



Universität für Bodenkultur Wien

Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt

Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft

Diplomarbeit

Messung des Bodenwasseranteils für eine Bewässerungssteuerung

eingereicht von:

Christian Embacher

Betreuer:

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Andreas Klik

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Peter Cepuder

Wien, Februar 2009

Vorwort

Die vorliegende Arbeit wurde am Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt, Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft an der Universität für Bodenkultur in Wien erstellt.

Ich möchte mich an dieser Stelle bei Herrn Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Andreas Klik und Herrn Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Peter Cepuder für die ermöglichte Arbeit und Betreuung bedanken. Für die Hinweise und Mithilfe bei diversen Feld- und Laborarbeiten möchte ich mich bei allen Mitarbeitern des Instituts für Hydraulik und Landeskulturelle Wasserwirtschaft bedanken. Insbesondere bei Herr Dipl.-Ing. Reinhard Nolz der mir während der gesamten Versuchsdurchführung und anschließenden Auswertung jederzeit zur Seite stand. Ebenso bei den Mitarbeitern der beteiligten Firmen und den Landwirten für ihre Mithilfe.

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern die mir das Studium ermöglichten und mich währenddessen immer unterstützten. Schlussendlich will ich mich bei meinen Geschwistern und Freunden, für die Unterstützung in der Zeit meines Studiums, bedanken.

Kurzfassung

Die Region Marchfeld mit seinen hochwertigen Ackerböden ist eine der intensivst landwirtschaftlich genutzten Flächen Österreichs. Zur Erzielung ausgeglichener Erträge ist klimabedingt eine Bewässerung besonders bei Feldgemüse und Hackfrüchten erforderlich.

Die Wasserentnahme erfolgt fast ausschließlich aus dem Grundwasser. Dies führte durch zu hohe Bewässerungsmengen zu Schwankungen im Grundwasserspiegel und durch Versickerung zu einem Eintag von Schadstoffen in das Grundwasser. Eine Optimierung der Bewässerung kann diesem Trend entgegenwirken.

Ziel der Diplomarbeit war die Untersuchung der praxisrelevanten Anwendbarkeit zweier Sensortypen zur Messung des Bodenwasseranteils für eine Bewässerungssteuerung. Ebenso sollten die Vor- und Nachteile der Sensoren diskutiert werden sowie mögliche Wassereinsparungspotenziale auf den Versuchsflächen in den Jahren 2007 und 2008 aufgezeigt werden.

Zur Anwendung kamen die auf dem FDR Messprinzip basierenden Sensoren EnviroSCAN und Adcon-EasyAG der Firma Sentek. Es wurden die gemessenen Änderungen der Profilwasserhöhen mit Niederschlagshöhen und Bewässerungshöhen verglichen. Die Werte der Feldkapazität und des Permanenten Welkepunktes wurden über eine Transferfunktion und durch Tabellenwerte abgeschätzt. Durch Erstellung einer Wasserbilanz von Mai bis September für einzelne Standorte wurden Zeitpunkt und Mengen einzelner Bewässerungsgaben diskutiert.

Die Qualität der Messwerte kann durch sachgerechte Normalisierung und sorgfältigen Einbau der Sensoren sowie einer laufenden Funktionsprüfung verbessert werden.

Aus den Ergebnissen ist ersichtlich, dass die Messsysteme gut anwendbar sind und die beiden Sensortypen vergleichbare Messwerte liefern. Der Vergleich mit den Bewässerungsmengen und der Wasserbilanz zeigte, dass unter Berücksichtigung der Messdaten Wassereinsparungen möglich sind.

Schlüsselwörter: Bewässerungssteuerung, Bodenwassermessung, FDR - Messprinzip

Abstract

The Marchfeld with his high quality farmlands is one of the most intensively used agricultural areas in Austria. Due to the climatic conditions irrigation is necessary to achieve stable yields. Nearly the whole irrigation water is taken from the groundwater. Over wetting effected fluctuations of groundwater level and leaching of nutrients towards groundwater. Optimization of irrigation management can counteract this trend.

The goal of this diploma thesis was to analyse the practicability of two different soil water measuring systems (EasyAG and EnviroSCAN) for irrigation management. These systems, based on the Frequency Domain Reflectometry (FDR) measuring principle, were used on eleven field sites 2007 and ten field sites 2008 with different crops.

The measured changes of soil water content were compared with precipitation and irrigation. Field capacity and permanent wilting point were estimated with a transfer function and tabular values. The irrigation efficiency was determined with a water balance from May to September.

Accurate normalization and installation of the probes and continuous function control can increase the data quality.

The results show a good practicability of the measuring system for irrigation management. The data quality is nearly the same for both systems. The comparison of irrigation water amounts and the water balance shows a potential in irrigation water savings.

Keywords: irrigation management, soil water measurement, FDR capacitance sensors

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Allgemeines.....	1
1.2	Projektbeteiligte	2
1.3	Aufgabenstellung und Ziel der Arbeit.....	2
2	Standortbeschreibung und Feldmessstellen.....	4
2.1	Marchfeld	4
2.1.1	Geologie	4
2.1.2	Böden	5
2.1.3	Klima.....	5
2.1.4	Grundwasserverhältnisse.....	6
2.1.5	Landwirtschaftliche Nutzung	6
2.1.6	Bewässerung.....	6
2.2	Detailbeschreibung der Messstandorte.....	7
2.2.1	Allgemeines.....	7
2.2.2	Verteilung der Standorte im Untersuchungsgebiet	8
2.2.3	Messstellenstandorte im Versuchsjahr 2007	9
2.2.4	Detailbeschreibung der einzelnen Messstellen	10
2.2.4.1	Versuchsstandort Rutzendorf - A1, A2, B2, B2 Frenzel 1.....	10
2.2.4.2	Versuchsstandort Rutzendorf – Frenzel 2	11
2.2.4.3	Versuchsstandort Obersiebenbrunn – BVM2	12
2.2.4.4	Versuchsstandort Obersiebenbrunn – OS	13
2.2.4.5	Versuchsstandort Stripfing – Kartoffeln	13
2.2.4.6	Rutzendorf – Zwiebeln, Sensor: BVM3.....	14
2.2.4.7	Verworfenne Messdaten.....	14
2.3	Messstellenstandorte im Versuchsjahr 2008.....	15
2.3.1	Detailbeschreibung der einzelnen Messstellen	16
2.3.1.1	Versuchsstandort Obersiebenbrunn – Zwiebel	16
2.3.1.2	Versuchsstandort Obersiebenbrunn – Zuckerrüben	16
2.3.1.3	Versuchsstandort Obersiebenbrunn – Mais.....	17
2.3.1.4	Messstelle Parbasdorf – Baby-Karotten.....	18
2.3.1.5	Versuchsstandort Franzensdorf – Bohnen.....	18
2.3.1.6	Versuchsstandorte Stripfing, Untersiebenbrunn, Lassees.....	19
2.3.1.7	Verworfenne Messstellen.....	19

2.4	Messstellenstandorte im Versuchsjahr 2007 und 2008	20
2.4.1	Detailbeschreibung der einzelnen Messstellen	21
2.4.1.1	Versuchsstandort Groß – Enzersdorf NWR	21
2.4.1.2	Versuchsstandort Aderklaa -Spargel	22
3	Material und Methoden	23
3.1	Bewässerungsmanagement	23
3.1.1	Bewässerungsbedürftigkeit – Bewässerungswürdigkeit	23
3.1.2	Bewässerungssteuerung	24
3.1.2.1	Steuerung in Abhängigkeit des Bodenwassergehaltes	24
3.1.2.2	Steuerung in Abhängigkeit der Saugspannung	27
3.1.2.3	Steuerung in Abhängigkeit von Pflanzenparametern	27
3.1.3	Einflussfaktoren auf die Menge und den Zeitpunkt der Bewässerung	28
3.1.3.1	Pflanzenphysiologische Faktoren	28
3.1.3.2	Sozioökonomische Faktoren	28
3.1.3.3	Ökologische Faktoren	29
3.2	Beschreibung der angewendeten Messsysteme	30
3.2.1	Messsystem – EnviroSCAN	30
3.2.1.1	Funktionsprinzip	31
3.2.1.2	Positionierung der Messsonden im Feld	32
3.2.1.3	Einbau / Ausbau	32
3.2.1.4	Normalisierung der Sensoren	33
3.2.1.5	Kalibrierung der Sensoren auf die Bodenart	34
3.2.1.6	Datenübertragung	34
3.2.2	Messsystem – Adcon-EasyAG	35
3.2.2.1	Sondenaufbau	35
3.2.2.2	Messprinzip	35
3.2.2.3	Einbau / Ausbau	35
3.2.2.4	Normalisierung	36
3.2.2.5	Kalibrierung der Sensoren auf die Bodenart	36
3.2.2.6	Datenübertragung	36
3.3	Darstellung der Bewässerungssteuerung anhand einer Kartoffelkultur	38
3.3.1	Festlegung des Bewässerungszeitpunktes mittels Online Messwerten	40
3.4	Erläuterungen zur Dateninterpretation	41
3.4.1	Bodenanalysen	41

3.4.2	Niederschlagsmessung	41
3.4.3	Absolutwerte – Relativwerte des Bodenwasseranteils.....	41
3.4.4	Messwertschwankungen der Adcon-EA Sensoren im Jahr 2007.....	42
3.4.5	Berechnung der Profilwassermenge und Profilwasseränderung.....	43
3.4.6	Beurteilung der Bewässerung.....	44
4	Ergebnisse	46
4.1	Überblick über die Verteilung der Bodenarten	46
4.2	Vergleich der Transferfunktionen	47
4.3	Ergebnisse der Sensormessungen.....	49
4.3.1	Niederschlagsverlauf Vegetationsperiode 2007.....	49
4.3.2	Vergleichsergebnisse 2007.....	50
4.3.2.1	Messstelle Rutzendorf	52
4.3.3	Niederschlagsverlauf Vegetationsperiode 2008.....	55
4.3.4	Vergleichsergebnisse 2008.....	56
4.3.5	Ergebnisse der zweijährigen Standorte	58
4.3.6	Vergleich Bewässerung und Messung	60
4.3.7	Gegenüberstellung Wasserbilanz und Messwerte für einzelne Standorte im Versuchsjahr 2007.....	61
4.3.8	Gegenüberstellung Wasserbilanz und Messwerte für einzelne Standorte im Versuchsjahr 2008.....	65
4.3.9	Vergleich der Wasseranteile der Bodenproben mit den Messdaten.....	67
5	Diskussion	70
6	Zusammenfassung	71
7	Literaturverzeichnis	73
8	Anhang	76

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Lage des Marchfeldes (Niemann, 1998).....	4
Abbildung 2-2 (Klimadiagramm Groß-Enzersdorf langjähriges Mittel 1971 – 2000, Quelle: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik ¹⁾).....	5
Abbildung 2-3 Standortsübersicht (©Google™ Earth)	8
Abbildung 3-1 Beziehung zwischen Wasserspannung und Wassergehalt bei einem Sandboden, einem tonigen Schluffboden und einem Tonboden nach SCHEFFER/SCHACHTSCHNABEL, 2002	25
Abbildung 3-2 Aufbau EnviroSCAN Sensor	31
Abbildung 3-3 Prinzipskizze Datenübertragung	37
Abbildung 3-4 Entwicklungsstadien der Kartoffel nach W. C. Sparks, 1973	38
Abbildung 3-5 Modellbeschreibung des Pflanzenwasserbedarfs.....	38
Abbildung 3-6 Modellbeschreibung der Wurzelzone	39
Abbildung 3-7 Darstellung der Bewässerungssteuerung	40
Abbildung 3-8 Zufällig gewählte Niederschlagsereignisse	40
Abbildung 3-9 Verlauf der aufgezeichneten und geglätteten Werte der Messungen 2007	42
Abbildung 3-10 Summenkurve (0-50cm), Standort Stripfing – Kartoffeln.....	43
Abbildung 3-11 Summenkurven der Sensoren A1, A2, B1, B2, am Standort Rutzendorf – Baby-Karotten und Rutzendorf Zwiebeln vom 04.08.2007 bis 14.08.2007	44
Abbildung 3-12 Bodenwasseranteil am Standort.....	45
Abbildung 3-13 Bodenwasseranteil am Standort Rutzendorf – Zwiebel, Sensor B2	45
Abbildung 4-1 Österreichisches Texturdreieck und ermittelte Bodenarten.....	46
Abbildung 4-2 Vergleich Feldkapazität	47
Abbildung 4-3 Vergleich Permanenter Welkepunkt.....	48
Abbildung 4-4 Tagesniederschläge 2007, 01.05.2007 bis 08.10.2007	49
Abbildung 4-5 Vergleich Niederschlagshöhe und Änderung Profilwasserhöhe	50
Abbildung 4-6 Vergleich Niederschlagshöhe und Änderung Profilwasserhöhe der Einzelsensoren, Standort Rutzendorf Baby-Karotten	52
Abbildung 4-7 Vergleich Niederschlagshöhe und Änderung Profilwasserhöhe der Einzelsensoren, Standort Rutzendorf Zwiebeln	53
Abbildung 4-8 Änderung Profilwasserhöhe der Sensoren A1, A2 am Standort Rutzendorf Baby-Karotten und B1, B2 am Standort Rutzendorf Zwiebel	53
Abbildung 4-9 Änderung Profilwasserhöhe des Adcon-EasyAG Sensors und des Sensors A2 am Standort Rutzendorf Baby-Karotten.....	54

Abbildung 4-10 Vergleich Adcon-EasyAG und EnviroSCAN Sensoren 2007	54
Abbildung 4-11 Tagesniederschläge 2008, 16.05.2008 bis 08.10.2008	55
Abbildung 4-12 Vergleich Niederschlagshöhe und Änderung Profilwasserhöhe Obersiebenbrunn Zwiebel und Obersiebenbrunn Zuckerrübe	56
Abbildung 4-13 Vergleich Niederschlagsmesswerte und Änderung Profilwasserhöhe Obersiebenbrunn Mais, Parbasdorf Baby-Karotten und Franzensdorf Bohnen.....	57
Abbildung 4-14 Vergleich Adcon-EasyAG Sensoren 2008	58
Abbildung 4-15 Vergleich Niederschlagshöhe und Änderung Profilwasserhöhe	58
Abbildung 4-16 Vergleich Niederschlagshöhe und Änderung Profilwasserhöhe	59
Abbildung 4-17 Wasserbilanz Obersiebenbrunn Kartoffeln 2007.....	61
Abbildung 4-18 Wasserbilanz Rutzendorf – Baby-Karotten, Sensoren A1, A2.....	62
Abbildung 4-19 Wasserbilanz Rutzendorf – Zwiebeln, Sensoren B1, B2.....	63
Abbildung 4-20 Wasserbilanz Obersiebenbrunn Zuckerrüben 2007	64
Abbildung 4-21 Wasserbilanz Obersiebenbrunn Zuckerrüben 2008.....	65
Abbildung 4-22 Wasserbilanz Obersiebenbrunn Zwiebel	66
Abbildung 4-23 Bodenwasseranteil Bodenproben und Messung	67
Abbildung 4-24 Bodenwasseranteil Bodenproben und Messung	68
Abbildung 4-25 Bodenwasseranteil Bodenproben und Messung	69

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1 Messstellenstandorte 2007	9
Tabelle 2-2 Messstellenstandorte 2008	15
Tabelle 2-3 Messstellenstandorte 2007 und 2008	20
Tabelle 4-1 Bezeichnung und Grenzwerte der verglichenen Bodenarten des deutschen Texturdreieckes	47
Tabelle 4-2 Vergleich Bewässerungsdaten – Profilwasseränderung	60

Bildverzeichnis

Bild 2-1	2007-05-21, Standort Rutzendorf – Baby-Karotten, Sensoren: A1, A2, Frenzel 1 ..	10
Bild 2-2	2007-07-03, Standort Rutzendorf – Zwiebel, Sensoren: B1, B2	11
Bild 2-3	2007-06-19, Standort Rutzendorf – Bohnen, Sensor: Frenzel 2	12
Bild 2-4	2007-06-19, Standort Obersiebenbrunn – Zuckerrübe, Sensor: BVM2	12
Bild 2-5	2007-07-03, Standort Obersiebenbrunn – Kartoffeln, Sensor: OS	13
Bild 2-6	2007-06-19, Standort Stripfing – Kartoffeln, Sensor: Stripfing	14
Bild 2-7	2008-07-08, Standort Obersiebenbrunn – Zwiebel, Sensor: BVM1.....	16
Bild 2-8	2008-07-08, Standort Obersiebenbrunn – Zuckerrübe, Sensor: BVM2	17
Bild 2-9	2008-07-08, Standort Obersiebenbrunn – Mais, Sensor: BVM3.....	17
Bild 2-10	2008-07-29, Standort Parbasdorf – Baby-Karotten, Sensor: Frenzel 1	18
Bild 2-11	Standort Franzensdorf – Bohnen, Sensor: Frenzel 2.....	18
Bild 2-12	2007-06-19, Standort Groß-Enzersdorf – Pappel	21
Bild 2-13	2007-06-19 Standort Groß-Enzersdorf – Weide	22
Bild 2-14	2007-07-03 Standort Aderklaa - Spargel	22
Bild 3-1	Daten Logger EnviroSCAN	30
Bild 3-2	Einbau mittels Dreibein	32
Bild 3-3	Adcon-EasyAG Sensor	35
Bild 3-4	Einbau Adcon-EasyAG Sensor	35
Bild 3-5	Datenlogger A723 mit Solarpaneel.....	37

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Der Zeitpunkt und die Höhe der Bewässerungsgaben werden durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Bestimmend sind pflanzen-, boden- und klimabedingte, agronomische und die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes betreffende ökonomische Gesichtspunkte (ACHTNICH, 1980).

Hieraus lässt sich die Komplexität erkennen, welche eine Optimierung des Einsatzes des zur Verfügung stehenden Wassers beinhaltet. Fehler in der Steuerung der Bewässerung und im Einsatz des Bewässerungswassers sind jedoch meist erst ersichtlich, wenn extrem falsch gehandelt wird. Neben diesen Faktoren tritt in zunehmenden Maße auch der Aspekt des Umweltschutzes und der nachhaltigen Bewirtschaftung der Ressource Wasser immer stärker in den Mittelpunkt.

Die Region Marchfeld mit seinen hochwertigen Ackerböden ist eine der intensivst landwirtschaftlich genutzten Flächen Österreichs. Zur Erzielung ausgeglichener Erträge ist klimabedingt eine Bewässerung besonders bei Feldgemüse und Hackfrüchten, deren Anbaufläche in den letzten Jahrzehnten stark zugenommen hat, erforderlich.

Das erforderliche Wasser wird fast ausschließlich aus dem Grundwasser entnommen. Dies führte durch zu hohe Bewässerungsmengen zu Schwankungen im Grundwasserspiegel und durch Versickerung zu einem Eintrag von Schadstoffen in das Grundwasser. Die Entwicklung des Grundwasserstandes im Marchfeld zeigt seit 1936 eine deutliche Abnahme vor allem in den 1970er Jahren, die mit einer massiven Zunahme der Bewässerung in dieser Perioden einhergeht (BEHR et al., 1984).

Im Jahr 2007 startete ein Projekt mit dem Ziel eine Optimierung des Einsatzes des Bewässerungswassers in der Region Marchfeld zu erreichen. Im Jahr 2007 und 2008 wurden Sensoren zur Messung des Bodenwasseranteils an mehreren Standorten eingebaut, um eine Aussage über deren praktische Einsetzbarkeit für eine Bewässerungssteuerung zu treffen.

1.2 Projektbeteiligte

Es handelt sich um ein Kooperationsprojekt unter der Mitwirkung von:

- Universität für Bodenkultur¹
- Landwirtschaftskammer Niederösterreich²
- Marchfeldkanalgesellschaft³
- Firma Frisch und Frost⁴
- Firma Adcon Telemetry⁵
- Firma Frenzel***⁶ und
- örtlichen Landwirten

Die Koordination des Projektes übernahm Dr. Peter Cepuder vom Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft an der Universität für Bodenkultur.

1.3 Aufgabenstellung und Ziel der Arbeit

In den Jahren 2007 und 2008 wurde jeweils auf 10 bzw. 11 Feldern der zeitliche Verlauf des Bodenwassergehaltes mittels Rohrsonden gemessen. Zur Anwendung kamen die auf dem FDR-Messprinzip basierenden Sensoren EnviroSCAN[®] und Adcon-EasyAG[®] der Firma Sentek. Die EasyAG Sensor wurden von der Firma Adcon umgerüstet, um eine Kompatibilität mit dem Adcon Funknetz zur Datenübertragung zu ermöglichen. Die Sensoren werden daher im folgenden als Adcon-EasyAG (Adcon-EA) bezeichnet.

Neben der Messdatenauswertung wurden von den im Jahr 2007 entnommenen Bodenproben die Korngrößenverteilung und der Humusgehalt bestimmt. Über diese wurden mittels Transferfunktion nach Baumer (1989) und Tabellenwerten der Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde (1988) die Feldkapazität und der Permanente Welkepunkt abgeschätzt.

¹ <http://www.boku.ac.at> (15.01.2009)

² <http://www.agrar-net.at/> (15.01.2009)

³ <http://www.marchfeldkanal.at/> (15.01.2009)

⁴ <http://www.frisch-frost.at> (15.01.2009)

⁵ <http://www.adcon.at/> (15.01.2009)

⁶ <http://www.frenzel-tk.de> (15.01.2009)

Zur Datenauswertung wurden die Relativänderungen des Bodenwasseranteiles im Messprofil infolge eines Niederschlages oder eine Bewässerung ermittelt. Als Vergleichswerte wurden die Niederschlagsdaten der Wetterstation Obersiebenbrunn, welche am zentralsten im Gebiet liegt, herangezogen. Die Bewässerungsmengen stammen von Aufzeichnungen der Landwirte. An drei Standorten erfolgte ein Einbau mehrerer Sensoren am gleichen Feld, um die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse zu prüfen.

Während der Vegetationsperiode 2008 wurden Bodenproben direkt neben einigen Sensoren entnommen, deren Wassergehalt bestimmt und mit den Messwerten verglichen.

Durch Erstellung einer Wasserbilanz von Mai bis September für einzelne Standorte wurden Zeitpunkt und Mengen einzelner Bewässerungsgaben diskutiert.

Ziel der Arbeit war die Untersuchung der praxisrelevanten Anwendbarkeit der verwendeten Messsysteme anhand der in den Jahren 2007 und 2008 gemessenen Daten.

Ebenso sollen die Erfahrungen mit den Messsystemen dokumentiert werden, um mögliche Verbesserungen für die Anwendung in den kommenden Jahren zu ermöglichen.

2 Standortbeschreibung und Feldmessenstellen

2.1 Marchfeld

Das Marchfeld ist eine ca. 1000 km² große Ebene östlich von Wien. Die landwirtschaftlich genutzte Fläche beträgt ca. 85.000 ha. Es wird im Süden von der Donau, im Osten von der March, im Westen und Norden vom Bisambergzug und vom Weinviertel Hügelland begrenzt.

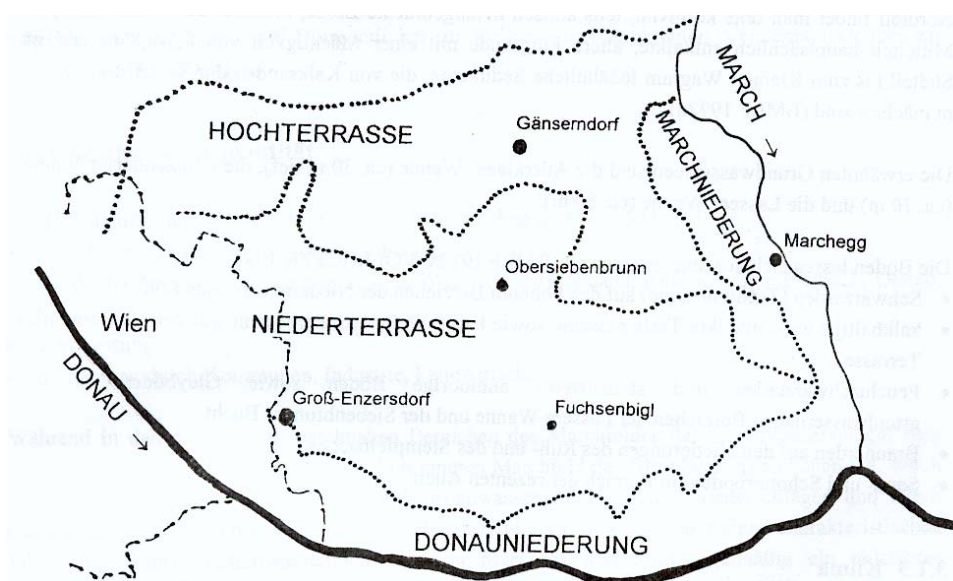


Abbildung 2-1: Lage des Marchfeldes (Niemann, 1998)

2.1.1 Geologie

Das Marchfeld verdankt seine Landschaftsentwicklung dem jungtertiären Einbruch des ursprünglich hier bestehenden Verbindungsgebirges zwischen Alpen und Karpaten. Das im Laufe von Jahrmillionen entstandene Meer wurde in geologischen Zeiträumen zunächst mit den Abtragungsprodukten der sich damals gleichzeitig hebenden Randgebirge und später mit den quartären Fluss-Sedimenten der Donau gefüllt. Diese Schotter- und Kiesablagerungen sind im Mittel 8-12 m, in Muldenzonen aber bis 60 und 80 m mächtig und bergen ein großes erneuerbares Grundwasservorkommen (GRUBINGER, 2002).

Die Formung des Marchfeldes entstand überwiegend durch Ablagerungs- und Aufschüttungsvorgänge der Donau. Hierbei entstanden drei große Landschaftsräume, die Donauniederung, die auf 160 bis 170 m Seehöhe liegende Hochterrasse (Gänserndorfer Terrasse) und die auf 145 bis 152 m liegende Niederterrasse (Praterterrasse).

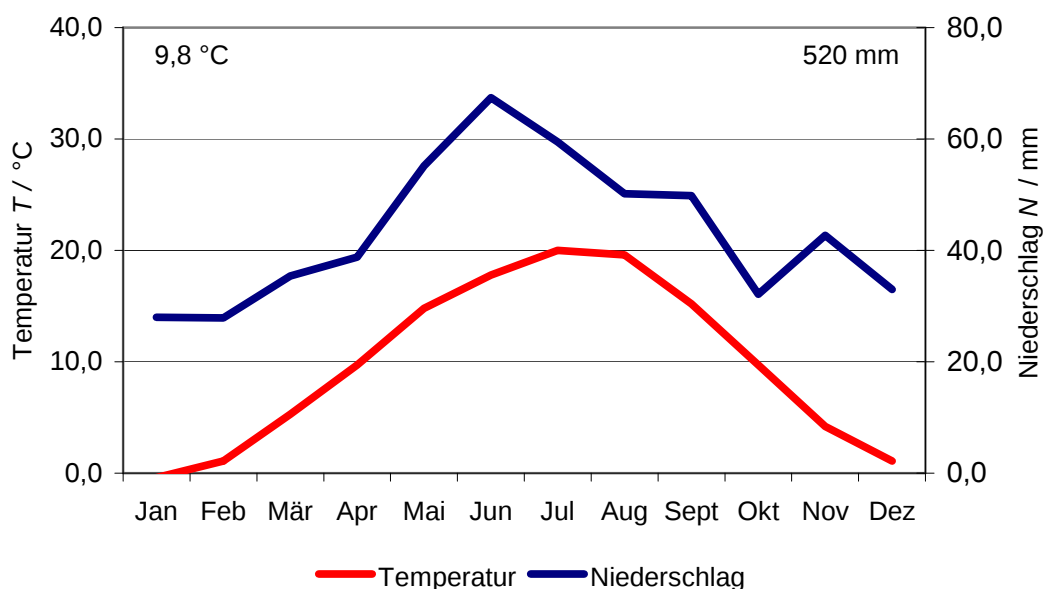
2.1.2 Böden

Die Böden lassen sich zusammenfassen zu (BMLF 1972, VOLLHOFFER 1995):

- Schwarzerden (Tschernoseme) auf den höheren Bereichen der Niederterrasse aus Löß
- kalkhaltige und entkalkte Tschernoseme sowie kalkfreie Paratschernoseme auf der Gänserndorfer Terrasse
- Feuchtschwarzerden und stellenweise anmoorige Böden sowie Glayböden in den grundwassernahen Bereichen der Lasseer Wanne und der Siebenbrunner Bucht
- Braunerden auf den Niederungen des Ruß- und Stempfelbaches
- Sand und Schotterböden im Bereich der rezenten Auen

2.1.3 Klima

Das Marchfeld liegt klimatologisch in einem Übergangsgebiet zwischen dem westeuropäischen Klimaraum, der milde Winter und feuchte, verhältnismäßig kühle Sommer aufweist und den kontinental getönten, osteuropäischen Klimaprovinzen, die durch kalte Winter und trockene, heiße Sommer gekennzeichnet sind. Nach pflanzengeologisch-klimatologischen Gesichtspunkten gehört der Raum zur Gänze dem Pannonikum an, also einem Gebiet mit viel Sonnenschein, hohen Temperatursummen in der Vegetationsperiode und relativ geringen Niederschlägen (BMLF 1972)



**Abbildung 2-2 (Klimadiagramm Groß-Enzersdorf langjähriges Mittel 1971 – 2000,
Quelle: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik¹⁾**

¹ <http://www.zamg.ac.at>

Die mittleren jährlichen Niederschläge lagen in der Periode von 1971 bis 2000 bei etwa 520 mm, wobei in der Vegetationsperiode mitunter nur 250 – 300 mm zur Verfügung stehen. Die mittlere Temperatur in der Periode liegt bei 9,8 °C.

2.1.4 Grundwasserverhältnisse

Der Grundwasserleiter ist ein aus quartären Schottern bestehender Porengrundwasserleiter. Der Flurabstand – der Abstand zwischen Grundwasserspiegel und Geländeoberkante – beträgt auf der Hochterrasse ca. 15 m und auf der Niederterrasse ca. 5 bis 7 m (CEPUDER et al. 1998).

2.1.5 Landwirtschaftliche Nutzung

Von der landwirtschaftlich genutzten Fläche werden ca. 50 % für den Getreideanbau genutzt. Daneben werden Hackfrüchte (Zuckerrübe, Mais, Kartoffel), im Rahmen der Fruchtfolge Alternativkulturen und zunehmend Feldgemüse (Zwiebel, Karotte, Bohnen,...) angebaut.

2.1.6 Bewässerung

Durch die klimatischen Verhältnisse ist das Ziel, die Erreichung von ausgeglichen Erträgen, in trockenen Jahren nur durch Bewässerung möglich. In erster Linie werden Hackfrüchte und Feldgemüse bewässert. Das Bewässerungswasser wird fast zur Gänze aus dem Grundwasserkörper entnommen. Als Bewässerungsverfahren werden hauptsächlich Kleinflächenregner eingesetzt.

2.2 Detailbeschreibung der Messstandorte

2.2.1 Allgemeines

Bei fast allen im folgenden beschriebenen Standorten handelt es sich laut Österreichischer Bodenkarte (ÖBK KB6 1972, ÖBK KB7 1972, ÖBK KB27 1975) um den Bodentyp Tschernosem. Am Standort Groß – Enzersdorf wird als Bodentyp kalkhaltiger “reifer“ Grauer Auboden und am Standort Parbasdorf Spargel Paratschernosem angegeben.

Die Ergebnisse der Korngrößenanalyse, die Werte der Feldkapazität, des Permanenten Welkepunktes und der Nutzbaren Kapazität der einzelnen Profile sind im Anhang aufgelistet.

Auf Standorten mit Bewässerung wurde ausschließlich eine Überkopfberegnung mit Drehstrahlregnern angewendet. Keine Bewässerung erfolgte am Standort Groß – Enzersdorf und im Jahr 2008 in Obersiebenbrunn am Feld mit Mais.

Die Installation und Platzierung der Regner und Rohrleitungen erfolgte durch die Landwirte.

Im Folgenden werden jene Standorte näher beschrieben welche zur Datenauswertung herangezogen wurden.

2.2.3 Messstellenstandorte im Versuchsjahr 2007

Tabelle 2-1 Messstellenstandorte 2007

Sensor Nr.	Versuchsstandort	Kultur	Sensortyp	Sensorbez.	Sensoren	Messstiefen (cm)	GPS - Position	Einbau	Ausbau
-	Rutzendorf	Baby-Karotten	EnviroSCAN	A1	8	10/20/30/40/50/ 60/80/100	N 48° 13,323' O 16° 38,699'	14.05.2007 - Rohre 21.05.2007 - Sensoren	25.09.2007
-	Rutzendorf	Baby-Karotten	EnviroSCAN	A2	8	10/20/30/40/50/ 60/80/100	N 48° 13,323' O 16° 38,700'	14.05.2007 - Rohre 21.05.2007 - Sensoren	25.09.2007
23960	Rutzendorf	Baby-Karotten	Adcon- EasyAG	Frenzel 1	4	10/20/30/50	N 48° 13,323' O 16° 38,700'	21.05.2007	25.09.2007
-	Rutzendorf	Zwiebel	EnviroSCAN	B1	8	10/20/30/40/50/ 60/70/90	N 48° 13,315' O 16° 38,724'	14.05.2007 - Rohre 21.05.2007 - Sensoren	25.09.2007
-	Rutzendorf	Zwiebel	EnviroSCAN	B2	8	10/20/30/40/50/ 60/70/80	N 48° 13,335' O 16° 38,724'	14.05.2007 - Rohre 21.05.2007 - Sensoren	25.09.2007
23160	Rutzendorf	Zwiebel	Adcon- EasyAG	BVM3	4	10/20/30/50	N 48° 13,335' O 16° 38,413'	10.05.2007	23.08.2007
23979	Rutzendorf	Bohnen	Adcon- EasyAG	Frenzel 2	4	10/20/30/50	N 48° 13,323' O 16° 38,767'	04.07.2007	28.09.2007
23961	Obersiebenbrunn	Zuckerrübe	Adcon- EasyAG	BVM2	4	10/20/30/50	N 48° 16,076' O 16° 41,389'	10.05.2007	10.10.2007
24436	Obersiebenbrunn	Kartoffel	Adcon- EasyAG	OS	4	10/20/30/50	N 48° 15,643' O 16° 41,541'	03.05.2007	04.09.2007
24216	Untersiebenbrunn	Kartoffel	Adcon- EasyAG	US	4	10/20/30/50	N 48° 14,118' O 16° 45,178'	22.05.2007	07.09.2007
24213	Stripfing	Kartoffel	Adcon- EasyAG	Stripfing	4	10/20/30/50	N 48° 18,920' O 16° 47,216'	22.05.2007	11.09.2007
23980	Glinzendorf	Industrie-Karotte	Adcon- EasyAG	BVM1	4	10/20/30/50	N 48° 14,533' O 16° 39,933'	10.05.2007	03.10.2007

2.2.4 Detailbeschreibung der einzelnen Messstellen

2.2.4.1 Versuchsstandort Rutzendorf - A1, A2, B2, B2 Frenzel 1

Das mit Baby-Karotten bebaute Versuchsfeld hat eine Gesamtfläche von 2,9 ha und liegt ca. 3 km nordöstlich von Rutzendorf. Laut Österreichischer Bodenkarte (ÖBK KB7, 1972) handelt es sich an der Messstellenposition um die Bodenform 19 (50 % der Fläche). Danach schließen nach Norden hin zuerst die Bodenform 17a (25 % der Fläche) und danach die Bodenform 20 (25 % der Fläche) an.

Es wurden drei Sensoren (2x EnviroSCAN, 1x Adcon-EasyAG) in unmittelbarer Nähe eingebaut um eine Aussage über die Reproduzierbarkeit der Messung zu erhalten.

Die Sensoren wurden ca. 30 m vom Feldweg und 10 m vom linken Feldrand in eine Pflanzenreihe platziert. Die Sensoren A1 und A2 wurden in einem Abstand von 3 m, je bis zu einer Tiefe von 1 m, und der Adcon-EasyAG Sensor im Abstand von 30 cm, bis zu einer Tiefe von 50 cm, neben dem Sensor A2 eingebaut. Hierbei wurden zuerst, am 14.05.2007, die Rohre für die EnviroSCAN Sensoren eingebaut. Die Messsensoren wurden am 21.05.2007 gemeinsam mit dem Adcon-EasyAG Sensor und den Datenloggern installiert.

Die großen Einbautiefen haben den Vorteil, dass eine Aussage über die Effektivität der Bewässerung getroffen werden kann. Bei zu hohen Bewässerungsmengen und einer Versickerung unter die Wurzelzone ist dies durch die unteren Sensoren feststellbar.

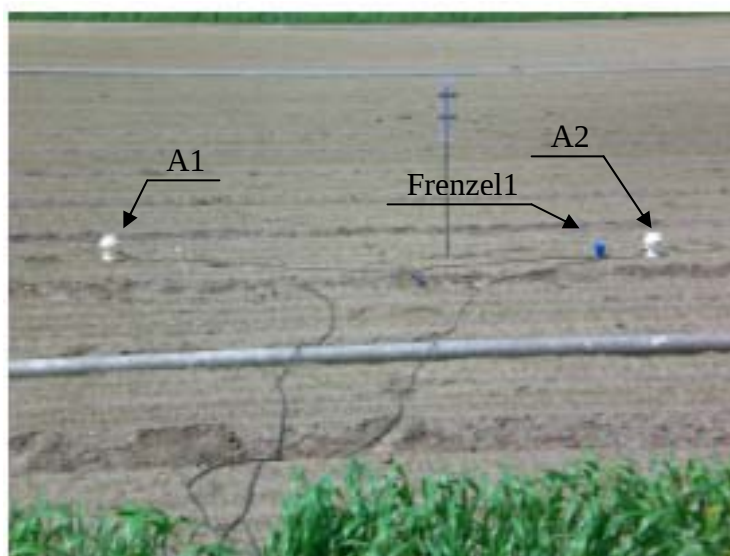


Bild 2-1 2007-05-21, Standort Rutzendorf – Baby-Karotten, Sensoren: A1, A2, Frenzel 1

Das zweite Versuchsfeld, mit Zwiebeln, befindet sich am rechten Nachbarfeld, welches durch einen ca. 3 m breiten Feldstreifen vom Vorherigen getrennt ist. Es hat eine Gesamtfläche von

2,4 ha. An der Messstellenposition handelt es sich ebenfalls um die Bodenform 19 (35 % der Fläche). Nach Norden wechseln sich danach die Bodenformen 20 (35 % der Fläche) und 17a (30 % der Fläche) ab (ÖBK KB7, 1972).

Es wurden zwei Sensoren des Typs EnviroSCAN im Abstand von 3 m bis zu einer Tiefe von 90 cm (B1) und 80 cm (B2) eingebaut. Ein tieferer Einbau war nicht möglich da in den entsprechenden Endtiefen bereits der Schotterkörper angetroffen wurde.

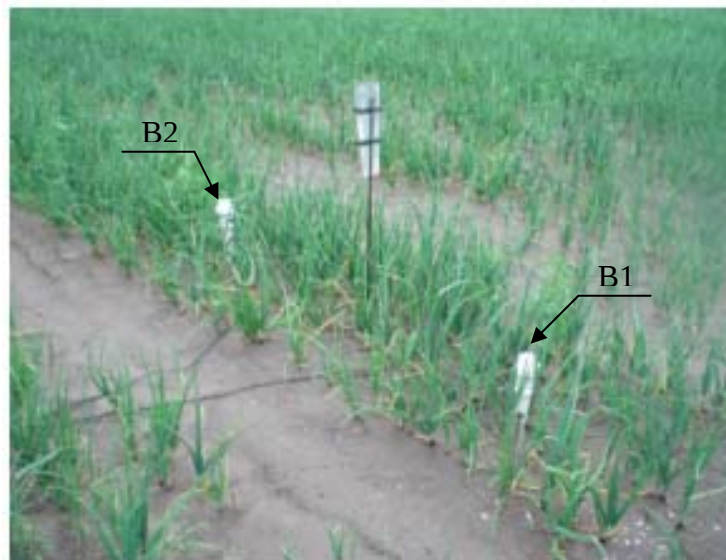


Bild 2-2 2007-07-03, Standort Rutzendorf – Zwiebel, Sensoren: B1, B2

2.2.4.2 Versuchsstandort Rutzendorf – Frenzel 2

Das Versuchsfeld, mit einer Fläche von 4,7 ha, befindet sich unmittelbar rechts neben dem vorhergehenden Zwiebelfeld. Am Sensorstandort handelt es sich wie bei den vorhergehenden um die Bodenform 19 (30 % der Fläche). Der Rest unterteilt sich in die Bodenform 17a (50 % der Fläche) und 20 (20 % der Fläche) (ÖBK KB7, 1972).

Es wurde ein Adcon-EasyAG Sensor in einem Abstand von 30 m vom Feldweg in eine Pflanzenreihe gesetzt.



Bild 2-3 2007-06-19, Standort Rutzendorf – Bohnen, Sensor: Frenzel 2

2.2.4.3 Versuchsstandort Obersiebenbrunn – BVM2

Das Versuchsfeld, mit einer Fläche von 6,7 ha, befindet sich nordöstlich von Obersiebenbrunn hinter den Wirtschaftsgebäuden der Landwirtschaftlichen Fachschule Obersiebenbrunn. Es werden zwei Drittel der Fläche der Bodenformen 15 und ein Drittel der Fläche der Bodenform 19 zugeordnet (ÖBK KB7, 1972).

Wie im Bild 2-4 ersichtlich wurde der Sensor in eine Pflanzenreihe zwischen zwei Zuckerrübenpflanzen platziert.



Bild 2-4 2007-06-19, Standort Obersiebenbrunn – Zuckerrübe, Sensor: BVM2

2.2.4.4 Versuchsstandort Obersiebenbrunn – OS

Das Versuchsfeld liegt etwa 500 m westlich von Obersiebenbrunn direkt an der Wiener Straße. Es hat eine Gesamtfläche von 7,7 ha wovon 20 % der Bodenform 20 (Sensorstandort), 70 % der Bodenform 15 und der Rest der Bodenform 16 zugewiesen sind (ÖBK KB7, 1972). Der Einbau des Sensors erfolgte am 03.05.2007 durch Mitarbeiter der Firma Frisch und Frost.



Bild 2-5 2007-07-03, Standort Obersiebenbrunn – Kartoffeln, Sensor: OS

2.2.4.5 Versuchsstandort Stripfing – Kartoffeln

Der Standort befindet sich ca. 3 km südlich von Stripfing. Das Versuchsfeld hat eine Gesamtfläche von 3,9 ha welche zur Gänze der Bodenform 45 (ÖBK KB6, 1972) zugewiesen wird. Der Sensoreinbau erfolgte am 22.05.2007 ebenfalls durch die Firma Frisch und Frost.



Bild 2-6 2007-06-19, Standort Stripfing – Kartoffeln, Sensor: Stripfing

2.2.4.6 Rutzendorf – Zwiebeln, Sensor: BVM3

Die Aufzeichnung erfolgte nur vom 16.08.2007 bis zum 03.09.2007. In dieser Periode wurden nur zwei Niederschlagsereignisse vom Sensor angezeigt, welche für eine Auswertung zu gering waren. Der Vergleich mit den Messwerten wurde jedoch für die Gesamtbeurteilung der Adcon-EasyAG Sensoren herangezogen (Abbildung 4-10).

2.2.4.7 Verworfenne Messdaten

Untersiebenbrunn – Kartoffeln, Sensor: US

Die Messdaten wiesen häufige und teilweise große Lücken auf welche nicht bereinigt werden konnten und daher verworfen werden mussten.

Glinzendorf - Industrie-Karotte, Sensor: BVM1

Die vorhandenen Daten stimmten zeitlich nicht mit den aufgezeichneten Niederschlägen und vom Landwirt angegebenen Bewässerungsgaben überein. Es konnte nicht festgestellt werden ob die Daten zeitlich verschoben wurden oder ob es sich um Daten von einem anderen Sensor handelt und mussten daher verworfen werden.

2.3 Messstellenstandorte im Versuchsjahr 2008

Tabelle 2-2 Messstellenstandorte 2008

Sensor Nr.	Versuchsstandort	Kultur	Sensortyp	Sensorbez.	Sensoren	Messtiefen (cm)	GPS - Position	Einbau	Ausbau
23980	Obersiebenbrunn	Zwiebel	Adcon-EasyAG	BVM1	4	10/20/30/50	N 48° 15,877' O 16° 41,970	26.05.2008	10.09.2008
23961	Obersiebenbrunn	Zuckerrübe	Adcon-EasyAG	BVM2	4	10/20/30/50	N 48° 16,079 O 16° 41,414	26.05.2008	08.10.2008
23160	Obersiebenbrunn	Mais	Adcon-EasyAG	BVM3	4	10/20/30/50	N 48° 16,034' O 16° 41,422'	26.05.2008	09.10.2008
24216	Obersiebenbrunn	Kartoffel	Adcon-EasyAG	FF OS	4	10/20/30/50	N 48° 16,067' O 16° 41,696'	26.05.2008	04.09.2008
24417	Stripfing	Kartoffel	Adcon-EasyAG	FF Str	4	10/20/30/50	N 48° 19,791' O 16° 47,352'	26.05.2008	02.09.2008
24213	Untersiebenbrunn	Kartoffel	Adcon-EasyAG	FF US	4	10/20/30/50	N 48° 14,575' O 16° 44,810'	26.05.2008	26.08.2008
24436	Lasse	Kartoffel	Adcon-EasyAG	FF Las	4	10/20/30/50	N 48° 12,528' O 16° 49,032'	26.05.2008	12.08.2008
24240	Glinzendorf	Kartoffel	Adcon-EasyAG	FF Gli	4	10/20/30/50	N 48° 14,153' O 16° 38,297'	26.05.2008	02.09.2008
23960	Parbasdorf	Baby-Karotten	Adcon-EasyAG	Frenzel 1	4	10/20/30/50	N 48° 16,782' O 16° 36,552'	28.05.2008	02.10.2008
23979	Franzensdorf	Bohnen	Adcon-EasyAG	Frenzel 2	4	10/20/30/50	N 48° 12,139' O 16° 39,190'	28.05.2008	02.08.2008

2.3.1 Detailbeschreibung der einzelnen Messstellen

2.3.1.1 Versuchsstandort Obersiebenbrunn – Zwiebel

Das Versuchsfeld befindet sich direkt hinter der Landwirtschaftlichen Fachschule Obersiebenbrunn. Es hat eine Fläche von 3 ha wovon 70 % der Bodenform 15 und 30 % der Bodenform 17 zugewiesen sind (ÖBK KB7, 1972).

Zur Beurteilung der Messwerte wurden am 08.07, 29.07, 21.08 und 05.09.2008 Bodenproben im Bereich des Sensors bis zu einer Tiefe von 50 cm entnommen und der volumetrische Wassergehalt im Labor bestimmt. Die Ergebnisse sind in Kapitel 4.3.9 dargestellt.



Bild 2-7 2008-07-08, Standort Obersiebenbrunn – Zwiebel, Sensor: BVM1

2.3.1.2 Versuchsstandort Obersiebenbrunn – Zuckerrüben

Es handelt sich hierbei um das gleiche Feld wie jenes mit Zuckerrüben im Jahr 2007.

Es wurden, wie am vorherigen Standort, am 08.07 und 04.09.2008 Bodenproben entnommen und mit den Messwerten zum Entnahmezeitpunkt verglichen. Die Ergebnisse sind in Kapitel 4.3.9 dargestellt.



Bild 2-8 2008-07-08, Standort Obersiebenbrunn – Zuckerrübe, Sensor: BVM2

2.3.1.3 Versuchsstandort Obersiebenbrunn – Mais

Das Versuchsfeld, mit einer Fläche von 7 ha, befindet sich in südlicher Richtung direkt unterhalb des Feldes Obersiebenbrunn - Zuckerrüben. Laut Österreichischer Bodenkarte (ÖBK KB7, 1972) wird 70 % der Fläche der Bodenform 15 zugewiesen, welche auch den Sensorstandort beinhaltet, 15 % der Bodenform 27a und 15 % der Bodenform 19.

Es erfolgte keine Bewässerung der Maispflanzen. Daher beschränkte sich die Auswertung der Messungen auf einen Vergleich mit den Niederschlagsdaten.



Bild 2-9 2008-07-08, Standort Obersiebenbrunn – Mais, Sensor: BVM3

2.3.1.4 Messstelle Parbasdorf – Baby-Karotten

Das Feld liegt etwa 1,5 km östlich von Parbasdorf. Es hat eine Gesamtfläche von 2,2 ha von der ein Drittel der Bodenform 35 und zwei Drittel der Bodenform 34 zugeordnet werden (ÖBK KB7, 1972).

Auch an diesem Standort wurden zu Vergleichszwecken am 29.07, 21.08 und 04.09.2008 Bodenproben entnommen und deren Wassergehalt im Labor bestimmt.



Bild 2-10 2008-07-29, Standort Parbasdorf – Baby-Karotten, Sensor: Frenzel 1

2.3.1.5 Versuchsstandort Franzensdorf – Bohnen

Das 1,8 ha große Versuchsfeld liegt ca. 1,5 km Nord nordöstlich von Franzensdorf. Es ist zu je einem Drittel der Bodenform 15, 19 und 20 zugeordnet (ÖBK KB7, 1972).



Bild 2-11 Standort Franzensdorf – Bohnen, Sensor: Frenzel 2

2.3.1.6 Versuchsstandorte Stripfing, Untersiebenbrunn, Lasse

Wie am Standort Rutzendorf – Zwiebeln 2007 waren die Aufzeichnungsperioden der Messungen zu kurz um eine Aussage über die Qualität zu ermöglichen. Daher wurden die Ergebnisse der Gegenüberstellung von Niederschlag und Profilwasseränderung nur für die Gesamtbeurteilung der Adcon-EasyAG Sensoren im Jahr 2008 herangezogen.

2.3.1.7 Verworfenne Messstellen

Obersiebenbrunn – Kartoffeln, Sensor: FF OS

Trotz geringer Entfernung zur nächstgelegenen Wetterstation konnte über die gesamte Vegetationsperiode keine Funkverbindung hergestellt werden. Es wurden daher keine Daten aufgezeichnet.

Glinzendorf – Kartoffeln, Sensor: FF Gli

Durch Undichtheit des Sensorkopfes trat Wasser in das Sensorrohr wodurch die Messwerte stark verfälscht wurden und die Daten verworfen werden mussten.

2.4 Messstellenstandorte im Versuchsjahr 2007 und 2008

Tabelle 2-3 Messstellenstandorte 2007 und 2008

Sensor Nr.	Versuchsstandort	Kultur	Sensortyp	Sensorbez.	Sensoren	Messtiefen (cm)	GPS - Position	Einbau	Ausbau
-	Groß-Enzersdorf	Pappel	EnviroSCAN	Pappel	13	10/20/30/40/50/ 60/70/80/90/100/ 110/120/130	N 48° 11,483' O 16° 33,889'	09.05.2007	noch aktiv
-	Groß-Enzersdorf	Weide	EnviroSCAN	Weide	13	10/20/30/40/50/ 60/70/80/90/100/ 110/120/130	N 48° 11,478' O 16° 33,895'	09.05.2007 30.05.2007 neuer Einbau	noch aktiv
-	Aderklaa	Spargel	EnviroSCAN	A	10	10/20/30/40/50/ 60/70/80/90/100	N 48° 17,638' O 16° 35,426'	29.06.2007	noch aktiv
28417	Aderklaa	Spargel	Adcon- EasyAG	BVM4	4	10/20/30/50	N 48° 17,638' O 16° 35,426'	29.06.2007	noch aktiv

2.4.1 Detailbeschreibung der einzelnen Messstellen

2.4.1.1 Versuchsstandort Groß – Enzersdorf NWR

Am Versuchsstandort Groß-Enzersdorf wurden Pappeln und Weiden auf je einer Fläche für nachwachsende Rohstoffe mittels Stecklingen gesetzt. Die Versuchsfelder liegen ca. 1,5 km südöstlich vom Stadtzentrum Groß-Enzersdorf. Als Bodenform wird für die Sensorstandorte 3 angegeben, welche auch die Hälfte der Fläche des jeweiligen Feldes einnimmt. Die zweite Hälfte fällt beim Standort Pappel auf die Bodenform 4 und beim Standort Weide auf die Bodenform 5 (ÖBK KB7, 1972). Es erfolgte keine Bewässerung während der Versuchszeit. Daher beschränkt sich die Auswertung der Messungen nur auf die Änderung des Bodenwasseranteils durch die Niederschläge. Die Datenaufzeichnung erfolgt durch je einen EnviroSCAN - Sensor pro Anbaufläche. Am Weidenstandort erfolgte ein neuerlicher Einbau des Sensors am 30.05.2007 um eine bessere Positionierung in der Pflanzenreihe zu erreichen.



Bild 2-12 2007-06-19, Standort Groß-Enzersdorf – Pappel



Bild 2-13 2007-06-19 Standort Groß-Enzersdorf – Weide

2.4.1.2 Versuchsstandort Aderklaa -Spargel

Der Versuchsstandort liegt 1,5 km nördlich von Parbasdorf. Die Hälfte der Fläche wird der Bodenform 26/1 (Sensorstandort) zugeordnet und der Rest der Bodenform 25 (ÖBK KB27, 1975). Es wurde ein EnviroSCAN Sensor und ein Adcon-EasyAG Sensor am 29.06.2007 eingebaut. Wie im Bild 2-14 ersichtlich wurde der EnviroSCAN Sensor auf dem Damm zwischen zwei Spargelpflanzen platziert und der Adcon-EasyAG Sensor direkt neben dem Damm, sodass der oberste Sensor mit dem Sensor in 30 cm zusammenfällt.



Bild 2-14 2007-07-03 Standort Aderklaa - Spargel

3 Material und Methoden

3.1 Bewässerungsmanagement

3.1.1 Bewässerungsbedürftigkeit – Bewässerungswürdigkeit

Bewässerungsbedürftigkeit ist gegeben wenn der Pflanzenwasserbedarf größer ist als das verfügbare Wasser (Niederschlag, kapillarer Aufstieg und pflanzenverfügbares Bodenwasser) und hängt ab von Klima, Boden, Topografie, Wasserquantität und -qualität und Kultursorte.

Hierbei wird zwischen absoluter Bewässerungswürdigkeit, wenn ohne künstliche Wasserzufuhr kein Pflanzenwachstum möglich ist und relativer Bewässerungsbedürftigkeit, wo ein Ernteertrag möglich ist jedoch durch Faktoren wie ungleich verteilte Niederschläge, geringem Gesamtniederschlag, geringem Bodenspeichervermögen, hoher Verdunstung oder hohem Oberflächenabfluss geringer ausfallen würde, unterschieden (KLIK, 2007).

Die Bewässerungsbedürftigkeit einer bestimmten Kultur an einem Standort kann durch Berechnung der klimatischen Wasserbilanz (KW) ermittelt werden. Hierzu wird der mittlere Niederschlag (N) für das Gebiet dem Wasserbedarf der Pflanze, dargestellt durch die Verdunstung (ET), gegenübergestellt.

$$KW = N - ET$$

Bei einer negativen Wasserbilanz ist prinzipiell eine Bewässerungsbedürftigkeit gegeben. Bevor eine Bewässerungsanlage errichtet wird sollte jedoch ebenso überprüft werden ob eine Bewässerungswürdigkeit gegeben ist.

Die Bewässerungswürdigkeit ist zusätzlich von wirtschaftlichen, sozialen und politischen Faktoren abhängig, d.h. sie bezieht sich auf Ertragssteigerung, Ertragssicherung und Wirtschaftlichkeit (CEPUDER, 2008).

Der Mehrertrag der bewässerten Kulturen muss den durch die Wassergabe bedingten Aufwand an Arbeit, Anlage- und Betriebskosten nicht nur decken sondern merklich übersteigen (ACHTNICH, 1980).

3.1.2 Bewässerungssteuerung

Die Hauptaspekte der Bewässerung sind die Festlegung, wie viel Wasser aufgebracht werden soll und zu welchem Zeitpunkt.

3.1.2.1 Steuerung in Abhängigkeit des Bodenwassergehaltes

Als Bodenwasser wird jener Wasseranteil bezeichnet, der durch Trocknen bei 105 °C aus dem Boden entfernt werden kann (SCHEFFER/SCHACHTSCHNABEL, 2002).

Als Wassergehalt wird der prozentuale Anteil (Masse-% oder Vol.%) des Bodenwassers am Boden definiert (SCHEFFER/SCHACHTSCHNABEL, 2002).

Der aktuelle Wasseranteil kann gravimetrisch, chemisch, elektrisch, thermometrisch oder isotopentechnisch mit Hilfe entsprechender Messgeräte ermittelt werden (ACHTNICH, 1980).

Der Zeitpunkt der Bewässerung wird in Abhängigkeit eines Grenzbodenwassergehaltes in der Wurzelzone festgelegt. Doorenbos und Kassam (1979) geben diesbezüglich eine Grenze von 50 % des Pflanzenverfügbaren Bodenwassers in der Wurzelzone als akzeptable Grenze für die meisten Kulturpflanzen und Bodentypen an. Das Pflanzenverfügbare Bodenwasser berechnet sich aus der nutzbaren Kapazität multipliziert mit der Wurzeltiefe. Die nutzbare Kapazität berechnet sich aus der Differenz von Feldkapazität und Permanenten Welkepunkt.

Die Feldkapazität (FK) entspricht jenem Wassergehalt, den ein Boden nach intensiver Durchfeuchtung nach 2 – 3 Tagen aufweist. Die Feldkapazität ist ein Standortfaktor und somit insbesondere abhängig von der Vegetation, dem Relief, dem Bodenaufbau, der Lage des Grundwasserspiegels und dem Klima (Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft, 1980).

Die FK wird per Definition angegeben als Wassergehalt bei einer Saugspannung von 1/10 bzw. 1/3 bar.

Der Permanente Welkepunkt (PWP) entspricht dem Wassergehalt eines Bodens, bei dem eine Pflanze irreversible Welkeerscheinungen bei sonst optimalen Standortbedingungen aufweist. Der PWP wird per Definition angegeben als Wassergehalt bei einer Saugspannung von 15 bar.

Da der Bodenwassergehalt keine Aussage darüber gibt wie stark das Wasser vom Boden gebunden wird, muss eine Beziehung zwischen dem Wassergehalt und dem Matrixpotential bzw. Wasserspannung hergestellt werden.

Das Matrixpotential umschließt alle durch die Matrix auf das Wasser ausgeübten Einwirkungen. Je weniger Wasser ein Boden enthält, desto stärker halten die matrixbedingten Kräfte es fest, desto schwerer ist es also dem Boden zu entziehen. Der Verlauf der Beziehung

zwischen Wassergehalt und Matrixpotential wird Wasserspannungs-/Wassergehaltskurve oder pF-Kurve bezeichnet. Der pF-Wert entspricht dem logarithmierten Wert der Wasserspannung (SCHEFFER/SCHACHTSCHNABEL, 2002).

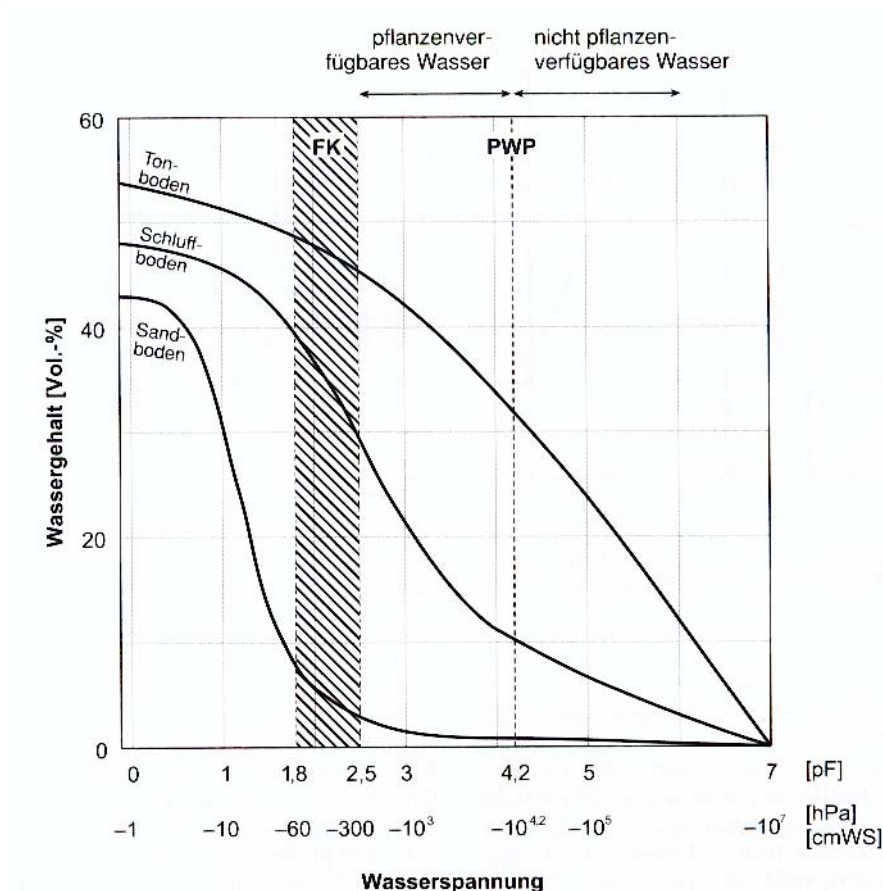


Abbildung 3-1 Beziehung zwischen Wasserspannung und Wassergehalt bei einem Sandboden, einem tonigen Schluffboden und einem Tonboden nach SCHEFFER/SCHACHTSCHNABEL, 2002

Abbildung 3-1 zeigt die Wasserspannungs-/Wassergehaltskurven für drei Böden unterschiedlicher Körnungen. Der unterschiedliche Verlauf der Kurven wird durch die verschiedenartige Porengrößenverteilung der Böden verursacht (SCHEFFER/SCHACHTSCHNABEL, 2002).

Die FK und der PWP kann im Labor mittels Kapillarmeter und Druckmembranapparat, über die Bodenart mittels Tabellen oder durch Transferfunktionen aus den Bodenkennwerten ermittelt werden.

Der Bodenspeicher soll bei der Bewässerung wieder auf 80 % des pflanzenverfügbaren Bodenwassers aufgefüllt werden. In Abhängigkeit der Mächtigkeit der durchwurzelten

Bodenzone kann die Bewässerungswassermenge und das Bewässerungsintervall festgelegt werden. Hierbei müssen noch die Wasserverluste der Bewässerungsanlage durch den Wirkungsgrad berücksichtigt werden.

Steuerung mittels Sonden zur Messung des Bodenwasseranteils

Hierzu könne Systeme des Typs Adcon-EasyAG oder EnviroSCAN verwendet werden. Die Messung erfolgt direkt am Feld. Eine Bewässerung erfolgt bei Unterschreitung des 50% Wertes der nutzbaren Kapazität.

Probleme bei der Messung ergeben sich durch die Bodenheterogenität und die sich dadurch ergebenden Schwierigkeiten der Festlegung eines repräsentativen Standortes für das Gesamtfeld.

Steuerung nach klimatologischen Kriterien

Hierbei wird der Wassergehalt (S) über Wetterdaten abgeschätzt. Dies erfolgt durch Berechnung der Wasserbilanzgleichung. Die Niederschläge (R) und die Bewässerung (B) werden hierbei der Pflanzen – Evapotranspiration (ET_{crop}) gegenübergestellt.

$$S = N + B - ET_{crop}$$

Die Pflanzen - Evapotranspiration der jeweiligen Kulturpflanze errechnet sich aus der Referenz - Evapotranspiration multipliziert mit einem vom Entwicklungsstadium der Pflanze abhängigen Pflanzenkoeffizienten k_c .

$$ET_{crop} = ET_0 * k_c$$

Die Berechnung der Referenz – Evapotranspiration (ET_0) kann mittels Verdunstungsformel, z.B. FAO-Penman-Monteith (ALLEN et. al. 1998), erfolgen.

Ebenso muss als Startwert ein Anfangswassergehalt S_0 festgelegt werden.

Eine Bewässerung erfolgt wenn der berechnete Wassergehalt unter den festgelegten 50 % Wert der nutzbaren Kapazität sinkt.

3.1.2.2 Steuerung in Abhängigkeit der Saugspannung

Die Saugspannung im Feld kann mittels Tensiometern oder Gipsblöcken gemessen werden. Der Messbereich der beiden Messsysteme ist zwar wesentlich geringer als jener bei dem die Pflanze Wasser aus dem Boden entnehmen kann. Er ist jedoch ausreichend um den Bereich in dem die Pflanze durch Wassermangel noch keine Schädigungen erfährt abzudecken. (PLAUT und MEIRI, 1994)

Die Nachteile des Systems sind darin zu sehen, dass die Messung pro Tensiometer nur in einer bestimmten Tiefe und einer vorgegebenen Position erfolgen kann. Durch die unterschiedlichen Bodeneigenschaften, und die Position zur Pflanze erhält man nur einen Richtwert für die gesamte Anbaufläche.

3.1.2.3 Steuerung in Abhängigkeit von Pflanzenparametern

Hierbei kann das Blattwasserpotential, die Blatttemperatur, die Stomata - Leitfähigkeit oder die Wachstumsrate bestimmter Pflanzenorgane als Steuerungsparameter herangezogen werden.

Das Blattwasserpotential (Ψ) kann mittels Druckkammertechnologie gemessen werden. Hierbei stellt sich der kleinste Wert zur Mittagszeit ein (maximale Transpiration) und der Maximalwert kurz vor Sonnenaufgang (volle Blattwasserkapazität ist vorhanden). Bei sinkendem Bodenwassergehalt hat dies auch eine Senkung der Ψ -Mittagswerte zufolge. Die Bewässerung erfolgt bei einem Absinken unter einem festgelegten Grenzwert. Grenzwerte wurden z.B. von Stegman (1983) für Getreide, von Sojka et al. (1981) für Weizen oder von Musick (1976) für Hirse angegeben (zit. bei PLAUT und MEIRI, 1994).

Die Steuerung mittels Temperaturmessung erfolgt durch Messung des Anstieges der Blatttemperatur. Diese steigt, wenn die kühlende Wirkung durch die Transpiration abnimmt. Die Temperatur kann mittels Infrarotthermometer gemessen werden.

3.1.3 Einflussfaktoren auf die Menge und den Zeitpunkt der Bewässerung

3.1.3.1 Pflanzenphysiologische Faktoren

Hierbei wird neben den klimatischen Gegebenheiten und den Bodeneigenschaften die Wassergabe in Abhängigkeit zur Entwicklungsphase der Pflanze beurteilt. Die Vegetationsperiode von einjährigen Pflanzen kann in vier Entwicklungsstadien untergliedert werden (BAEUMER, 1992):

1. Anfangsstadium: Keimung oder vor dem Austrieb bis zu einem geringfügigen Oberflächenwachstum (Bodenbedeckung ca. 10 %)
2. Entwicklungsstadium: Vegetatives Wachstum bis zum Bodenschluss der Pflanzendecke (Bodenbedeckung ca. 70-80 %)
3. Fruchtbildungsstadium: Mitte der Vegetationszeit, von der Blüten- und Fruchtbildung bis zum Beginn der Reife
4. Spätstadium: Reicht bis zur Vollreife oder bis zur Ernte

Ein Wassermangel in den einzelnen Entwicklungsstadien kann sich unterschiedlich stark auf die Gesamterntemenge auswirken. Es wird z.B. eine Bewässerung von Getreide während des Schosses, von Mais während der Blütephase, bei Körnerleguminosen nach der Blüte, bei Kartoffeln nach dem Knollenansatz oder bei Zuckerrüben nach dem Schließen des Bestandes als besonders lohnend erachtet (BAEUMER, 1992).

Daher ist vor allem in Gebieten in denen nicht ausreichend Bewässerungswasser über die gesamte Vegetationsperiode zu Verfügung steht, die Bewässerung auf die pflanzentypisch „kritischen Zeiten“ zu konzentrieren.

3.1.3.2 Sozioökonomische Faktoren

Durch den großen Wasserverbrauch der Landwirtschaft kann es in manchen Gebieten zu Konflikten zwischen den Landwirtschaft, den Haushalten und der Industrie über die Nutzung der Wasserressourcen kommen. Durch den hohen Wasserbedarf übersteigt die Entnahme aus dem Grundwasser oft die Grundwasserneubildung.

In der EU soll durch die Wasserrahmenrichtlinie ein guter mengenmäßiger Zustand des Grundwassers sichergestellt werden, was ein Gleichgewicht zwischen der Entnahme und der Neubildung bedeutet.

Daher ist auch die Bewässerungswirtschaft gefordert die Wasserressourcen optimal zu nutzen und Konflikte mit anderen Wassernutzern zu vermeiden.

3.1.3.3 Ökologische Faktoren

Ökologische Faktoren können den Einsatz einer Bewässerung einschränken, wenn diese eine nachhaltige Bewirtschaftung des Standortes gefährden.

Solche können z.B. sein:

- ein Grundwasseranstieg mit evtl. Versalzung,
- eine Übernutzung der Grundwasserreserven und damit eine Absenkung des Grundwasserspiegels,
- eine erhöhte bzw. beschleunigte Stoffverlagerung im Boden,
- Beeinträchtigung der Bodenstruktur,
- Schaffen von Nassstellen unter Bewässerung welche insbesondere in warmen Klimazonen zur Verbreitung von Krankheitserregern führen (WIDMOSER, 2001).

3.2 Beschreibung der angewendeten Messsysteme

3.2.1 Messsystem – EnviroSCAN

Es handelt sich hierbei um ein Komplettsystem zur Bodenfeuchtemessung in unterschiedlichen Tiefen.

Es besteht die Möglichkeit bis zu 32 Sensoren an eine Station anzuschließen. Die Sensoren können entweder auf eine Messsonde bis zu einer Tiefe von 5,5 m in Abständen von minimal 10 cm montiert werden oder auf maximal 4 Messsonden aufgeteilt werden. Die Messintervalle können auf einen Wert zwischen 1 und 9999 Minuten festgelegt werden. (SENTEK 1997).

Vom Hersteller wird ein Intervall zwischen 15 und 120 Minuten empfohlen, um eine optimale Ausnutzung zu erhalten. Durch die vertikale Aufteilung der Sensoren wird eine kontinuierliche Aufzeichnung des gesamten Bodenprofils ermöglicht. Die Spannungsversorgung erfolgt über einen 12V Akku der über ein Solarpaneel geladen wird.



Bild 3-1 Daten Logger EnviroSCAN

3.2.1.1 Funktionsprinzip

Das Messprinzip beruht auf der „Frequency Domain Reflectometry“ (FDR).

Auf die beiden Elektroden (Metallringe) wird mittels Generator eine hochfrequente Wechselspannung angelegt. Die Luft im Rohr, das Rohr und der Boden außerhalb des Rohres wirken hierbei wie das Dielektrikum bei einem Kondensator, deshalb wird die Methode auch als kapazitive Messung bezeichnet. Die Bestimmung des Bodenwasseranteils erfolgt über die Messung der sich einstellenden Resonanzfrequenz im System, deren Größe von den rel. Dielektrizitätskonstanten der die Probe umgebenden Dielektrika abhängen.

Die Größe der rel. Dielektrizitätskonstante ist für Wasser 80, für die mineralischen und organischen Bodenbestandteile etwa 4 und für Luft 1. Durch den großen Unterschied zwischen Wasser und den anderen Bestandteilen wird eine Änderung hauptsächlich durch eine Änderung des Wasseranteiles beeinflusst.

Eine Darstellung der Beschreibung des Zusammenhanges zwischen der „Scaled Frequency“ und der Dielektrizitätszahl des Bodens um den Sensor erfolgte experimentell durch Laborversuche durch Schwank et al. (2006) oder mittels elektrischer Analogie von Kellers et al. 2004 und Schwank und Green (2007).

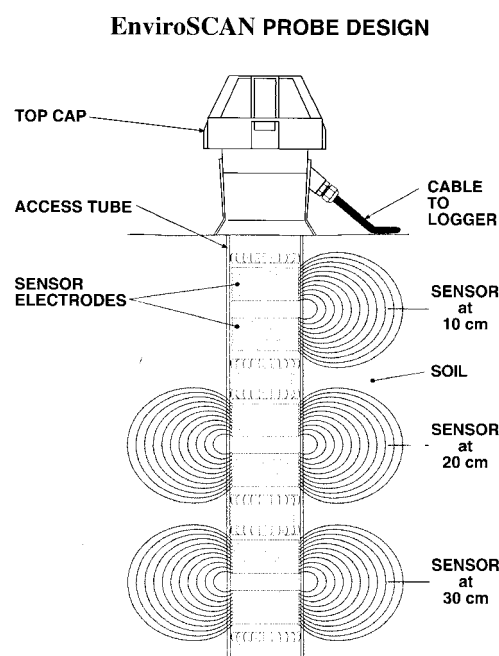


Abbildung 3-2 Aufbau EnviroSCAN Sensor

3.2.1.2 Positionierung der Messsonden im Feld

Die Positionierung der Messsonde im Feld und in Relation zu den Pflanzen hat einen entscheidenden Einfluss auf die Repräsentativität der Ergebnisse. Der Standort im bewässerten Feld selbst soll so gewählt werden, dass er charakteristisch für die Gesamtfläche und deren Bodenverhältnisse ist.

Die Positionierung soll in Relation zu den Feldpflanzen dementsprechend sein, dass die Messung die Bodenwasserverhältnisse in der Wurzelzone gut widerspiegelt. Dazu soll die Sonde in einer Pflanzenreihe installiert werden.

3.2.1.3 Einbau / Ausbau

Beim Einbau ist besonders auf einen guten Kontakt zwischen Boden und Hüllrohr zu achten. Hierbei sollte der Boden weder aufgelockert noch verdichtet werden. Der Einbau erfolgt mittels eigenem Einbausatz. Mittels verankerten Dreibeins wird das PVC-Hüllrohr mit Hilfe einer Libelle und Stellschrauben lotrecht ausgerichtet. An die Unterseite des Hüllrohres wird ein Schneidering aufgebracht mit dem das Rohr durch Schläge, mit einem Gummihammer, in den Untergrund vorgetrieben wird.



Bild 3-2 Einbau mittels Dreibein

Mittels Bohrer wird das im Rohr gesammelte Material entnommen und für die weiteren bodenphysikalischen Laboruntersuchungen in Probensäcken luftdicht verschlossen. Bei Einbringung des Bohrers ist darauf zu achten, dass der Bohrkopf nicht über das Hüllrohr hinausragt, da sonst die Gefahr einer Aushöhlung der umgebenden Bodenschicht besteht und ein Hohlraum zwischen Boden und Rohr entsteht. Das Hüllrohr wird so weit in den Boden eingebracht bis es nur noch ca. 2,5 cm über den Boden ragt. Die Innenseite kann nun mit einem eigenen Reinigungswerkzeug welches auf die Bohrstange montiert wird gesäubert werden. Danach wird es mittels Gummistoppel von unten her verschlossen, um ein Eindringen von Wasser zu verhindern. Der untere Teil der Verschlusskappe wird durch eine Silikonabdichtung mit dem Rohr verbunden. In das Rohr wird nun der Sensor eingebracht. In das Innere des Sensorkopfes werden noch zwei Trockenpäckchen beigelegt um einen geringen Feuchtigkeitseintrag zu kompensieren. Die Messsonde kann nun mit einer Schraubkappe verschlossen werden.

Ausbau: Vor dem Ziehen des Rohres werden die Messelektronik und der Gummistoppel entfernt. Danach wird das Entnahmewerkzeug in die Innenseite des Rohres geklemmt und an der Oberseite ein Stahlseil eingehängt. Mittels Dreibein und Seilwinde wird das Rohr aus dem Boden gezogen.

3.2.1.4 Normalisierung der Sensoren

Um eine Beziehung zwischen der gemessenen Frequenz und dem aktuellen Bodenwasseranteil herstellen zu können müssen die Grenzwerte für Wasser und Luft festgelegt werden.

Dies erfolgt über die Normalisierung der einzelnen Messsonden im Labor, wobei die Werte für jeden Sensor mit Hüllrohr gemessen werden müssen. Die Messung der Werte für Luft erfolgt durch freie Aufstellung der Messsonde mit einem ausreichenden Abstand zu sonstigen Gegenständen welche die Messung beeinflussen könnten und jene für Wasser in einem Kanister in dem ein Hüllrohr eingebaut ist.

Aus den Normalisierungswerten und den aktuellen Messwerten kann die „Scaled Frequency“ berechnet werden:

$$SF = \frac{F_a - F_s}{F_a - F_w}$$

F_a Normalisierungswert für Luft

F_w Normalisierungswert für Wasser

F_s Messwert im Boden

Die „Scaled Frequency“ repräsentiert das Verhältnis der gemessenen Frequenz im Boden in Relation zu den Normalisierungswerten der Frequenz in Luft und Wasser bei Raumtemperatur (GEESING et al. 2004).

Die SF-Werte haben daher in Luft $SF = 0$, und in Wasser $SF = 1$. Die Werte im Boden, in dem die Poren teilweise mit Luft und Wasser gefüllt sind, liegen zwischen 0 und 1. Zur Ermittlung des Bodenwasseranteils muss nun noch die Bodenform miteinbezogen werden. Dies erfolgt über eine nichtlineare Gleichung der Form:

$$SF = A * x^B + C$$

SF Scaled Frequency

x Volumetrischer Wassergehalt

A,B,C Koeffizienten

Die Standardkoeffizienten für die Gleichung werden von SENTEK (2001) für die EnviroSCAN Messsonden mit

$$A = 0,19570$$

$$B = 0,40400$$

$$C = 0,02852$$

für Sande, Lehme und tonige Lehme angegeben.

3.2.1.5 Kalibrierung der Sensoren auf die Bodenart

Eine Kalibrierung der Sensoren ist besonders dann anzuraten wenn eine hohe Genauigkeit der Absolutwerte gefordert wird. Hierzu muss neben den einzelnen Sensoren mittels Stechzylinder eine Bodenprobe für einen feuchten und trockenen Zustand des Bodens entnommen werden. Von diesen Proben wird im Labor der volumetrische Wasseranteil bestimmt und mit den gemessenen Werten korreliert.

3.2.1.6 Datenübertragung

Die am Daten-Logger gespeicherten Daten müssen je nach Messintervall in bestimmten Zeitabständen (z.B. bei 32 Sensoren und einem Messintervall von 10 min mindestens alle 26 Tage) ausgelesen werden. Dies erfolgt mittels Laptop über eine RS232 Schnittstelle. Oder sie können mittels Funkmodem, welches ebenfalls über einen Akku und ein Solarpaneel versorgt wird, direkt übertragen werden.

3.2.2 Messsystem – Adcon-EasyAG

3.2.2.1 Sondenaufbau



Es handelt sich um ein Komplettsystem mit fixen Sensoren in 10, 20, 30 und 50 cm Tiefe. Um die Sensorplatine befindet sich ein Hüllrohr welches nach unten hin fix verschlossen ist und dessen Kopfteil gegen das Eindringen von Feuchtigkeit verschließbar ist.

Bild 3-3 Adcon-EasyAG Sensor

3.2.2.2 Messprinzip

Das Messprinzip beruht ebenso auf der „Frequency Domain Reflectometry“ (FDR).

3.2.2.3 Einbau / Ausbau

Der Einbau erfolgt mittels spezieller Einbauvorrichtung. Hierzu wird eine Montageplatte im Boden verankert, mittels derer der Probennehmer, der gleichzeitig den Hohlraum für das Messrohr herstellt, im Lot gehalten wird. Der Probennehmer wird mit der Hand oder mittels Gummihammer in den Boden bis zur gewünschten Tiefe vorgetrieben.



Bild 3-4 Einbau Adcon-EasyAG Sensor

Nun kann das den Sensor umgebende Schutzrohr, auf dessen Unterseite ein Schneiderring aufgesetzt und an der Oberseite ein Schlagkopf eingesetzt wird, mittels Gummihammer in den Untergrund eingebracht werden, bis ca. 2,5 cm des Hüllrohres noch über die Bodenoberfläche ragen. Nun kann die Messelektronik eingeschoben werden und nach Beilegung eines Trockenpäckchens der Messkopf verschlossen werden.

Der Datenlogger und das Solarpaneel werden auf einer etwa 3 m hohen Stange montiert, die in der Nähe des Sensors im Boden verankert wird.

Der Ausbau des Sensors ist relativ einfach. Er kann meist gleich mit der Messplatine aus dem Boden gezogen werden. Ist dies nicht möglich gibt es eine spezielle Ziehvorrichtung, welche an der Innenseite des Rohres verankert wird. Mittels Seilzug kann das Hüllrohr aus dem Boden gezogen werden.

3.2.2.4 Normalisierung

Die Normalisierung erfolgt wie bei den EnviroSCAN Sensoren, mit dem Unterschied, dass bei der Ermittlung des Normalisierungswertes im Wasser der gesamte Sensor bis zum Kopfteil in ein Wasserbad getaucht wird und in dieser Anordnung die Werte festgelegt werden.

3.2.2.5 Kalibrierung der Sensoren auf die Bodenart

Die Sensoren können ebenso wie die EnviroSCAN Sensoren auf die Bodenart der Messfläche kalibriert werden.

3.2.2.6 Datenübertragung

Die Datenübertragung erfolgt über Funkstationen mit einem Solarpaneel zur Energieversorgung. Direkt mit der Messsonde verbunden ist der Daten Logger A723 der eine Funkreichweite von ca. 1km aufweist. Die von diesem gesendeten Messwerte, werden über die an den Wetterstationen positionierten Relaisstationen des Typs A733, mit einer Reichweite von max. 20 km, an das gemeinsame Telemetry Gateway übermittelt und zwischengespeichert. Die so gesammelten Daten werden mittels entsprechender Software ausgelesen und können für andere Benutzer über ein internes Netzwerk oder das Internet bereitgestellt werden.

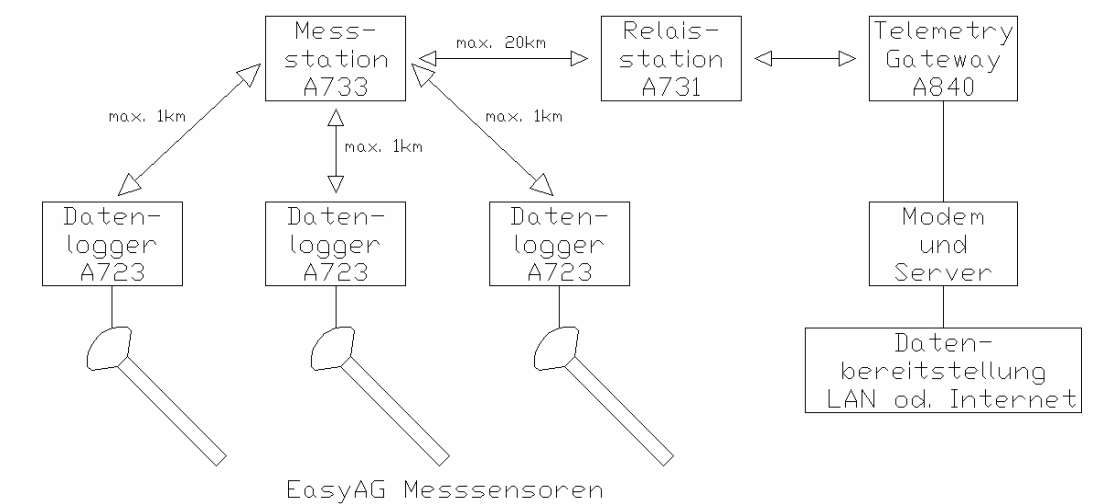


Abbildung 3-3 Prinzipskizze Datenübertragung



Bild 3-5 Datenlogger A723 mit Solarpaneel

3.3 Darstellung der Bewässerungssteuerung anhand einer Kartoffelkultur

Es soll nun kurz beschrieben werden wie Boden, Niederschlag und die Entwicklungsstadien der Kultur auf die, über die Messwerte gesteuerte Bewässerung Einfluss nehmen.

Abbildung 3-4 zeigt die Entwicklungsstadien der Kartoffelpflanze im Laufe der Vegetationsperiode. Es ist die Wurzelentwicklung in die Tiefe, welche durch ein einfaches Modell nachgebildet wird, sowie das Wachstum der oberirdischen Pflanzenteile ersichtlich.

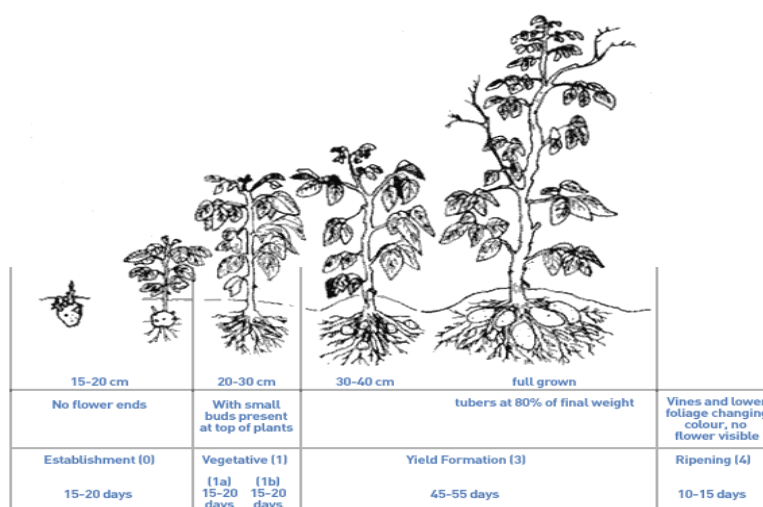


Abbildung 3-4 Entwicklungsstadien der Kartoffel nach W. C. Sparks, 1973

Modellbeschreibung des Pflanzenwasserbedarfes:

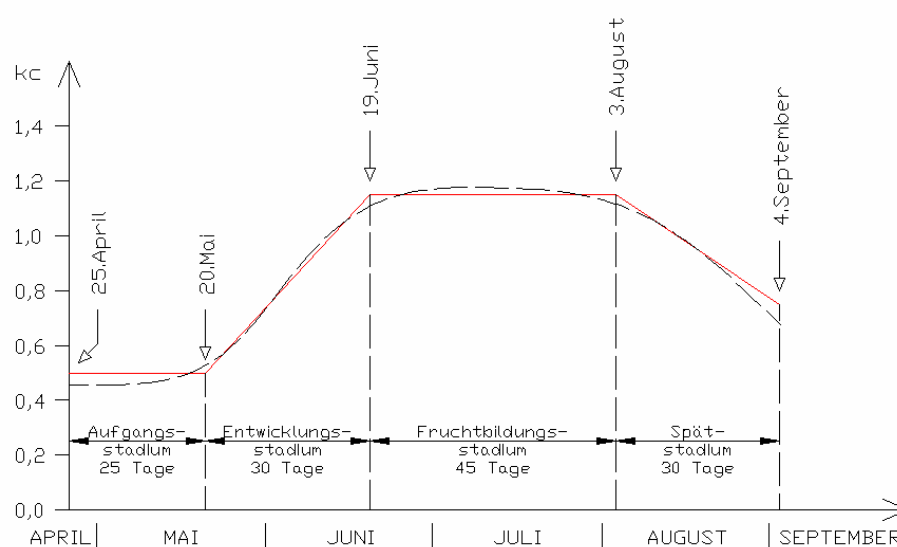


Abbildung 3-5 Modellbeschreibung des Pflanzenwasserbedarfes

Wie schon am Anfang in Kapitel 3.1.2.1 beschrieben kann der Pflanzenwasserbedarf in Relation zu Referenz-Evapotranspiration mittels k_c -Werten berechnet werden. Entsprechende k_c -Werte sind für Kulturpflanzen vielfach veröffentlicht worden (z.B. FAO Irrigation and Drainage Papers 24, 33, 56). Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Werte für unterschiedliche Standorte und Klimaverhältnisse für die selbe Kulturpflanze unterschiedliche Größen aufweisen können.

Der Pflanzenkoeffizient beinhaltet die typischen Charakteristika einer Feldpflanze, welche sich während der Vegetationsperiode ändern. Die charakteristischen Eigenschaften umfassen die Pflanzenhöhe, die aerodynamischen Eigenschaften (Rauhigkeit), Reflexionseigenschaften (Albedo) und der Stomata Widerstand. Ebenso wird die Evaporation von der Bodenoberfläche berücksichtigt. (WATER ECYCLOPEDIA Band 3, 2005)

Die FAO (1998) gibt für die Pflanzenkoeffizienten in den einzelnen Entwicklungsstadien folgende Haupteinflussfaktoren an:

- Anfangsstadium: Bodenevaporation
- Entwicklungsstadium: Bodenbedeckung, Pflanzenentwicklung
- Fruchtbildungsstadium: Pflanzenart, Klima, Windgeschwindigkeit
- Spätstadium: Pflanzenart, Erntedatum

Modellbeschreibung der durchwurzelten Bodenzone:

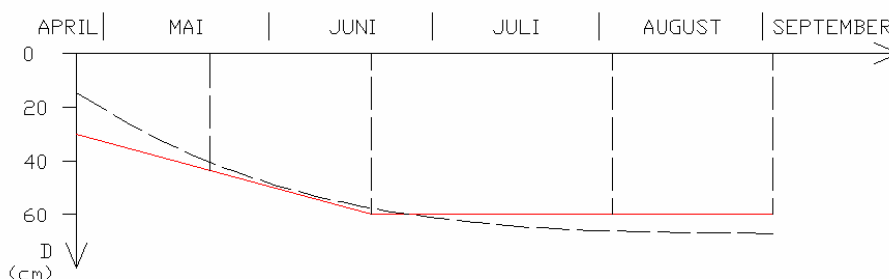


Abbildung 3-6 Modellbeschreibung der Wurzelzone

Zur Beschreibung der durchwurzelten Bodenzone wird in den ersten beiden Entwicklungsstadien eine kontinuierliche Zunahme der Wurzeltiefe (D) angenommen und in den beiden Letzten mit einem konstanten Wert gerechnet.

3.3.1 Festlegung des Bewässerungszeitpunktes mittels Online Messwerten

Durch die Annahme der Wurzeltiefe kann eine Summenkurve der Messdaten erstellt werden und in dieser die Veränderung des Wasseranteils im Boden beobachtet werden. Sind nun die Grenzwerte der Wasseranteile für Feldkapazität (Θ_{FK}) und Permanenten Welkepunkt (Θ_{PWP}) für die einzelnen Profiltiefen festgelegt, kann bestimmt werden ab welchem Wasseranteil im Bodenprofil die Bewässerung starten soll und wie hoch die Bewässerungsmenge ist.

Eine theoretische Darstellung einer Bewässerungssteuerung, unter Einbeziehung von zufällig gewählten Niederschlagsereignissen (Abbildung 3-8), ist in Abbildung 3-7 dargestellt. Hierbei wurde der Grenzwassergehalt bei 50 % der nutzbaren Kapazität ($0,5 \cdot nK$) festgelegt und durch die Bewässerung eine Wiederauffüllung auf 80 % ($0,8 \cdot nK$) eingetragen.

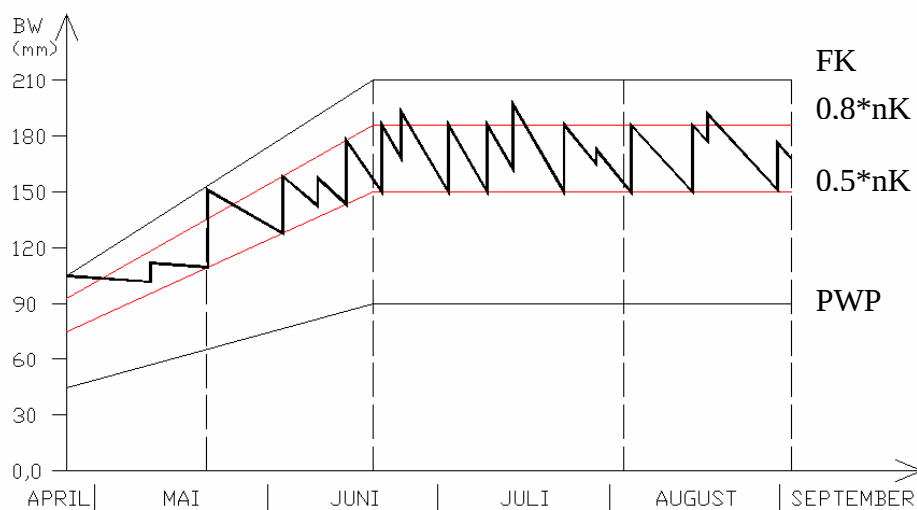


Abbildung 3-7 Darstellung der Bewässerungssteuerung

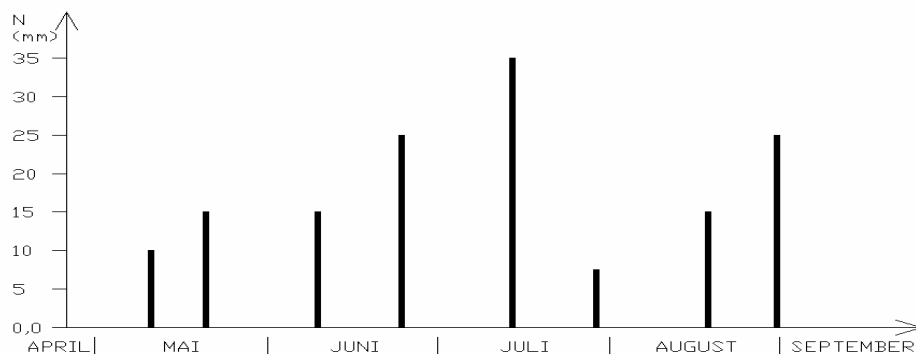


Abbildung 3-8 Zufällig gewählte Niederschlagsereignisse

3.4 Erläuterungen zur Dateninterpretation

3.4.1 Bodenanalysen

Im Jahr 2007 wurde beim Einbau der Messsensoren an allen Standorten Bodenproben entnommen. Bei den EnviroSCAN Sensoren das Bodenmaterial von jeweils 20 cm bis zur Endtiefe und bei den Adcon-EasyAG Sensoren von 0 – 30, 30 - 50 und 50 – 70 cm. Im Labor wurde laut CEPUDER / KAMMERER / KLIK 2006 eine Korngrößenanalyse durchgeführt und der Humusgehalt ermittelt.

Im Jahr 2008 wurden die Werte für die Feinbodenzusammensetzung und den Humusgehalt den Profildaten der Österreichischen Bodenkarte entnommen.

Die Festlegung der Wassergehalte für die Feldkapazität (Θ_{FK}) und den Permanenten Welkepunkt (Θ_{PWP}) erfolgte mittels Transferfunktion nach Baumer (1989) und Tabellenwerte der Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde (1988). Die Profilwasserhöhen h_{FK} , h_{PWP} und $0,5 \cdot h_{nK}$ wurden durch Aufsummieren der Einzelwerte über die Einflussbreite (D) ermittelt.

$$h_{FK} = \sum_0^i \Theta_{FK_i} * D_i$$

$$h_{PWP} = \sum_0^i \Theta_{PWP_i} * D_i$$

$$\frac{h_{nK}}{2} = 0,5 * \sum_0^i \Theta_{FK_i} - \Theta_{PWP_i}$$

Die Profile der Adcon-EasyAG Sensoren wurden in zwei Streifen (i) unterteilt:

$D_1 = 0 - 30$ cm, $D_2 = 30 - 50$ cm

Die Profile der Adcon-EasyAG Sensoren wurden in drei Streifen (i) unterteilt:

$D_1 = 0 - 20$ cm, $D_2 = 20 - 40$ cm, $D_3 = 40 - 60$ cm

Im Jahr 2008 wurden mehrmals während der Vegetationsperiode Bodenproben bis zu einer Tiefe von 50cm entnommen und der volumetrische Wassergehalt bestimmt.

3.4.2 Niederschlagsmessung

Die Niederschlagsmessung erfolgte mittels Regenmesser an den Wetterstationen in Obersiebenbrunn, Groß – Enzersdorf und Lasee. Die Regenereignissen wurden Ereignisbezogen aus den 15-Minuten-Intervall Messungen ermittelt.

3.4.3 Absolutwerte – Relativwerte des Bodenwasseranteils

Um eine genauere Übereinstimmung der Absolutwerte der Messung mit dem tatsächlichen Bodenwasseranteil zu erhalten müssen die Sensormessungen, wie in Kapitel 3.2.1.5 erwähnt,

auf den Boden kalibriert werden. Da dies bei der Versuchsdurchführung nicht erfolgte, beschränkt sich die Auswertung der Messungen auf die relativen Änderungen der Werte.

Zur Bestimmung des Bodenwasseranteils wurden die Koeffizienten der Standardkalibrierung (Kapitel 3.2.1.4) verwendet.

Diese sind zur Bestimmung des absoluten Wasseranteils zwar nicht ausreichend. Für Bewässerungszwecke wiederum kann die Standardkalibrierung ausreichend sein, wenn die relativen Wasseranteilsschwankungen gut nachvollziehbar sind (CEPUDER und HAUER, 2003).

3.4.4 Messwertschwankungen der Adcon-EA Sensoren im Jahr 2007

Die Daten der Adcon-EasyAG Sensoren wiesen im Jahr 2007 starke Schwankungen in den Messwerten auf. Um eine Auswertung für einen Vergleich mit den Niederschlagsdaten zu ermöglichen wurden die Messkurven durch Mittelwertbildung geglättet und nachbearbeitet. Abbildung 3-9 zeigt einen typischen Verlauf der gemessenen Kurven (blau) für einen Sensor in 10 cm Tiefe. Die rote Linie stellt den geglätteten Kurvenverlauf dar.

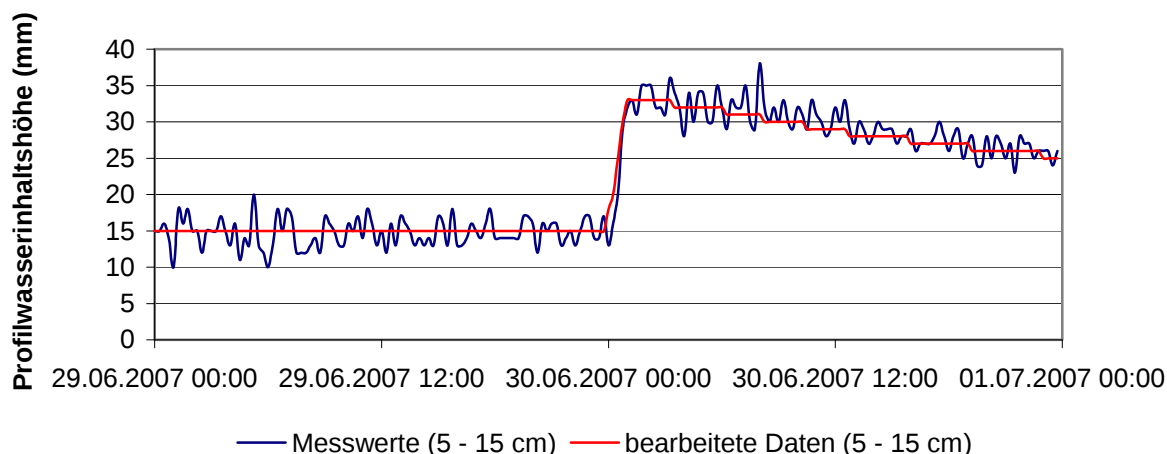


Abbildung 3-9 Verlauf der aufgezeichneten und geglätteten Werte der Messungen 2007

In Absprache zwischen Beteiligten der Firma Adcon und der Universität für Bodenkultur wurden vor dem neuerlichen Einbau im Jahr 2008 die Messplatinen der Sensoren getauscht. Im Jahr 2008 traten dadurch die Schwankungen der Messwerte nicht mehr auf wodurch die Auswertung der Daten erheblich erleichtert wurde.

3.4.5 Berechnung der Profilwassermenge und Profilwasseränderung

Zur Ermittlung der Profilwasserinhaltshöhe in der Wurzelzone wurden die Messwerte der jeweiligen Messtiefen aufsummiert. Die Messung mittels Adcon-EasyAG Sensoren erfolgte in den Tiefen von 10, 20, 30 und 50 cm. Da der erste Sensor in einer Tiefe von 10 cm liegt muss der Wasseranteil der ersten 5 cm des Profils durch eine Multiplikation mit 1,5 abgeschätzt werden. Ebenso die Werte für die Tiefe von 40 cm. Bei den EnviroSCAN Sensoren erfolgte eine Messung, zumindest bis zu einer Profiltiefe von 60 cm, bei allen Sensoren in Abstand von 10 cm.

Für den Vergleich wurden die Niederschlagsdaten der Wetterstation Obersiebenbrunn herangezogen, da diese am zentralsten im Untersuchungsgebiet positioniert ist. Es wurden für die Jahre 2007 und 2008 die Niederschlagshöhen während der Vegetationsperiode ereignisbezogen ermittelt.

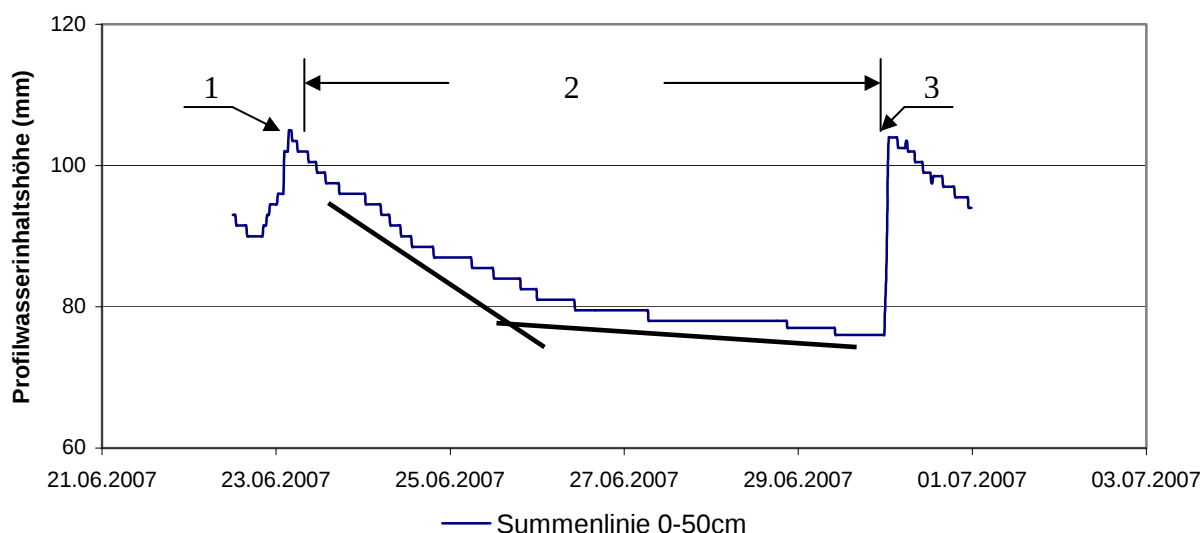
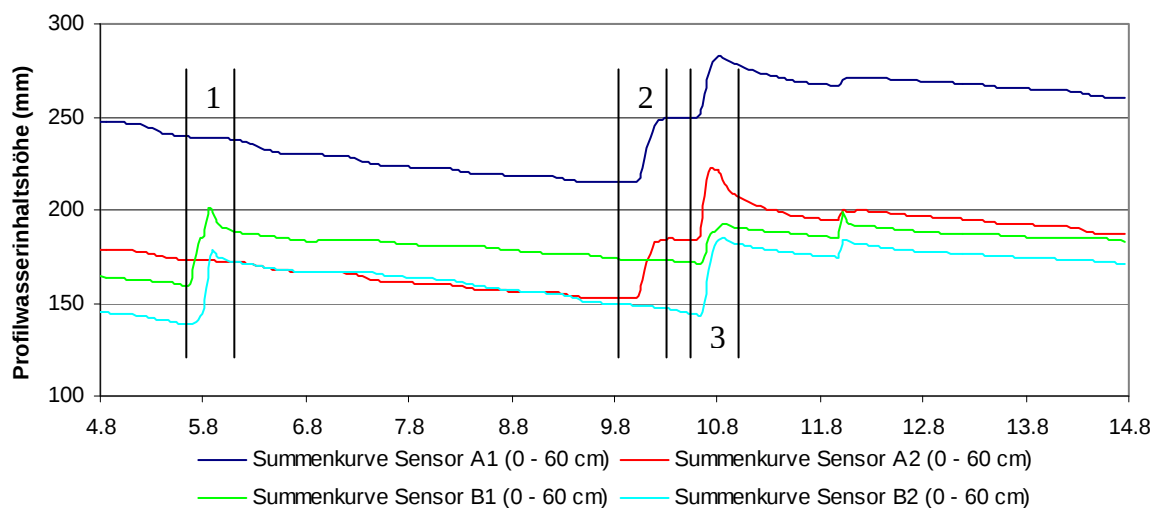


Abbildung 3-10 Summenkurve (0-50cm), Standort Stripfing – Kartoffeln

Abbildung 3-10 zeigt eine Typische Summenkurve eines Adcon-EasyAG Sensors. Die Änderung der Profilwasserinhaltshöhe nach einem Niederschlagsereignis (1) oder einer Beregnung (3) erfolgte durch eine Subtraktion der berechneten Profilwasserhöhe nach und vor jedem Ereignis. Es ist auch deutlich eine Abflachung der abfallenden Kurve ersichtlich (2) die durch beginnenden Wasserstress der Pflanze hervorgerufen wird und als Anhaltspunkt für den Beginn einer Bewässerung herangezogen werden kann.

3.4.6 Beurteilung der Bewässerung

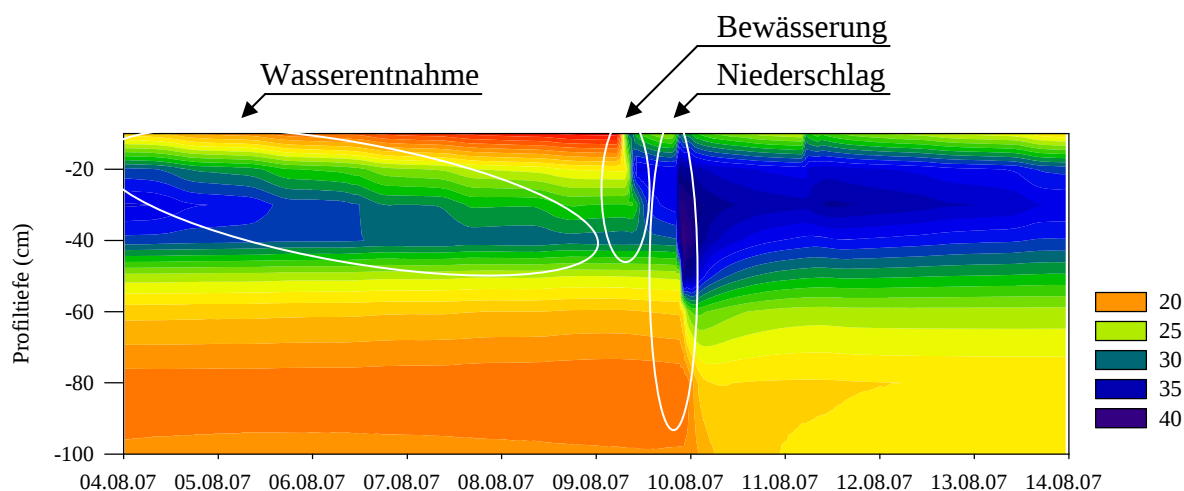
Ein Anstieg der Summenkurve (Abbildung 3-11) bedeutet jeweils eine Erhöhung des Wasseranteiles in der durch den Sensor repräsentierten Bodenzone. Es ist zunächst jedoch nicht ersichtlich ob dies durch einen Niederschlag, eine Bewässerung oder durch kapillaren Aufstieg erfolgt. Der Anstieg in Abschnitt 1 in Abbildung 3-11 zeigt eine Erhöhung des Profilwassers durch eine Bewässerung am Zwiebelfeld. Im Abschnitt 2 erfolgte eine Bewässerung am Baby-Karotten Feld und der darauffolgende Anstieg (Abschnitt 3) stellt ein Niederschlagsereignis dar. Ob die Bewässerungsgabe zu hoch war und eine Versickerung unter die Wurzelzone erfolgte kann durch die Betrachtung der Messwerte der Einzelsensoren in den Bodenprofilen erfolgen (Abbildung 3-12 und 3-13).



**Abbildung 3-11 Summenkurven der Sensoren A1, A2, B1, B2, am Standort Rutzendorf
– Baby-Karotten und Rutzendorf Zwiebeln vom 04.08.2007 bis 14.08.2007**

Die Wasseranteile der Einzelsensoren können durch die jeweiligen Messkurven oder wie in Abbildung 3-12 und 3-13 durch eine Interpolation der Einzelwerte über das Bodenprofil dargestellt werden. Die Wasserentnahme durch die Wurzeln beginnt zunächst in der oberen Bodenschicht (0-20cm) und verlagert sich, wenn der Wasseranteil in dieser Schicht geringer wird, immer weiter in den unteren Bereich der Wurzelzone. Der gewellte Verlauf entsteht durch die erhöhte Evapotranspiration am Tage. Durch die Bewässerung vom 09.08.2007 erfolgte ein Anstieg der Bodenwasseranteils im Profil von 0 – 35 cm. Bei einer Annahme einer Wurzeltiefe von 30 bis 40 cm wurde die Bewässerungsmenge gut gewählt. Durch diese Bewässerung versickert jedoch der darauffolgende Niederschlag ungenutzt unter die

Wurzelzone. Ersichtlich dadurch, dass die Bodenwasseranteile im Profil von 0 – 35 cm sehr rasch wieder auf die Werte vor dem Niederschlag absinken gleichzeitig sich aber der Bodenwasseranteil im darunterliegenden Bereich deutlich erhöht.



**Abbildung 3-12 Bodenwasseranteil am Standort
Rutzendorf – Baby-Karotten, Sensor A2**

Die Bewässerung am Zwiebelfeld erfolgte bereits am 04.08.2007. Durch die Wahl dieses Bewässerungszeitpunktes kann der darauffolgende Niederschlag optimal genutzt werden. Es erfolgt nur eine geringfügige Erhöhung des Bodenwasseranteils in den unteren Bodenschichten. Die niedrigen Wasseranteile im Bereich von 50 cm sind durch einen hohen Grobkornanteil von 32 Masse % in dieser Schicht zu erklären.

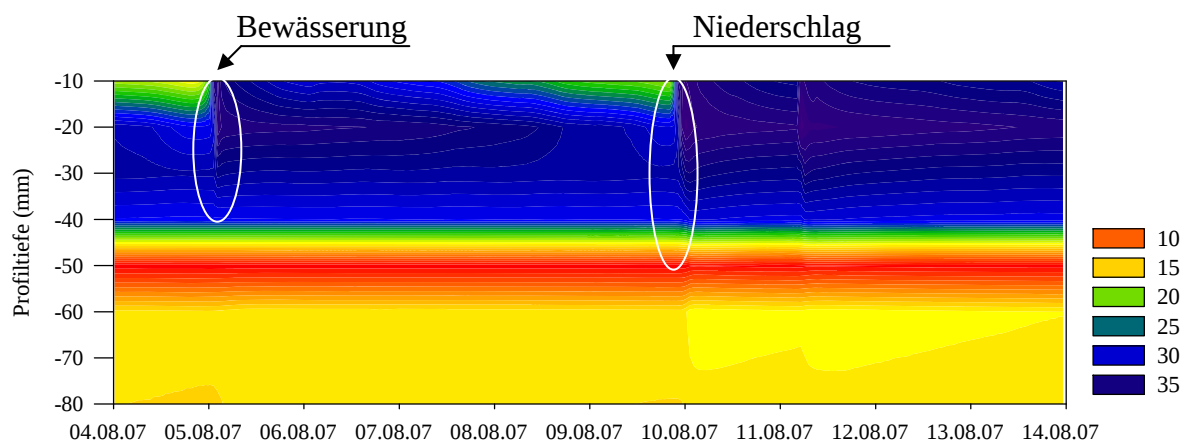


Abbildung 3-13 Bodenwasseranteil am Standort Rutzendorf – Zwiebel, Sensor B2

Dieser Vergleich zeigt schon wie schwierig es ist den optimalen Bewässerungszeitpunkt zu wählen. Vor allem in Hinsicht auf die Unvorhersagbarkeit von Niederschlägen und deren Ergiebigkeit.

4 Ergebnisse

4.1 Überblick über die Verteilung der Bodenarten

In Abbildung 5-1 ist das Ergebnis der Korngrößenanalyse der Bodenproben in das Österreichische Texturdreieck nach ÖNORM L 1050 eingetragen.

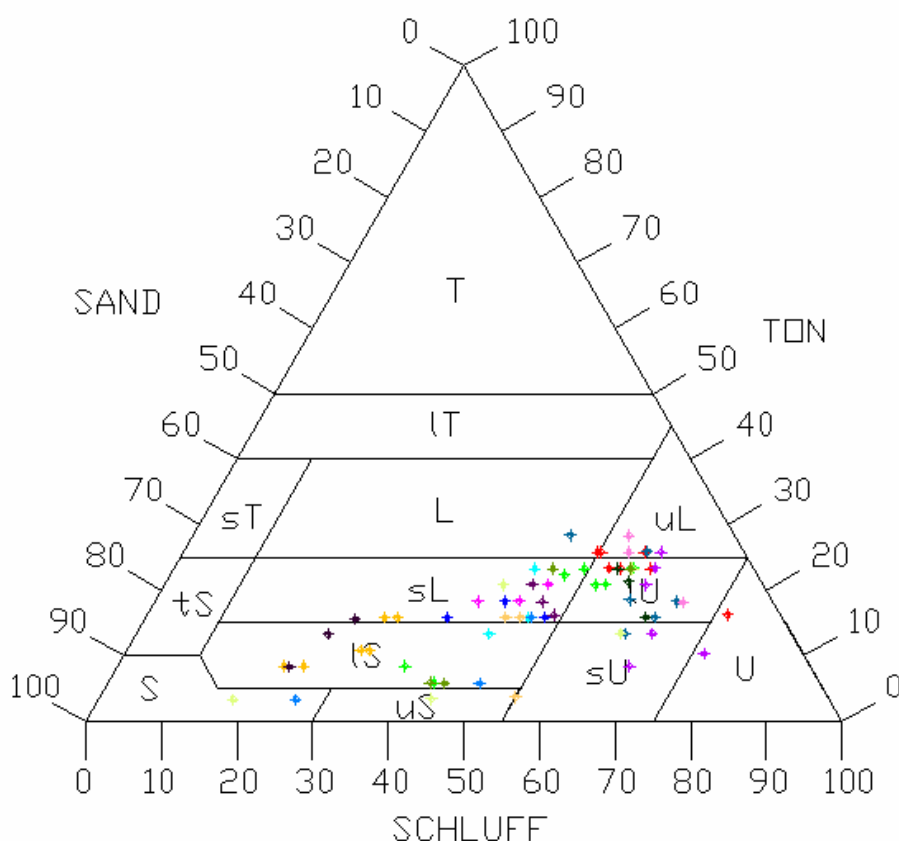


Abbildung 4-1 Österreichisches Texturdreieck und ermittelte Bodenarten

Aus dem Texturdreieck ist ersichtlich, dass die Bodenarten der unterschiedlichen Versuchsflächen stark variieren. Es ist jedoch eine Konzentration der Bodenarten im Bereich des schluffigen Lehmes (uL), lehmigen Schluffes (sL) und sandigem Lehms (sL) zu erkennen. Allgemein ist ein hoher Schluffanteil an fast allen Standorten zu erkennen. Nur am Standort Aderklaa wurde ein hoher Sandanteil festgestellt.

4.2 Vergleich der Transferfunktionen

Zur Steuerung der Bewässerung in Abhängigkeit des Bodenwassergehaltes ist die Kenntnis der Werte Feldkapazität und Permanenter Welkepunkt von besonderer Bedeutung. Jene wurden durch eine Transferfunktion (BAUMER, 1989) und über Literaturwerte (ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENKUNDE, 1988) aus dem Feinkornanteil und dem Humusgehalt für alle Bodenproben ermittelt und einander gegenübergestellt. Zur Auswertung wurden nur jene Bodenarten herangezogen welche mindestens fünf Mal vorkamen und die Größen gemittelt.

Bodenart	Bezeichnung	Sandanteil (%)	Schluffanteil (%)	Tonanteil (%)
Sl3	mittel lehmiger Sand	48 - 82	10 - 40	8 - 12
Sl4	stark lehmiger Sand	43 - 78	10 - 40	12 - 17
Slu	schluffig-lehmiger Sand	33 - 52	40 - 50	8 - 17
Lu	Schluffiger Lehm	5 - 33	50 - 65	17 - 30
Uls	Sandig-lehmiger Schluff	18 - 42	50 - 65	8 - 17
Ut3	Mittel toniger Schluff	0 - 23	65 - 88	12 - 17

Tabelle 4-1 Bezeichnung und Grenzwerte der verglichenen Bodenarten des deutschen Texturdreieckes

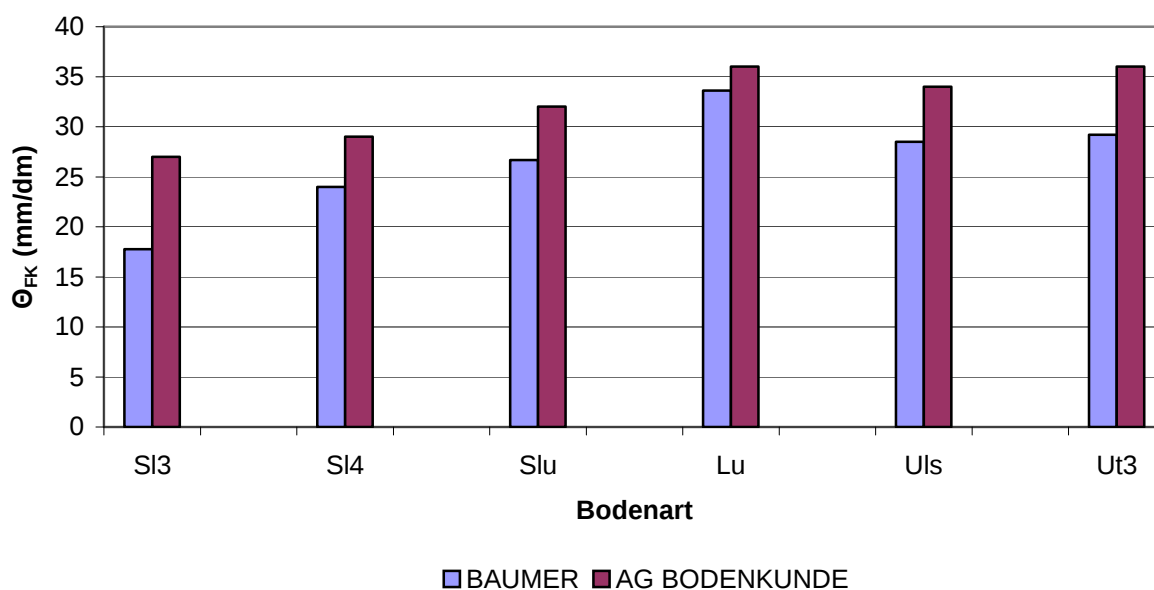


Abbildung 4-2 Vergleich Feldkapazität

Es zeigt sich, dass die Werte der Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde (1988) für alle Bodenarten über den ermittelten Werten nach Baumer (1989) liegen.

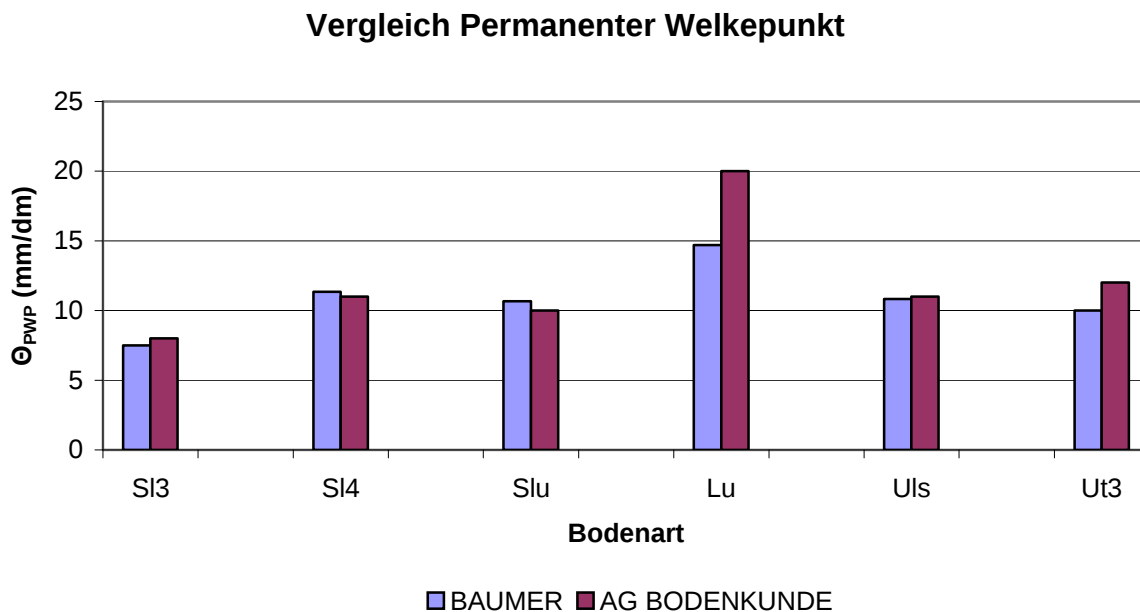


Abbildung 4-3 Vergleich Permanenter Welkepunkt

Abbildung 4-3 zeigt den Vergleich der Werte des permanenten Welkepunktes. Hier ist eine gute Übereinstimmung gegeben. Einzig bei der Bodenart Schluffiger Lehm ist ein größerer Unterschied zu erkennen. Dieser entsteht durch einen Sprung von 12 mm/dm auf 20 mm/dm an der Trennlinie von 17 Masseprozent Tongehalt bei sonst ähnlichen Schluff und Sandgehalt. Der Unterschied in der Feldkapazität spiegelt sich auch in einem höheren Wert der nutzbaren Kapazität wieder, welcher die Dauer bis zur nächsten Bewässerung erhöht.

4.3 Ergebnisse der Sensormessungen

4.3.1 Niederschlagsverlauf Vegetationsperiode 2007

In der Periode vom 01.05.2007 bis 08.10.2007 war mit einem Gesamtniederschlag von 455 mm niederschlagsreich. Dies ist jedoch stark auf die beiden Ereignisse vom 20.08 mit 65,2 mm und den Niederschlag vom 05.09 bis 07.09 mit insgesamt 123,2 mm, in denen 40 % des Niederschlages in der Vegetationsperiode fielen, zurückzuführen. Im Zeitraum vom 01.05 bis Mitte August traten nur kleine Niederschläge bis zu 10 mm auf mit einer Summe von 194 mm. Der Wert der Referenz-Evapotranspiration in diesen Zeitraum liegt jedoch bei 400 mm wodurch eine zusätzliche Bewässerung gerechtfertigt ist.

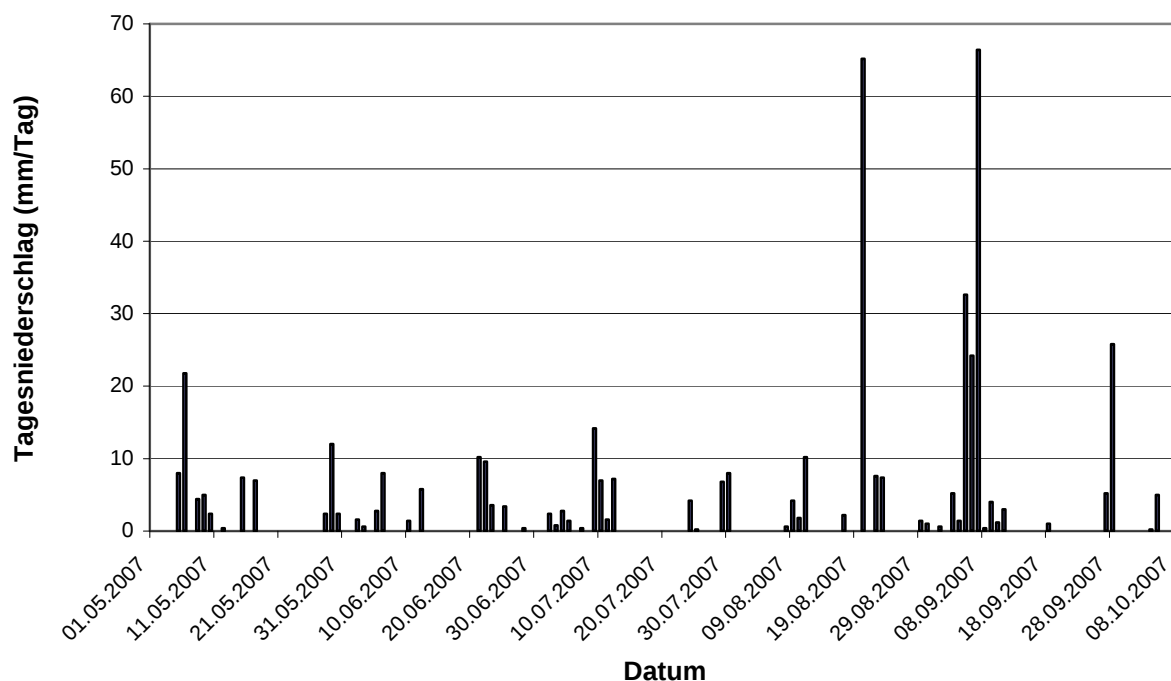


Abbildung 4-4 Tagesniederschläge 2007, 01.05.2007 bis 08.10.2007

4.3.2 Vergleichsergebnisse 2007

Bei der Auswertung wurden die beiden Starkregen-Ereignisse vom 20.08 und 05.09 bis 07.09 nicht berücksichtigt.

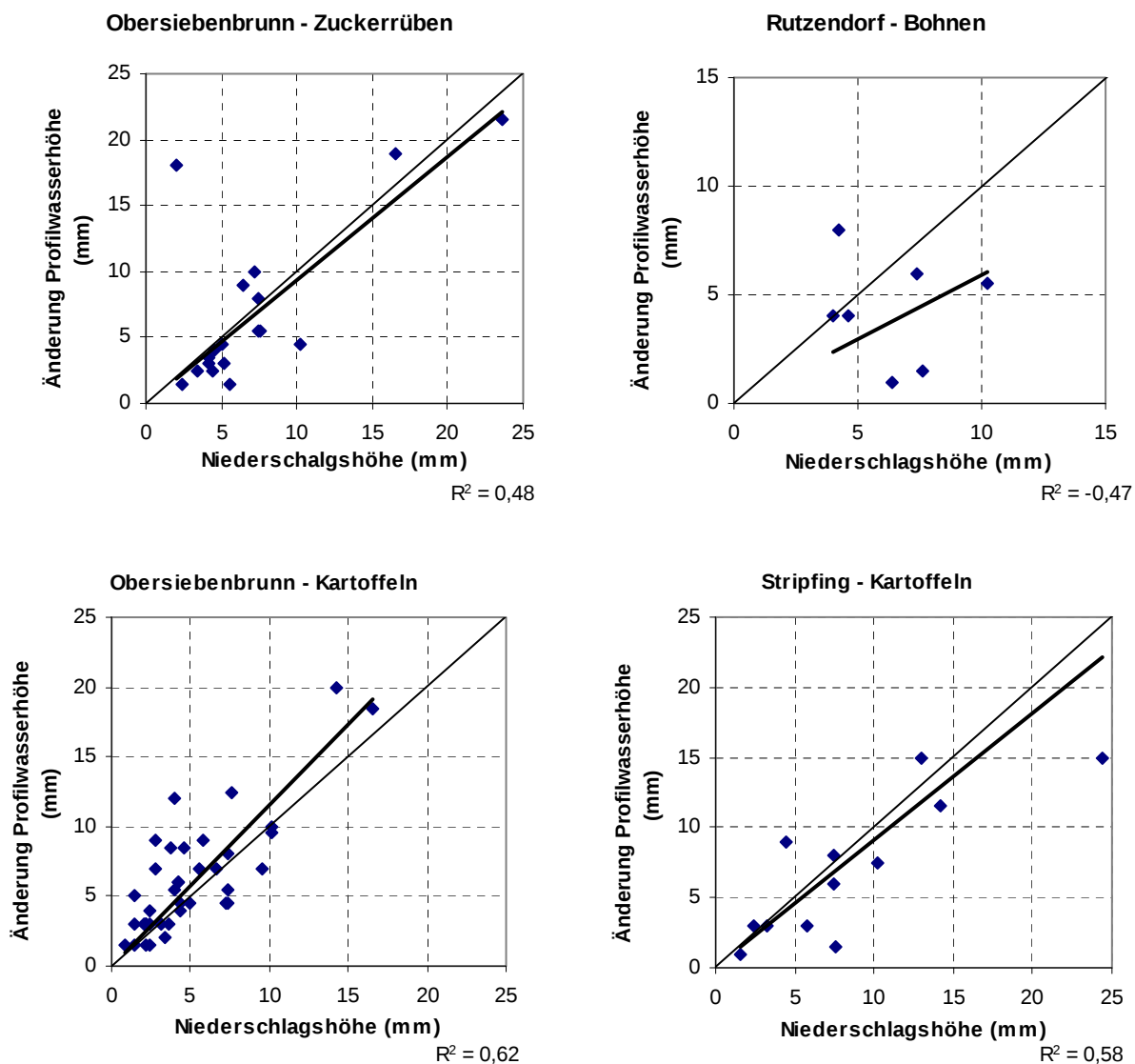


Abbildung 4-5 Vergleich Niederschlagshöhe und Änderung Profilwasserhöhe

Legende:

• ...Datenpunkt — ...Trendlinie — ...1:1 Linie R^2 ...Korrelationskoeffizient

Die Gegenüberstellung am Standort Obersiebenbrunn – Zuckerrüben zeigt bei Niederschlägen unter 5 mm zu geringe Werte für die Messung, dies ist jedoch bei einigen Standorten zu beobachten. Das Ergebnis wird jedoch stark durch das Niederschlagsereignis vom 02.07 beeinflusst an dem eine Änderung der Profilwasserhöhe von 18 mm, eine gemessener Niederschlagshöhe von 2 mm gegenübersteht.

Die Messung am Standort Rutzendorf – Bohnen zeigt keine Übereinstimmung der Messwerte mit den Niederschlagsdaten. Dies ist vermutlich auf einen schlechten Einbau des Sensors zurückzuführen. Die Daten wurden daher beim Gesamtvergleich nicht berücksichtigt.

Die Daten am Standort Obersiebenbrunn – Kartoffeln weisen eine gleichmäßige Streuung um die 1:1 Linie auf. Der Korrelationskoeffizient von 0,62 repräsentiert eine Genauigkeit die auch im Mittel von allen Sensoren erreicht wurde.

Die Messwerte am Standort Stripfing – Kartoffeln wiesen eine breite Streuung um die 1:1 Linie auf. Der Korrelationskoeffizient von 0,58 liegt zwar nur geringfügig unterhalb des durchschnittlichen Werts, die Messwerte streuen jedoch zu sehr um von einem guten Ergebnis zu sprechen.

4.3.2.1 Messstelle Rutzendorf

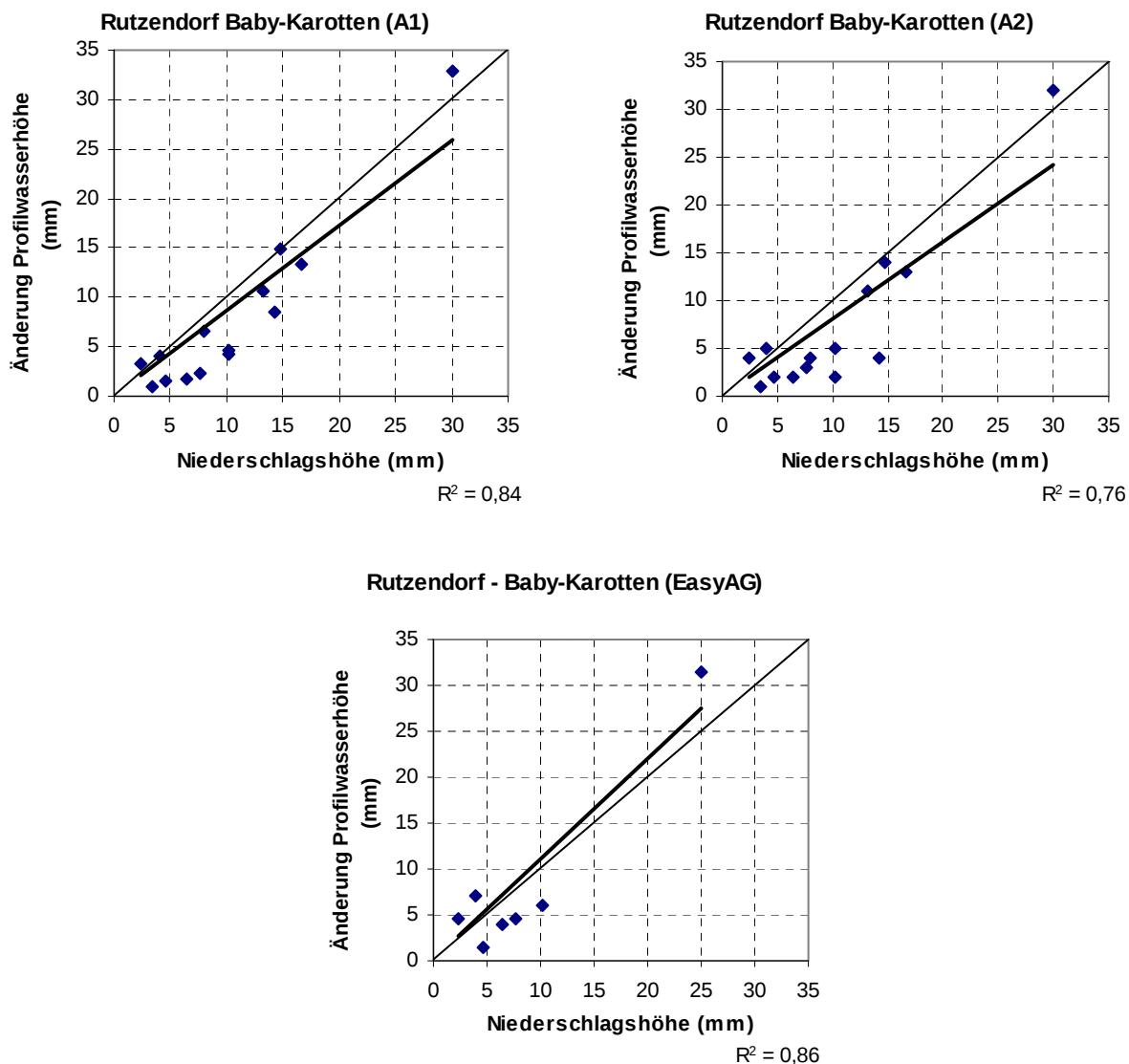


Abbildung 4-6 Vergleich Niederschlagshöhe und Änderung Profilwasserhöhe der Einzelsensoren, Standort Rutzendorf Baby-Karotten

Der Vergleich am Standort Rutzendorf Baby-Karotten im Jahr 2007 zeigt eine geringfügig bessere Übereinstimmung der Messwerte mit den Niederschlagshöhen für den Adcon-EasyAG Sensor als bei den beiden EnviroSCAN Sensoren. Dies ist jedoch auch darauf zurückzuführen, dass für den Adcon-EA Sensor eine kürzere Aufzeichnungsperiode vorhanden war und dadurch nur wenige Niederschlagsereignisse zur Auswertung vorhanden waren. Bei Reduktion der Ereignisse an den Sensoren A1 und A2 auf die Periode vom 09.08 bis 11.09.2007 weisen beide Sensoren ebenfalls einen Korrelationskoeffizienten von 0,89 auf.

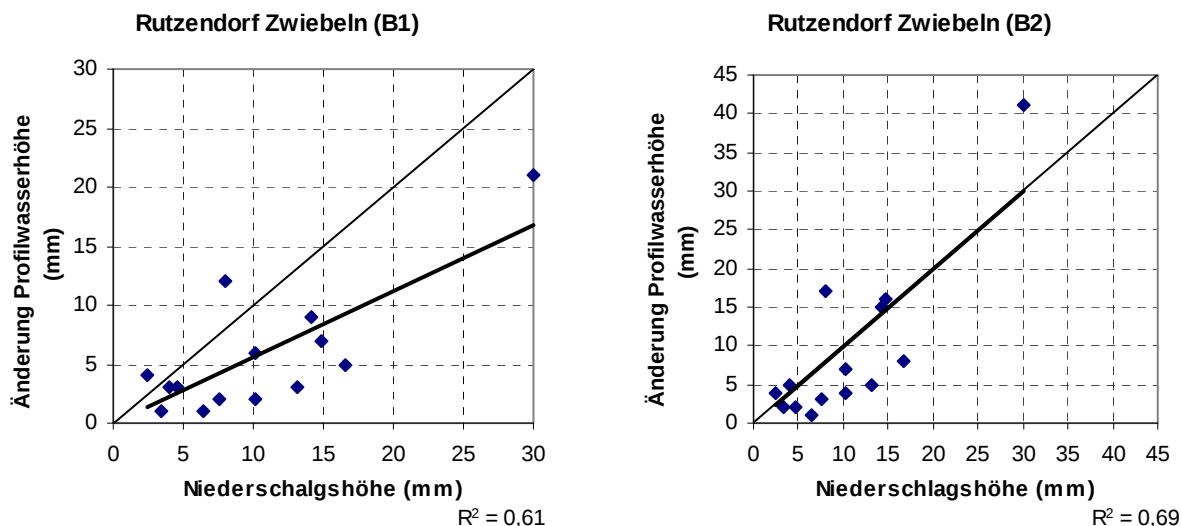


Abbildung 4-7 Vergleich Niederschlagshöhe und Änderung Profilwasserhöhe der Einzelsensoren, Standort Rutzendorf Zwiebeln

Der Vergleich brachte ein deutlich schlechteres Ergebnis als am Baby – Karotten Feld. Der Vergleich mit der 1:1 Linie zeigt besonders bei Sensor B1, dass der Sensor zu geringe Werte im Vergleich mit den Niederschlagshöhen anzeigt.

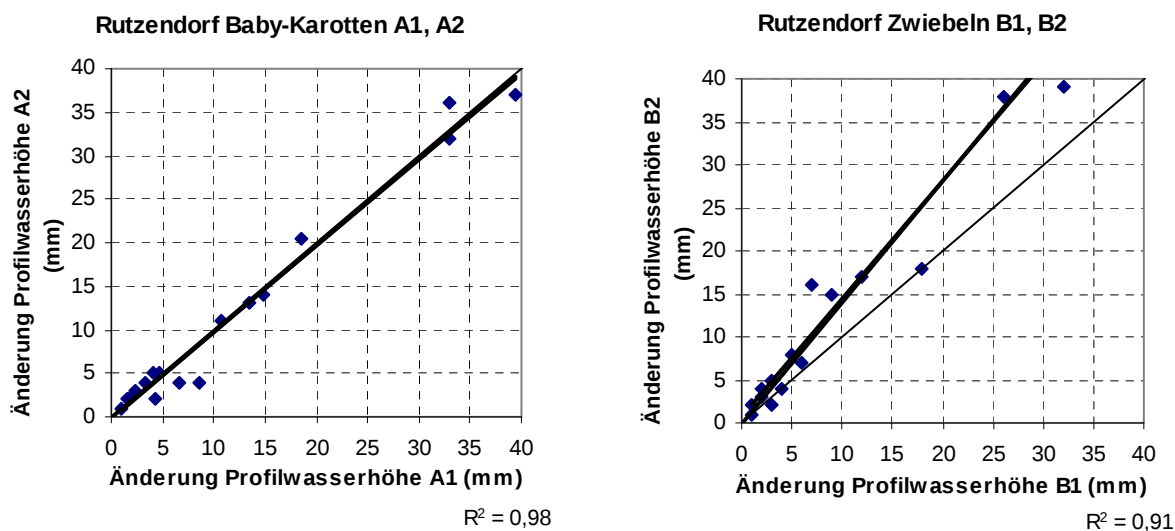


Abbildung 4-8 Änderung Profilwasserhöhe der Sensoren A1, A2 am Standort Rutzendorf Baby-Karotten und B1, B2 am Standort Rutzendorf Zwiebel

Im Gegensatz zum Vergleich mit den Niederschlagsdaten zeigt die Gegenüberstellung der Messdaten der EnviroSCAN Sensoren eine wesentlich bessere Korrelation. Am Standort Baby-Karotten liegen fast alle Datenpunkte nahe der 1:1 Linie. Am Standort Rutzendorf Zwiebel zeigt sich wie schon zuvor eine schlechtere Übereinstimmung.

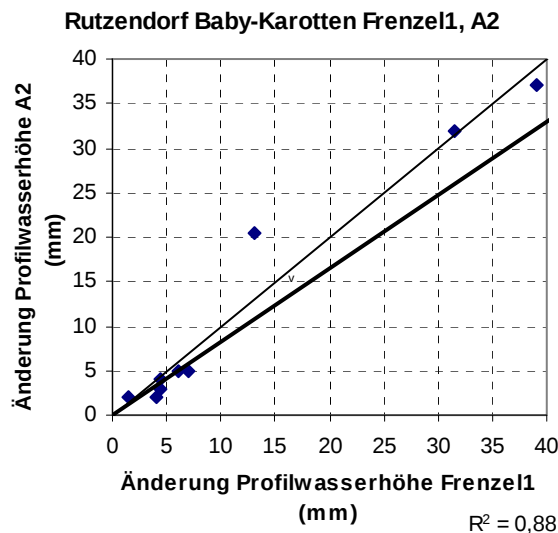


Abbildung 4-9 Änderung Profilwasserhöhe des Adcon-EasyAG Sensors und des Sensors A2 am Standort Rutzendorf Baby-Karotten

Der Vergleich zwischen dem Sensor A2 und dem Adcon-EasyAG Sensor, der 30 cm daneben platziert wurde, weist bis auf ein Niederschlagsereignis am 06.09 mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,89 eine gute Übereinstimmung auf.

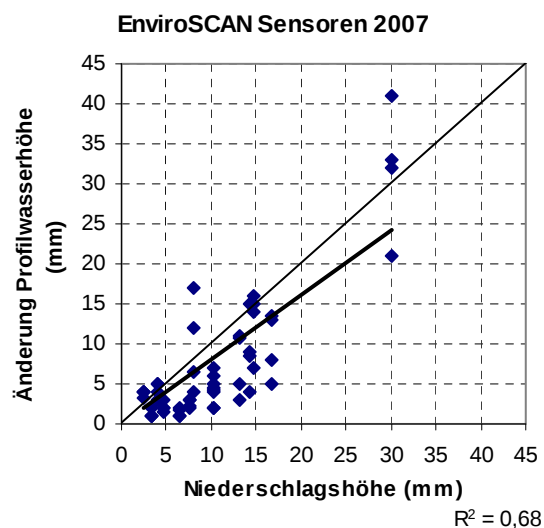
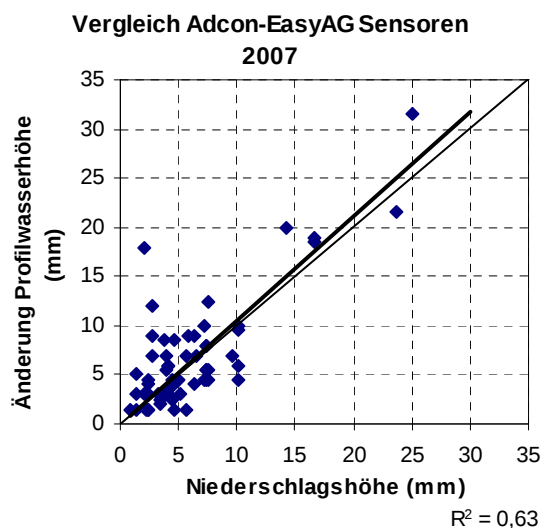


Abbildung 4-10 Vergleich Adcon-EasyAG und EnviroSCAN Sensoren 2007

Der Vergleich aller Messwerte für die beiden Sensoren zeigte mit den Regressionskoeffizienten von 0,63 und 0,68, wie in Abbildung 4-10 ersichtlich, nur einen sehr geringen Unterschied auf. Auffällig ist hier das die Messwerte der Adcon-EasyAG Sensoren gleichmäßig um die 1:1 Linie streuen, jene der EnviroSCAN Sensoren jedoch größtenteils darunter liegen.

4.3.3 Niederschlagsverlauf Vegetationsperiode 2008

Die Periode vom 16.05.2008 bis zum 08.10.2008 war mit einem Gesamtniederschlag, gemessen in Obersiebenbrunn, von 390 mm niederschlagsärmer als im Vorjahr. Aus Abbildung 4-11 ist jedoch ersichtlich dass die Niederschlagsverteilung über den Zeitraum wesentlich gleichmäßiger war als 2007. Die Referenz-Evapotranspiration, im Zeitraum vom 16.05.2008 bis zum 08.10.2008, ist mit 480 mm jedoch wesentlich höher als im Vorjahr.

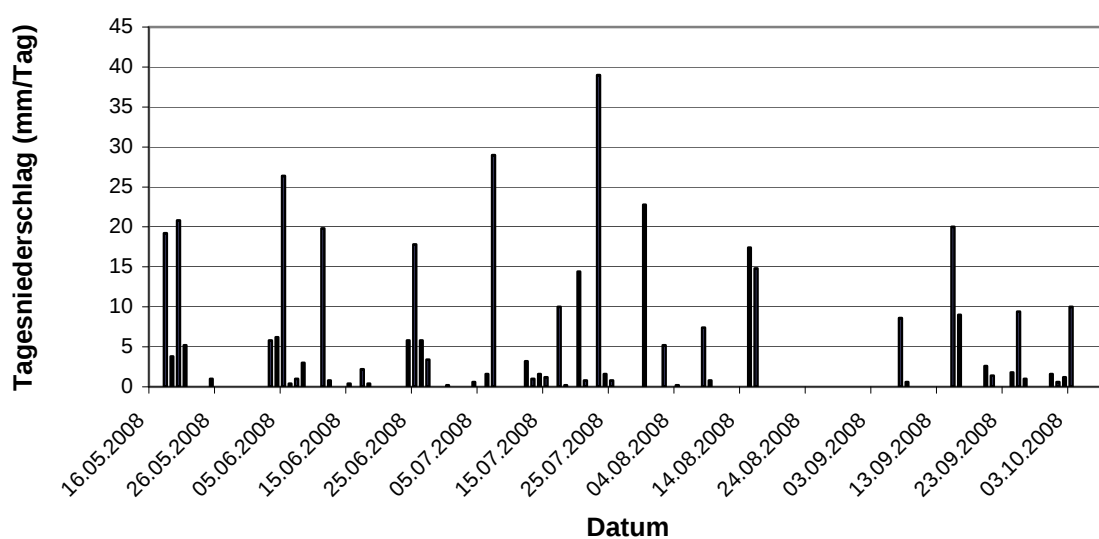
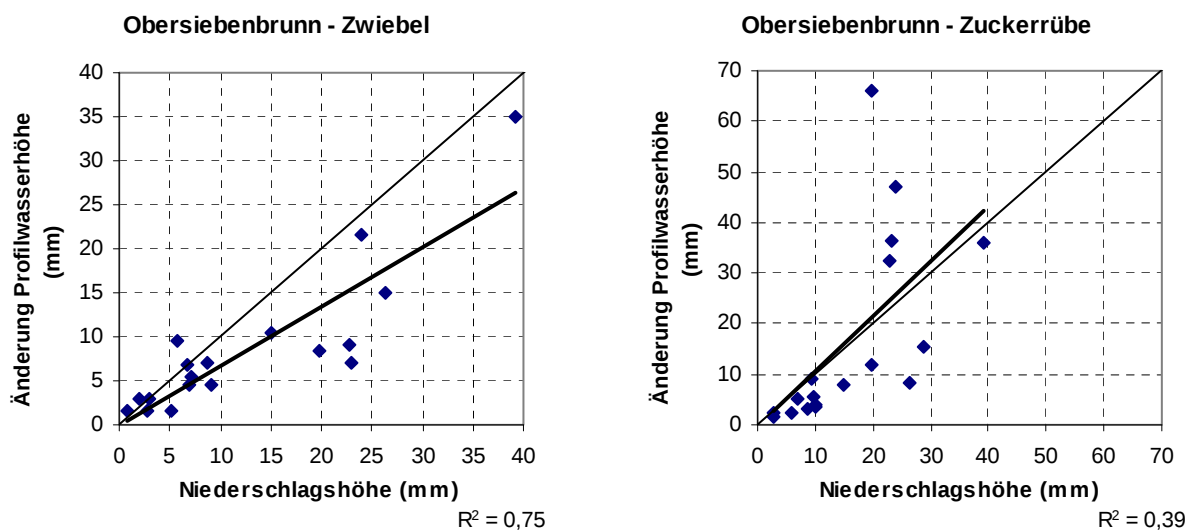


Abbildung 4-11 Tagesniederschläge 2008, 16.05.2008 bis 08.10.2008

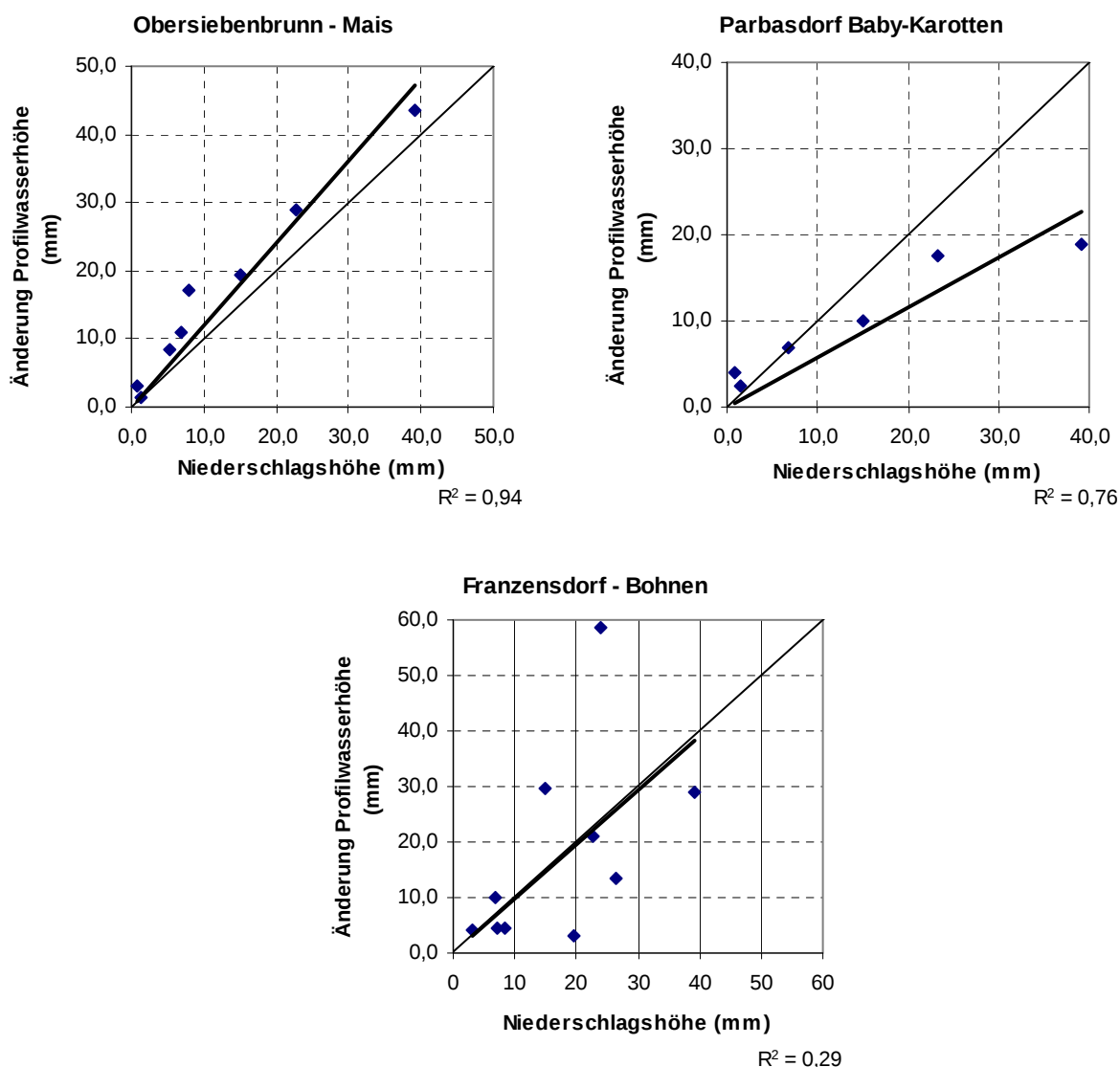
4.3.4 Vergleichsergebnisse 2008



**Abbildung 4-12 Vergleich Niederschlagshöhe und Änderung Profilwasserhöhe
 Obersiebenbrunn Zwiebel und Obersiebenbrunn Zuckerrübe**

Die Messwerte am Zwiebelfeld weisen besonders im Niederschlagsbereich von 20 bis 30 mm zu geringe Werte für die Änderung der Profilwasserhöhe aus. Darunter ist eine bessere Übereinstimmung gegeben, welche einen relativ hohen Korrelationskoeffizienten von 0,75 ergibt.

Die Datenpunkte am Standort Obersiebenbrunn Zuckerrüben ergeben keine Übereinstimmung mit den Messwerten, dies ist besonders bei Niederschlägen über 10 mm ersichtlich. Dies ist möglicherweise auf einen schlechten Einbau des Sensors zurückzuführen.



**Abbildung 4-13 Vergleich Niederschlagsmesswerte und Änderung Profilwasserhöhe
Obersiebenbrunn Mais, Parbasdorf Baby-Karotten und Franzensdorf Bohnen**

Die Datenpunkte der Messung am Maisfeld weisen, bei geringfügig größeren Werten der gemessenen Profilwasseränderung, einen guten Zusammenhang mit den Niederschlagswerten auf.

Am Standort Parbasdorf kamen nur sechs Niederschlagsereignisse zur Auswertung wodurch es schwierig ist eine Aussage über die Qualität der Messung zu treffen.

Die Messwerte am Standort Franzensdorf zeigen nur vereinzelt eine Übereinstimmung mit den Niederschlagswerten. Dies muss vermutlich wieder auf einen schlechten Einbau des Sensors zurückgeführt werden.

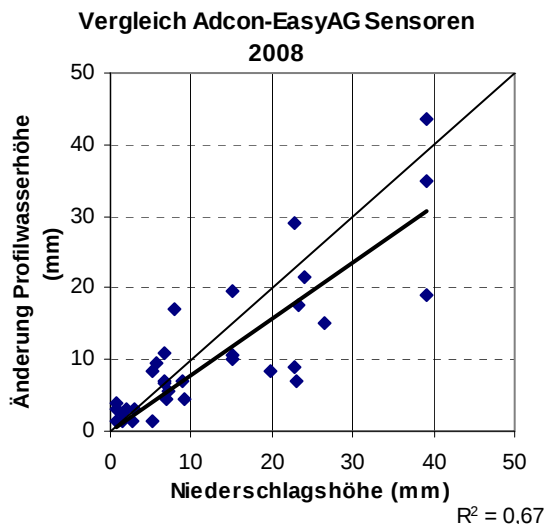
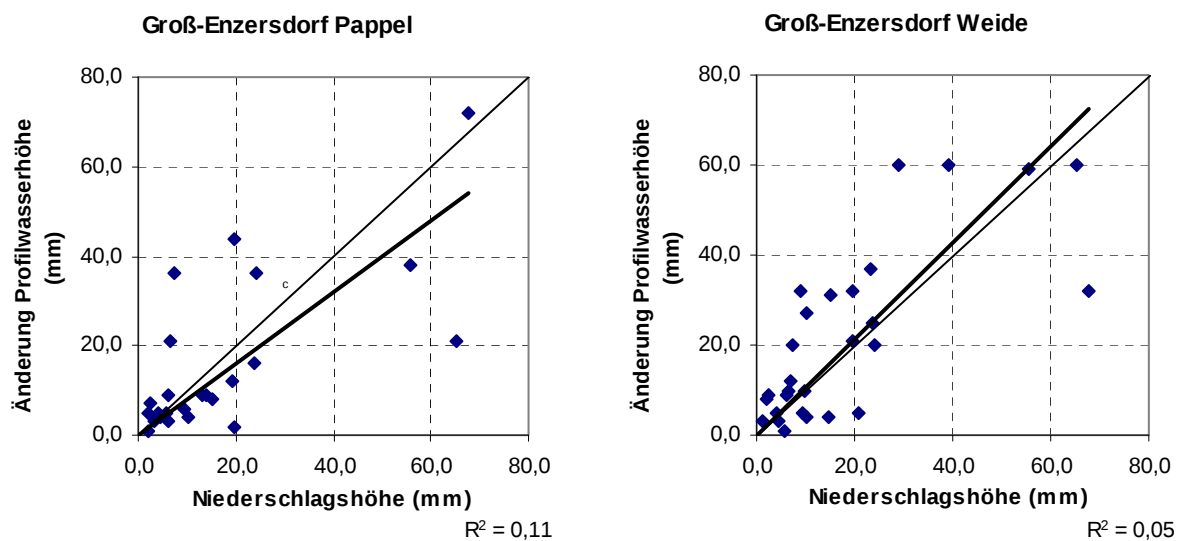


Abbildung 4-14 Vergleich Adcon-EasyAG Sensoren 2008

Der Korrelationskoeffizient von 0,67 liegt etwas über jenem des Vorjahres. Es kamen jedoch wesentlich weniger Messwerte zur Auswertung, wodurch der Wert weniger aussagekräftig ist.

4.3.5 Ergebnisse der zweijährigen Standorte



**Abbildung 4-15 Vergleich Niederschlagshöhe und Änderung Profilwasserhöhe
Groß-Enzersdorf**

Sowohl am Standort Pappel als auch am Standort Weide konnte keine gute Übereinstimmung der Messwerte mit den Niederschlagshöhen festgestellt werden.

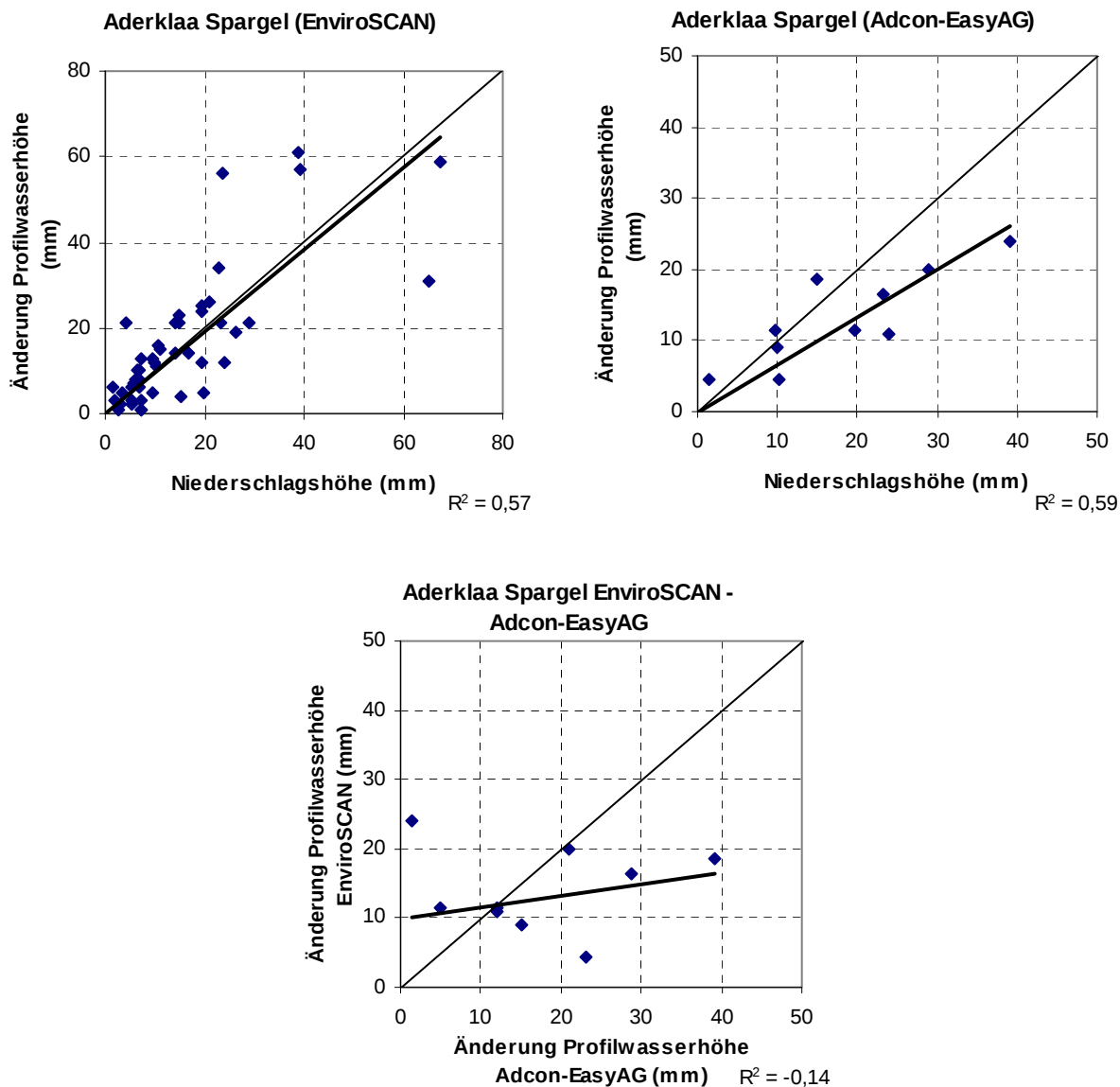


Abbildung 4-16 Vergleich Niederschlagshöhe und Änderung Profilwasserhöhe

Aderklaa Spargel

Nur am EnviroSCAN Sensor wurden die Daten für beide Jahre aufgezeichnet. Im Jahr 2007 konnte keine Funkverbindung zwischen der Sendestation und der Wetterstation hergestellt werden. Durch eine Aufstellung einer zusätzlichen Station in der Nähe des Feldes konnte 2008 eine Aufzeichnung erfolgen. Daher konnten nur wesentlich weniger Niederschlagsereignisse ausgewertet werden. Der ES Sensor weist besonders im Bereich hoher Niederschläge eine große Streuung der Datenpunkte um die 1:1 Linie auf. Der Vergleich der Änderungen der Profilwasserhöhen, für die auswertbaren Niederschlagsereignisse, weisen keinen Zusammenhang auf.

4.3.6 Vergleich Bewässerung und Messung

Obersiebenbrunn Zuckerrübe 2007

Start	Ende	Bewässerungshöhe (mm)	Änderung Profilwasserhöhe (mm)
03.07.2007 18:30	04.07.2007 05:15	30	31
20.07.2007 12:00	20.07.2007 20:00	30	44
26.07.2007 08:00	26.07.2007 20:45	30	40
07.08.2007 18:00	08.08.2007 04:45	30	51
18.08.2007 07:00	18.08.2007 14:15	30	38

Obersiebenbrunn Kartoffel 2007

Start	Ende	Bewässerungshöhe (mm)	Änderung Profilwasserhöhe (mm)
26.05.2007 00:00	26.05.2007 10:15	25	75
05.06.2007 17:30	06.06.2007 01:15	25	60
14.06.2007 06:00	15.06.2007 04:00	25	74
21.06.2007 06:15	21.06.2007 23:00	25	58
30.06.2007 18:45	01.07.2007 01:30	25	58
20.07.2007 11:00	21.07.2007 05:00	25	67
27.07.2007 06:45	28.07.2007 00:15	25	57
06.08.2007 06:45	06.08.2007 22:15	25	63

Obersiebenbrunn Zuckerrüben 2008

Start	Ende	Bewässerungshöhe (mm)	Änderung Profilwasserhöhe (mm)
13.08.2008 20:00	14.08.2008 04:00	35	11
28.08.2008 22:00	29.08.2008 06:00	35	23
11.09.2008 18:00	12.09.2008 06:00	35	47

Tabelle 4-2 Vergleich Bewässerungsdaten – Profilwasseränderung

Der Vergleich, der von den Landwirten angegebenen Bewässerungsmengen, mit den Bodenwasseränderungen zeigt besonders im Jahr 2007 weit höhere Werte. Besonders deutlich fällt dies am Standort Obersiebenbrunn – Kartoffeln im Jahr 2007 aus. Die Messung ergibt teils um 2- bis 3-fach höhere Werte. Dies lässt den Schluss zu, dass die Wassergaben, die meist durch die Erfahrung der Landwirte abgeschätzt werden, höher sind als angenommen. Eine genauere Messung mittels Wasserzähler oder die Kontrolle durch eine Bodenfeuchtemessung könnte hier eine Reduktion des Bewässerungswassers ermöglichen. Dadurch kann eine Schonung des Grundwasserkörpers erreicht und eine Auswaschung von Nährstoffen vermieden werden.

4.3.7 Gegenüberstellung Wasserbilanz und Messwerte für einzelne Standorte im Versuchsjahr 2007

Obersiebenbrunn Kartoffeln

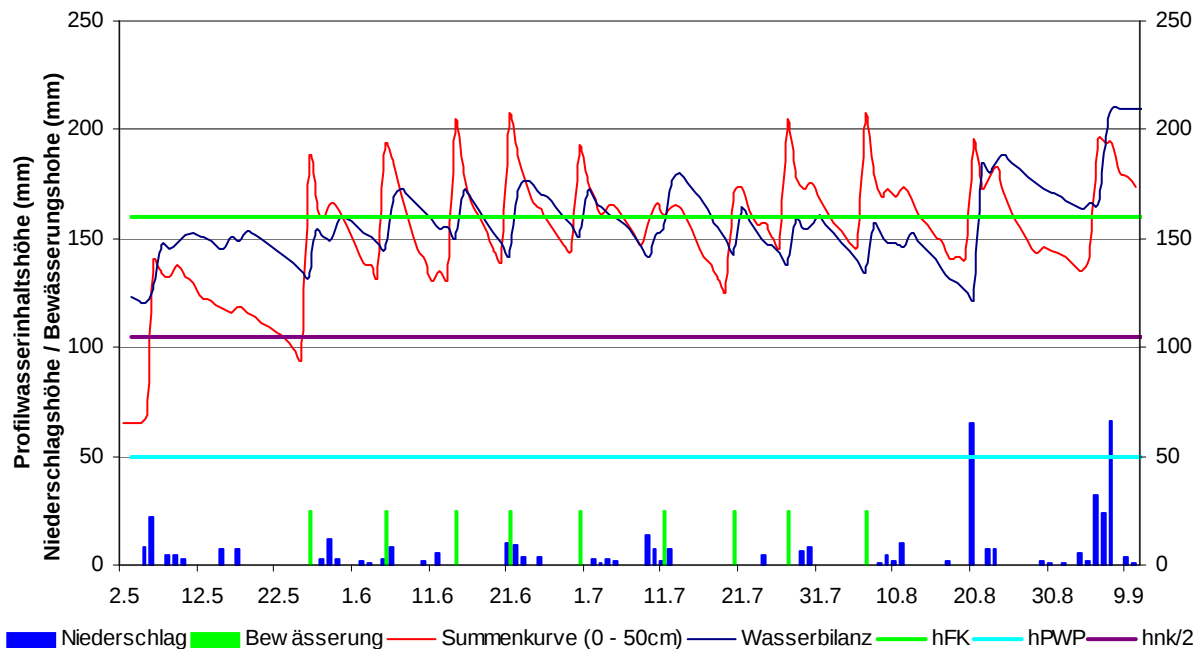


Abbildung 4-17 Wasserbilanz Obersiebenbrunn Kartoffeln 2007

$$h_{FK} = \sum_0^i \Theta_{FK_i} * D_i \quad h_{PWP} = \sum_0^i \Theta_{PWP_i} * D_i \quad \frac{h_{nK}}{2} = 0,5 * \sum_0^i \Theta_{FK_i} - \Theta_{PWP_i}$$

Die Wassergehalte Θ_{FK} und Θ_{PWP} sind im Anhang aufgelistet. Die Streifenbreite D des jeweiligen Profilabschnittes sind in Kapitel 3.4.1 aufgelistet.

Als Anfangswassergehalt für die Wasserbilanz wurden jener der Bodenproben gewählt, die beim Einbau der Sensoren entnommen wurden. Für die Berechnung wurden jeweils die gemessenen Niederschlagsmengen der Wetterstation Obersiebenbrunn und für die Bewässerung die Daten der Landwirte herangezogen.

Der zuvor gezeigte Unterschied zwischen den angegebenen Bewässerungshöhen und den gemessenen Profilwasserinhaltsänderungen sind in Abbildung 4-17 deutlich durch die weit größere Erhöhung der Messwerte gegenüber der Wasserbilanz ersichtlich.

Die Wasserbilanz, unter Berücksichtigung des Anfangswassergehalts, weist für die Periode vom 25.06 bis 15.08 (vor dem Niederschlag vom 20.08), mit +20 mm einen positiven Wert aus. Bei Ermittlung der Bilanz mit den gemessenen Bewässerungsmengen liegt der Wert mit +310 mm weit im Positiven. Dies zeigt, auch bei Berücksichtigung der Messungenauigkeiten, dass Wassereinsparungen möglich sind.

Rutzendorf Baby-Karotten Sensoren A1, A2

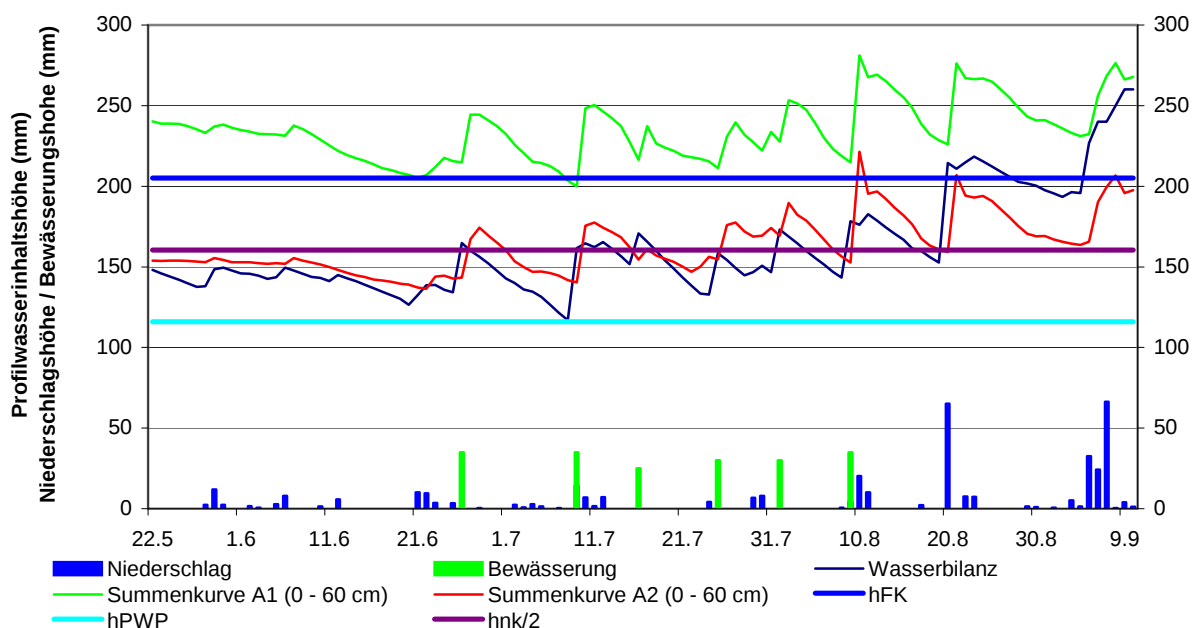


Abbildung 4-18 Wasserbilanz Rutzendorf – Baby-Karotten, Sensoren A1, A2

$$h_{FK} = \sum_0^i \Theta_{FK_i} * D_i \quad h_{PWP} = \sum_0^i \Theta_{PWP_i} * D_i \quad \frac{h_{nK}}{2} = 0,5 * \sum_0^i \Theta_{FK_i} - \Theta_{PWP_i}$$

Die Messwerte des Sensors A1 liegen deutlich über jenen des Sensors B1 und den Werten der Wasserbilanz. Ansonsten ist eine gute Übereinstimmung der relativen Änderungen gegeben. Wie schon die Auswertung in Abbildung 4-6 zeigte. Die Verschiebung dürfte auf die Normalisierung des Sensoren zurückzuführen sein.

Die Wasserbilanz für die Periode vom 22.05.2007 bis 15.08.2007 ist mit 16,7 mm leicht Positiv. Auf die Bewässerung von 09.08 hätte verzichtet werden können da der darauffolgende Niederschlag die Profilwasser über den Wert der Feldkapazität anhebt.

Rutzendorf Zwiebel Sensoren B1, B2

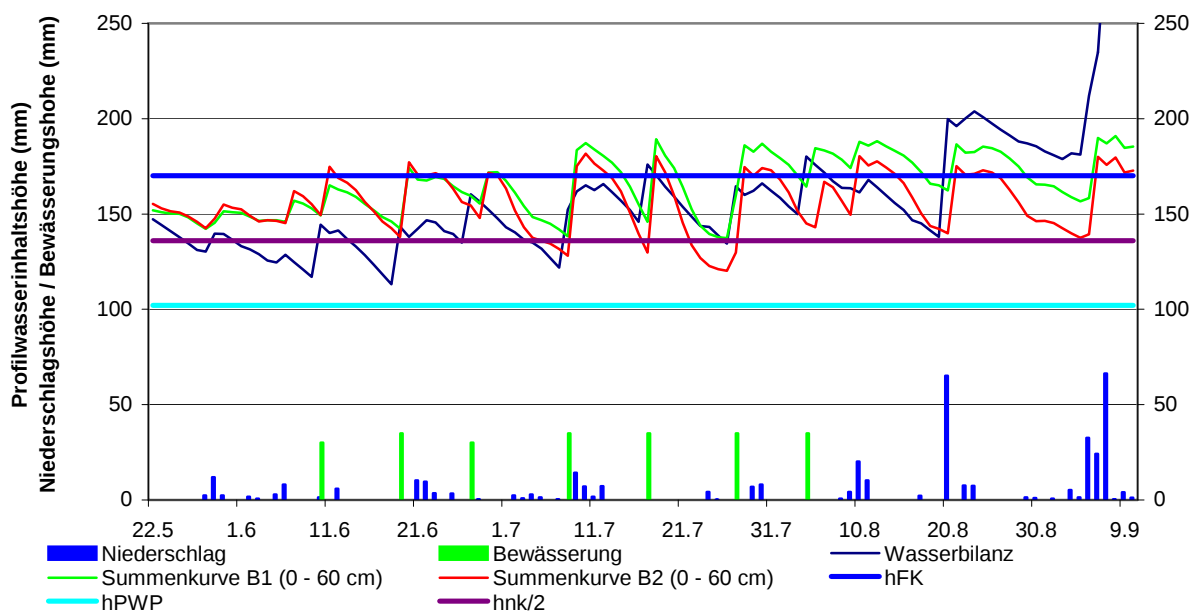


Abbildung 4-19 Wasserbilanz Rutzendorf – Zwiebeln, Sensoren B1, B2

$$h_{FK} = \sum_0^i \Theta_{FK_i} * D_i \quad h_{PWP} = \sum_0^i \Theta_{PWP_i} * D_i \quad \frac{h_{nK}}{2} = 0,5 * \sum_0^i \Theta_{FK_i} - \Theta_{PWP_i}$$

Die Messwerte der Sensoren sowie die Wasserbilanzlinie liegen in den meisten Bereichen zwischen der Feldkapazität und dem 50 % Wert der nutzbaren Kapazität ($h_{nK}/2$) welcher als Startzeitpunkt für die Bewässerung angegeben wird. Nur im Anfangsbereich der Vegetationsperiode zeigten die Werte der Wasserbilanz geringer Werte auf. Dies ist möglicherweise auf die Wahl zu großer Werte für die Pflanzenkoeffizienten zurückzuführen. Der Starke Anstieg der Wasserbilanzlinie am Ende der Vegetationsperiode wird durch die hohen Niederschläge vom 05.09 bis 07.09 bedingt.

Die Wasserbilanz weist mit einem Wert von +5,4 mm im Zeitraum vom 22.05.2007 bis 15.08.2007 einen fast ausgeglichenen Wert auf. Dies lässt auf eine gute Wahl der Berechnungsmengen und Zeitpunkte schließen.

Obersiebenbrunn Zuckerrüben

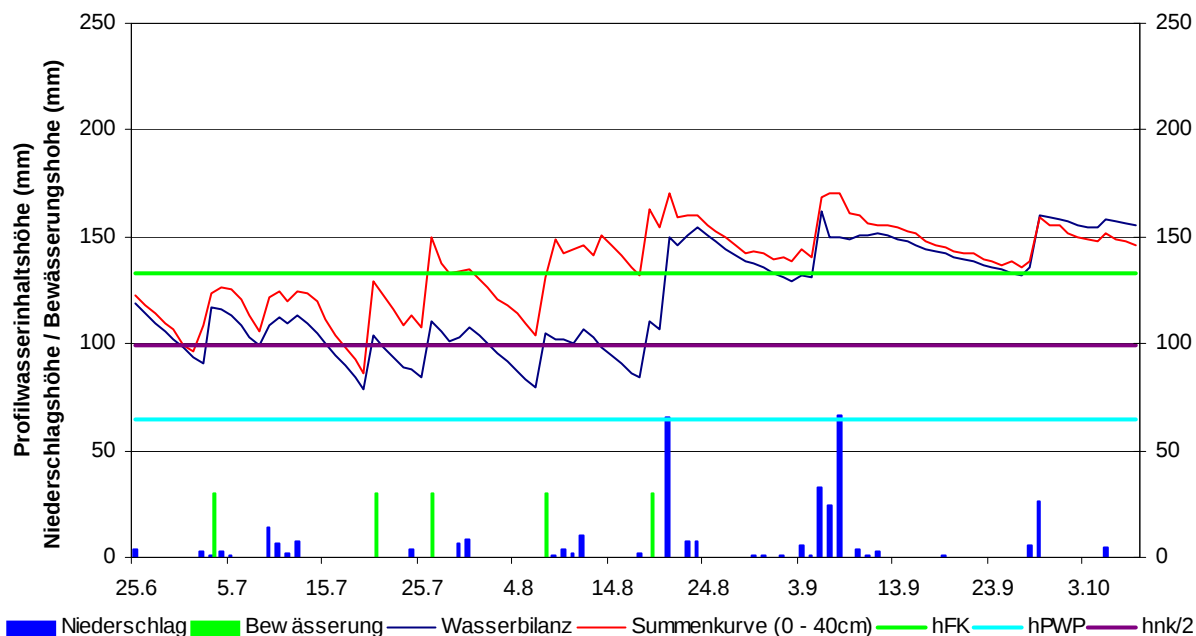


Abbildung 4-20 Wasserbilanz Obersiebenbrunn Zuckerrüben 2007

$$h_{FK} = \sum_0^i \Theta_{FK_i} * D_i \quad h_{PWP} = \sum_0^i \Theta_{PWP_i} * D_i \quad \frac{h_{nK}}{2} = 0,5 * \sum_0^i \Theta_{FK_i} - \Theta_{PWP_i}$$

Die Summenkurve liegt bis zum Niederschlag vom 20.08 größtenteils im gewünschten Bereich zwischen Feldkapazität und dem 50%-Wert der nutzbaren Kapazität. Die letzte Berechnung hätte, bei Betrachtung der Messwerte, auf einen späteren Zeitpunkt verschoben werden können und wäre durch den Niederschlag vom 20.08 nicht mehr notwendig gewesen. Die Messwerte liegen noch im Bereich der Feldkapazität und es ist auch keine Abflachung der Messkurve, die auf einen Wasserstress der Pflanze hinweisen würde, ersichtlich.

Die Wasserbilanz bis zum 18.10 weist einen Wert von +22 mm auf. Nach dem 20.08 fallen die Werte der Messung nicht mehr unter den Wert der Feldkapazität. Dieser sollte jedoch nach 2 bis 3 Tagen wieder erreicht werden.

4.3.8 Gegenüberstellung Wasserbilanz und Messwerte für einzelne Standorte im Versuchsjahr 2008

Obersiebenbrunn Zuckerrüben

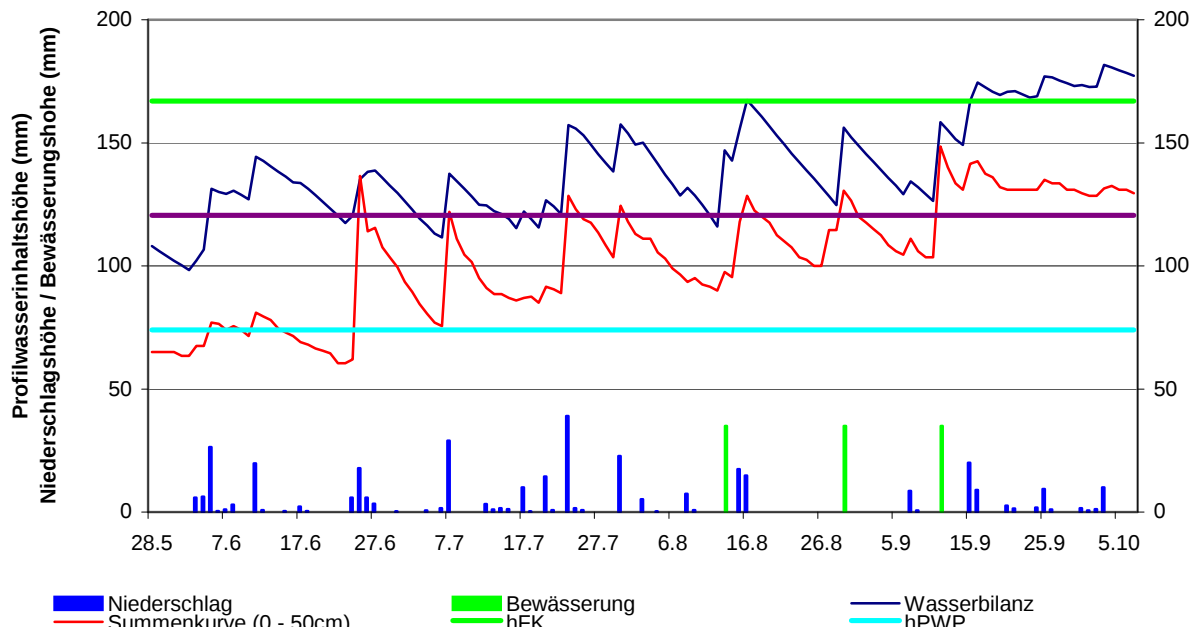


Abbildung 4-21 Wasserbilanz Obersiebenbrunn Zuckerrüben 2008

$$h_{FK} = \sum_0^i \Theta_{FK_i} * D_i \quad h_{PWP} = \sum_0^i \Theta_{PWP_i} * D_i \quad \frac{h_{nK}}{2} = 0,5 * \sum_0^i \Theta_{FK_i} - \Theta_{PWP_i}$$

Die Messwerte am Beginn der Vegetationsperiode weisen einen Wert unterhalb des Permanenten Welkepunktes auf, was mit dem Wassergehalt der beim Einbau der Sensoren entnommenen Bodenproben nicht übereinstimmt. Die Kurve sollte vermutlich etwas nach oben verschoben werden. Dies zeigt sich auch im Verlauf der Kurve. Der Knick zwischen dem steil abfallenden Ast der Kurve und der Abflachung (zwischen 07.07. und 27.07.), liegt weit unter der 50 % Linie.

Die Niederschläge vom 25.06 bis zum 27.06 weisen im Vergleich zur Wasserbilanz einen überproportional hohen Anstieg der Messwerte auf.

Die Wasserbilanz weist einen positiven Wert von 67 mm auf. Diesbezüglich hätte auf die letzte Berechnung möglicherweise verzichtet werden können.

Obersiebenbrunn Zwiebeln

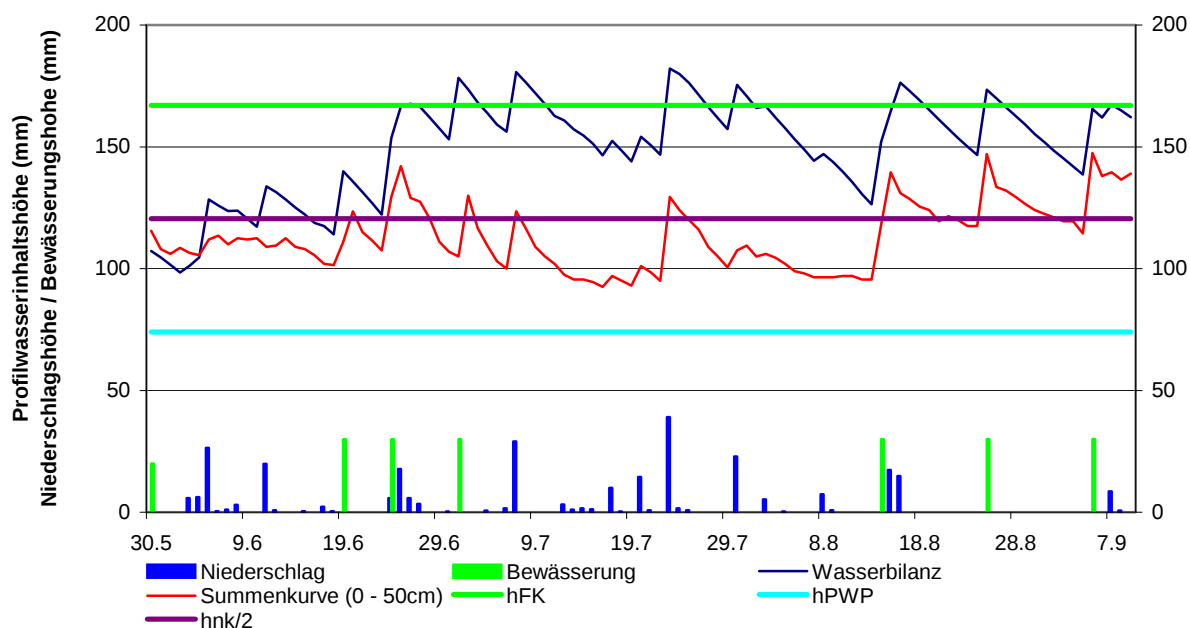


Abbildung 4-22 Wasserbilanz Obersiebenbrunn Zwiebel

$$h_{FK} = \sum_0^i \Theta_{FK_i} * D_i \quad h_{PWP} = \sum_0^i \Theta_{PWP_i} * D_i \quad \frac{h_{nK}}{2} = 0,5 * \sum_0^i \Theta_{FK_i} - \Theta_{PWP_i}$$

Die Kurven zeigen, dass die Messwerte, im Gegensatz zur Wasserbilanz, bei jeder Bewässerungsgabe deutlich unter dem Wert der Feldkapazität liegen. In den Tagen vom 24.06 bis zum 27.06 erfolgte zusätzlich zu den Niederschlägen eine Bewässerung. Der Anstieg des gemessenen Bodenwasseranteils fiel jedoch wesentlich geringer aus als der Anstieg der Wasserbilanz. Vermutlich, da im gemessenen Bodenprofil ein Wasseranteil nahe der Sättigung erreicht wurde. Dies lässt den Schluss zu, dass die Absolutwerte der Messkurve zu gering sind und eine Verschiebung der gesamten Kurve nach oben oder eine Anpassung des 50% Wertes und der Feldkapazität sinnvoll wären. Dies zeigt sich auch wieder durch eine Abflachung der Kurve in einem Bereich unterhalb der 50 % Linie. Durch Steuerung der Bewässerung hätte man vermutlich zwei Bewässerungsgaben ersparen können. Dies zeigt sich auch in der Wasserbilanz mit einem Wert von +72 mm für die gesamte Vegetationsperiode.

4.3.9 Vergleich der Wasseranteile der Bodenproben mit den Messdaten

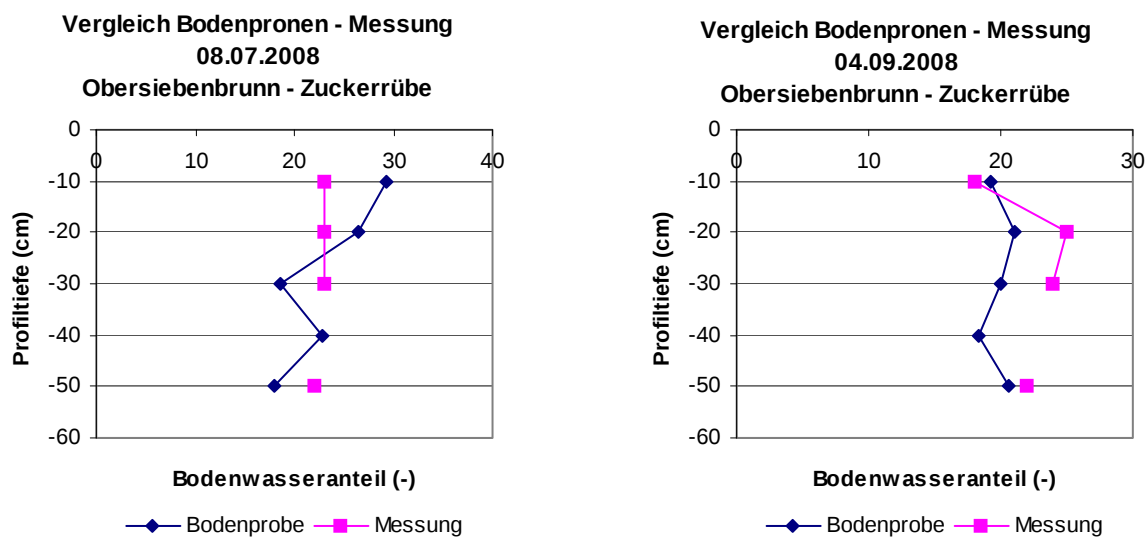


Abbildung 4-23 Bodenwasseranteil Bodenproben und Messung

Obersiebenbrunn – Zuckerrübe

Wie auch schon der Vergleich mit den Niederschlagsereignissen, zeigt auch der Vergleich mit den Bodenproben keine befriedigende Übereinstimmung mit den Messwerten.

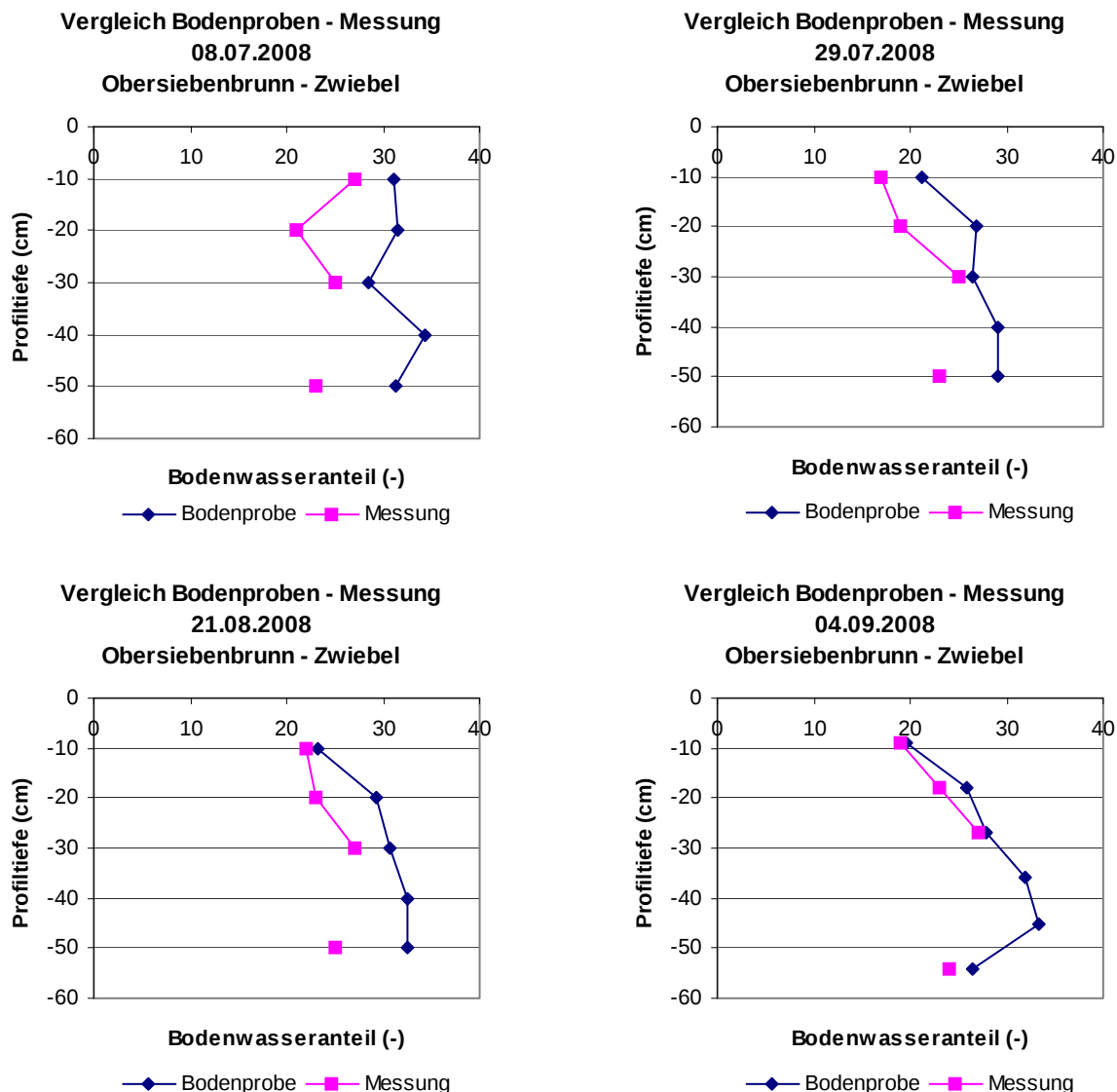


Abbildung 4-24 Bodenwasseranteil Bodenproben und Messung

Obersiebenbrunn – Zwiebel

Der Vergleich zeigt bei der ersten Probenahme am 08.08.2007 noch eine deutliche Abweichung von den Messdaten auf. Die folgenden Vergleiche zeigen jedoch eine immer bessere Übereinstimmung der Werte mit den Messdaten. Bei der letzten Probenahme, am 04.09.2007 lässt sich in allen Profiltiefen eine gute Übereinstimmung erkennen. Dies ist möglicherweise durch einen zunächst schlechten Bodenschluss durch den Einbau zu erklären, der sich im Laufe der Vegetationsperioden verbesserte.

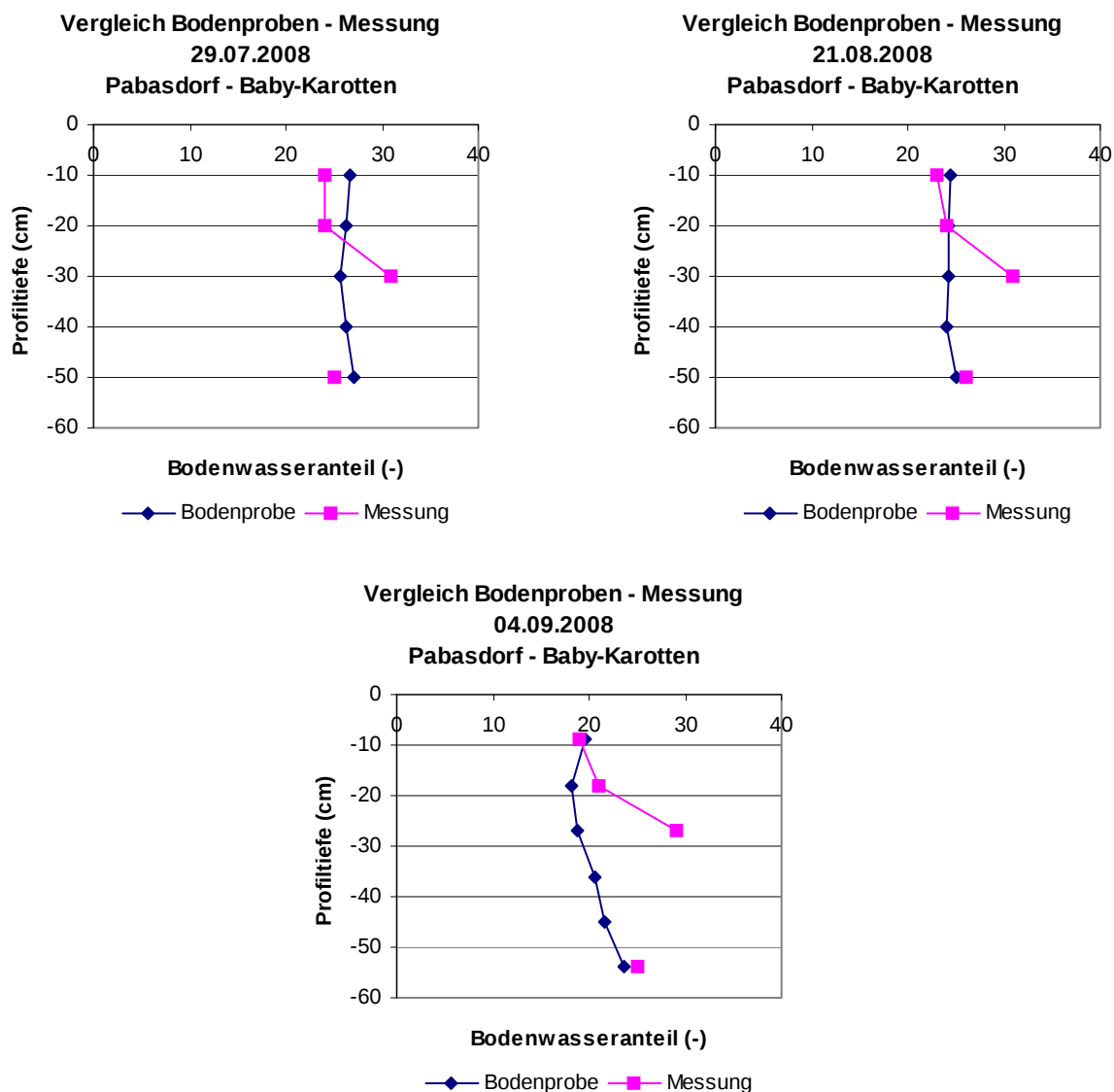


Abbildung 4-25 Bodenwasseranteil Bodenproben und Messung

Parbasdorf Baby - Karotten

Die Messwerte in den Profielen 10, 20, und 50 cm weisen eine gute Übereinstimmung mit dem Wasseranteilen der Bodenproben auf. Auffällig sind die Messwerte des Sensors in 30 cm. Sie liegen bei allen Vergleichen deutlich über den Probenwerten. Dies liegt möglicherweise an einer schlechten Normalisierung des Sensors und könnte somit durch eine Korrektur der Normalisierungswerte für Wasser und Luft verbessert werden.

5 Diskussion

Die gemessenen Profilwasseränderungen zeigten, dass die ermittelten Bewässerungshöhen höher waren als die von den Landwirten angegebenen Wassermengen. Durch die höheren tatsächlichen Bewässerungswassermengen kann es neben einem unnötigen Verbrauch von Beregnungswasser zu erhöhten Versickerungsmengen und zu einem verstärkten Eintrag von Schadstoffen - insbesondere von Nitrat - in das Grundwasser kommen. Dies kann in der Regel zu einer weiteren Verschlechterung der Grundwasserqualität führen.

Um den Einsatz von Bewässerungswasser zu optimieren, ist der Einsatz von Sensoren zur Messung des Bodenwasseranteils eine praktikable Lösung. Dies ist besonders durch die ständige Verfügbarkeit der aktuellen Adcon-EasyAG Messwerte über das Internet möglich. Der Bewässerungszeitpunkt sowie die Beregnungsmenge kann jederzeit festgelegt und die aufgebrauchte Wassermenge kontrolliert werden.

Ein Nachteil scheint derzeit noch die geringe praktische Erfahrung mit den Messsystemen zu sein. Weitere Versuche sollen mögliche Fehlerquellen wie sie beim Einbau oder der Normalisierung entstehen minimieren. Vor allem ein sorgfältiger Einbau, der einen guten Kontakt zwischen Rohr und Boden gewährleisten soll, ist ein entscheidender Faktor für die Qualität der Messdaten.

Eine Kalibrierung zur Erzielung genauer Wasseranteilswerte ist für die Anwendung der Sensoren zur Bewässerungssteuerung für Landwirte zu aufwändig und kostenintensiv. Durch laufenden Einsatz können jedoch Erfahrungen gesammelt werden, um durch Interpretation der Änderung des Bodenwasseranteils die Bewässerung zu steuern. Ebenso sollten die Niederschlags- und Bewässerungshöhen am Feld ermittelt werden, um genauere Werte für den Vergleich zu erhalten. Daten von naheliegenden Wetterstationen können durch kleinräumige Abweichungen des Niederschlags speziell in der Vegetationsperiode die Steuerung beeinflussen.

Durch die geringe Sendereichweite der Daten-Logger (1 km) ist, bei einer großflächigen Anwendung der Adcon-EasyAG Sensoren, auf ein ausreichend dichtes Relaisnetz zur Datenweiterleitung zu achten, um Ausfälle und Datenlücken zu vermeiden.

Bezüglich der Messintervalle der Adcon-EasyAG Sensoren könnte anstelle von 15 min auch ein 1 h Intervall gewählt werden. Die Datenmenge würde sich dadurch merklich verkleinern und der Informationsverlust wäre eher gering.

6 Zusammenfassung

Die Region Marchfeld mit seinen hochwertigen Ackerböden ist eine der intensivst landwirtschaftlich genutzten Flächen Österreichs. Zur Erzielung ausgeglichener Erträge ist klimabedingt eine Bewässerung besonders bei Feldgemüse und Hackfrüchten erforderlich.

Die Wasserentnahme erfolgt fast ausschließlich aus dem Grundwasser. Dies führte durch zu hohe Bewässerungsmengen zu Schwankungen im Grundwasserspiegel und durch Versickerung zu einem Eintrag von Schadstoffen in das Grundwasser. Eine Optimierung der Bewässerung kann diesem Trend entgegenwirken.

In den Jahren 2007 und 2008 wurde jeweils auf 10 bzw. 11 Feldern der zeitliche Verlauf des Bodenwassergehaltes mittels Rohrsonden gemessen. Die Kulturen der Standorte waren Kartoffel, Zwiebel, Bohnen, Karotten, Baby-Karotten, Zuckerrübe, Mais, Spargel, Pappel und Weide. Zur Anwendung kamen die auf dem FDR-Messprinzip basierenden Sensoren EnviroSCAN und Adcon-EasyAG. Die Erfassung der Daten erfolgte bei den EnviroSCAN Sensoren durch ein periodisches Auslesen vor Ort und bei den Adcon-EasyAG Sensoren über das Adcon Funknetz.

Ziel der Diplomarbeit war die Untersuchung der praxisrelevanten Anwendbarkeit der Sensortypen zur Messung des Bodenwasseranteils für eine Bewässerungssteuerung.

Von den im Jahr 2007 entnommenen Bodenproben wurden die Korngrößenverteilung und der Humusgehalt bestimmt. Über diese wurden die Werte der Feldkapazität und des Permanenten Welkepunktes, welche für eine Steuerung über den Bodenwassergehalt sinnvoll sind, durch eine Transferfunktion und über Tabellenwerte abgeschätzt.

Die Relativänderungen des Bodenwasseranteiles infolge eines Niederschlages oder einer Bewässerung wurden ermittelt. Diese wurden den Niederschlagsdaten der Wetterstation Obersiebenbrunn und den von den Landwirten aufgezeichneten Bewässerungsmengen gegenübergestellt. Der Vergleich zeigte, dass die Relativänderungen bei sorgfältigem Einbau der Sensoren gut widerspiegelt werden. Da diese für die Bewässerungssteuerung von vorrangiger Bedeutung sind, stellen die Messsysteme dieser Arbeit eine praktikable Lösung für eine Bewässerungssteuerung dar. Besonders vorteilhaft ist hierbei die ständige Verfügbarkeit der aktuellen Daten der Adcon-EasyAG Sensoren über das Internet.

Die im Jahr 2007, bei den Adcon-EasyAG Sensoren, auftretenden Messwertschwankungen konnten durch einen Tausch der Messplatinen, vor dem neuerlichen Einbau 2008, beseitigt werden.

An einigen Messstellen konnte keine Übereinstimmung mit den Niederschlagswerten festgestellt werden, was jedoch auf einen schlechten Einbau zurückgeführt wurde.

Zur Untersuchung der Reproduzierbarkeit der Messungen wurden neben den Einzelmessstellen zwei Standorte mit zwei und drei Sonden pro Feld aufgebaut. Es zeigte sich eine bessere Übereinstimmung der Relativwertänderungen zwischen den Sensoren am Standort als mit den Niederschlagsdaten.

Allgemein zeigte der Vergleich der beiden Sensortypen eine geringfügig bessere Korrelation der Messdaten mit den Niederschlagsdaten bei den EnviroSCAN Sensoren gegenüber den Adcon-EasyAG Sensoren. Ein Vorteil der Adcon-EasyAG Sensoren liegt jedoch bei den geringeren Investitionskosten. Dem gegenüber stehen jedoch die höheren Kosten die der Betrieb, die Wartung und die laufende Betreuung des Funknetzwerkes und der Webanwendungen verursachen.

Beim Vergleich der Bewässerungsdaten mit den Messdaten zeigte sich, dass die gemessenen Werte meist deutlich über den angegebenen Werten der Landwirte liegen. Daraus kann geschlossen werden, dass durch einen Einsatz der Sensoren und Beurteilung der Messwerte während der Bewässerung eine Wassereinsparung erreicht werden kann.

Dies zeigt sich auch anhand der berechneten Wasserbilanzen, welche der Messung gegenübergestellt wurden. Bei Steuerung der Bewässerung durch die Sensoren hätten einzelne Bewässerungsgaben verschoben oder gänzlich entfallen können.

Die beiden Versuchsjahre zeigten, dass ein praktischer Einsatz der Messsysteme für eine Bewässerungssteuerung gegeben ist. Die Qualität der Messwerte kann durch sorgfältige Normalisierung und Einbau der Sensoren sowie einer laufenden Funktionsprüfung verbessert werden.

7 Literaturverzeichnis

- Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde (1988): In Bodenkundliche Kartieranleitung / Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden der Geologischen Landesämter und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe der Bundesrepublik Deutschland. Hrsg. von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und den Geologischen Landesämtern in der Bundesrepublik Deutschland 4., verb. u. erw. Auflage 1994
- Allen R.G., Pereira L.S., Dirk R., Smith M. (1998): Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 1998
- Baeumer K. (1992): Allgemeiner Pflanzenbau
- Baumer O. W. 1989: Predicting Unsaturated Hydraulic Parameters. In van Genuchten M., Th. und F.J. Leij. Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils. Proceedings of the International Workshop on Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils, Riverside, California, October 11-13.
- Behr O., Reitering J., Strauch R. (1984): Die landwirtschaftliche Bewässerung im Marchfeld. Forschungsbericht Nr. 5, Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft, TU Wien
- BMLF (Bundesministerium f. Land- und Forstwirtschaft /Hrsg.) (1972): Erläuterungen zur Bodenkarte, Kartierungsbereich Marchegg, KB6. Wien
- BMLF (Bundesministerium f. Land- und Forstwirtschaft /Hrsg.) (1972): Erläuterungen zur Bodenkarte, Kartierungsbereich Groß-Enzersdorf, KB7. Wien
- BMLF (Bundesministerium f. Land- und Forstwirtschaft /Hrsg.) (1975): Erläuterungen zur Bodenkarte, Kartierungsbereich Gänserndorf, KB27. Wien
- Cepuder P., Tuller M, Sagerer A, Suda J. (1998): Grundwasserschonender Ackerbau im Marchfeld. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.
- Cepuder P., Hauer G. (2003): Rohrsonden zur Wasseranteilsbestimmung. 10. Gumpensteiner Lysimetertagung, April 2003
- Cepuder P., Kammerer G., Klik A. (2006): Skriptum Applied Soil Physics. Institut für Hydraulik und Landeskulturelle Wasserwirtschaft, Department Wasser-Atmosphäre-Umwelt, Universität für Bodenkultur Wien
- Cepuder P. (2008): Skriptum Bodenwasserwirtschaft. Institut für Hydraulik und Landeskulturelle Wasserwirtschaft, Department Wasser-Atmosphäre Umwelt, Universität für Bodenkultur Wien
- Doorenbos J., Kassam A.H. (1979): Yield response of water. FAO Irrigation and drainage Paper no. 33 page 1-193
- FAO (1977): Crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 24. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO (1977): Yield response to water. FAO Irrigation and drainage paper 33. Food and Agriculture Organization of the United Nations
- Geesing D., Bachmaier M., Schmidhalter U. (2004): Field calibration of a capacitance soil water probe in heterogeneous fields. Australian Journal of Soil Research Nr.42, page 289-299

- Grubinger H. (2002): Das Marchfeld – Steckbrief einer Region. In: Wasserschatz und Lebensader Marchfeldkanal, 10 Jahre Flutung des Marchfeldkanals – Beginn der Grundwasserwirtschaft
- Kelleners T.J., Soppe R.W.O., Robinson D.A., Schaap M.G., Ayars J.E., Skaggs T.H. (2004): Calibration of Capacitance Probe Sensors using Electric Circuit Theory
- Klik A. (2007): Skriptum Landeskulturelle Wasserwirtschaft und Ressourcenschutz. Institut für Hydraulik und Landeskulturelle Wasserwirtschaft, Department Wasser-Atmosphäre Umwelt, Universität für Bodenkultur Wien
- Musick J.T., Dusek D.A. (1971): Grain sorghum response to number, timing and size of irrigation in the Southern High Plains. trans ASAE 14: S. 401-410
- Niemann M. (1998): Nietratproblematik im Grundwasser des Marchfeldes und die Möglichkeiten einer Sanierung mit Hilfe des Ökologischen Landbaus. Diplomarbeit am Institut für Ökologischen Landbau, BOKU
- Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft (1980): Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft. Nr. 22
- Plaut Z., Meiri A. (1994): Crop Irrigation. In : Management of Water Use in Agriculture, Tanji K.K., Yarin B.
- Scheffer, F., Schachtschnabel P. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde / Scheffer/Schachtschnabel. – 15.Auflage /neu bearbeitet und erw. von Hans-Peter Blume, Gerhard W. Brümmer, Udo Schwertmann, Rainer Horn, Ingrid Kögel-Knabner, Karl Stahr, Karl Auerswald, Lothar Beyer, Anton Hartmann, Norbert Litz, Andreas Scheinost, Helge Stanjek, Gerhard Welp, Berndt-Michael Wilke
- Schume, H.: Standörtliche Zonierung von Eichenökosystemen in Österreich. FIW Forschungsbericht 1993/5 S.118-156
- Schwank M., Green T.R., Mätzler C., Benedickter H., Flühler H. (2006): Laboratory Characterization of a Commercial Capacitance Sensor for Estimating Permittivity and Inferring Soil Water Content. Vadose Zone Journal 2006 page 1048-1064
- Schwank M., Green T.R. (2007): Simulated Effects of Soil Temperature and Salinity on Capacitance Sensor Measurements. Sensors 2007 page 548-577
- Sentek (2001): Calibration of Sentek Pty Ltd Soil Moisture Sensors
- Sentek (1997): EnviroSCAN Hardware Manual, Version 3.0
- Sojka R.E., Stolzy L.H., Fischer R.A. (1981): Seasonal drought response of selected wheat cultivars. Agron Journal 73: S. 838-845
- Sparks W.C. (1973): Dry matter content of apical and basal portions of Russet Burbank potatoes. American Journal of Potato Research. Volume 50, Number 11/Nov. 1973
- Stegmann E.C. (1993): Irrigation scheduling: applied timing criteria. In: Hinnel D. (ed) Advances in Irrig. Sci. 3: S.75-87
- Vollhofer, O. (1995): Gewässermengen- und Güteprobleme im Marchfeld. zit. in Niemann, M. (1998): Nietratproblematik im Grundwasser des Marchfeldes und Möglichkeiten einer Sanierung mit Hilfe des Ökologischen Landbaus.
- Widmoser P. (2001): Be- und Entwässerung. In: Lechner K., Lühr H.P., Zanke U.: Taschenbuch der Wasserwirtschaft. S.485-571

Water Encyclopedia (2005): Surface and Agricultural Water, Band 3, Lehr Jay H., Keeley Jack - Editors

8 Anhang

A Profildaten

Messstellenstandorte 2007

Rutzendorf Baby-Karotten, Sensor A1

Profiltiefe (cm)	Grobbodenanteil in Masseprozent	Feinbodenanteil in Masseprozent	Bodenart Österreich	Bodenkennwerte			Bodenart Deutschland	Bodenkennwerte		
					mm/Schichtstärke	mm/10cm			mm/Schichtstärke	mm/10cm
0 - 20	0,7 C org (%) = 2,32	S 13	uL	Θ_{FK}	72	36	Lu	Θ_{FK}	72	36
		U 61		Θ_{PWP}	32	16		Θ_{PWP}	40	20
		T 26		Θ_{nK}	40	20		Θ_{nK}	32	16
20 - 40	0,6 C org (%) = 2,19	S 22	L	Θ_{FK}	72	36	Lu	Θ_{FK}	72	36
		U 50		Θ_{PWP}	36	18		Θ_{PWP}	40	20
		T 28		Θ_{nK}	36	18		Θ_{nK}	32	16
40 - 60	0,0 C org (%) = 1,56	S 17	IU	Θ_{FK}	60	30	Ut3	Θ_{FK}	72	36
		U 67		Θ_{PWP}	20	10		Θ_{PWP}	24	12
		T 16		Θ_{nK}	40	20		Θ_{nK}	48	24
60 - 80	0,0 C org (%) = 1,30	S 19	IU	Θ_{FK}	62	31	Lu	Θ_{FK}	72	36
		U 63		Θ_{PWP}	24	12		Θ_{PWP}	40	20
		T 18		Θ_{nK}	38	19		Θ_{nK}	32	16
80 - 100	0,0 C org (%) = 0,7	S 13	IU	Θ_{FK}	64	32	Ut3	Θ_{FK}	72	36
		U 69		Θ_{PWP}	24	12		Θ_{PWP}	24	12
		T 18		Θ_{nK}	40	20		Θ_{nK}	48	24
100 - 120	6,8 C org (%) = 0,3	S 22	sU	Θ_{FK}	50	25	Ut3	Θ_{FK}	72	36
		U 65		Θ_{PWP}	16	8		Θ_{PWP}	24	12
		T 13		Θ_{nK}	34	17		Θ_{nK}	48	24

Rohdichtegruppe rt3 (1,46-1,65g/cm³)

Rutzendorf Baby-Karotten, Sensor A2

Profiltiefe (cm)	Grobbodenanteil in Masseprozent	Feinbodenanteil in Masseprozent	Bodenart Österreich	Bodenkennwerte			Bodenart Deutschland	Bodenkennwerte		
					mm/Schichtstärke	mm/10cm			mm/Schichtstärke	mm/10cm
0 - 20	0,1 C org (%) = 2,32	S 13	IU	Θ_{FK}	70	35	Lu	Θ_{FK}	72	36
		U 64		Θ_{PWP}	30	15		Θ_{PWP}	40	20
		T 23		Θ_{nK}	40	20		Θ_{nK}	32	16
20 - 40	0,4 C org (%) = 2,19	S 11	uL	Θ_{FK}	72	36	Lu	Θ_{FK}	72	36
		U 63		Θ_{PWP}	32	16		Θ_{PWP}	40	20
		T 26		Θ_{nK}	40	20		Θ_{nK}	32	16
40 - 60	0,0 C org (%) = 1,56	S 15	IU	Θ_{FK}	66	33	Lu	Θ_{FK}	72	36
		U 64		Θ_{PWP}	26	13		Θ_{PWP}	40	20
		T 21		Θ_{nK}	40	20		Θ_{nK}	32	16
60 - 80	0,0 C org (%) = 1,30	S 18	sU	Θ_{FK}	56	28	Lu	Θ_{FK}	72	36
		U 69		Θ_{PWP}	18	9		Θ_{PWP}	40	20
		T 13		Θ_{nK}	38	19		Θ_{nK}	32	16
80 - 100	0,0 C org (%) = 0,7	S 13	uL	Θ_{FK}	50	25	Us	Θ_{FK}	68	34
		U 79		Θ_{PWP}	24	12		Θ_{PWP}	16	8
		T 8		Θ_{nK}	26	13		Θ_{nK}	52	26
100 - 120	0,0 C org (%) = 0,3	S 24	sU	Θ_{FK}	48	24	Us	Θ_{FK}	68	34
		U 68		Θ_{PWP}	12	6		Θ_{PWP}	16	8
		T 8		Θ_{nK}	36	18		Θ_{nK}	52	26

Rohdichtegruppe rt3 (1,46-1,65g/cm³)

Rutzendorf Baby-Karotten, Sensor Frenzel 1

Profiltiefe (cm)	Grobbodenanteil in Masseprozent	Feinbodenanteil in Masseprozent	Bodenart Österreich	Bodenkennwerte		Bodenart Deutschland	Bodenkennwerte	
				mm/Schichtstärke	mm/10cm		mm/Schichtstärke	mm/10cm
0 - 30	0,2 C org (%) = 2,32	S 14	Lu	Θ_{FK} 111	37	Lu	Θ_{FK} 108	36
		U 58		Θ_{PWP} 54	18		Θ_{PWP} 60	20
		T 28		Θ_{nK} 57	19		Θ_{nK} 48	16
30 - 50	0,9 C org (%) = 2,19	S 15	Lu	Θ_{FK} 72	36	Lu	Θ_{FK} 72	36
		U 59		Θ_{PWP} 32	16		Θ_{PWP} 40	20
		T 26		Θ_{nK} 40	20		Θ_{nK} 32	16
50 - 70	0,0	S 12	U					
		U 70						
		T 18						

Rohdichtegruppe rt3 (1,46-1,65g/cm³)

Rutzendorf Zwiebeln, Sensor B1

Profiltiefe (cm)	Grobbodenanteil in Masseprozent	Feinbodenanteil in Masseprozent	Bodenart Österreich	Bodenkennwerte			Bodenart Deutschland	Bodenkennwerte		
					mm/Schichtstärke	mm/10cm			mm/Schichtstärke	mm/10cm
0 - 20	1,6 C org (%) = 2,2	S 16	lU	Θ_{FK}	70	35	Lu	Θ_{FK}	72	36
		U 61		Θ_{PWP}	32	16		Θ_{PWP}	40	20
		T 23		Θ_{nK}	38	19		Θ_{nK}	32	16
20 - 40	1,1 C org (%) = 2,1	S 23	sU	Θ_{FK}	56	28	Uls	Θ_{FK}	68	34
		U 64		Θ_{PWP}	20	10		Θ_{PWP}	22	11
		T 13		Θ_{nK}	36	18		Θ_{nK}	46	23
40 - 60	21,7 C org (%) = 1,5	S 34	sL	Θ_{FK}	48	24	Ls2	Θ_{FK}	66	33
		U 45		Θ_{PWP}	24	12		Θ_{PWP}	36	18
		T 21		Θ_{nK}	24	12		Θ_{nK}	30	15
60 - 80	0,2 C org (%) = 0,8	S 53	uS	Θ_{FK}	32	16	Su4	Θ_{FK}	62	31
		U 44		Θ_{PWP}	8	4		Θ_{PWP}	12	6
		T 3		Θ_{nK}	24	12		Θ_{nK}	50	25
80 - 100	30,0 C org (%) = 0,8	S 79	S	Θ_{FK}	14	7	Su2	Θ_{FK}	44	22
		U 18		Θ_{PWP}	6	3		Θ_{PWP}	10	5
		T 3		Θ_{nK}	8	4		Θ_{nK}	34	17

Rohdichtegruppe rt3 (1,46-1,65g/cm³)

Rutzendorf Zwiebeln, Sensor B2

Profiltiefe (cm)	Grobbodenanteil in Masseprozent	Feinbodenanteil in Masseprozent	Bodenart Österreich	Bodenkennwerte			Bodenart Deutschland	Bodenkennwerte		
					mm/Schichtstärke	mm/10cm			mm/Schichtstärke	mm/10cm
0 - 20	1,4 C org (%) = 2,2	S 17	IU	Θ_{FK}	72	36	Lu	Θ_{FK}	72	36
		U 60		Θ_{PWP}	34	17		Θ_{PWP}	40	20
		T 23		Θ_{nK}	38	19		Θ_{nK}	32	16
20 - 40	1,7 C org (%) = 2,1	S 27	sL	Θ_{FK}	68	34	Lu	Θ_{FK}	72	36
		U 50		Θ_{PWP}	34	17		Θ_{PWP}	40	20
		T 23		Θ_{nK}	34	17		Θ_{nK}	32	16
40 - 60	31,5 C org (%) = 1,5	S 50	IS	Θ_{FK}	26	13	Su4	Θ_{FK}	62	31
		U 44		Θ_{PWP}	8	4		Θ_{PWP}	12	6
		T 6		Θ_{nK}	18	9		Θ_{nK}	50	25
60 - 80	24,8 C org (%) = 0,8	S 51	IS	Θ_{FK}	26	13	Su4	Θ_{FK}	62	31
		U 43		Θ_{PWP}	8	4		Θ_{PWP}	12	6
		T 6		Θ_{nK}	18	9		Θ_{nK}	50	25

Rohdichtegruppe rt3 (1,46-1,65g/cm³)

Rutzendorf Zwiebeln, Sensor BVM2

Profiltiefe (cm)	Grobbodenanteil in Masseprozent	Feinbodenanteil in Masseprozent	Bodenart Österreich	Bodenkennwerte			Bodenart Deutschland	Bodenkennwerte			
					mm/Schichtstärke	mm/10cm			mm/Schichtstärke	mm/10cm	
0 - 30	1,4 C org (%) = 2,0	S 28	sL	1	Θ_{FK}	93	31	Lu	Θ_{FK}	108	36
		U 51			Θ_{PWP}	42	14		Θ_{PWP}	60	20
		T 21			Θ_{nK}	51	17		Θ_{nK}	48	16
30 - 50	0,2 C org (%) = 1,0	S 34	sL	1	Θ_{FK}	56	28	Ls2	Θ_{FK}	66	33
		U 48			Θ_{PWP}	24	12		Θ_{PWP}	36	18
		T 18			Θ_{nK}	32	16		Θ_{nK}	30	15
50 - 70	0,0	S 39	sL								
		U 43									
		T 18									

Rohdichtegruppe rt3 (1,46-1,65g/cm³)

Rutzendorf Bohnen, Sensor Frenzel 2

Profiltiefe (cm)	Grobbodenanteil in Masseprozent	Feinbodenanteil in Masseprozent	Bodenart Österreich	Bodenkennwerte			Bodenart Deutschland	Bodenkennwerte		
					mm/Schichtstärke	mm/10cm			mm/Schichtstärke	mm/10cm
0 - 30	0,3 C org (%) = 3,35	S 18	IU	Θ_{FK}	105	35	Lu	Θ_{FK}	108	36
		U 59		Θ_{PWP}	45	15		Θ_{PWP}	60	20
		T 23		Θ_{nK}	60	20		Θ_{nK}	48	16
30 - 50	0,3 C org (%) = 3,12	S 18	IU	Θ_{FK}	62	31	Ut3	Θ_{FK}	72	36
		U 66		Θ_{PWP}	22	11		Θ_{PWP}	24	12
		T 16		Θ_{nK}	40	20		Θ_{nK}	48	24
50 - 70	0,1	S 18	IU							
		U 61								
		T 21								

Rohdichtegruppe rt3 (1,46-1,65g/cm³)

Obersiebenbrunn Zuckerrübe, Sensor BVM2

Profiltiefe (cm)	Grobbodenanteil in Masseprozent	Feinbodenanteil in Masseprozent	Bodenart Österreich	Bodenkennwerte			Bodenart Deutschland	Bodenkennwerte		
					mm/Schichtstärke	mm/10cm			mm/Schichtstärke	mm/10cm
0 - 30	0,7 C org (%) = 3,4	S 35	sL	Θ_{FK}	93	31	Ls2	Θ_{FK}	99	33
		U 47		Θ_{PWP}	42	14		Θ_{PWP}	54	18
		T 18		Θ_{nK}	51	17		Θ_{nK}	45	15
30 - 50	0,2 C org (%) = 3,76	S 31	sL	Θ_{FK}	58	29	Uls	Θ_{FK}	68	34
		U 53		Θ_{PWP}	22	11		Θ_{PWP}	22	11
		T 16		Θ_{nK}	36	18		Θ_{nK}	46	23
50 - 70	0,1	S 44	sL							
		U 40								
		T 16								

Rohdichtegruppe rt3 (1,46-1,65g/cm³)

Obersiebenbrunn Kartoffel, Sensor OS

Profiltiefe (cm)	Grobbodenanteil in Masseprozent	Feinbodenanteil in Masseprozent	Bodenart Österreich	Bodenkennwerte			Bodenart Deutschland	Bodenkennwerte		
					mm/Schichtstärke	mm/10cm			mm/Schichtstärke	mm/10cm
0 - 30	1,1 C org (%) = 3,72	S 34	sL	Θ_{FK}	84	28	Slu	Θ_{FK}	96	32
		U 50		Θ_{PWP}	33	11		Θ_{PWP}	30	10
		T 16		Θ_{nK}	51	17		Θ_{nK}	66	22
30 - 50	1,2 C org (%) = 3,0	S 36	sL	Θ_{FK}	54	27	Slu	Θ_{FK}	64	32
		U 48		Θ_{PWP}	22	11		Θ_{PWP}	20	10
		T 16		Θ_{nK}	32	16		Θ_{nK}	44	22
50 - 70	0,0	S 41	sU							
		U 56								
		T 3								

Rohdichtegruppe rt3 (1,46-1,65g/cm³)

Untersiebenbrunn Kartoffel, Sensor US

Profiltiefe (cm)	Grobbodenanteil in Masseprozent	Feinbodenanteil in Masseprozent	Bodenart Österreich	Bodenkennwerte			Bodenart Deutschland	Bodenkennwerte			
					mm/Schichtstärke	mm/10cm			mm/Schichtstärke	mm/10cm	
0 - 30	0,2 C org (%) = 3,62	S 33	sL	Θ_{FK}	87	29	Uls	Θ_{FK}	102	34	
		U 51		Θ_{PWP}	33	11		Θ_{PWP}	33	11	
		T 16		Θ_{nK}	54	18		Θ_{nK}	69	23	
30 - 50	0,6 C org (%) = 3,61	S 45	ls	Θ_{FK}	44	22	Su4	Θ_{FK}	62	31	
		U 49		Θ_{PWP}	12	6		Θ_{PWP}	12	6	
		T 6		Θ_{nK}	32	16		Θ_{nK}	50	25	
50 - 70	0,0	S 71	S								
		U 26									
		T 3									

Rohdichtegruppe rt3 (1,46-1,65g/cm³)

Stripfing Kartoffel, Sensor Stripfing

Profiltiefe (cm)	Grobbodenanteil in Masseprozent	Feinbodenanteil in Masseprozent	Bodenart Österreich	Bodenkennwerte			Bodenart Deutschland	Bodenkennwerte			
					mm/Schichtstärke	mm/10cm			mm/Schichtstärke	mm/10cm	
0 - 30	0,1	S	30	sL	Θ_{FK}	87	29	Uls	Θ_{FK}	102	34
		U	54		Θ_{PWP}	33	11		Θ_{PWP}	33	11
		C org (%) = 2,49	T	16		Θ_{nK}	54	18		Θ_{nK}	69
30 - 50	0,4	S	31	sL	Θ_{FK}	60	30	Lu	Θ_{FK}	72	36
		U	51		Θ_{PWP}	24	12		Θ_{PWP}	40	20
		C org (%) = 2,25	T	18		Θ_{nK}	36	18		Θ_{nK}	32
50 - 70	0,1	S	30	sL							
		U	49								
		T	21								

Rohdichtegruppe rt3 (1,46-1,65g/cm³)

Glinzendorf Karotte, Sensor BVM1

Profiltiefe (cm)	Grobbodenanteil in Masseprozent	Feinbodenanteil in Masseprozent	Bodenart Österreich	Bodenkennwerte			Bodenart Deutschland	Bodenkennwerte				
					mm/Schichtstärke	mm/10cm			mm/Schichtstärke	mm/10cm		
0 - 30	2,8	S	34	sL	Θ_{FK}	84	28	Slu	Θ_{FK}	96	32	
		U	50		Θ_{PWP}	33	11		Θ_{PWP}	30	10	
		C org (%) = 3,22	T	16		Θ_{nK}	51	17		Θ_{nK}	66	22
30 - 50	2,0	S	40	IS	Θ_{FK}	52	26	Slu	Θ_{FK}	64	32	
		U	47		Θ_{PWP}	20	10		Θ_{PWP}	20	10	
		C org (%) = 3,23	T	13		Θ_{nK}	32	16		Θ_{nK}	44	22
50 - 70	0,1	S	29	sL								
		U	48									
		T	23									

Rohdichtegruppe rt3 (1,46-1,65g/cm³)

Messstellenstandorte 2008

Obersiebenbrunn Zwiebeln, Sensor BVM1 (Kartierungsbereich 7 / Bodenform 15)

Profiltiefe (cm)	Grobbodenanteil in Masseprozent	Feinbodenanteil in Masseprozent	Bodenart Österreich	Bodenkennwerte			Bodenart Deutschland	Bodenkennwerte				
					mm/Schichtstärke	mm/10cm			mm/Schichtstärke	mm/10cm		
0 - 30	0,0	S	47	sL	Θ_{FK}	81	27	Sl4	Θ_{FK}	87	29	
		U	37		Θ_{PWP}	39	13		Θ_{PWP}	33	11	
		C org (%) = 2,4	T	16		Θ_{nK}	42	14		Θ_{nK}	54	18
30 - 50	0,0	S	41	sL	Θ_{FK}	60	30	Ls3	Θ_{FK}	66	33	
		U	39		Θ_{PWP}	28	14		Θ_{PWP}	36	18	
		C org (%) = 2,6	T	20		Θ_{nK}	32	16		Θ_{nK}	30	15
50 - 70	0,0	S	51									
		U	35									
		C org (%) = 1,3	T	14								

Rohdichtegruppe rt3 (1,46-1,65g/cm³)

Obersiebenbrunn Zuckerrübe, Sensor BVM2

Profiltiefe (cm)	Grobbodenanteil in Masseprozent	Feinbodenanteil in Masseprozent	Bodenart Österreich	Bodenkennwerte			Bodenart Deutschland	Bodenkennwerte				
					mm/Schichtstärke	mm/10cm			mm/Schichtstärke	mm/10cm		
0 - 30	0,7	S	35	sL	Θ_{FK}	93	31	Ls2	Θ_{FK}	99	33	
		U	47		Θ_{PWP}	42	14		Θ_{PWP}	54	18	
		C org (%) = 3,4	T	18		Θ_{nK}	51	17		Θ_{nK}	45	15
30 - 50	0,2	S	31	sL	Θ_{FK}	58	29	Uls	Θ_{FK}	68	34	
		U	53		Θ_{PWP}	22	11		Θ_{PWP}	22	11	
		C org (%) = 3,76	T	16		Θ_{nK}	36	18		Θ_{nK}	46	23
50 - 70	0,1	S	44	sL								
		U	40									
		T	16									

Rohdichtegruppe rt3 (1,46-1,65g/cm³)

Obersiebenbrunn Mais, Sensor BVM3 (Kartierungsbereich 7 / Bodenform 15)

Profiltiefe (cm)	Grobbodenanteil in Masseprozent	Feinbodenanteil in Masseprozent	Bodenart Österreich	Bodenkennwerte			Bodenart Deutschland	Bodenkennwerte		
					mm/Schichtstärke	mm/10cm			mm/Schichtstärke	mm/10cm
0 - 30	0,0 C org (%) = 2,4	S 47	sL	Θ_{FK}	81	27	Sl4	Θ_{FK}	87	29
		U 37		Θ_{PWP}	39	13		Θ_{PWP}	33	11
		T 16		Θ_{nK}	42	14		Θ_{nK}	54	18
30 - 50	0,0 C org (%) = 2,6	S 41	sL	Θ_{FK}	60	30	Ls3	Θ_{FK}	66	33
		U 39		Θ_{PWP}	28	14		Θ_{PWP}	36	18
		T 20		Θ_{nK}	32	16		Θ_{nK}	30	15
50 - 70	0,0 C org (%) = 1,3	S 51								
		U 35								
		T 14								

Rohdichtegruppe rt3 (1,46-1,65g/cm³)

Obersiebenbrunn Kartoffel, Sensor FF OS (Kartierungsbereich 7 / Bodenform 19)

Profiltiefe (cm)	Grobbodenanteil in Masseprozent	Feinbodenanteil in Masseprozent	Bodenart Österreich	Bodenkennwerte			Bodenart Deutschland	Bodenkennwerte		
					mm/Schichtstärke	mm/10cm			mm/Schichtstärke	mm/10cm
0 - 30	0,0 C org (%) = 2,6	S 19	IU	Θ_{FK}	99	33	Lu	Θ_{FK}	108	36
		U 60		Θ_{PWP}	42	14		Θ_{PWP}	60	20
		T 21		Θ_{nK}	57	19		Θ_{nK}	48	16
30 - 50	0,0 C org (%) = 2,4	S 21	IU	Θ_{FK}	68	34	Lu	Θ_{FK}	72	36
		U 55		Θ_{PWP}	30	15		Θ_{PWP}	40	20
		T 24		Θ_{nK}	38	19		Θ_{nK}	32	16
50 - 70	0,0 C org (%) = 0,8	S 20								
		U 57								
		T 23								

Rohdichtegruppe rt3 (1,46-1,65g/cm³)

Stripfing Kartoffel, Sensor FF Str (Kartierungsbereich 27 / Bodenform 12a)

Profiltiefe (cm)	Grobbodenanteil in Masseprozent	Feinbodenanteil in Masseprozent	Bodenart Österreich	Bodenkennwerte			Bodenart Deutschland	Bodenkennwerte		
					mm/Schichtstärke	mm/10cm			mm/Schichtstärke	mm/10cm
0 - 30	0,0 C org (%) = 2,3	S 22	IU	Θ_{FK}	96	32	Lu	Θ_{FK}	108	36
		U 59		Θ_{PWP}	39	13		Θ_{PWP}	60	20
		T 19		Θ_{nK}	57	19		Θ_{nK}	48	16
30 - 50	0,0 C org (%) = 1,8	S 24	IU	Θ_{FK}	62	31	Lu	Θ_{FK}	72	36
		U 57		Θ_{PWP}	26	13		Θ_{PWP}	40	20
		T 19		Θ_{nK}	36	18		Θ_{nK}	32	16
50 - 70	0,0 C org (%) = 1,2	S 24								
		U 56								
		T 20								

Rohdichtegruppe rt3 (1,46-1,65g/cm³)

Untersiebenbrunn Kartoffel, Sensor FF US (Kartierungsbereich 6 / Bodenform 39)

Profiltiefe (cm)	Grobbodenanteil in Masseprozent	Feinbodenanteil in Masseprozent	Bodenart Österreich	Bodenkennwerte			Bodenart Deutschland	Bodenkennwerte			
					mm/Schichtstärke	mm/10cm			mm/Schichtstärke	mm/10cm	
0 - 30	0,0 C org (%) = 2,6	S 18	L	Θ_{FK}	120	40	Lt2	Θ_{FK}	111	37	
		U 49		Θ_{PWP}	60	20		Θ_{PWP}	72	24	
		T 33		Θ_{nK}	60	20		Θ_{nK}	39	13	
30 - 50	0,0 C org (%) = 2,4	S 17	L	Θ_{FK}	82	41	Lt3	Θ_{FK}	78	39	
		U 46		Θ_{PWP}	44	22		Θ_{PWP}	56	28	
		T 37		Θ_{nK}	38	19		Θ_{nK}	22	11	
50 - 70	0,0 C org (%) = 0,8	S 30									
		U 47									
		T 23									

Rohdichtegruppe rt3 (1,46-1,65g/cm³)

Lasse Kartoffel, Sensor FF Las (Kartierungsbereich 6 / Bodenform 39)

Profiltiefe (cm)	Grobbodenanteil in Masseprozent	Feinbodenanteil in Masseprozent	Bodenart Österreich	Bodenkennwerte			Bodenart Deutschland	Bodenkennwerte			
					mm/Schichtstärke	mm/10cm			mm/Schichtstärke	mm/10cm	
0 - 30	0,0	S	18	L	Θ_{FK}	120	40	Lt2	Θ_{FK}	111	37
		U	49		Θ_{PWP}	60	20		Θ_{PWP}	72	24
		C org (%) = 2,6	T	33		Θ_{nK}	60	20		Θ_{nK}	39
30 - 50	0,0	S	17	L	Θ_{FK}	82	41	Lt3	Θ_{FK}	78	39
		U	46		Θ_{PWP}	44	22		Θ_{PWP}	56	28
		C org (%) = 2,4	T	37		Θ_{nK}	38	19		Θ_{nK}	22
50 - 70	0,0	S	30								
		U	47								
		C org (%) = 0,8	T	23							

Rohdichtegruppe rt3 (1,46-1,65g/cm³)

Glinzendorf Kartoffel, Sensor FF Gli (Kartierungsbereich 7 / Bodenform 20)

Profiltiefe (cm)	Grobbodenanteil in Masseprozent	Feinbodenanteil in Masseprozent	Bodenart Österreich	Bodenkennwerte			Bodenart Deutschland	Bodenkennwerte			
					mm/Schichtstärke	mm/10cm			mm/Schichtstärke	mm/10cm	
0 - 30	0,0	S	41	IS	Θ_{FK}	75	25	Slu	Θ_{FK}	96	32
		U	45		Θ_{PWP}	30	10		Θ_{PWP}	30	10
		C org (%) = 1,7	T	14		Θ_{nK}	45	15		Θ_{nK}	66
30 - 50	0,0	S	41	sL	Θ_{FK}	52	26	Slu	Θ_{FK}	64	32
		U	43		Θ_{PWP}	22	11		Θ_{PWP}	20	10
		C org (%) = 1,2	T	16		Θ_{nK}	30	15		Θ_{nK}	44
50 - 70	0,0	S	41								
		U	43								
		C org (%) = 1,5	T	16							

Rohdichtegruppe rt3 (1,46-1,65g/cm³)

Parbasdorf Baby-Karotten, Sensor Frenzel 1 (Kartierungsbereich 7 / Bodenform 35)

Profiltiefe (cm)	Grobbodenanteil in Masseprozent	Feinbodenanteil in Masseprozent	Bodenart Österreich	Bodenkennwerte			Bodenart Deutschland	Bodenkennwerte			
					mm/Schichtstärke	mm/10cm			mm/Schichtstärke	mm/10cm	
0 - 30	0,0	S	29	U	Θ_{FK}	84	28	Uls	Θ_{FK}	102	34
		U	56		Θ_{PWP}	33	11		Θ_{PWP}	33	11
		C org (%) = 2,0	T	15		Θ_{nK}	51	17		Θ_{nK}	69
30 - 50	0,0	S	31	sL	Θ_{FK}	56	28	Uls	Θ_{FK}	68	34
		U	53		Θ_{PWP}	22	11		Θ_{PWP}	22	11
		C org (%) = 2,0	T	16		Θ_{nK}	34	17		Θ_{nK}	46
50 - 70	0,0	S	42								
		U	47								
		C org (%) = 1,0	T	11							

Rohdichtegruppe rt3 (1,46-1,65g/cm³)

Messstellenstandorte 2007 und 2008

Groß-Enzersdorf Pappel

Profiltiefe (cm)	Grobbodenanteil in Masseprozent	Feinbodenanteil in Masseprozent	Bodenart Österreich	Bodenkennwerte		Bodenart Deutschland	Bodenkennwerte	
				mm/Schichtstärke	mm/10cm		mm/Schichtstärke	mm/10cm
0 - 20	0,3 C org (%) = 2,2	S 21	IU	Θ_{FK} 64	32	Lu	Θ_{FK} 72	36
		U 58		Θ_{PWP} 28	14		Θ_{PWP} 40	20
		T 21		Θ_{nK} 36	18		Θ_{nK} 32	16
20 - 40	0,0 C org (%) = 2,0	S 22	sL	Θ_{FK} 68	34	Lu	Θ_{FK} 72	36
		U 55		Θ_{PWP} 30	15		Θ_{PWP} 40	20
		T 23		Θ_{nK} 38	19		Θ_{nK} 32	16
40 - 60	0,0 C org (%) = 1,7	S 16	IU	Θ_{FK} 68	34	Lu	Θ_{FK} 72	36
		U 61		Θ_{PWP} 30	15		Θ_{PWP} 40	20
		T 23		Θ_{nK} 38	19		Θ_{nK} 32	16
60 - 80	0,0 C org (%) = 1,0	S 22	IU	Θ_{FK} 64	32	Lu	Θ_{FK} 72	36
		U 57		Θ_{PWP} 26	13		Θ_{PWP} 40	20
		T 21		Θ_{nK} 38	19		Θ_{nK} 32	16
80 - 100	0,0 C org (%) = 1,0	S 30	sL	Θ_{FK} 58	29	Lu	Θ_{FK} 72	36
		U 52		Θ_{PWP} 24	12		Θ_{PWP} 40	20
		T 18		Θ_{nK} 34	17		Θ_{nK} 32	16
100 - 120	0,0 C org (%) = 0,8	S 54	IS	Θ_{FK} 36	18	Sl3	Θ_{FK} 54	27
		U 38		Θ_{PWP} 14	7		Θ_{PWP} 16	8
		T 8		Θ_{nK} 22	11		Θ_{nK} 38	19
120 - 140	0,0 C org (%) = 0,8	S 51	IS	Θ_{FK} 32	16	Su4	Θ_{FK} 62	31
		U 43		Θ_{PWP} 10	5		Θ_{PWP} 12	6
		T 6		Θ_{nK} 22	11		Θ_{nK} 50	25

Rohdichtegruppe rt3 (1,46-1,65g/cm³)

Groß-Enzersdorf Weide

Profiltiefe (cm)	Grobbodenanteil in Masseprozent	Feinbodenanteil in Masseprozent	Bodenart Österreich	Bodenkennwerte		Bodenart Deutschland	Bodenkennwerte	
				mm/Schichtstärke	mm/10cm		mm/Schichtstärke	mm/10cm
0 - 20	0,2 C org (%) = 2,2	S 19	IU	Θ_{FK} 68	34	Lu	Θ_{FK} 72	36
		U 58		Θ_{PWP} 30	15		Θ_{PWP} 40	20
		T 23		Θ_{nK} 38	19		Θ_{nK} 32	16
20 - 40	0,1 C org (%) = 2,0	S 18	IU	Θ_{FK} 68	34	Lu	Θ_{FK} 72	36
		U 59		Θ_{PWP} 30	15		Θ_{PWP} 40	20
		T 23		Θ_{nK} 38	19		Θ_{nK} 32	16
40 - 60	0,0 C org (%) = 1,7	S 14	IU	Θ_{FK} 70	35	Lu	Θ_{FK} 72	36
		U 63		Θ_{PWP} 30	15		Θ_{PWP} 40	20
		T 23		Θ_{nK} 40	20		Θ_{nK} 32	16
60 - 80	0,0 C org (%) = 1,0	S 19	L	Θ_{FK} 70	35	Lu	Θ_{FK} 72	36
		U 55		Θ_{PWP} 32	16		Θ_{PWP} 40	20
		T 26		Θ_{nK} 38	19		Θ_{nK} 32	16
80 - 100	0,0 C org (%) = 1,0	S 19	uL	Θ_{FK} 70	35	Lu	Θ_{FK} 72	36
		U 55		Θ_{PWP} 32	16		Θ_{PWP} 40	20
		T 26		Θ_{nK} 38	19		Θ_{nK} 32	16
100 - 120	1,4 C org (%) = 0,8	S 13	uL	Θ_{FK} 70	35	Lu	Θ_{FK} 72	36
		U 61		Θ_{PWP} 32	16		Θ_{PWP} 40	20
		T 26		Θ_{nK} 38	19		Θ_{nK} 32	16
120 - 140	3,2 C org (%) = 0,8	S 10	U	Θ_{FK} 56	28	Ut3	Θ_{FK} 72	36
		U 77		Θ_{PWP} 18	9		Θ_{PWP} 24	12
		T 13		Θ_{nK} 38	19		Θ_{nK} 48	24

Rohdichtegruppe rt3 (1,46-1,65g/cm³)

Aderklaa Spargel, EnviroSCAN

Profiltiefe (cm)	Grobbodenanteil in Masseprozent	Feinbodenanteil	Bodenart Österreich	Bodenkennwerte			Bodenart Deutschland	Bodenkennwerte		
				mm/Schichtstärke		mm/10cm		mm/Schichtstärke		mm/10cm
0 - 20	0,2 C org (%) = 1,0	S 70	IS	Θ_{FK}	30	15	Sl2	Θ_{FK}	50	25
		U 22		Θ_{PWP}	14	7		Θ_{PWP}	14	7
		T 8		Θ_{nK}	16	8		Θ_{nK}	36	18
20 - 40	0,1 C org (%) = 0,81	S 58	IS	Θ_{FK}	38	19	Sl3	Θ_{FK}	54	27
		U 31		Θ_{PWP}	16	8		Θ_{PWP}	16	8
		T 11		Θ_{nK}	22	11		Θ_{nK}	38	19
40 - 60	0,2 C org (%) = 0,74	S 67	IS	Θ_{FK}	30	15	Sl3	Θ_{FK}	54	27
		U 25		Θ_{PWP}	14	7		Θ_{PWP}	16	8
		T 8		Θ_{nK}	16	8		Θ_{nK}	38	19
60 - 80	0,0 C org (%) = 0,95	S 57	IS	Θ_{FK}	38	19	Sl3	Θ_{FK}	54	27
		U 32		Θ_{PWP}	16	8		Θ_{PWP}	16	8
		T 11		Θ_{nK}	22	11		Θ_{nK}	38	19
80 - 100	2,7 C org (%) = 2,01	S 52	sL	Θ_{FK}	48	24	Sl4	Θ_{FK}	58	29
		U 32		Θ_{PWP}	22	11		Θ_{PWP}	22	11
		T 16		Θ_{nK}	26	13		Θ_{nK}	36	18
100 - 120	1,7 C org (%) = 3,77	S 51	sL	Θ_{FK}	52	26	Sl4	Θ_{FK}	58	29
		U 33		Θ_{PWP}	24	12		Θ_{PWP}	22	11
		T 16		Θ_{nK}	28	14		Θ_{nK}	36	18

Rohdichtegruppe rt3 (1,46-1,65g/cm³)

Aderklaa Spargel, Adcon-EasyAG

Profiltiefe (cm)	Grobbodenanteil in Masseprozent	Feinbodenanteil in Masseprozent	Bodenart Österreich	Bodenkennwerte			Bodenart Deutschland	Bodenkennwerte				
					mm/Schichtstärke	mm/10cm			mm/Schichtstärke	mm/10cm		
0 - 30	0,1	S	69	IS	Θ_{FK}	45	15	Sl2	Θ_{FK}	75	25	
		U	23		Θ_{PWP}	21	7		Θ_{PWP}	21	7	
		C org (%) = 0,78	T	8		Θ_{nK}	24	8		Θ_{nK}	54	18
30 - 50	0,1	S	61	IS	Θ_{FK}	40	20	Sl4	Θ_{FK}	58	29	
		U	26		Θ_{PWP}	20	10		Θ_{PWP}	22	11	
		C org (%) = 0,95	T	13		Θ_{nK}	20	10		Θ_{nK}	36	18
50 - 70	0,1	S	56	sL								
		U	28									
		T	16									

Rohdichtegruppe rt3 (1,46-1,65g/cm³)