegenüberstellung von Profilwasseränderung ΔW und Niederschlag; Variante 5 (KSV); 2003

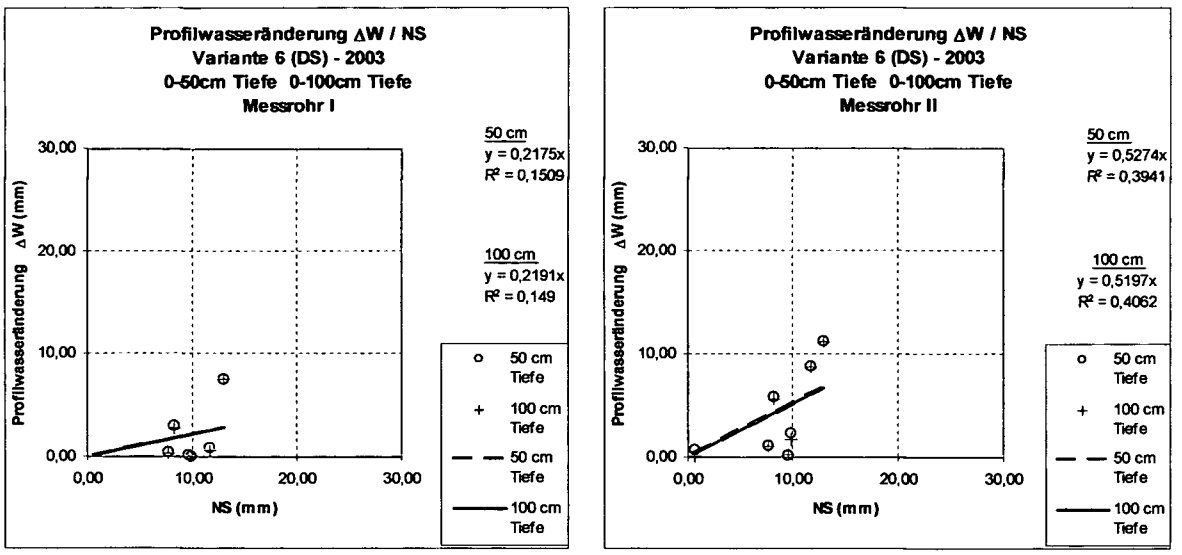


Abbildung 16: Gegenüberstellung von Profilwasseränderung ΔW und Niederschlag; Variante 6 (DS); 2003

Für das Jahr 2004 wurden die Messrohre folgendermaßen ausgewählt: das Messrohr I zeigte bei der Variante 1 (KV) eine bessere Übereinstimmung als Messrohr II. Für die Versuchsfläche, die mit konservierender Bodenbearbeitung bearbeitet wurde zeigte das Messrohr II eine bessere Übereinstimmung und bei die Versuchsfläche die mit der Direktsaat bearbeitet wurde, zeigte das Messrohr I bessere Korrelationen. Abbildung 17 bis Abbildung 19 zeigen die

Gegenüberstellungen von Profilwasseränderung und Niederschlag der beiden Messrohre und der drei Bodenbearbeitungsvarianten im Jahr 2004.

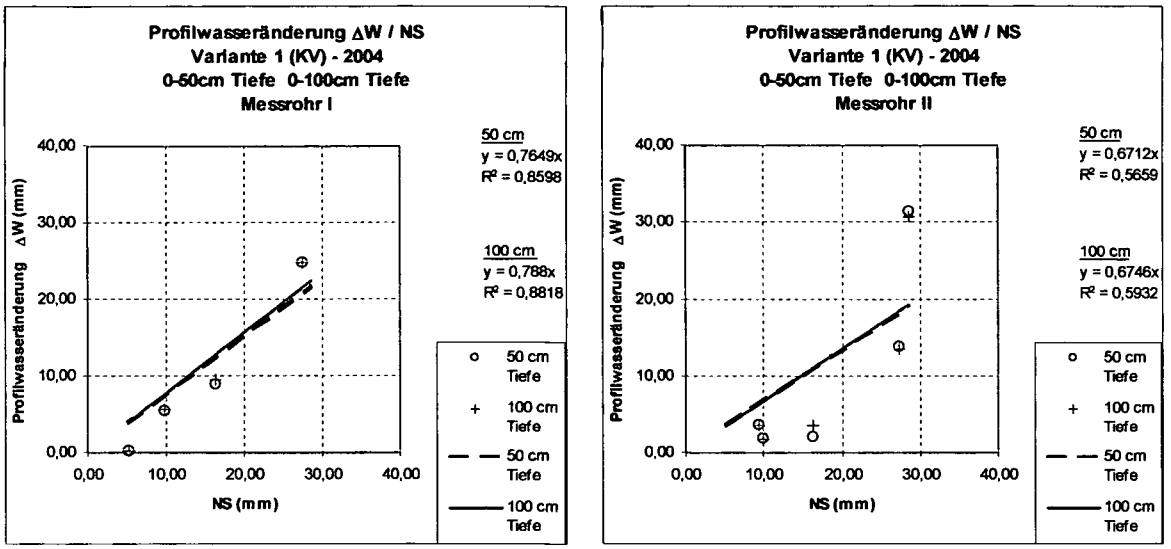


Abbildung 17: Gegenüberstellung von Profilwasseränderung ΔW und Niederschlag; Variante 1 (KV); 2004

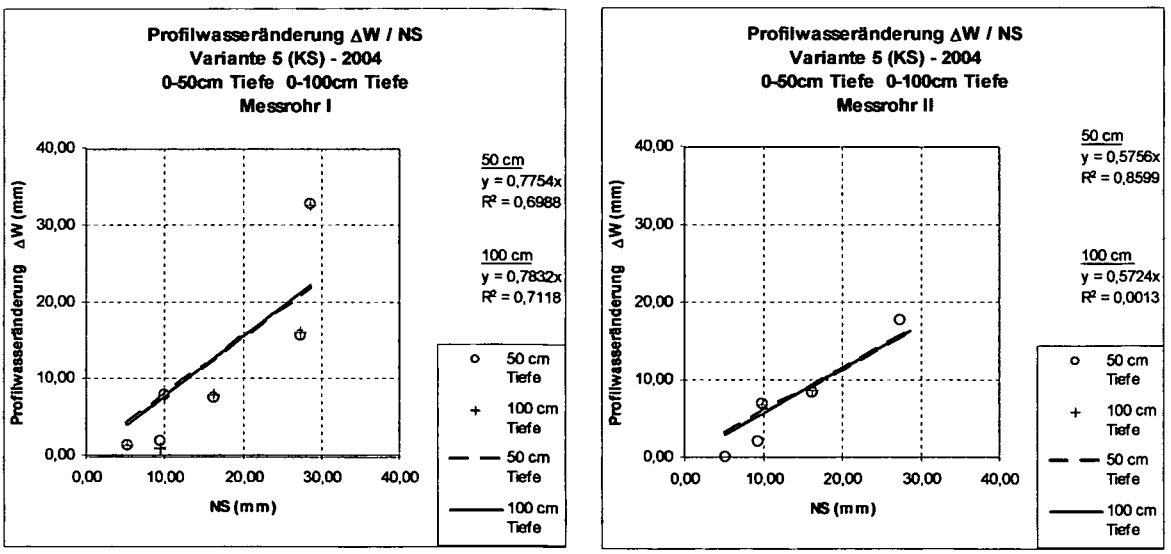


Abbildung 18: Gegenüberstellung von Profilwasseränderung ΔW und Niederschlag; Variante 5 (KS); 2004

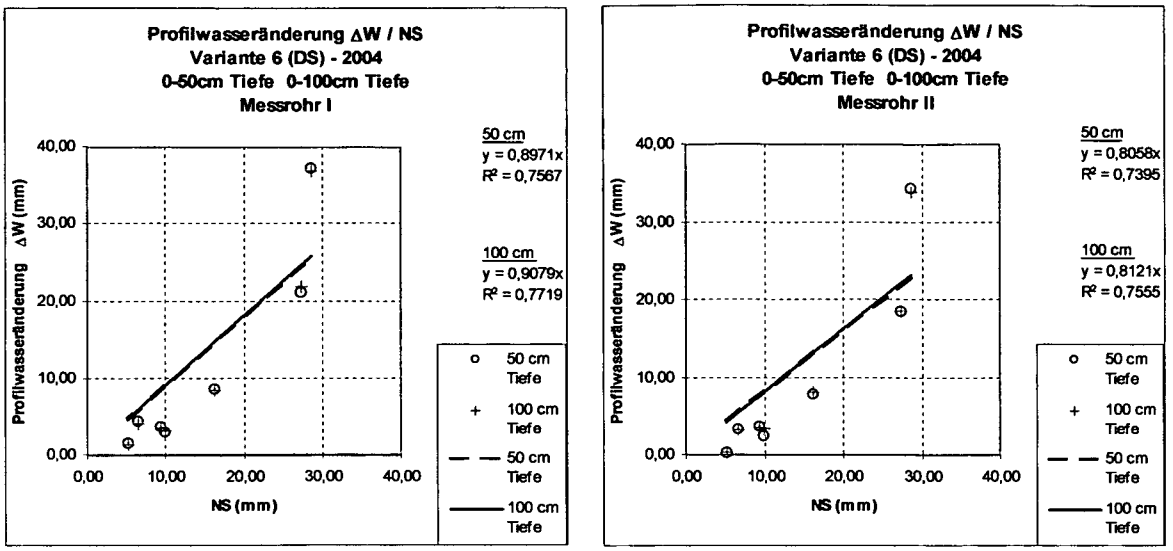


Abbildung 19: Gegenüberstellung von Profilwasseränderung ΔW und Niederschlag; Variante 6 (DS); 2004

Zusammenfassend sind in Tabelle 16 die Messrohre angegeben, die für die weitere Bearbeitung ausgewählt wurden.

Tabelle 16: Auswahl der Datensätze

2002		2003		2004	
KV	Messrohr I	KV	Messrohr II	KV	Messrohr I
KS	Messrohr I	KS	Messrohr I	KS	Messrohr II
DS	Messrohr I	DS	Messrohr II	DS	Messrohr I

4.3 Ermittlung der Wasseranteilswerte an Hangkopf und Hangfuß

Bei den wöchentlich gemessenen Wasseranteilen mit dem System Diviner an Hangkopf und Hangfuß wurde aus den Messwerten der beiden Messrohre der drei Beobachtungsjahre jeweils der Mittelwert gebildet.

Um kontinuierliche Wasseranteilswerte an Hangkopf und Hangfuß zu erlangen, mussten die wöchentlichen Diviner – Messwerte mit den kontinuierlich gemessenen EnviroScan – Werten verglichen werden (vgl. 3.4.6). Mit der Steigung (k) der Trendlinie der beiden Wertepaare konnten so die fehlenden Wasseranteilswerte der Diviner – Messung berechnet werden. Zwischen den beiden Messsystemen wurde ein linearer Zusammenhang angenommen.

Die Steigungen (k) und das Bestimmtheitsmaß (R^2) der berechneten Trendlinien für die jeweiligen Beobachtungsjahre, Hangposition und Varianten sind in Tabelle 17 angegeben.

Tabelle 17: Steigungen (k) und Bestimmtheitsmaß (R^2)

2002											
Varianten	**Position**	**10 cm**		**20 cm**		**30 cm**		**50 cm**		**100 cm**	
		k	**R^2**	**k**	**R^2**	**k**	**R^2**	**k**	**R^2**	**k**	**R^2**
KV	Hangkopf	0,72	0,93	0,77	0,88	0,77	0,35	0,77	0,77		
	Hangfuß	0,79	0,91	0,62	0,80	0,64	0,64	0,74	0,84		
KS	Hangkopf	0,83	0,95	0,82	0,89	0,86	0,94	0,88	0,84		
	Hangfuß	0,96	0,78	1,42	0,44	0,73	0,81	0,78	0,78		
DS	Hangkopf	0,62	0,80	0,77	0,79	0,59	0,67	0,94	0,60		
	Hangfuß	0,61	0,82	0,55	0,54	0,80	0,78	0,84	0,47		
2003											
Varianten	**Position**	**10 cm**		**20 cm**		**30 cm**		**50 cm**		**100 cm**	
		k	**R^2**	**k**	**R^2**	**k**	**R^2**	**k**	**R^2**	**k**	**R^2**
KV	Hangkopf	1,51	0,90	1,17	0,88	0,95	0,74	0,90	0,10	0,84	-0,85
	Hangfuß	1,16	0,91	1,14	0,94	0,94	0,91	0,75	0,96	0,79	-0,42
KS	Hangkopf	1,10	0,70	0,83	0,93	1,04	0,98	1,26	-4,78	1,03	-2,03
	Hangfuß	0,96	0,51	0,95	0,08	0,89	0,98	1,16	-28,1	0,96	-1,70
DS	Hangkopf	0,88	-0,26	0,87	-1,16	0,75	-0,13	0,95	-0,20	1,00	0,10
	Hangfuß	0,99	-0,03	0,89	-0,42	0,85	-0,03	1,01	-0,44	0,92	0,04
2004											
Varianten	**Position**	**10 cm**		**20 cm**		**30 cm**		**50 cm**		**100 cm**	
		k	**R^2**	**k**	**R^2**	**k**	**R^2**	**k**	**R^2**	**k**	**R^2**
KV	Hangkopf	1,26	0,88	1,44	0,18	1,82	0,80	2,07	0,96	1,95	-0,95
	Hangfuß	2,08	0,78	2,08	-0,66	1,50	0,80	1,23	0,93	1,50	-0,10
KS	Hangkopf	2,06	0,71	1,90	0,91	1,57	0,77	2,11	0,97	1,68	-0,61
	Hangfuß	2,41	0,88	1,72	0,40	1,17	0,26	1,27	0,69	1,27	0,31
DS	Hangkopf	2,45	0,76	2,12	0,94	1,70	0,53	1,49	0,58	1,62	0,52
	Hangfuß	1,82	0,71	1,67	0,38	1,08	0,54	1,14	0,53	1,24	0,16

Im Jahr 2002 wurden in der Tiefe 100 cm mit dem System Diviner keine Wasseranteile gemessen. Dies hatte zur Folge, dass für Hangkopf und Hangfuß keine kontinuierlichen Wasseranteilswerte für dieses Jahr berechnet werden konnten.

4.4 Zeitlicher Verlauf des Wasseranteils

Im Anhang 2 werden die Verläufe der Wasseranteile für die unterschiedlichen Bodenbearbeitungsvarianten und für den Beobachtungszeitraum 2002, 2003 und 2004 sowie für die unterschiedlichen Hangpositionen dargestellt. Für die Darstellung der Wasseranteilsverläufe wurden die Wasseranteilsdaten um 7:00 Uhr herangezogen. Als Beispiel sind die Wasseranteilsverläufe des Jahres 2003 für die Bodenbearbeitungsvariante KV („konventionelle Bodenbearbeitung") und für die jeweiligen Hangpositionen dargestellt. Von Abbildung 20 bis Abbildung 22 sind die zeitlichen Veränderungen des Wasseranteils in den Tiefen 10 cm, 20 cm, 30 cm, 50 cm und 100 cm dargestellt.

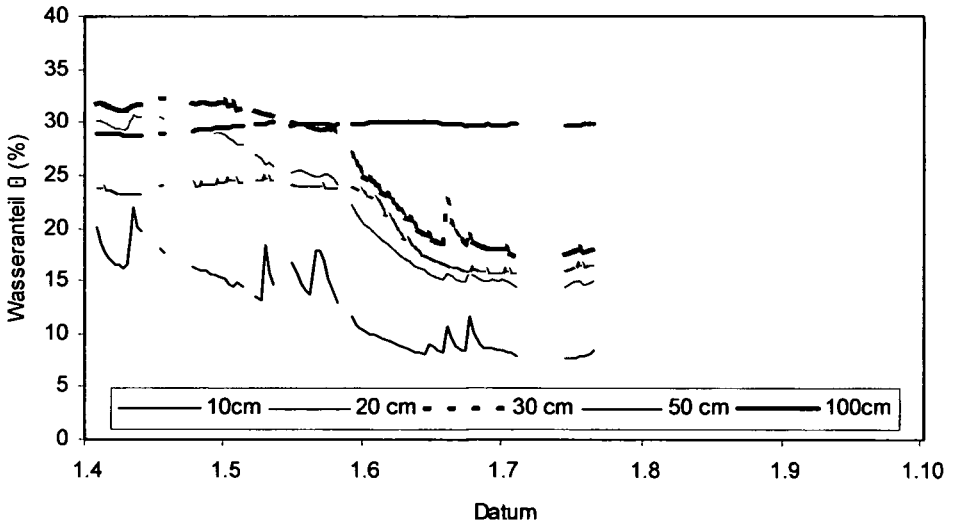


Abbildung 20: Verlauf des Wasseranteils; KV; Hangkopf; 2003

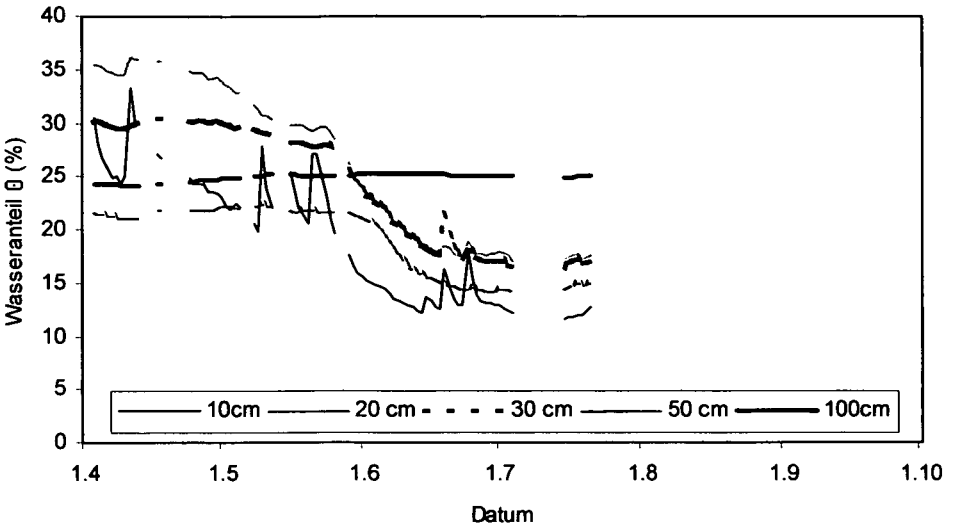


Abbildung 21: Verlauf des Wasseranteils; KV; Hangmitte; 2003

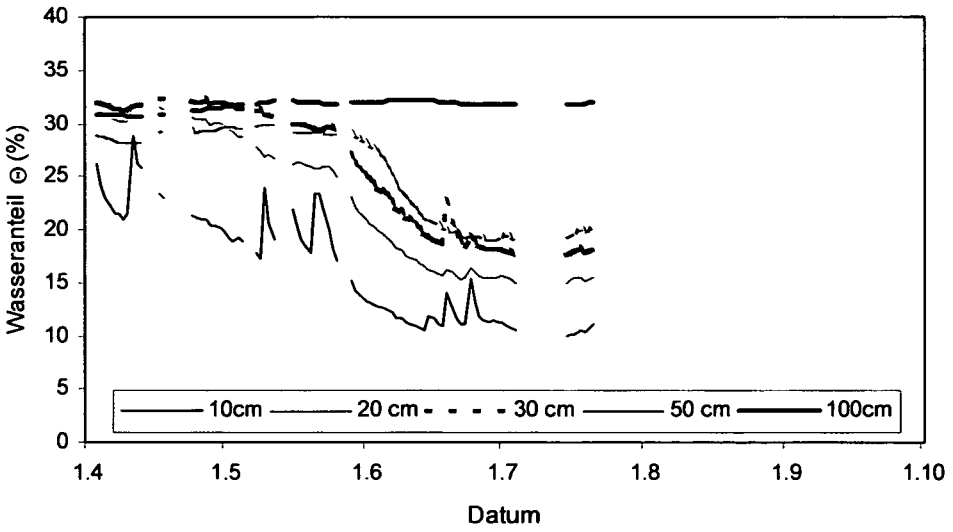


Abbildung 22: Verlauf des Wasseranteils; KV; Hangfuß; 2003

Die stärksten Veränderungen des Wasseranteils treten beim Messsensor in 10 cm Tiefe auf. Es ist eine deutliche Steigerung des Wasseranteils nach Niederschlägen zu erkennen. Je tiefer die Wasseranteilswerte gemessen wurden, desto geringere Schwankungen des Wasseranteils sind zu bemerken. Man kann auch eine zeitliche Verzögerung der Wasseranteilsveränderung mit zunehmender Tiefe erkennen. In der Tiefe von 100 cm sind keine Veränderungen des Wasseranteils bei Niederschlagsereignissen mehr erkennbar.

4.5 Zeitlicher Verlauf der Profilwassermenge

Zur Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Profilwassermenge wurde die gespeicherte Wassermenge im Boden im Bereich zwischen 0 und 50 cm herangezogen. Die Profilwassermenge wurde für die einzelnen Hangpositionen, Hangkopf, Hangmitte und Hangfuß und für die einzelnen Bodenbearbeitungsvarianten gesondert berechnet. Die Berechnung der Profilwassermenge wurde in 3.4.2 beschrieben.

Von Abbildung 23 bis Abbildung 31 sind die zeitlichen Verläufe der Profilwassermenge in den Beobachtungsjahren 2002, 2003 und 2004 dargestellt. Dabei werden die einzelnen Bodenbearbeitungsvarianten (KV, KS und DS) in einem gemeinsamen Diagramm aufgezeigt. Diese Diagramme zeigen die Profilwassermenge, sowie die Tagesniederschlagshöhe, die um 7:00 Uhr jeden Tages im Betrachtungszeitraum berechnet wurden.

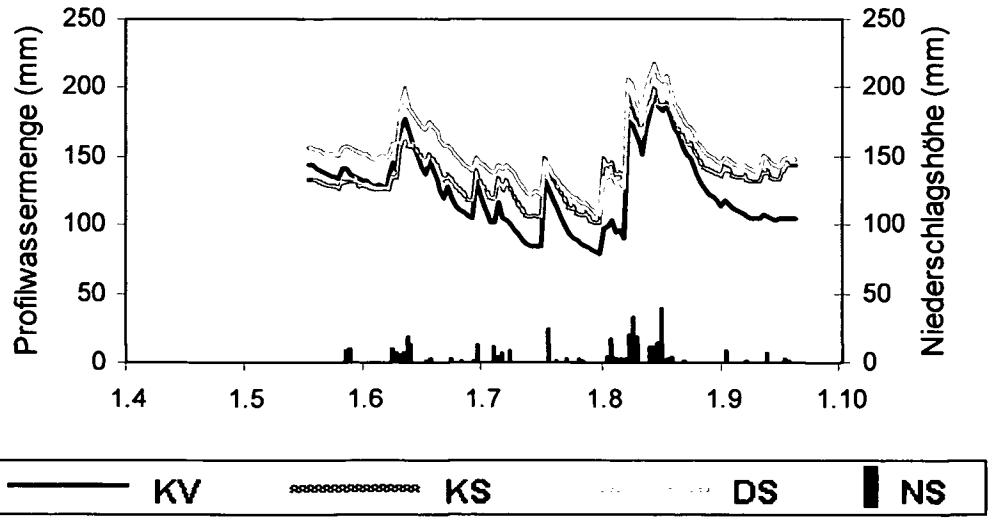


Abbildung 23: Zeitlicher Verlauf der Profilwassermenge am Hangkopf; 2002

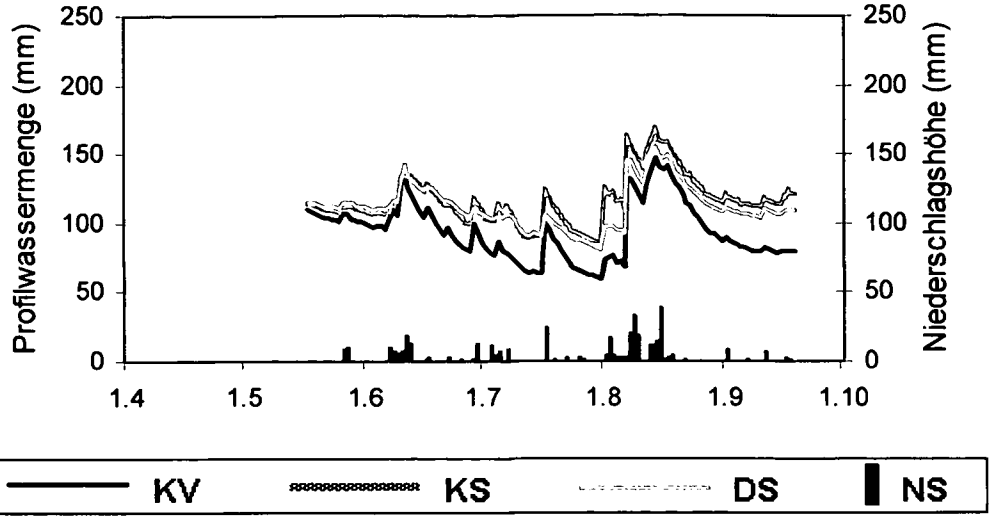


Abbildung 24: Zeitlicher Verlauf der Profilwassermenge in der Hangmitte; 2002

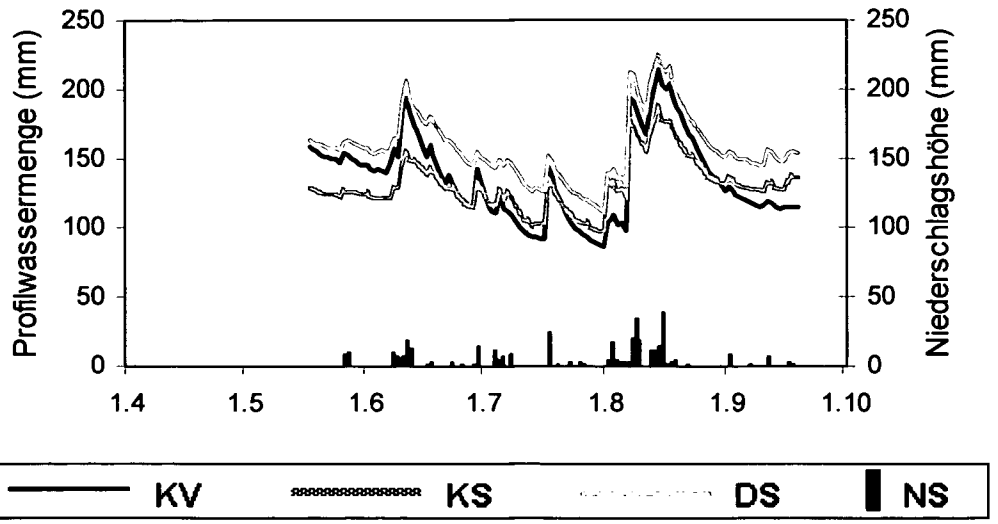


Abbildung 25: Zeitlicher Verlauf der Profilwassermenge am Hangfuß; 2002

Das Jahr 2002 war ein niederschlagsreiches Jahr. Die mittlere Niederschlagshöhe im Betrachtungszeitraum betrug 59,8 mm. Dies kann man auch am Verlauf der Profilwassermenge sowohl bei den einzelnen betrachteten Hangpositionen, als auch bei den verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten erkennen. Der erste große Anstieg der Profilwassermenge ist im Zeitraum zwischen 08.Juni bis 13. Juni 2002 erkennbar. Die höchsten Werte des gespeicherten Bodenwassers in 50 cm Tiefe sind am Hangfuß feststellbar.

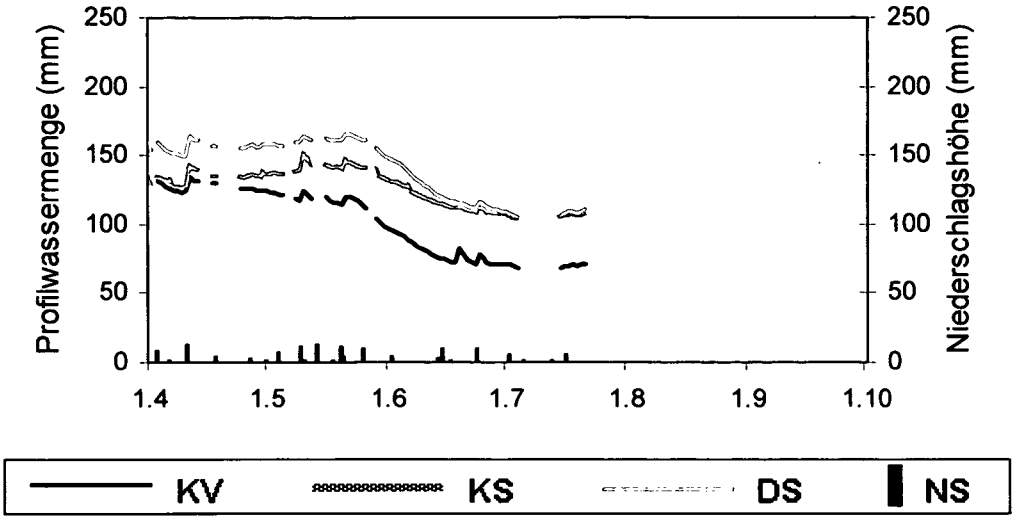


Abbildung 26: Zeitlicher Verlauf der Profilwassermenge am Hangkopf; 2003

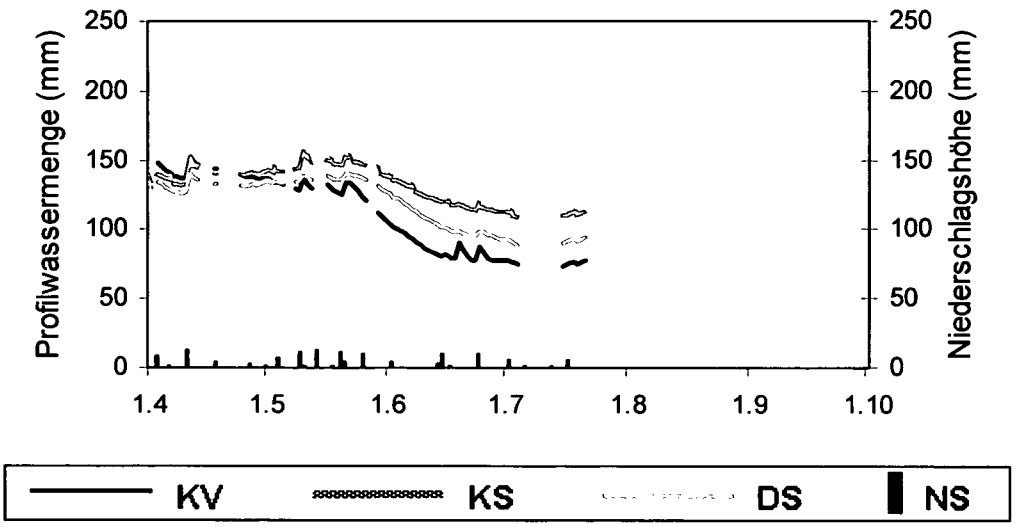


Abbildung 27: Zeitlicher Verlauf der Profilwassermenge in der Hangmitte; 2003

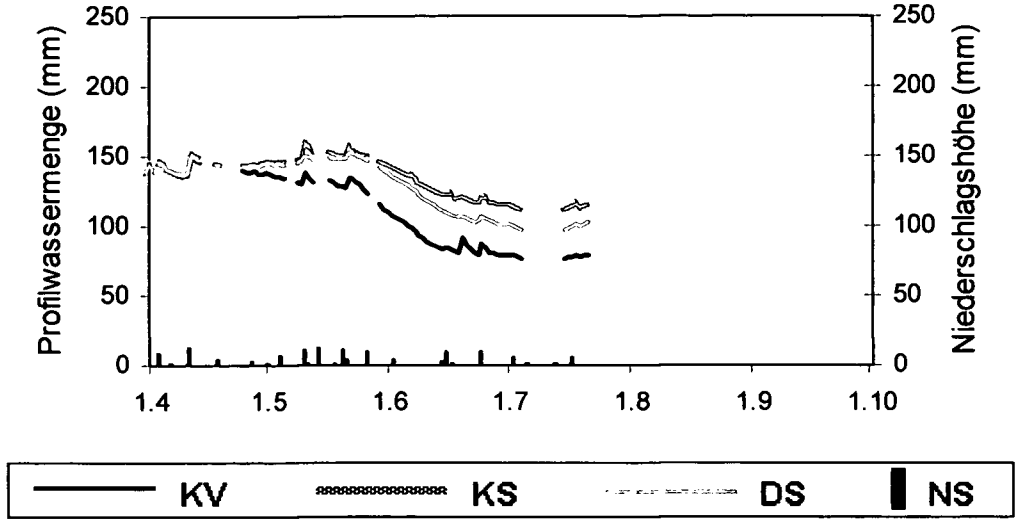


Abbildung 28: Zeitlicher Verlauf der Profilwassermenge am Hangfuß; 2003

Im Jahr 2003 gab es im Betrachtungszeitraum mittlere Niederschlagshöhen von 32,5 mm. Aufgrund der Trockenheit war im Gegensatz zum Jahr 2002 kein so großer Anstieg des gespeicherten Bodenwassers erkennbar. Ein starker Abfall des gespeicherten Bodenwassers ab Ende Mai 2003 war bei allen Bodenbearbeitungsvarianten zu beobachten. Dies ist auf die geringe Niederschlagshöhe zurück zu führen.

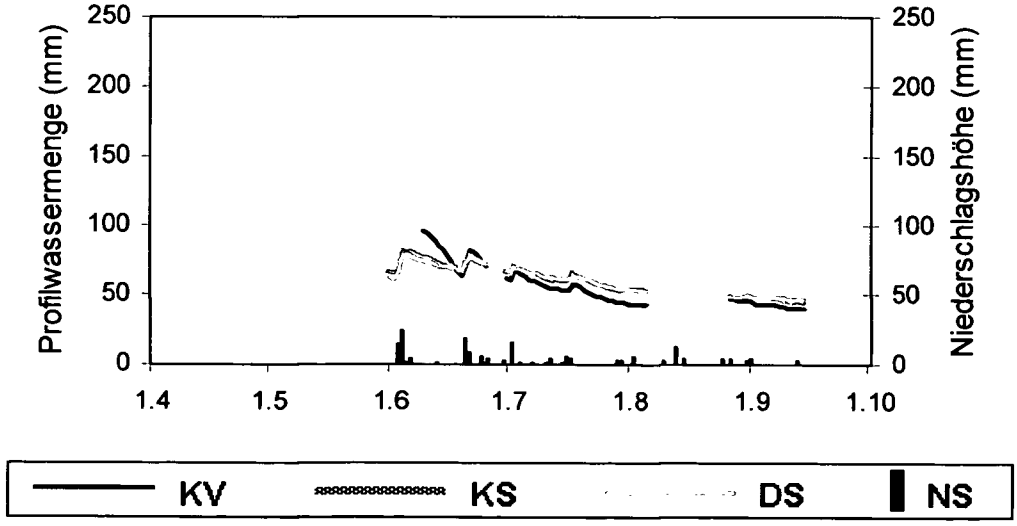


Abbildung 29: Zeitlicher Verlauf der Profilwassermenge am Hangkopf; 2004

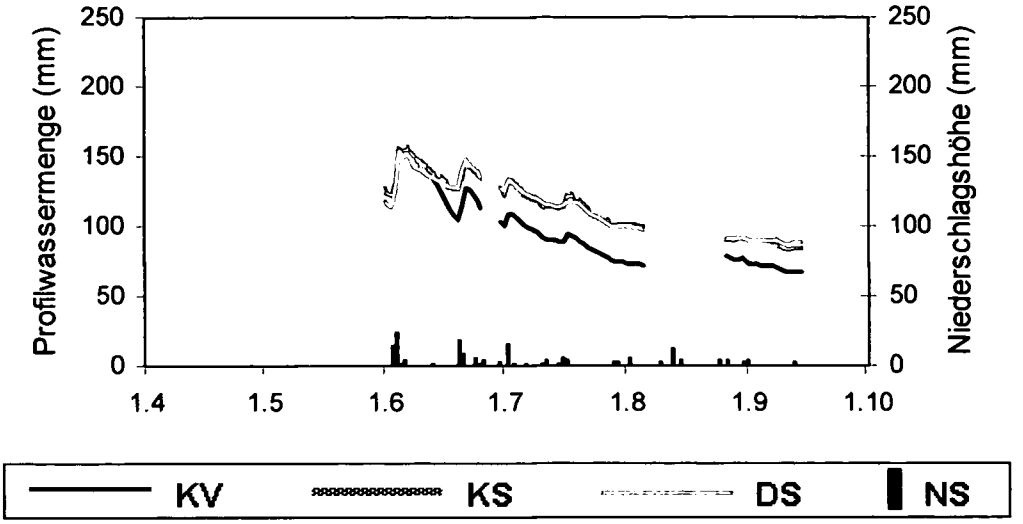


Abbildung 30: Zeitlicher Verlauf der Profilwassermenge in der Hangmitte; 2004

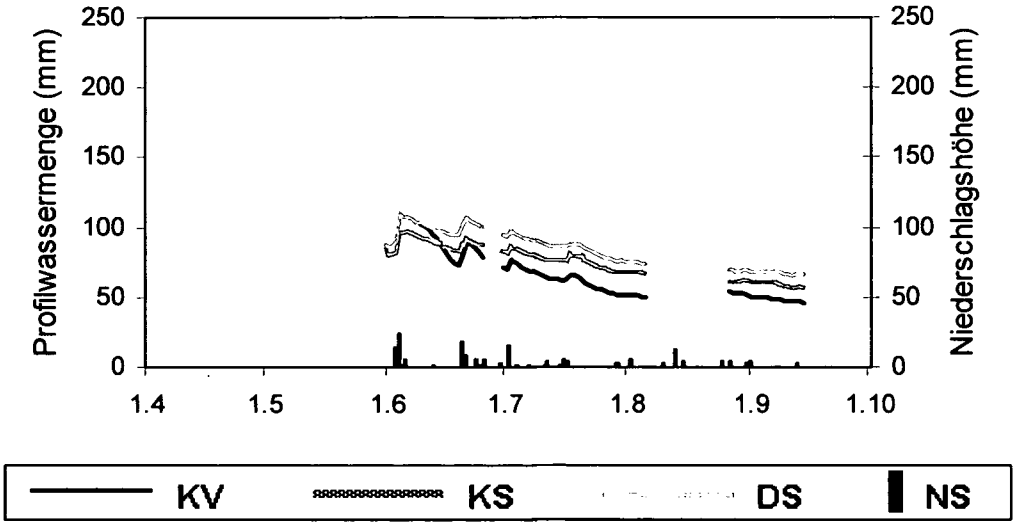


Abbildung 31: Zeitlicher Verlauf der Profilwassermenge am Hangfuß; 2004

Im Jahr 2004 betrug die mittlere Niederschlagshöhe im Betrachtungszeitraum 42,8 mm. Die Verteilung des gespeicherten Bodenwassers weist ab Ende Juni einen deutlichen Abfall des Verlaufes bei allen Hangpositionen auf.

Bei der konventionellen Bodenbearbeitung konnte die geringste Menge der Profilwassermenge in den oberen 50 cm Bodentiefe festgestellt werden. Dies war bei allen Hangpositionen und in jedem Jahr zu beobachten. Das meiste gespeicherte Wasser im Boden konnte bei den Varianten der bodenschonenden Bodenbearbeitung, also der konservierenden Bodenbearbeitung und Direktsaat verzeichnet werden.

Der Unterschied der mittleren Profilwassermenge zwischen konservierender Bodenbearbeitung und konventioneller Bodenbearbeitung lag zwischen 11 mm im Jahr 2002 und 25 mm im Jahr 2003 und der Unterschied zwischen konventioneller Bodenbearbeitung und Direktsaat lag zwischen 17 mm im Jahr 2004 und 25 mm im Jahr 2003 (vgl. Tabelle 18). Ein großer Unterschied des gespeicherten Bodenwassers in den obersten 50 cm Tiefe konnte zwischen den beiden bodenschonenden Bearbeitungsvarianten nicht erkannt werden.

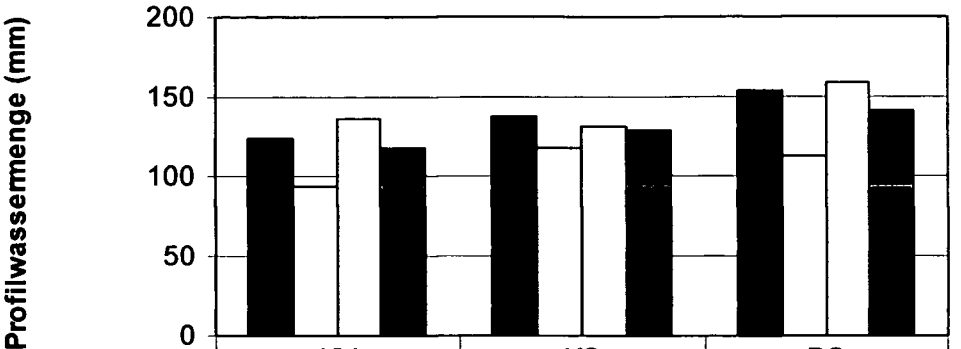
In Tabelle 18 sind die Differenzen der mittleren Profilwassermenge zwischen konventioneller Bodenbearbeitung und den bodenschonenden Bodenbearbeitungsvarianten angegeben.

Tabelle 18: Differenzen der mittleren Profilwassermenge zw. KS und KV bzw. zw. DS und KV in 50 cm Tiefe

	2002		2003		2004	
Variante	**KS–KV**	**DS–KV**	**KS–KV**	**DS–KV**	**KS–KV**	**DS–KV**
Position						
Hangkopf	14	29	27	41	5	5
Hangmitte	23	19	23	10	23	23
Hangfuß	-5	23	25	23	12	22
MW	**11**	**24**	**25**	**25**	**14**	**17**

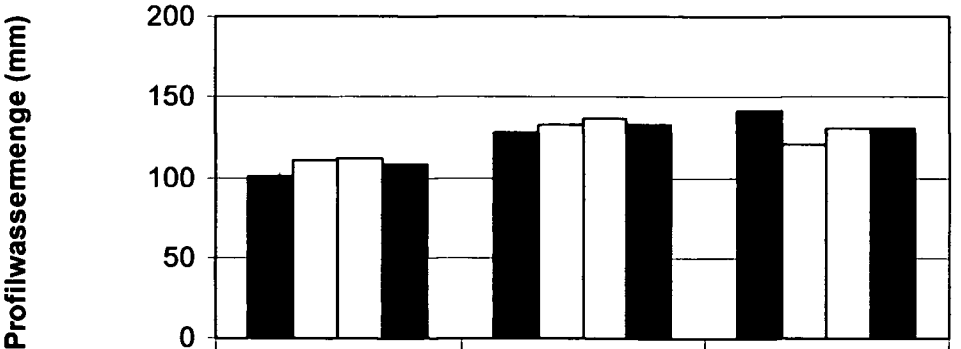
4.6 Wasseranteil entlang des Hanges

In Abbildung 32 bis Abbildung 34 sind die Mittelwerte des gespeicherten Bodenwassers in den oberen 50 cm Bodentiefe für die Jahre 2002, 2003 und 2004, sowie für die einzelnen Bodenbearbeitungsvarianten dargestellt.



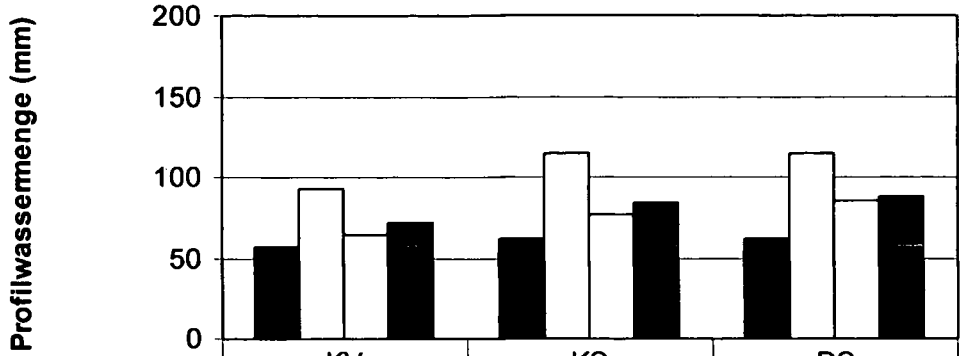
	KV	KS	DS
■ Hangkopf	124	138	153
□ Hangmitte	94	117	113
□ Hangfuß	136	131	159
■ MW	118	129	142

Abbildung 32: Mittlere Profilwassermenge der einzelnen Varianten; 2002



	KV	KS	DS
■ Hangkopf	101	128	142
□ Hangmitte	110	133	120
□ Hangfuß	112	137	130
■ MW	108	132	131

Abbildung 33: Mittlere Profilwassermenge der einzelnen Varianten; 2003



	KV	KS	DS
■ Hangkopf	57	62	62
□ Hangmitte	93	115	115
□ Hangfuß	64	76	86
■ MW	71	84	87

Abbildung 34: Mittlere Profilwassermenge der einzelnen Varianten; 2004

Es konnte keine genaue Aussage bei der Verteilung des gespeicherten Bodenwasser über den Versuchshang getroffen werden. Im Jahr 2004 war in der Hangmitte mehr Wasser in den oberen 50 cm Tiefe gespeichert als am Hangkopf und Hangfuß. Nur im Jahr 2003 konnte ein Anstieg des gespeicherten Bodenwassers vom Hangkopf bis zum Hangfuß beobachtet werden.

Im Vergleich zwischen Hangkopf und Hangfuß, war meistens am Hangfuß die größte Menge des Profilwasserinhaltes. Ausnahmen gab es im Jahr 2002 bei der konservierenden Bodenbearbeitung und im Jahr 2003 bei der Direktsaat, hier war die größte Menge des Profilwasserinhaltes am Hangkopf.

5 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, einen zeitlichen Bodenwassergehaltsverlauf auf einer Versuchsfläche an unterschiedlichen Positionen (Hangkopf, Hangmitte und Hangfuß) im Betrachtungszeitraum von 2002 bis 2004 darzustellen. Die Versuchsfläche wurde mit drei unterschiedlichen Bodenbearbeitungsvarianten bearbeitet: konventionelle Bodenbearbeitung, konservierende Bodenbearbeitung und Direktsaat.

Die Wasseranteile wurden mittels indirekter Methode erhoben. Es wurden je zwei Rohrsonden des Typs Diviner an Hangkopf und Hangfuß und EnviroScan in der Hangmitte eingesetzt. Die EnviroScan Sonden wurden in 10 cm, 20 cm, 30 cm, 50 cm und 100 cm Tiefe eingebaut und konnten kontinuierlich Daten erheben. Die Diviner Sonden sind für wöchentliche Messungen verwendet worden und die Wasseranteile wurden manuell in 10 cm Schritten bis zu einer Tiefe von 100 cm gemessen. Der Niederschlag wurde mittels Regenschreiber gemessen.

Um einen zeitlichen Bodenwassergehaltsverlauf darstellen zu können, war es notwendig, die erhobenen Wasseranteilsdaten auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. Diese Überprüfung basierte auf der Überlegung, dass die in den Boden eindringende Niederschlagsmenge derjenigen Wassermenge entsprechen muss, die durch die Veränderung der Wasseranteile im Bodenprofil berechnet werden kann. Durch diese Überprüfung wurden jene Messrohre der EnviroScan – Sonden (Hangmitte) ermittelt, die die plausibelste Übereinstimmungen zwischen Profilwasseränderung und Niederschlagshöhe lieferten. Die wöchentlich erhobenen Wasseranteilsdaten an Hangkopf und Hangfuß wurden den kontrollierten Wasseranteilsdaten in der Hangmitte gegenübergestellt und zu kontinuierlichen Daten umgerechnet.

Beim zeitlichen Verlauf des Bodenwasseranteils konnte keine genaue Aussage über die Verteilung des gespeicherten Bodenwassers entlang des Versuchshanges getroffen werden. Beim Vergleich des gespeicherten Bodenwassers im Bodenprofil zwischen Hangkopf und Hangfuß war erkennbar, dass am Hangfuß mehr Wasser gespeichert war als am Hangkopf.

Das meiste gespeicherte Wasser im Boden konnte man bei den Bodenbearbeitungsvarianten „konservierende Bodenbearbeitung“ und „Direktsaat“ feststellen. Die konventionelle Bodenbearbeitung wies die geringste Menge an gespeichertem Wasser im Boden auf.

Die eingesetzten Sensoren zur Wasseranteilsmessung sind für die Erfassung des zeitlichen Verlaufs des Bodenwassergehaltes geeignet, für eine genaue Messung ist jedoch eine Eichung der Sensoren unbedingt notwendig.

6 Literaturverzeichnis

BLUM, W. (1992): Bodenkunde in Stichworten, 5. Auflage. Berlin, Stuttgart: Ferdinand Hirt

HARTGE, K. H. und HORN, R. (1999): Einführung in die Bodenphysik, 3. Auflage. Stuttgart: Ferdinand Enke

HOFMANN, J. (2005): Auswirkung Unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf die Bodengesundheit. Wien: Diss. Universität für Bodenkultur

KASTANEK, F. (1998): Bodenphysik. Skriptum des Institutes für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft; Universität für Bodenkultur

MIKOVITS, G. (1998): Kapazitive Messsonde: Abhängigkeit der Kalibrierkurven für Wasseranteil und Salinität von der Bodenart. Wien: Dipl. Universität für Bodenkultur

MUTH, W. (1991): Landwirtschaftlicher Wasserbau; Bodenkultur, 2. Auflage. Düsseldorf: Werner

Scheffer, F., Schachtschabel, P., BLUME H.-P., BRÜMMER, B., HARTGE, K. H. und SCHWERTMANN U. (1998): Lehrbuch der Bodenkunde. – 14. ‚Auflage. Stuttgart: Ferdinand Enke

SCHÖN, H., et. al. (1998): Die Landwirtschaft, Bd. 3 Landtechnik, Bauwesen: Verfahrenstechnik – Arbeit – Gebäude – Umwelt, 9. Auflage. München: BLV

http://de.wikipedia.org/wiki/Wasserspannung

7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Geographische Koordinaten der Messstelle: 8

Tabelle 2: Profilbeschreibung GRAPHIK!!!!! 10

Tabelle 3: Überblick über die Bodeneigenschaften und Klimadaten 10

Tabelle 4: Langjährige mittlere Monats- und Jahresniederschläge (mm) für Mistelbach 10

Tabelle 5: Langjährige mittlere Monats- und Jahrestemperaturen (°C) für Mistelbach 10

Tabelle 6: Versuchvarianten 12

Tabelle 7: Bearbeitungsmaßnahmen im Betrachtungszeitraum 2002, 2003 und 2004 13

Tabelle 8: Bereiche der aufsummierten Wasseranteilswerte und Einflussbreite d, mit welchen die Wasseranteile für die jeweiligen Tiefenabschnitte multipliziert wurden. 18

Tabelle 9: Beispiel zur Berechnung der Profilwassermenge in 50 cm Tiefe 19

Tabelle 10: Beispiel zur Berechnung des gespeicherten Bodenwassers in 100 cm Tiefe 19

Tabelle 11: Berechung der Profilwasseränderung ΔW 20

Tabelle 12: Zeitraum der Datenerfassung 21

Tabelle 13: Ausgewählte Niederschlagsereignisse für das Jahr 2002 22

Tabelle 14: Ausgewählte Niederschlagsereignisse für das Jahr 2003 22

Tabelle 15: Ausgewählte Niederschlagsereignisse für das Jahr 2004 23

Tabelle 16: Auswahl der Datensätze 35

Tabelle 17: Steigungen (k) und Bestimmtheitsmaß (R^2) 36

Tabelle 18: Differenzen zw. KS und KV bzw. zw. DS und KV in 50 cm Tiefe 44

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Phasenverhältnis zwischen den Bodenbestandteilen KASTANEK, 1998 3

Abbildung 2: Schema der Verteilung von Niederschlag und Bodenwasser BLUM, 1992 4

Abbildung 3: Beziehung zwischen Wasserspannung und Wassergehalt (pF-Kurven) bei einem Sandboden, einem tonigen Schluffboden (Lößboden) und einem Tonboden (A-Horizonte) SCHEFFER / SCHACHTSCHABEL, 1998 7

Abbildung 4: Standort der Messstelle HOFMANN, 2005 8

Abbildung 5: unterschiedliche Bodenbearbeitungsverfahren SCHÖN et. al., 1998 12

Abbildung 6: Skizze der Messstelle 14

Abbildung 7: Gegenüberstellung der Messwerte Diviner und EnviroScan; KV; 2002 25

Abbildung 8: Tagesniederschläge 2002; 15.05.2002 bis 19.09.2002 27

Abbildung 9: Tagesniederschläge 2003; 28.03.2003 bis 21.07 2003 28

Abbildung 10: Tagesniederschläge 2004; 31.05.2003 bis 14.09.2004 29

Abbildung 11: Gegenüberstellung der Profilwasseränderung ΔW und des Niederschlages; Variante 1 (KV); 2002 30

Abbildung 12: Gegenüberstellung der Profilwasseränderung ΔW und des Niederschlages; Variante 5 (KS); 2002 31

Abbildung 13: Gegenüberstellung der Profilwasseränderung ΔW und des Niederschlages; Variante 6 (DS); 2002 31

Abbildung 14: Gegenüberstellung der Profilwasseränderung ΔW und des Niederschlages; Variante 1 (KV); 2003 32

Abbildung 15: Gegenüberstellung der Profilwasseränderung ΔW und des Niederschlages; Variante 5 (KSV); 2003 33

Abbildung 16: Gegenüberstellung der Profilwasseränderung ΔW und des Niederschlages; Variante 6 (DS); 2003 33

Abbildung 17: Gegenüberstellung der Profilwasseränderung ΔW und des Niederschlages; Variante 1 (KV); 2004 34

Abbildung 18: Gegenüberstellung der Profilwasseränderung ΔW und des Niederschlages; Variante 5 (KS); 2004 34

Abbildung 19: Gegenüberstellung der Profilwasseränderung ΔW und des Niederschlages; Variante 6 (DS); 2004 35

Abbildung 20: Verlauf des Wasseranteils; KV; Hangkopf; 2003 37

Abbildung 21: Verlauf des Wasseranteils; KV; Hangmitte; 2003 38

Abbildung 22: Verlauf des Wasseranteils; KV; Hangfuß; 2003 38

Abbildung 23: Zeitlicher Verlauf der Profilwassermenge am Hangkopf; 2002 39

Abbildung 24: Zeitlicher Verlauf der Profilwassermenge in der Hangmitte; 2002 40

Abbildung 25: Zeitlicher Verlauf der Profilwassermenge am Hangfuß; 2002 40

Abbildung 26: Zeitlicher Verlauf der Profilwassermenge am Hangkopf; 2003 41

Abbildung 27: Zeitlicher Verlauf der Profilwassermenge in der Hangmitte; 2003 41

Abbildung 28: Zeitlicher Verlauf der Profilwassermenge am Hangfuß; 2003 42

Abbildung 29: Zeitlicher Verlauf der Profilwassermenge am Hangkopf; 2004 42

Abbildung 30: Zeitlicher Verlauf der Profilwassermenge in der Hangmitte; 2004 43

Abbildung 31: Zeitlicher Verlauf der Profilwassermenge am Hangfuß; 2004 43

Abbildung 32: Mittlere Profilwassermenge der einzelnen Varianten; 2002 45

Abbildung 33: Mittlere Profilwassermenge der einzelnen Varianten; 2003 45

Abbildung 34: Mittlere Profilwassermenge der einzelnen Varianten; 2004 46

9 Anhang

Anhang 1 Zeiträume der verwendeten Ersatzniederschlagsdaten.....54

Anhang 2 Gegenüberstellung EnviroScan / Diviner.....55

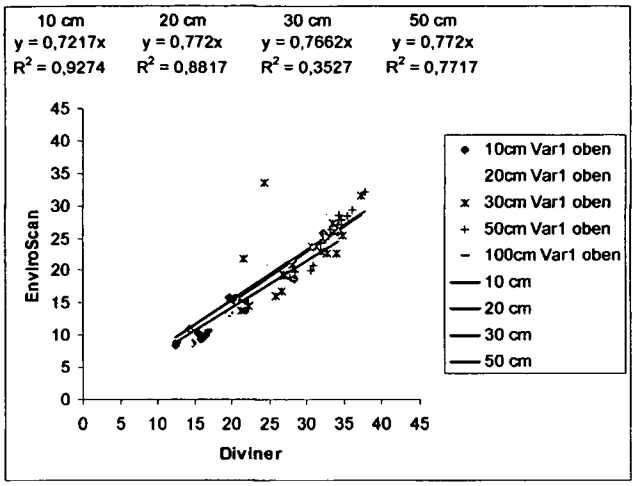
Anhang 3 Zeitlicher Verlauf des Wasseranteils.....61

Anhang 1 Zeiträume der verwendeten Ersatzniederschlagsdaten

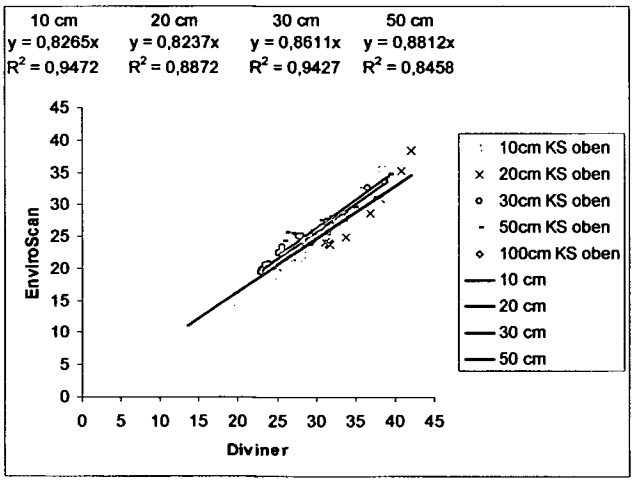
2002	Zeitraum	2003	Zeitraum
	15.05.2002 – 25.05.2002		29.03.2003 – 01.04.2003
	27.05.2002 – 06.06.2002		16.04.2003 – 23.04.2003
	09.06.2002		16.05.2003 – 28.05.2003
	12.06.2002 – 29.07.2002		15.07.2003 – 27.03.2003
	31.07.2002 – 06.08.2002		
	09.08.2002 – 11.08.2002		
	18.08.2002 – 19.08.2002		
	21.08.2002 – 19.08.2002		

Anhang 2 Gegenüberstellung EnviroScan / Diviner

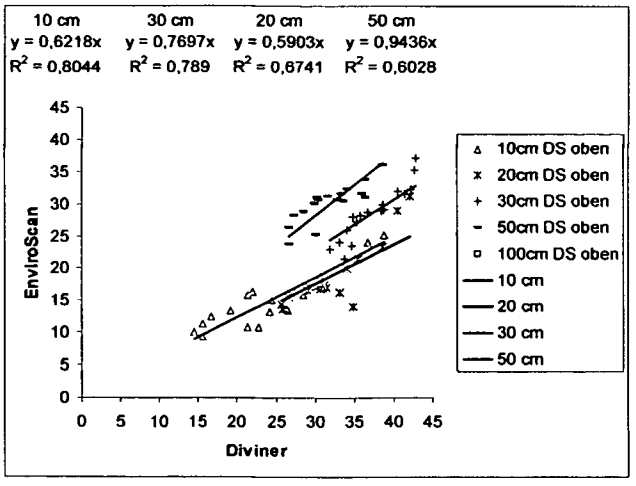
Gegenüberstellung EnviroScan/Diviner; Hangkopf; 2002



Gegenüberstellung Diviner/EnviroScan; KV; Hangkopf; 2002

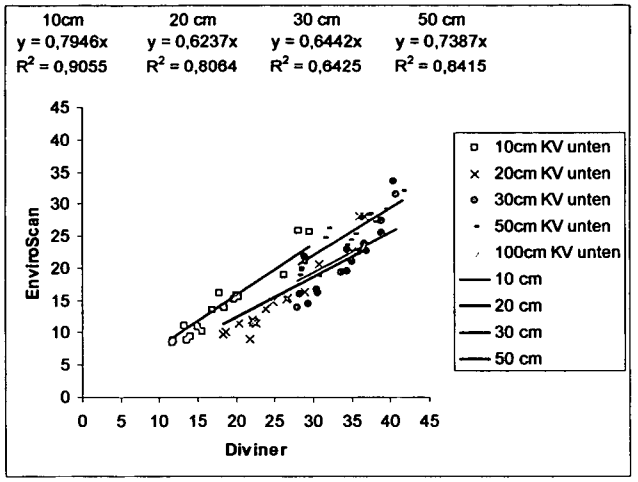


Gegenüberstellung Diviner/EnviroScan; KS; Hangkopf; 2002

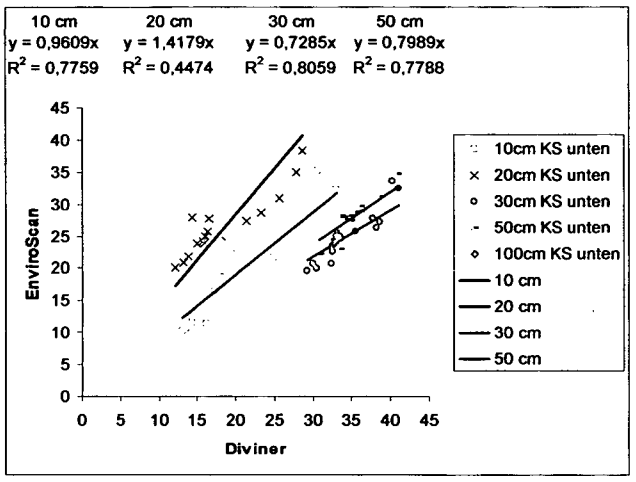


Gegenüberstellung Diviner/EnviroScan; DS; Hangkopf; 2002

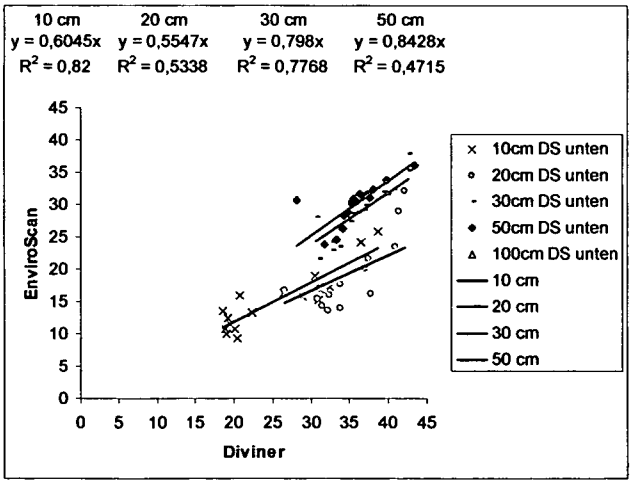
Gegenüberstellung EnviroScan/Diviner; Hangfuß; 2002



Gegenüberstellung Diviner/EnviroScan; KV; Hangfuß; 2002

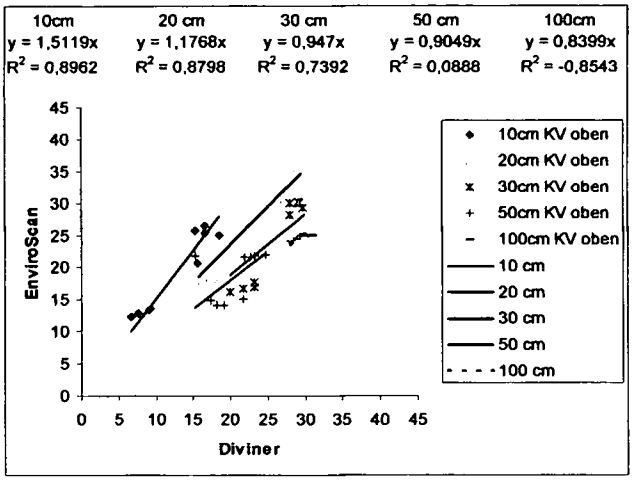


Gegenüberstellung Diviner/EnviroScan; KS; Hangfuß; 2002

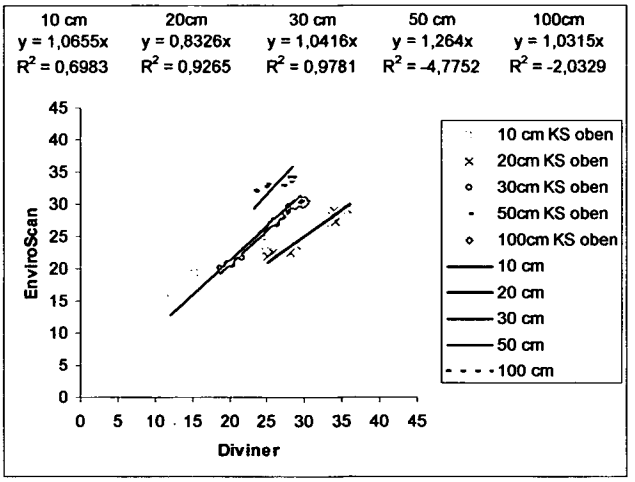


Gegenüberstellung Diviner/EnviroScan; DS; Hangfuß; 2002

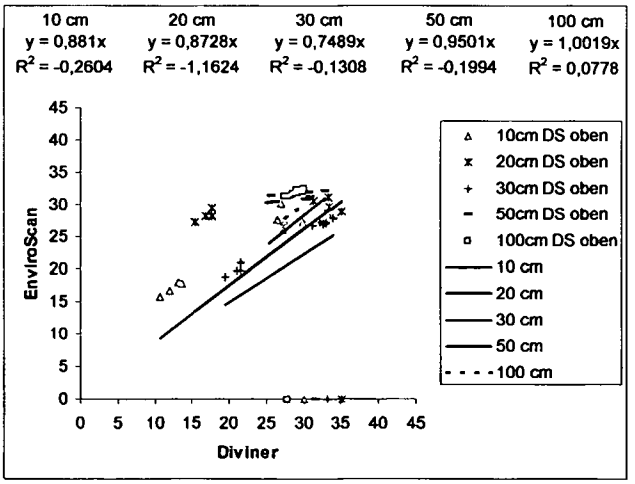
Gegenüberstellung EnviroScan/Diviner; Hangkopf; 2003



Gegenüberstellung Diviner/EnviroScan; KV; Hangkopf; 2003

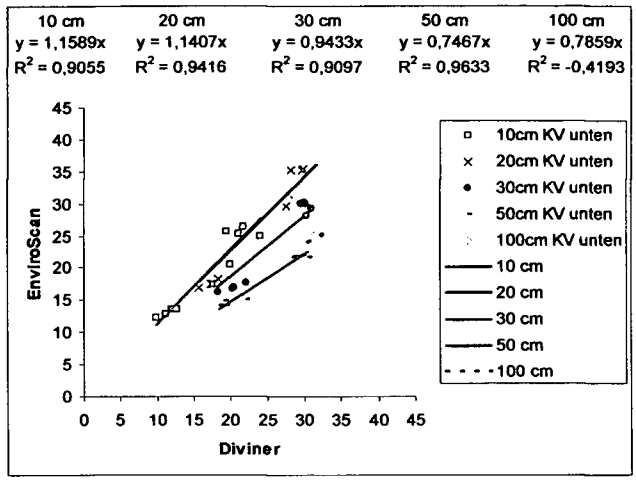


Gegenüberstellung Diviner/EnviroScan; KS; Hangkopf; 2003

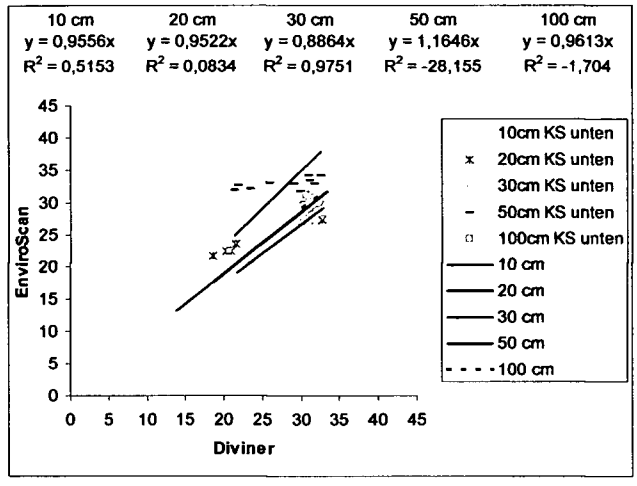


Gegenüberstellung Diviner/EnviroScan; DS; Hangkopf; 2003

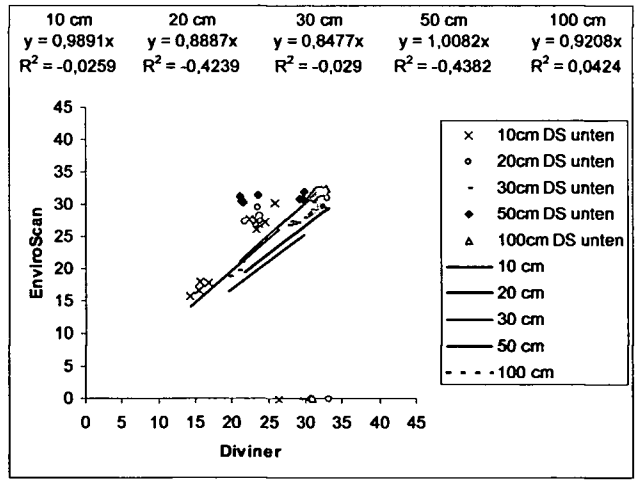
Gegenüberstellung EnviroScan/Diviner; Hangfuß; 2003



Gegenüberstellung Diviner/EnviroScan; KV; Hangfuß; 2003

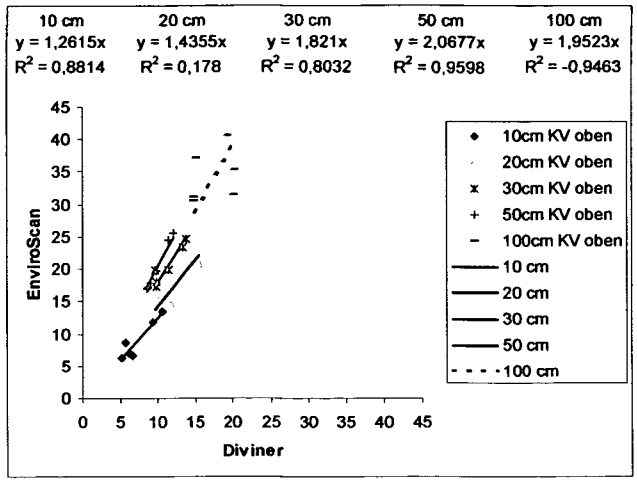


Gegenüberstellung Diviner/EnviroScan; KS; Hangfuß; 2003

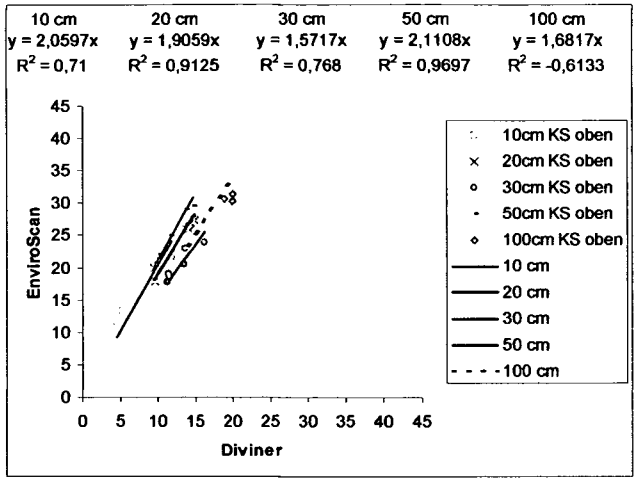


Gegenüberstellung Diviner/EnviroScan; DS; Hangfuß; 2003

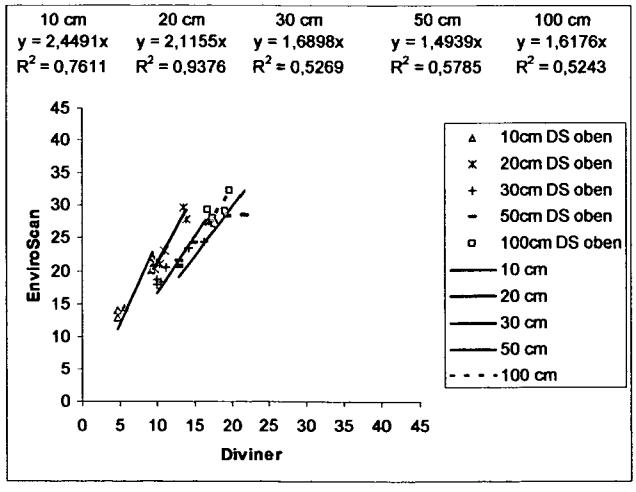
Gegenüberstellung EnviroScan/Diviner; Hangkopf; 2004



Gegenüberstellung Diviner/EnviroScan; KV; Hangkopf; 2004

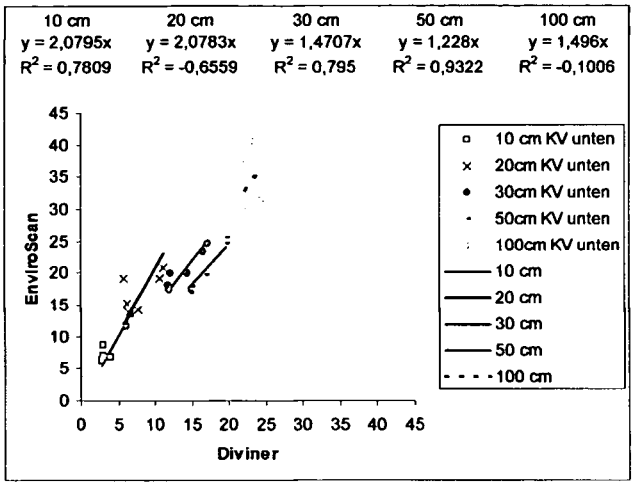


Gegenüberstellung Diviner/EnviroScan; KS; Hangkopf; 2004

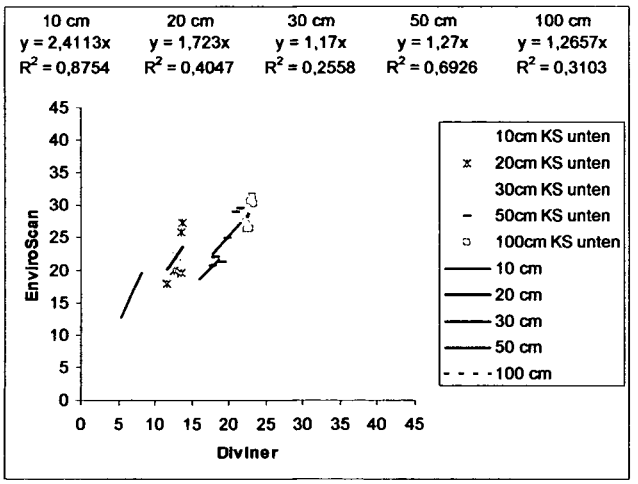


Gegenüberstellung Diviner/EnviroScan; DS; Hangkopf; 2004

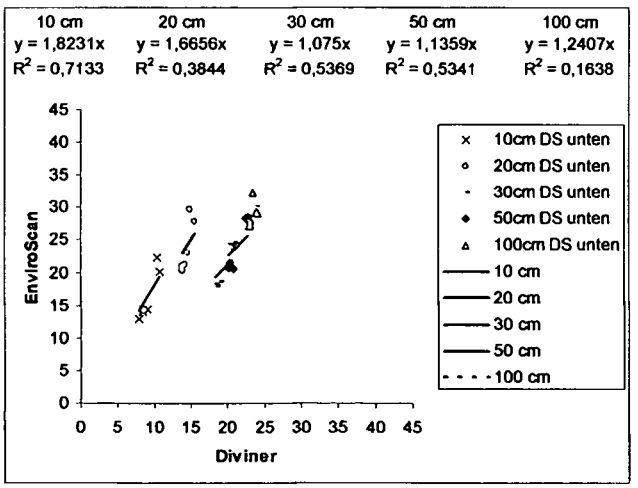
Gegenüberstellung EnviroScan/Diviner; Hangfuß; 2004



Gegenüberstellung Diviner/EnviroScan; KV; Hangfuß; 2004



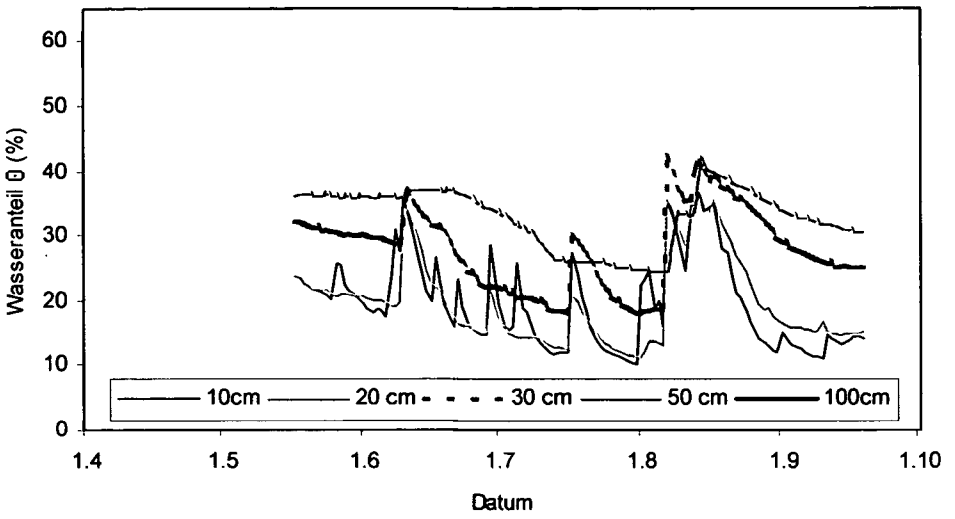
Gegenüberstellung Diviner/EnviroScan; KS; Hangfuß; 2004



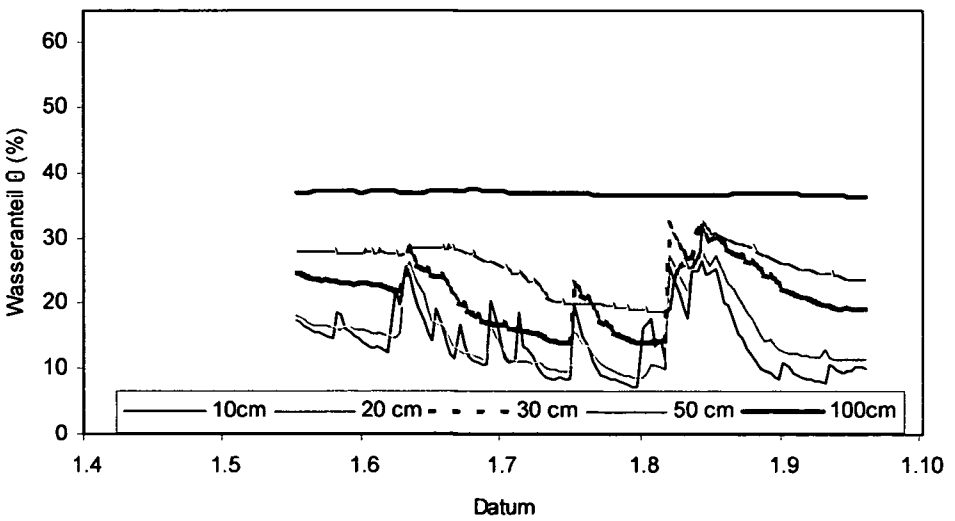
Gegenüberstellung Diviner/EnviroScan; DS; Hangfuß; 2004

Anhang 3 Zeitlicher Verlauf des Wasseranteils

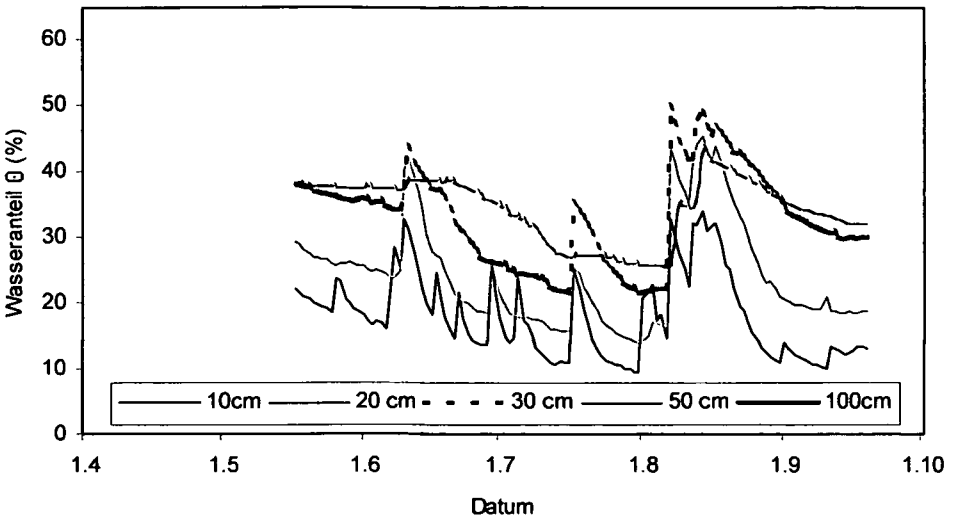
Zeitlicher Verlauf des Wasseranteils; konventionelle Bodenbearbeitung; 2002



Verlauf des Wasseranteils; KV; Hangkopf; 2002

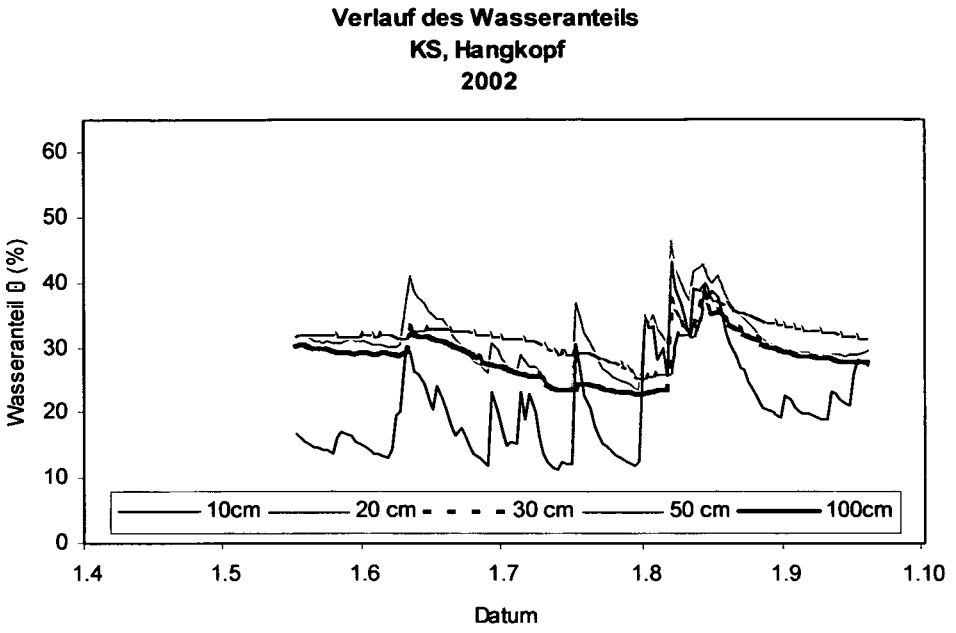


Verlauf des Wasseranteils; KV; Hangmitte; 2002

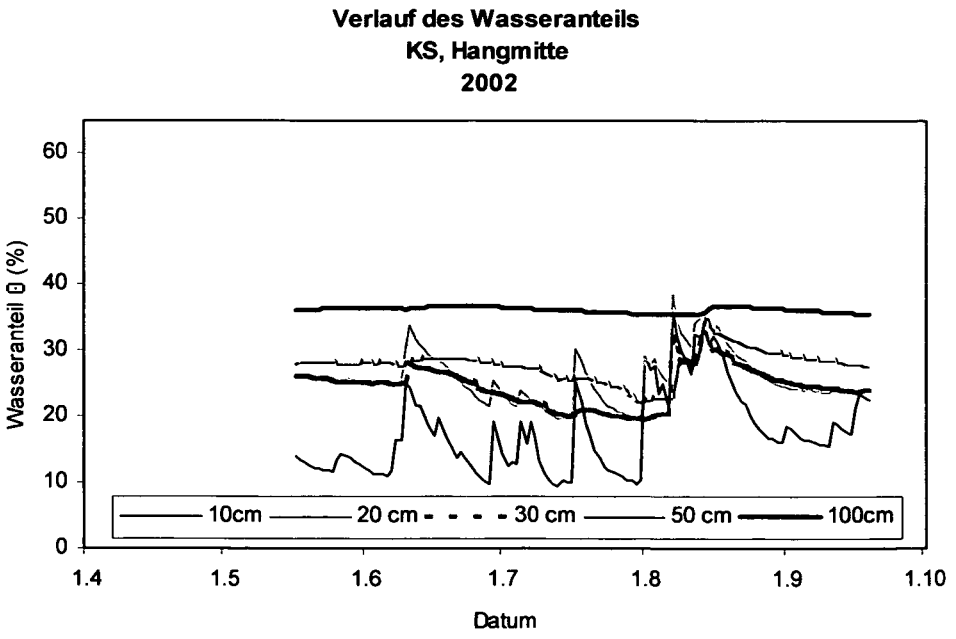


Verlauf des Wasseranteils; KV; Hangfuß; 2002

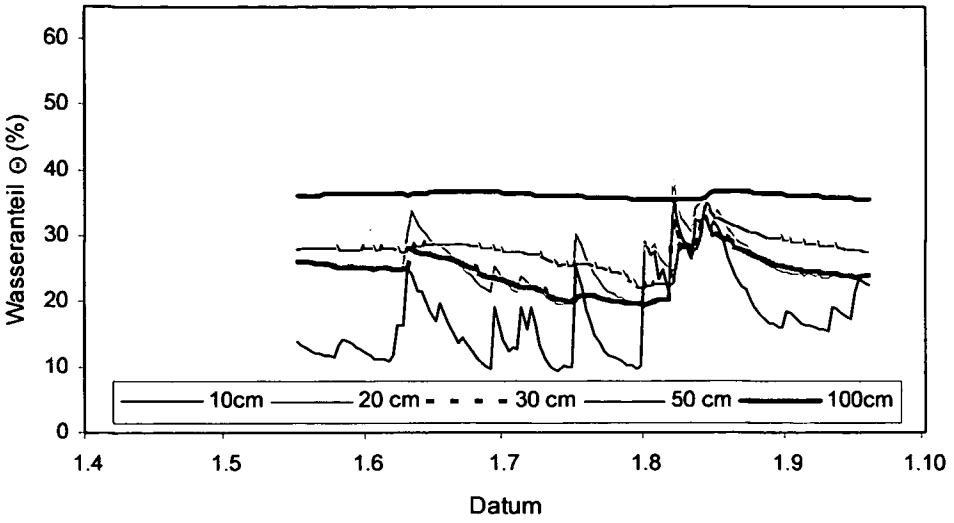
Zeitlicher Verlauf des Wasseranteils; konservierende Bodenbearbeitung; 2002



Verlauf des Wasseranteils; KS; Hangkopf; 2002

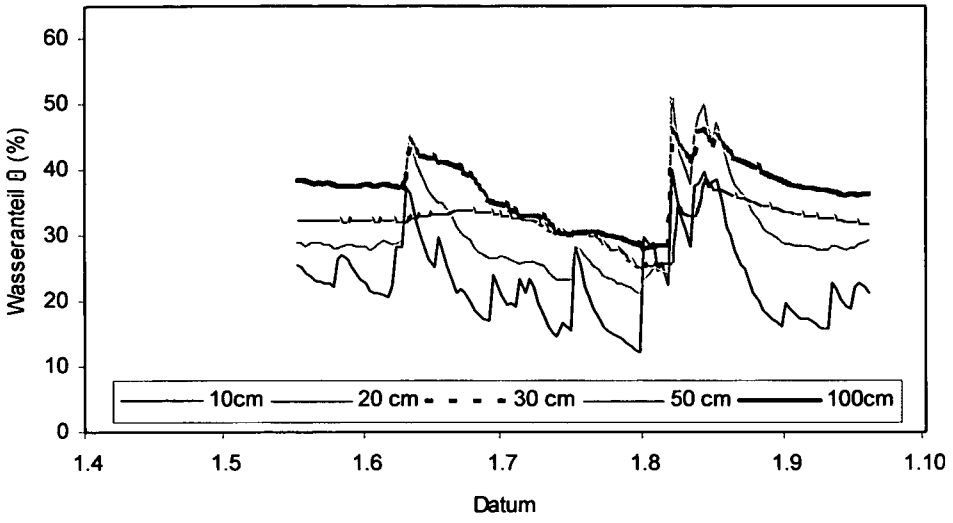


Verlauf des Wasseranteils; KS; Hangmitte; 2002

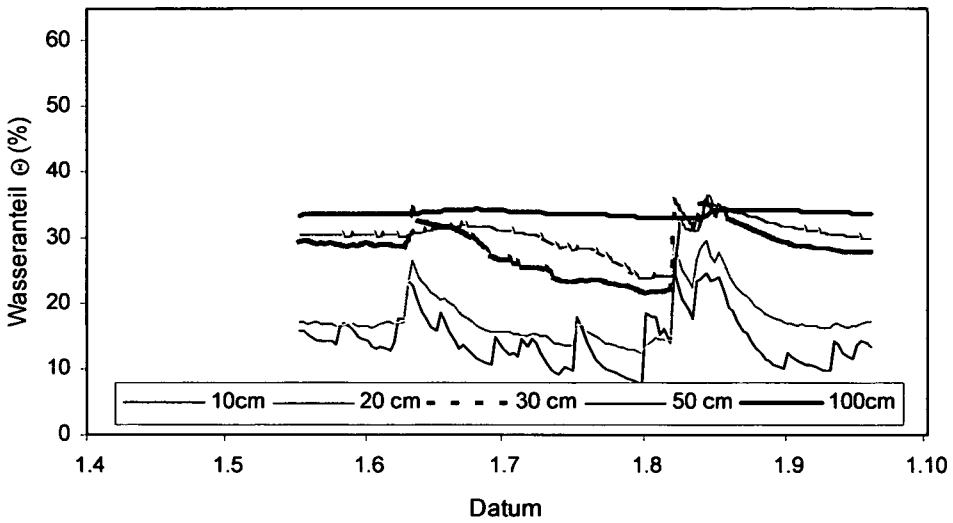


Verlauf des Wasseranteils; KS; Hangfuß; 2002

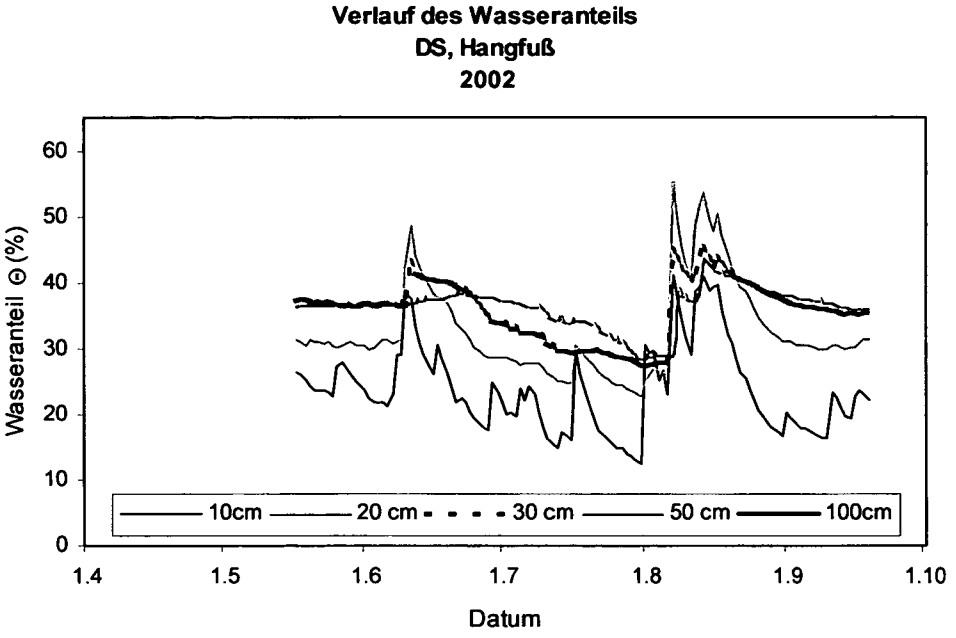
Zeitlicher Verlauf des Wasseranteils; Direktsaat; 2002



Verlauf des Wasseranteils; DS; Hangkopf; 2002

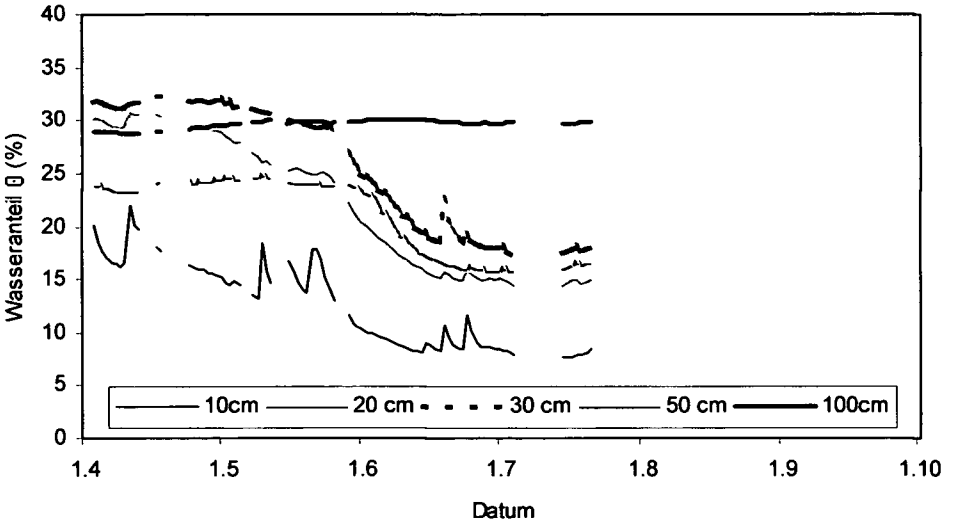


Verlauf des Wasseranteils; DS; Hangmitte; 2002

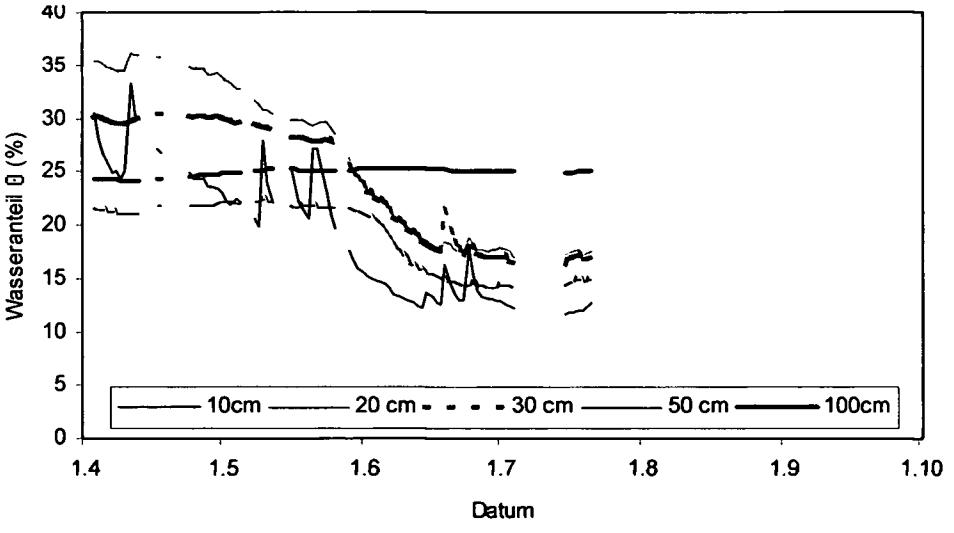


Verlauf des Wasseranteils; DS; Hangfuß; 2002

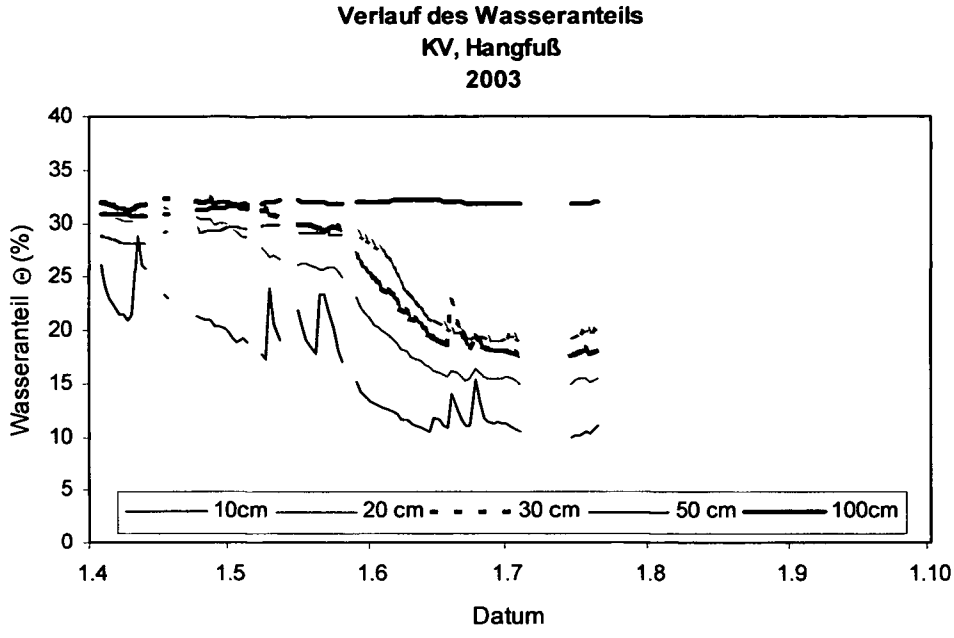
Zeitlicher Verlauf des Wasseranteils; konventionelle Bodenbearbeitung; 2003



Verlauf des Wasseranteils; KV; Hangkopf; 2003

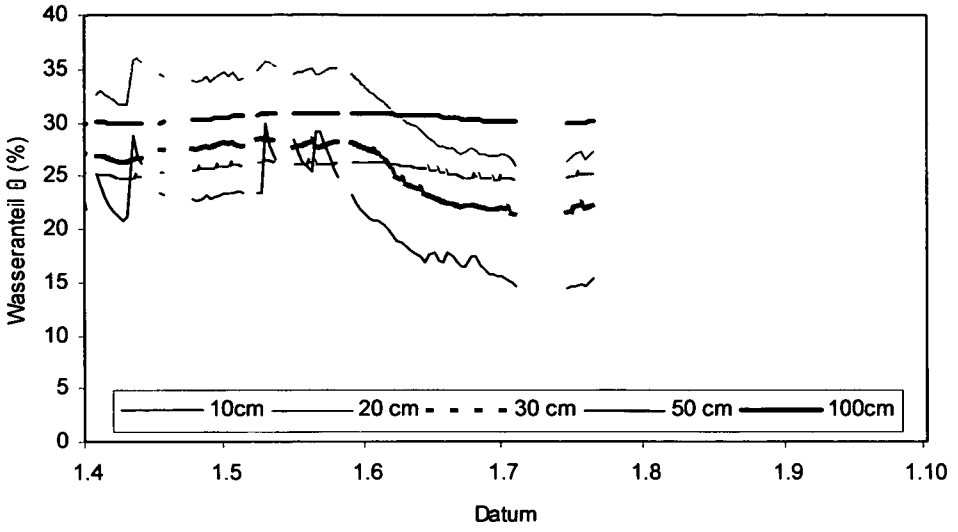


Verlauf des Wasseranteils; KV; Hangmitte; 2003

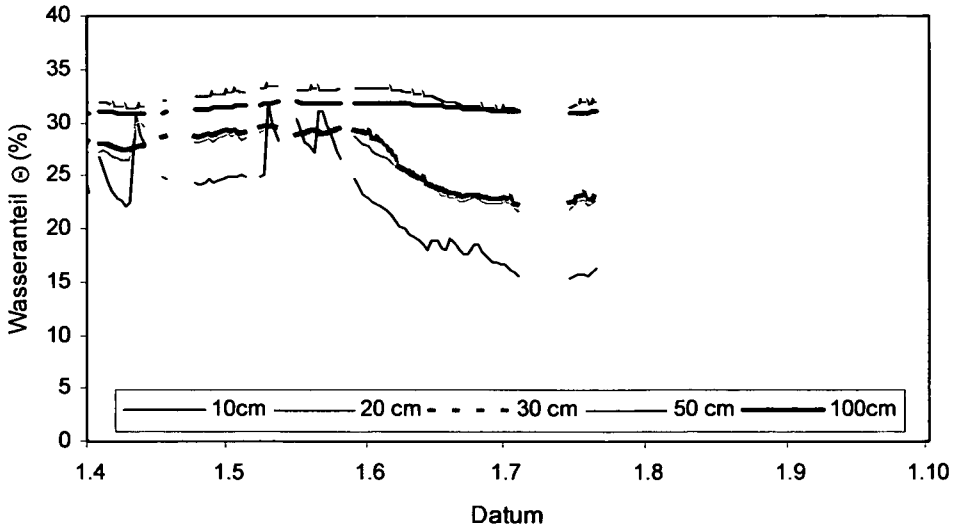


Verlauf des Wasseranteils; KV; Hangfuß; 2003

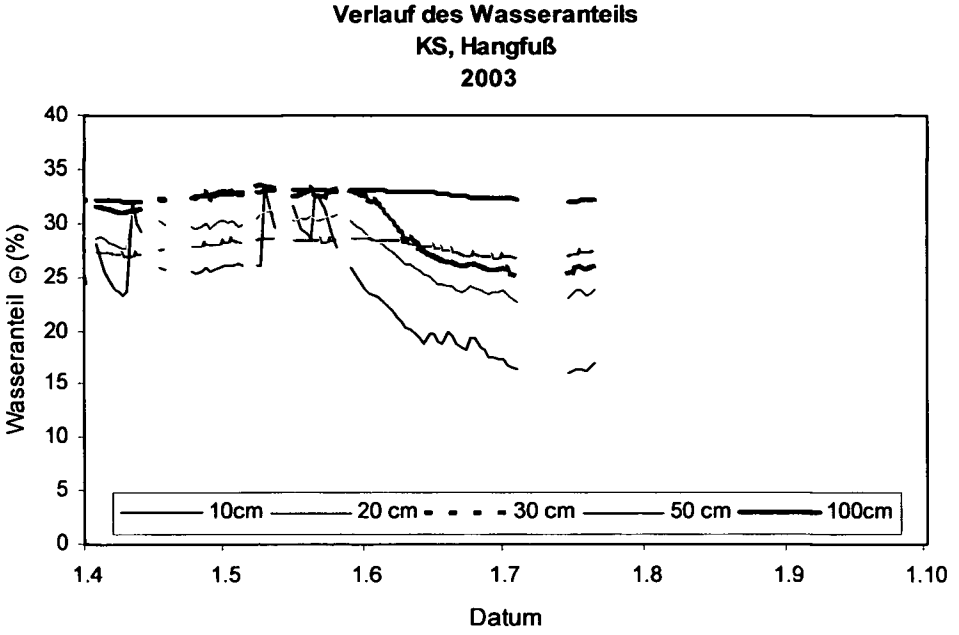
Zeitlicher Verlauf des Wasseranteils; konservierende Bodenbearbeitung; 2003



Verlauf des Wasseranteils; KS; Hangkopf; 2003

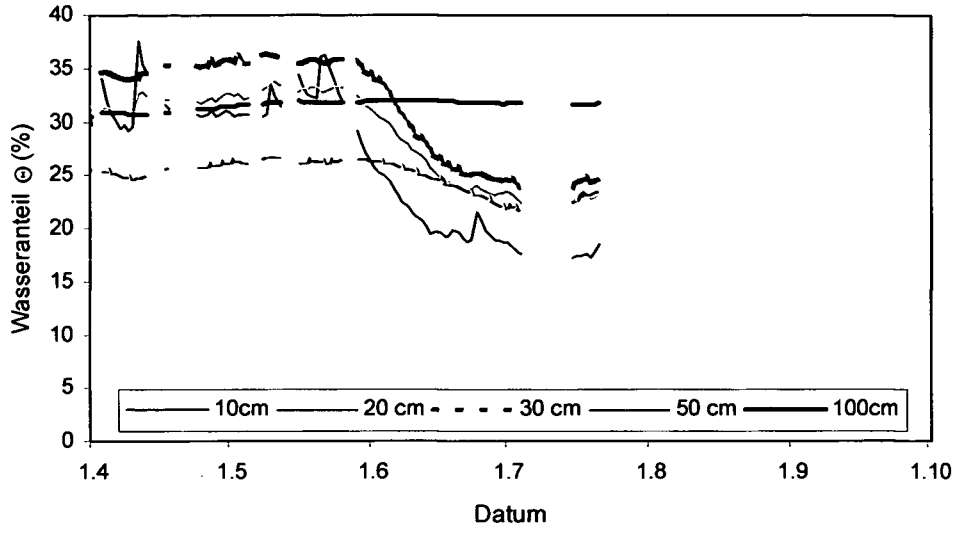


Verlauf des Wasseranteils; KS; Hangmitte; 2003

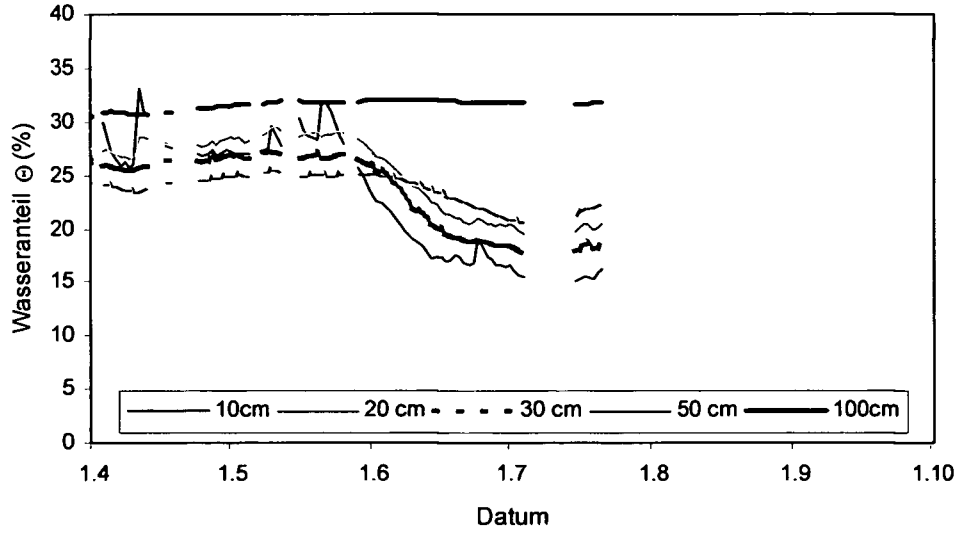


Verlauf des Wasseranteils; KS; Hangfuß; 2003

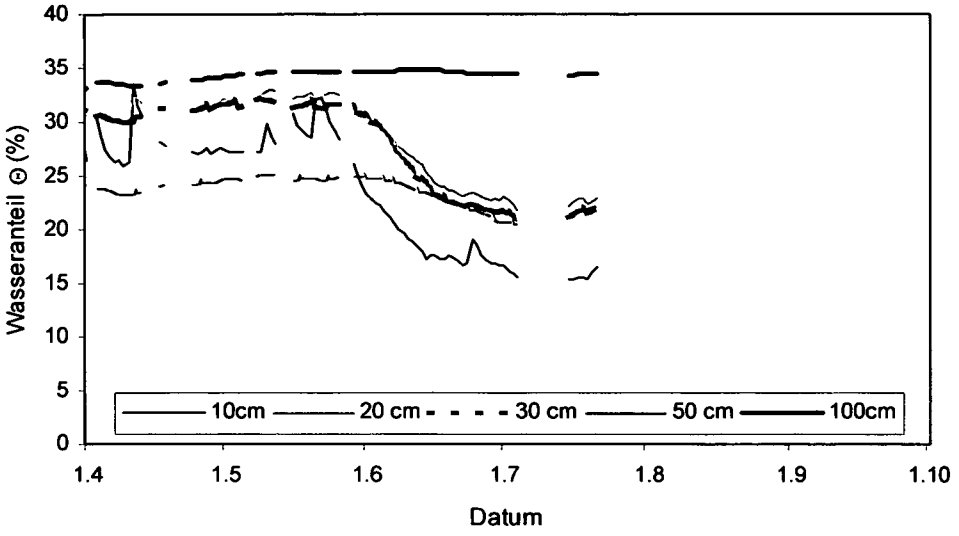
Zeitlicher Verlauf des Wasseranteils; Direktsaat; 2003



Verlauf des Wasseranteils; DS; Hangkopf; 2003

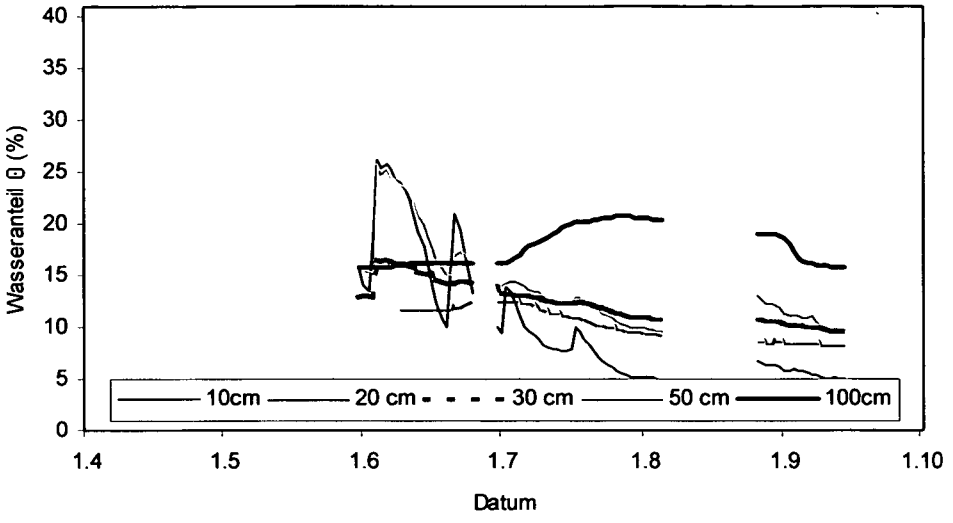


Verlauf des Wasseranteils; DS; Hangmitte; 2003



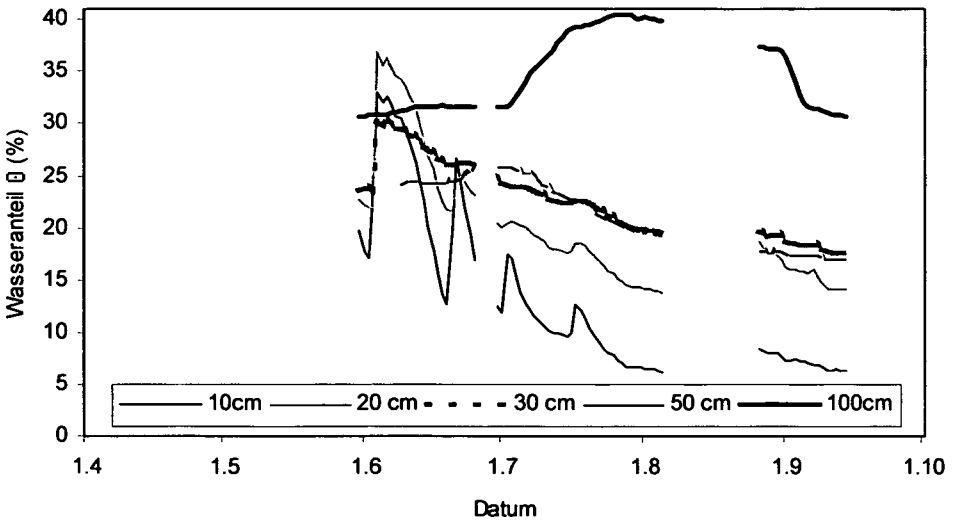
Verlauf des Wasseranteils; DS; Hangfuß; 2003

Zeitlicher Verlauf des Wasseranteils; konventionelle Bodenbearbeitung; 2004

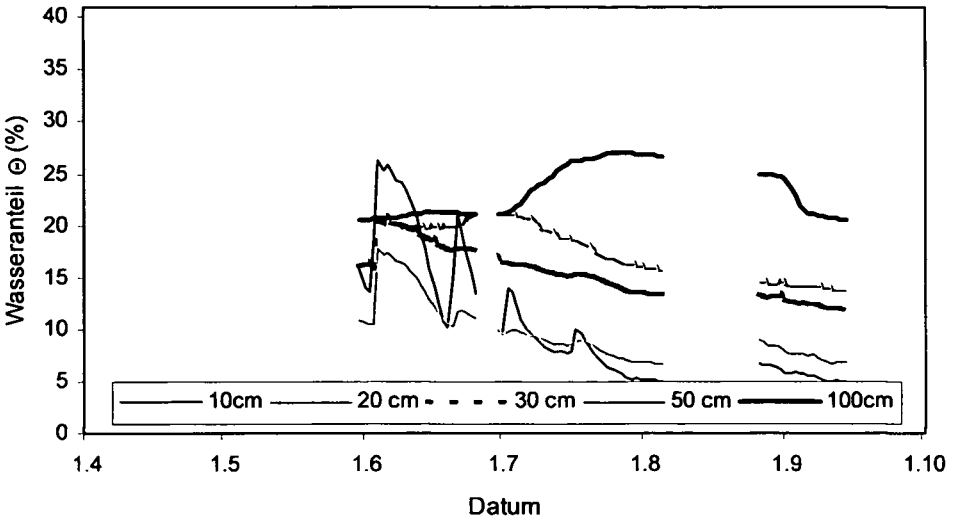


Verlauf des Wasseranteils; KV; Hangkopf; 2004

Verlauf des Wasseranteils
KV, Hangmitte
2004

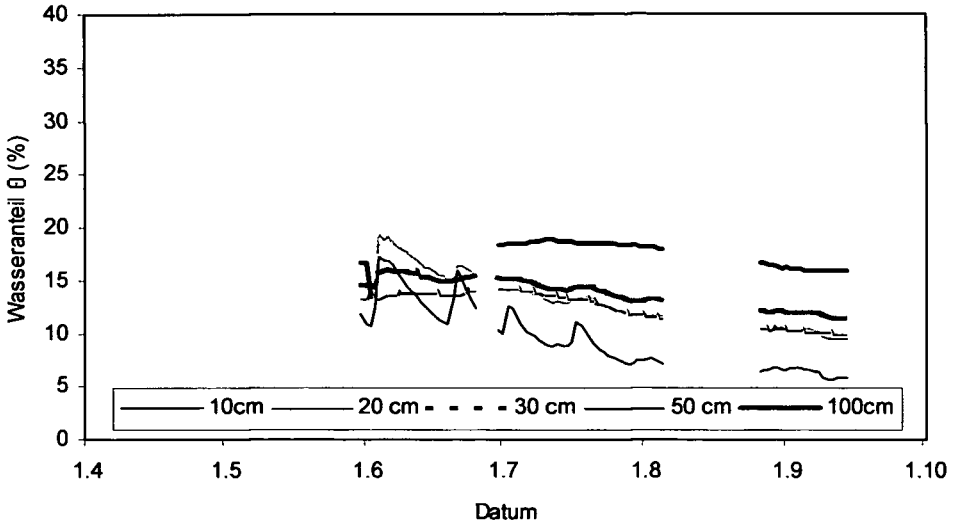


Verlauf des Wasseranteils; KV; Hangmitte; 2004

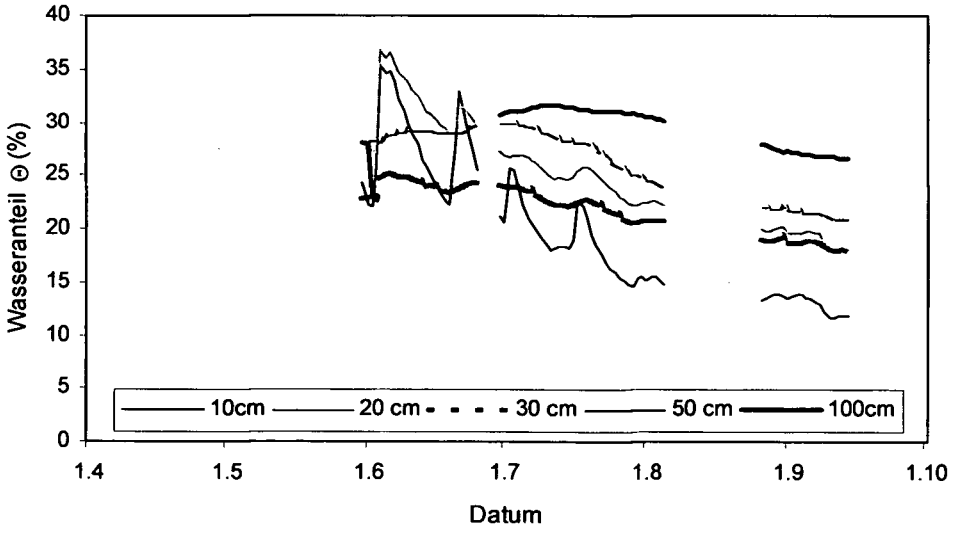


Verlauf des Wasseranteils; KV; Hangfuß; 2004

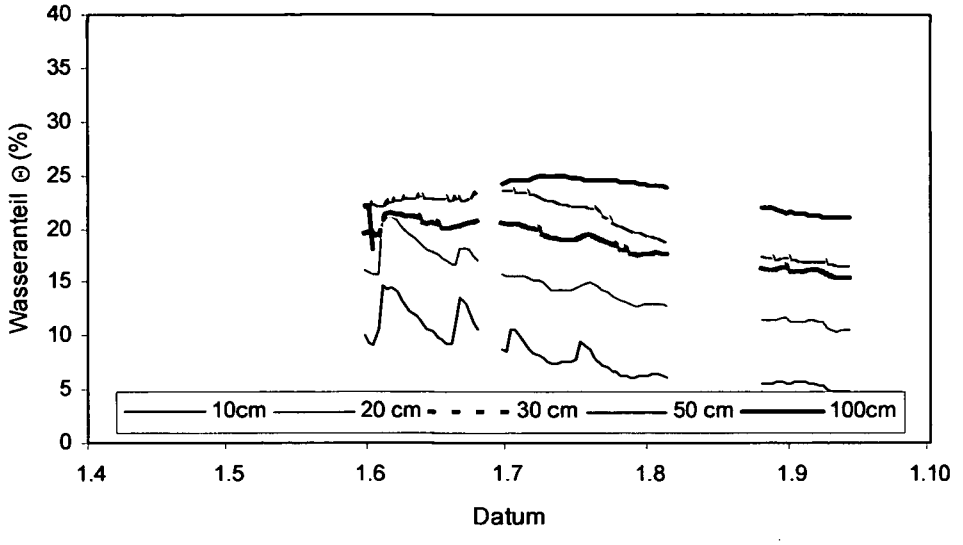
Zeitlicher Verlauf des Wasseranteils; konservierende Bodenbearbeitung; 2004



Verlauf des Wasseranteils; KS; Hangkopf; 2004

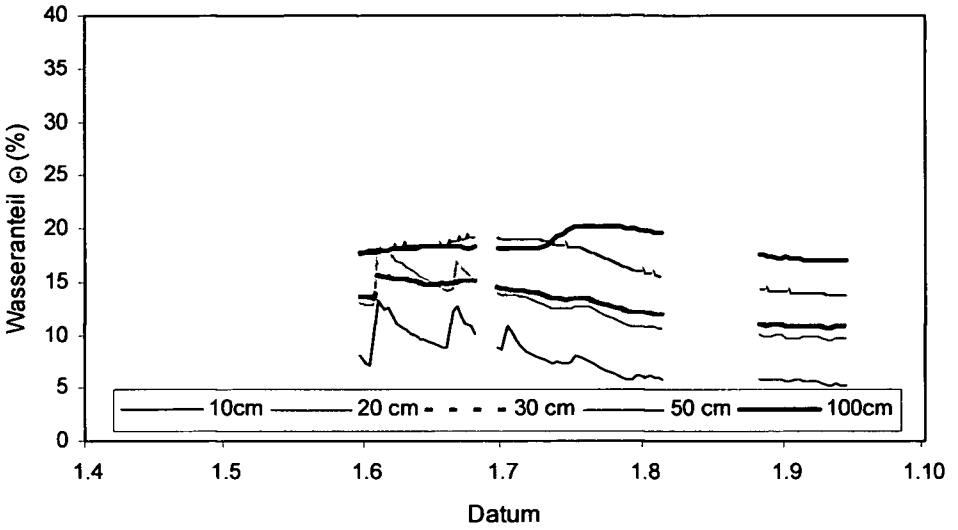


Verlauf des Wasseranteils; KS; Hangmitte; 2004

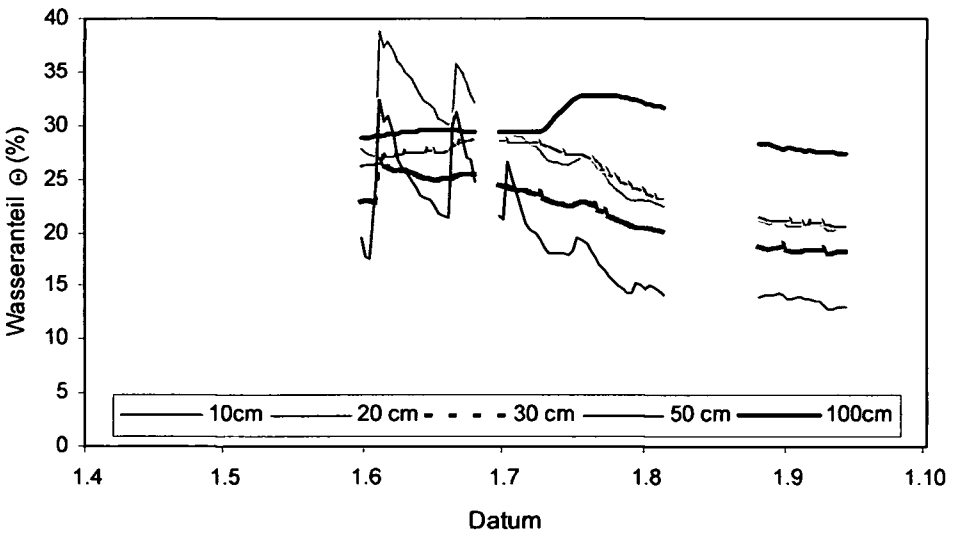


Verlauf des Wasseranteils; KS; Hangfuß; 2004

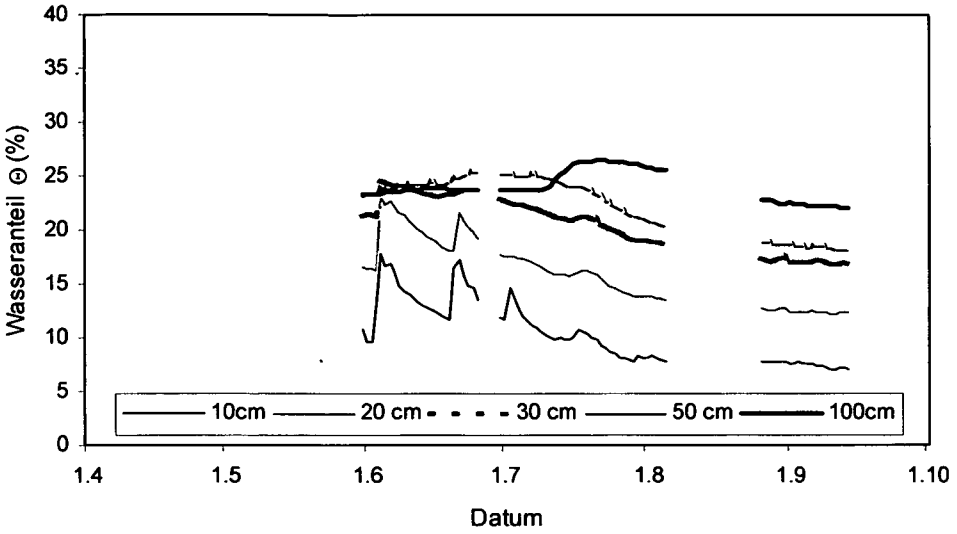
Zeitlicher Verlauf des Wasseranteils; Direktsaat; 2004



Verlauf des Wasseranteils; DS; Hangkopf; 2004



Verlauf des Wasseranteils; DS; Hangmitte; 2004



Verlauf des Wasseranteils; DS; Hangfuß; 2004