

# Bilanzmethode zur Bewässerungssteuerung

## Validierung mithilfe von volumetrischen Bodensonden

**Andrea Marti<sup>1</sup>, Martin Müller<sup>2</sup>, Christian Bucher<sup>3</sup>, Priska Hahn<sup>3</sup>, René Steiner<sup>3</sup>, Andreas Keiser<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Berner Fachhochschule (BFH), Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL),  
Forschungsgruppe Ackerbau und Pflanzenzüchtung, Länggasse 85, 3052 Zollikofen

<sup>2</sup>Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V., D-85354 Freising-Weihenstephan

<sup>3</sup> Inforama Seeland, Herrenhalde 80, 3232 Ins

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Hintergrund</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Material and Methoden</b>	<b>3</b>
3.1	Bewässerungs-App der ALB Bayern	3
3.2	Volumetrische Bodensonde der Firma Adcon	3
3.3	Versuchsaufbau	3
3.3.1	Hauptversuch	5
3.3.2	Nebenversuche	6
<b>4</b>	<b>Resultate Hauptversuch</b>	<b>7</b>
4.1	Standort ██████████	7
4.1.1	Bewässerungsempfehlung	7
4.1.2	Ertrag	7
4.1.3	Verlaufsgrafiken Bodenfeuchtigkeit	9
4.1.4	Täglicher Wasserbedarf	13
4.2	Standort ██████████	15
4.2.1	Bewässerungsempfehlung	15
4.2.2	Ertrag	15
4.2.3	Verlaufsgrafiken Bodenfeuchtigkeit	17
4.2.4	Täglicher Wasserbedarf	20
<b>5</b>	<b>Resultate Nebenversuche</b>	<b>22</b>
5.1	Station 511780	22
5.1.1	Bewässerungsempfehlung	22
5.1.2	Verlaufsgrafiken Bodenfeuchtigkeit	22
5.1.3	Täglicher Wasserbedarf	26
5.2	Station 512196	28
5.2.1	Bewässerungsempfehlung	28

5.2.2	Verlaufsgrafiken Bodenfeuchtigkeit . . . . .	28
5.2.3	Täglicher Wasserbedarf . . . . .	32
5.3	Station 512200 . . . . .	34
5.3.1	Bewässerungsempfehlung . . . . .	34
5.3.2	Verlaufsgrafiken Bodenfeuchtigkeit . . . . .	34
5.3.3	Täglicher Wasserbedarf . . . . .	38
5.4	Station 863316 . . . . .	40
5.4.1	Bewässerungsempfehlung . . . . .	40
5.4.2	Verlaufsgrafiken Bodenfeuchtigkeit . . . . .	40
5.4.3	Täglicher Wasserbedarf . . . . .	43
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>45</b>
6.1	Beurteilung Bewässerungspraxis . . . . .	45
6.1.1	Hauptversuch, ██████████ (861493 und 861484) . . . . .	45
6.1.2	Hauptversuch, ██████████ (861496 und 863309) . . . . .	45
6.1.3	Nebenversuche . . . . .	45
6.2	Bodenfeuchteverlauf mit Bilanz-App und Sonde . . . . .	45
6.2.1	Limitierung organische Böden . . . . .	46
6.2.2	Nötige Angaben für genaue Bilanzrechnung . . . . .	47
6.2.3	Wasseraufnahme . . . . .	47
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>47</b>
<b>8</b>	<b>Annex</b>	<b>49</b>

# 1 Zusammenfassung

Auf acht Parzellen wurden die gemessenen volumetrischen Bodenwassergehalte mit berechneten Bodenfeuchten mittels der Web-Applikation der ALB-Bayern verglichen. Der Verlauf der Bodenfeuchten ist in allen Vergleichen ähnlich. Unterschiede gibt es zum Teil bei der Ableitung der Bewässerungsempfehlung aus dem Feuchteverlauf oder bei der absoluten Höhe der Bodenfeuchte. Insbesondere gegen Ende Saison und in organischen Böden wurden Abweichungen festgestellt. Deshalb werden in der Saison 2020 noch einmal Auswertungen auf Versuchspartellen gemacht.

Die Bewässerungs-App könnte eine gute Alternative sein für Betriebe ohne Sonden und eine zusätzliche Hilfestellung für die Bewässerungssteuerung sein.

# 2 Hintergrund

Volumetrische Bodensonden messen parzellenspezifisch und kontinuierlich den Bodenwassergehalt. Sie sind ein gutes Hilfsmittel, um die Wassernutzung der Kulturen und die Wasserverfügbarkeit von Böden besser zu verstehen. Aus den Sondendaten können einfach verständliche Bewässerungsempfehlungen abgeleitet werden. Diese Empfehlungen sind aber nur schwierig auf Parzellen ohne Sonde übertragbar. Die Hochschule Geisenheim arbeitet mit der Wasserbilanzmethode. Anhand von Wetterdaten und kulturspezifischen Faktoren wird die Verdunstung berechnet und daraus eine Bewässerungsempfehlung abgeleitet. Mit dieser Methode können grossflächige Bewässerungsempfehlungen für verschiedenste Kulturen gemacht werden mit verhältnismässig geringen Materialinvestitionen. In der Schweiz wurden die Empfehlungen noch nicht im Feld validiert und die Berechnungen sind noch nicht spezifisch an Schweizer Klimabedingungen angepasst.

Die ALB Bayern bietet seit 2014 eine Web-Applikation an. Sie nutzt die Geisenheimer Wasserbilanzmethode und kombiniert sie mit bodenkundlichen Grundlagen. Mithilfe der Applikation kann der Verlauf des Bodenwassers in einer beliebigen Parzelle berechnet und daraus eine Bewässerungsemp-

fehlung abgeleitet werden.

Erste Versuche sollen nun die mithilfe der Applikation berechneten Bodenfeuchte mit der gemessenen Bodenfeuchte der Bodensonden vergleichen. Im Rahmen eines Pilotversuchs wurden auf zwei Zwiebel-Parzellen nach Empfehlung der Web-Applikation und nach Empfehlung der Bodensonde bewässert. Zusätzlich wurde auf vier weiteren Parzellen die berechnete und die gemessene Bodenfeuchtigkeit verglichen. Folgende Versuchsfragen sollen beantwortet werden:

- Wie unterscheiden sich die Bewässerungsempfehlungen der Web-Applikation von den Empfehlungen der Bodensonden?
- Welchen Einfluss haben die Bewässerungsempfehlungen auf den Ertrag und die Qualität der Zwiebeln?
- Wie und mit welchen allfälligen Anpassungen könnte die Web-Applikation auch in der Schweiz angewendet werden?

## 3 Material and Methoden

### 3.1 Bewässerungs-App der ALB Bayern

Der Verlauf vom Bodenwassergehalt wird berechnet mithilfe von Wetterdaten, kultur- und stadienspezifischen Faktoren, einem Wurzelwachstumsmodell, einem Bodenwassermodell und einem Einzelgabenmodell. Aus den Wetterdaten und den Faktoren wird die tägliche Evapotranspiration berechnet nach der Formel von Penman-Monteith und den Anleitungen aus dem FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Aus dem Wurzel- und Bodenwassermodell werden bodenphysikalische Grundlagen abgeleitet wie Feldkapazität, Bewässerungsschwelle und nutzbare Feldkapazität. Aus dem Einzelgabenmodell werden sinnvolle Höhen für die Bewässerungsgaben in Funktion der Bewässerungstechnik und des Parzellenbodens abgeleitet. Die Empfehlungen wurden mit Versuchen der LWK-Niedersachsen validiert.

### 3.2 Volumetrische Bodensonde der Firma Adcon

Die SM1-Bodensonden der Firma Adcon messen kapazitiv den volumetrischen Wassergehalt. Die Messung erfolgt alle 10 cm bis auf eine Tiefe von 60 cm. Die Daten werden kontinuierlich (alle 30 min) und parzellenspezifisch erhoben und via GPRS an einen Server übermittelt. Aus den Rohdaten wird eine Bewässerungsempfehlung abgeleitet mit Angaben zum Wurzelraum der Kultur und der Textur des Parzellenbodens. Daraus wird die Gesamtwassermenge im Wurzelraum berechnet und mithilfe der Bodentextur die Verfügbarkeit abgeschätzt. Für jede Texturklasse sind Werte hinterlegt für die Feldkapazität. Zusätzlich können Feineinstellungen aufgrund des Feuchteverlaufs gemacht werden. Die Bewässerungsschwelle wird unabhängig von der Bodenart bei 70% der Feldkapazität angesetzt.

### 3.3 Versuchsaufbau

Im Rahmen dieser Versuche wurde in Ins eine Wetterstation installiert. Sie misst auf 2 m Höhe die Temperatur, die relative Luftfeuchtigkeit, die Windgeschwindigkeit und den Niederschlag. Daraus kann die Standard-Evapotranspiration nach der Gleichung von Penman-Monteith berechnet werden. Die Daten der Wetterstation werden über eine Datenschnittstelle in die Web-Applikation der ALB integriert.

In einem Hauptversuch wurden auf zwei Parzellen Bodensonden installiert und die Bodenfeuchtigkeit mit der Web-Applikation berechnet. Die eine Hälfte der Parzelle wurde nach den Empfehlungen der Bodensonden bewässert, die andere Hälfte nach der Empfehlung der Web-Applikation. In Nebenversuchen wurde die gemessene Bodenfeuchtigkeit der Sonden mit der berechneten Bodenfeuchtigkeit der Web-Applikation verglichen.

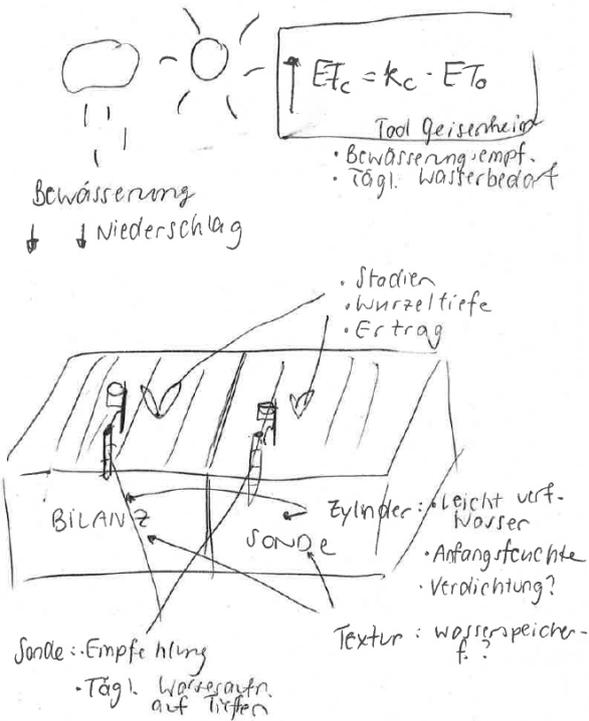


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Wasserbilanz und Aufbau des Hauptversuchs.

Versuch	Betrieb	Kultur	Sorte	Technik	SN	Verfahren
Hauptversuch	[REDACTED]	Zwiebeln	Conservor	Tröpfchenbewässerung	861493	Bilanz-App
Hauptversuch		Zwiebeln	Conservor	Tröpfchenbewässerung	861484	Sonde
Hauptversuch		Zwiebeln	Restora	Sprinkler	861496	Bilanz-App
Hauptversuch		Zwiebeln	Restora	Sprinkler	863309	Sonde
Nebenversuch		Kartoffeln	Amandine	Tröpfchenbewässerung	511780	
Nebenversuch		Karotten	Romance	Sprinkler	863316	
Nebenversuch		Kartoffeln	Fontane	Sprinkler	512200	
Nebenversuch		Kartoffeln	Lady Claire	Rollomat	512196	



Abbildung 2: Installierte Wetterstation in Ins

**Tabelle 1:** Untersuchte Parzellen mit Bewässerungstechnik und Seriennummer (SN) der installierten Bodensonde

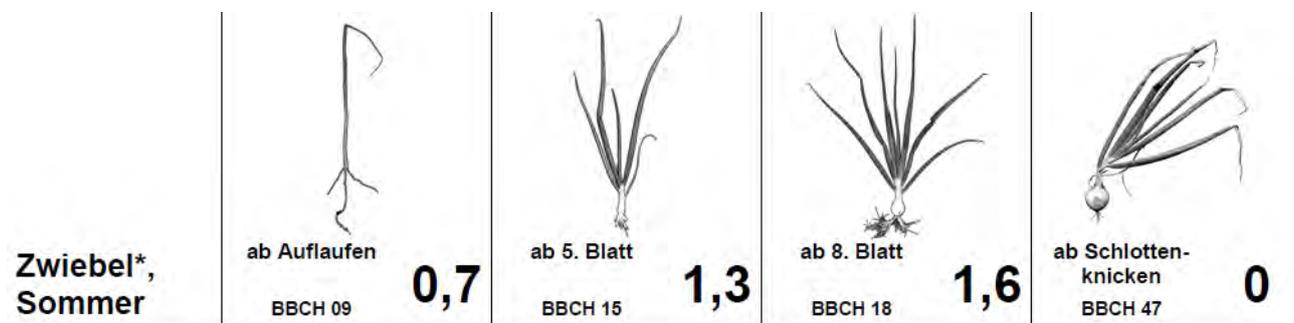
Betrieb	SN	Pflanztermin	Bewässerung	Ertrag	Holländer	Zylinder
[Redacted]	861493	29.03.2019	x	fehlt	x	x
	861484	29.03.2019	x	fehlt	x	x
	861496	fehlt	x	fehlt	x	x
	863309	fehlt	x	fehlt	x	x
	511780	16.05.2019	abgel. aus Sondendaten	fehlt	x	nicht geplant
	863316	26.06.2019	abgel. aus Sondendaten	fehlt	x	nicht geplant
	512200	18.04.2019	x	x	x	nicht geplant
	512196	20.04.2019	x	x	x	nicht geplant

**Tabelle 2:** Untersuchte Parzellen und erfolgte Erhebungen pro Parzelle

Betrieb	SN	Stadien	Probegrabung	Bestimmung.Anfangsfeuchte
[Redacted]	861493	x	x	ok
	861484	x	x	ok
	861496	x	x	ok
	863309	x	x	ok
	511780	nicht geplant	nicht geplant	nicht geplant
	863316	x	nicht geplant	nicht geplant
	512200	nicht geplant	nicht geplant	nicht geplant
	512196	nicht geplant	nicht geplant	nicht geplant

### 3.3.1 Hauptversuch

Auf zwei Zwiebelparzellen in Ins wurde die eine Parzellenhälfte nach App-Empfehlung und die andere Hälfte nach Sonden-Empfehlung bewässert. In beiden Hälften wurde zur Kontrolle der Bodenfeuchte eine Bodensonde installiert. Auf jeder Parzellenhälfte wurde eine Holländerbohrung auf einen Meter Tiefe gemacht und die Bodentextur mittels Fühlprobe bestimmt. Zusätzlich wurden auf 30 cm Zylinderproben entnommen und im Labor die Feldfeuchte, die Feuchtigkeit bei Feldkapazität und bei pF 2 und 3 bestimmt. Die Feldfeuchte wurde benutzt, um die Anfangsfeuchte in der App korrekt einzustellen. Bei den beiden Parzellen wurden wöchentlich die Wachstumsstadien nach BBCH bestimmt. In jedem Verfahren wurde eine Schlussernte gemacht mit vier Stichproben à 1.5 m<sup>2</sup>. Die Kalibrierung unterteilte den Gesamtertrag in Aussschuss (Kaliber <35 mm) und marktfähige Ware (Kaliber >35 mm). Wegen Hagel im Juni sind die Ertragserhebungen mit Vorsicht zu interpretieren.



**Abbildung 3:** K<sub>c</sub>-Faktoren für Zwiebeln, Geisenheim.

Mit den Angaben zur Anfangsfeuchte, zur Bodentextur, zu den Wachstumsstadien und mit den Wetterdaten wurde der Verlauf der Bodenfeuchte mit der Web-Applikation berechnet. Für jede Parzelle wurden zwei Varianten gerechnet:

- ALB\_std: Verlauf der Bodenfeuchte mit vom System empfohlenen Bewässerungsgaben ohne

manuelle Korrektur der tatsächlich erfolgten Bewässerungsgaben. Damit kann die Bewässerungspraxis beurteilt werden.

- ALB\_korr: Verlauf der Bodenfeuchte nach manueller Korrektur mit den tatsächlich erfolgten Bewässerungsgaben in den Verfahren. Dadurch kann die berechnete Bodenfeuchte mit der gemessenen Bodenfeuchte im Feld verglichen werden.

Die genauen Einstellungen in der Applikation pro Parzelle sind im Anhang aufgeführt.

Die Empfehlungsgrafiken der App arbeiten mit unterschiedlichen Kenngrößen und Annahmen als die Empfehlungsgrafiken der Bodensonde:

- Feldkapazität vs. nutzbare Feldkapazität: In der Grafik der Bodensonde wird die Feldkapazität angegeben, in der Grafik der Wasserbilanz die nutzbare Feldkapazität (= Feldkapazität - Totwasseranteil)
- Wurzeltiefe: In der Empfehlungsgrafik der Bodensonde wird mit einer Wurzeltiefe von 30, resp. 20 cm (Zwiebeln) gearbeitet. In der Empfehlungsgrafik der ALB mit einem Wurzelwachstum von anfangs 45 bis 60 cm.

Um die Feldkapazität der Sonde mit der nutzbaren Feldkapazität der Bilanz zu vergleichen wurde bei der Bilanz die mögliche FK in Funktion der Bodentextur berechnet (Quelle: Kuntze H, Roeschmann G, Schwerdtfeger G, 1994. Bodenkunde. 188 Tabellen (5., neubearbeitete und erweiterte Auflage). Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 424 S.).

**Tabelle 3:** Bodenphysikalische Kennzahlen in vol% für die verschiedenen Bodenklassen: nutzbare Feldkapazität (nFK) verwendet in der ALB-App und entsprechende Werte für die Feldkapazität (FK).

Bodenkategorie	Bodenbezeichnung	nFK	FK
S	Sand	9	12
lS	schwach lehmiger Sand	16	22
llS	sandiger Schluff	16	28
sL	sandiger Lehm	17	33
uL	schluffiger Lehm	19	36
tL	toniger Lehm	15	41
lT	lehmiger Ton	14	41
T	Ton	15	54
Org.	organisch	24	37

Wegen der unterschiedlichen Wurzeltiefen können die Grafiken nicht übereinandergelegt werden. Der Vergleich muss also aufgrund des Verlaufs der Bodenfeuchte und den abgeleiteten Bewässerungsempfehlungen erfolgen.

### 3.3.2 Nebenversuche

Mit den Wetterdaten konnte die Bodenfeuchte für beliebig viele weitere Parzellen berechnet werden. Auf vier Parzellen in Ins waren weitere Bodensonden installiert. Für diese Parzellen werden ebenfalls die von der Applikation berechneten mit der von den Sonden gemessenen Bodenfeuchte verglichen. Für die Einstellungen in der App musste aber bei den Wachstumsstadien und bei der Anfangsfeuchte mit den Standardeinstellungen gearbeitet werden, weil keine Feldbeobachtungen resp. -messungen gemacht worden sind. Wie im Hauptversuch, werden mit der Applikation zwei Varianten gerechnet.

## 4 Resultate Hauptversuch

### 4.1 Standort

Betrieb:   
 Kultur: Zwiebeln   
 Sorte: Conservor   
 Bewässerungstechnik: Tröpfchenbewässerung   
 Seriennummer Sonden: 861493, 861484

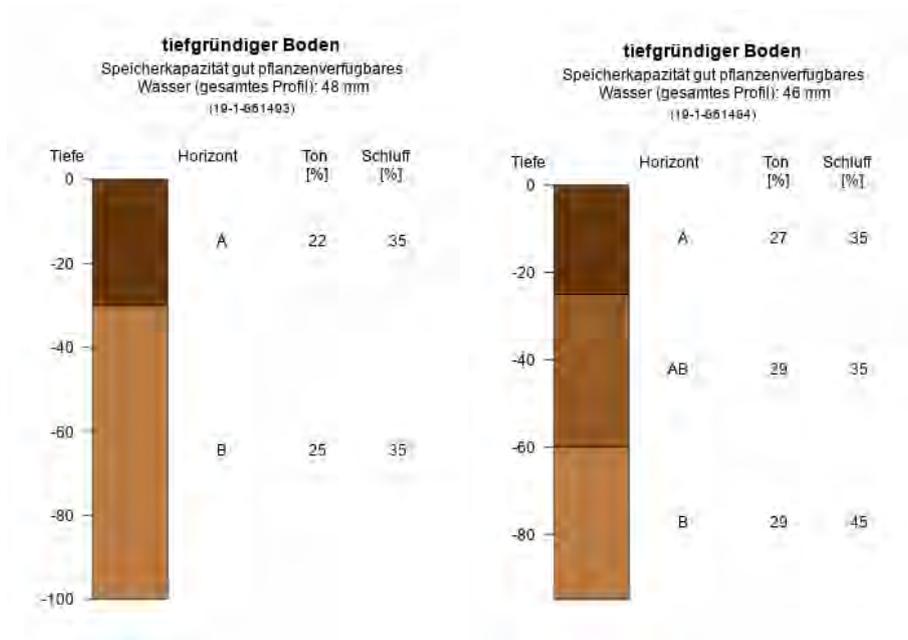


Abbildung 4: Bodentextur für die Verfahren Bilanz-App (links) und Bodensonde (rechts)



Abbildung 5: übersicht der Versuchsparzelle

#### 4.1.1 Bewässerungsempfehlung

#### 4.1.2 Ertrag



Abbildung 6: Verfahren Bilanz (links) und Bodensonde (rechts) im Juni

Tabelle 4: Anzahl Bewässerungsgaben, total Bewässerung in mm und Datum erster Gabeempfehlung für die Webapplikation der ALB und die realisierte Bewässerung des Betriebsleiters.

Verfahren	Anzahl Gaben	Bewässerung total	Datum 1. Gabe
ALB_std	6	60	2019-07-14
Betriebsleiter Bilanz	5	66	2019-06-29
Betriebsleiter Sonde	5	53	2019-06-28

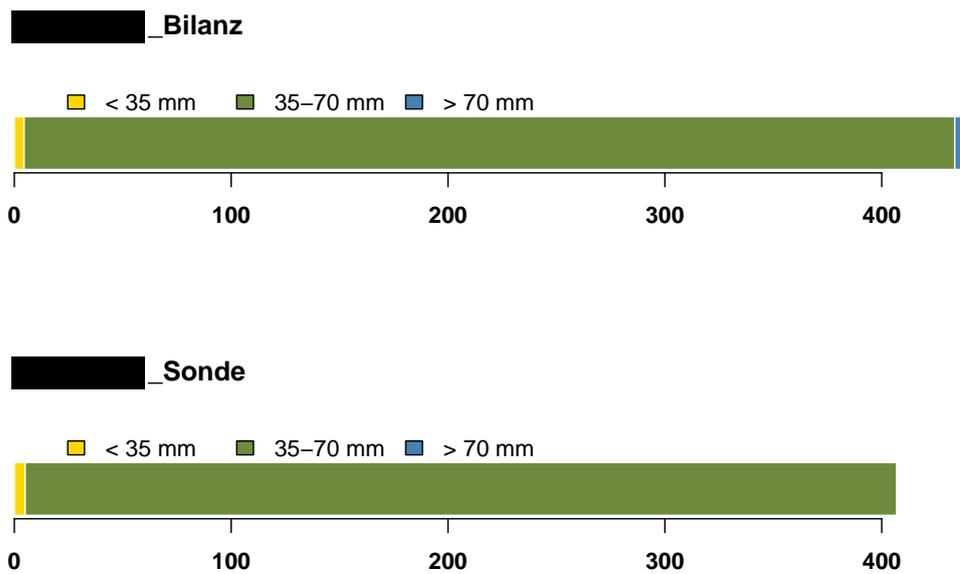
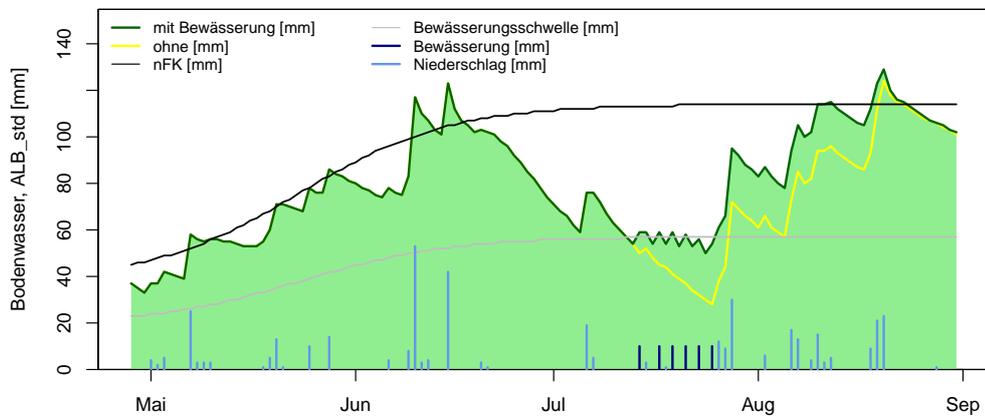
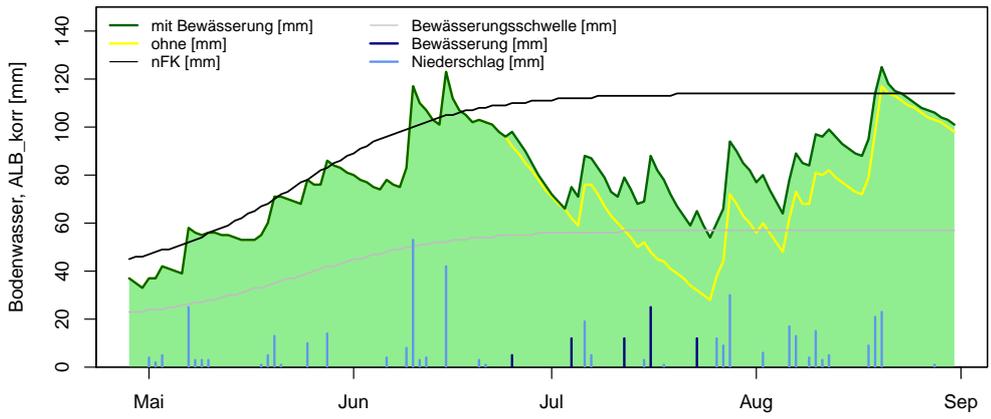


Abbildung 7: Ertrag nach Kaliberklassen in den zwei Verfahren Bilanz und Sonde für den Betrieb [redacted]

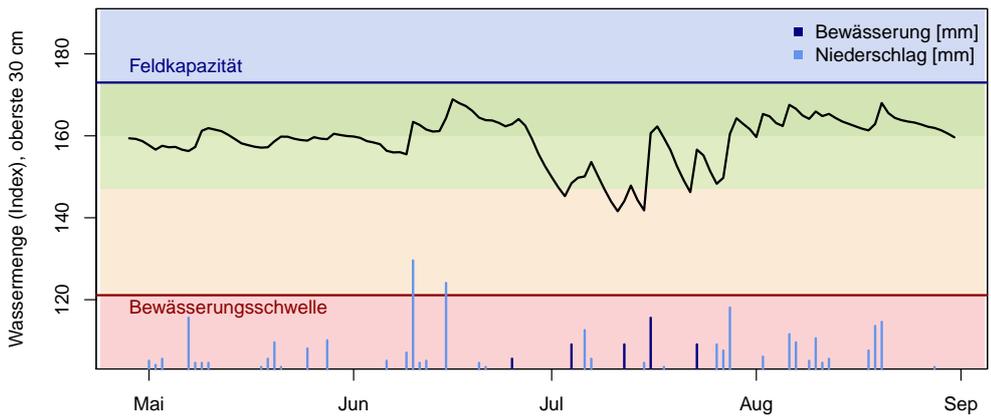
### 4.1.3 Verlaufsgrafiken Bodenfeuchtigkeit



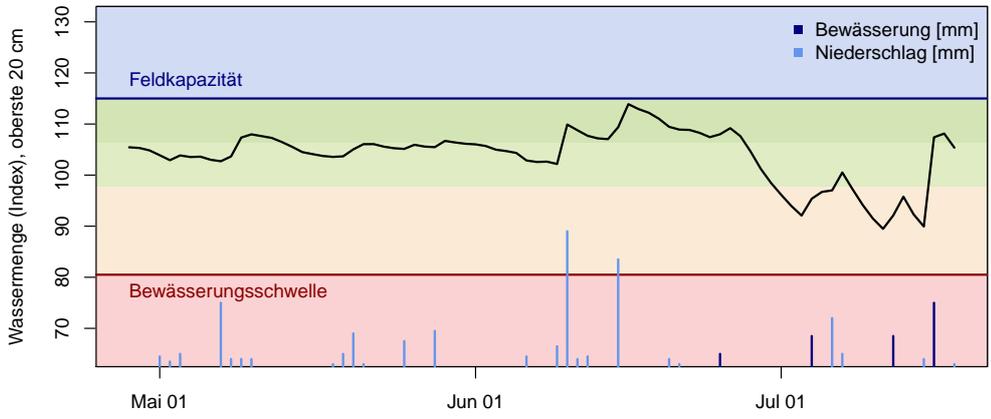
**Abbildung 8:** Bodenwasserverlauf der Web-Applikation, Verfahren std in mm und empfohlene Bewaessering in mm für die Stationen [redacted] 861493, 861484



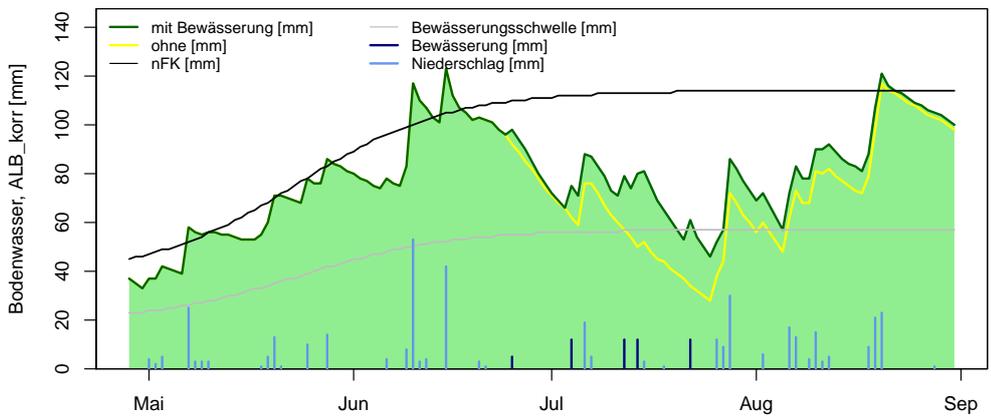
**Abbildung 9:** Bodenwasserverlauf der Web-Applikation korrigiert in mm, Verfahren Bilanz



**Abbildung 10:** Bodenwasserverlauf im Wurzelraum mit 30 cm der Bodensonde (Index) und Bewässerung in mm, Verfahren Bilanz



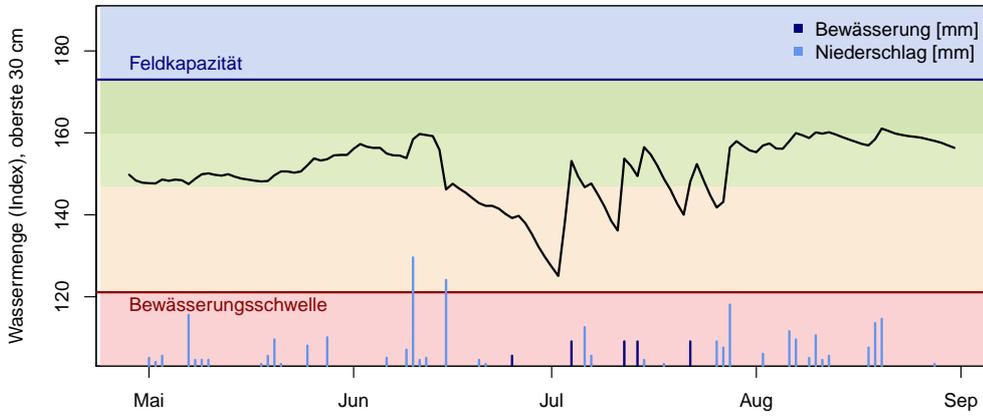
**Abbildung 11:** Bodenwasserverlauf im Wurzelraum der Bodensonde (Index) und Bewässerung in mm, Verfahren Bilanz. Der Wurzelraum für die Sondenempfehlung war bis 18.7.19 auf 20 cm eingestellt.



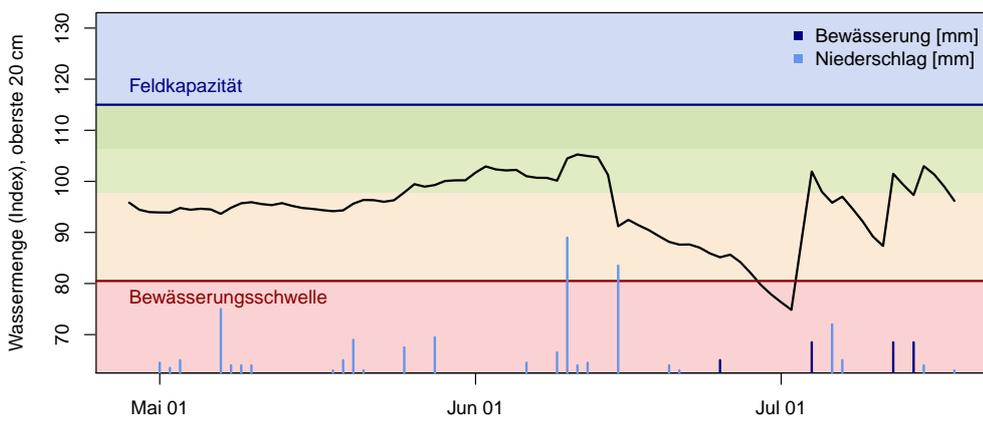
**Abbildung 12:** Bodenwasserverlauf der Web-Applikation korrigiert in mm, Verfahren Sonde

**Tabelle 5:** Anzahl Messtage unter der Schwelle (d.unter.schwelle), Anzahl Tage oberhalb der Feldkapazität (d.o.fk), Werte für die Feldkapazität [mm/10 cm] und die Bewässerungsschwelle [mm/10 cm] und das Verhältnis von Schwelle zu Feldkapazität für die beiden Methoden ALB-Applikation und Sonde und die beiden Verfahren Bilanz und Sonde.

Methode	d.unter.schwelle	d.o.fk	nfk.mm	fk.mm	schwelle.mm	rel.fk.schwelle
ALB_Bilanz	1	14	19	37	27	0.74
Sonde_Bilanz	0	0		58	40	0.70
ALB_Sonde	5	13	19	37	27	0.74
Sonde_Sonde	0	0		58	40	0.70

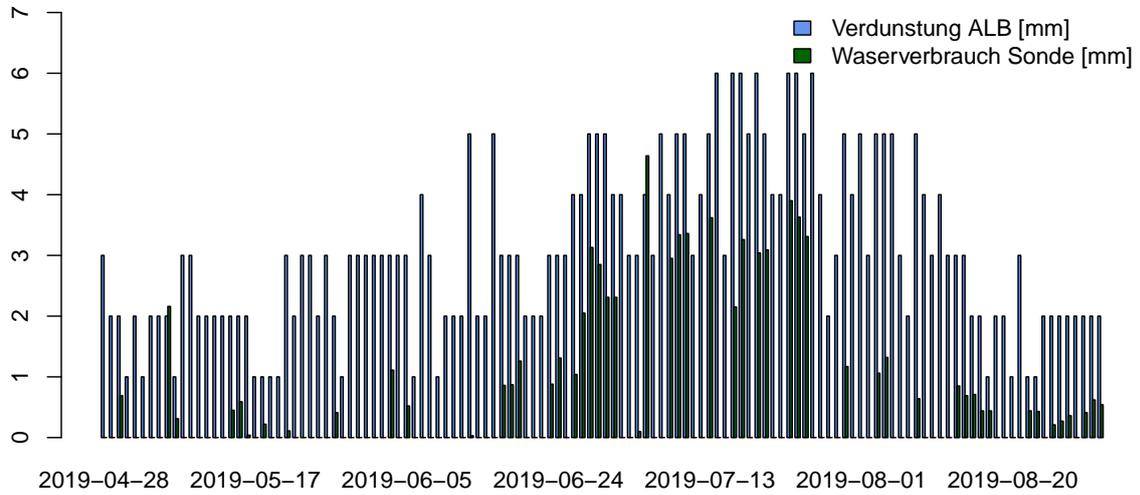


**Abbildung 13:** Bodenwasserverlauf im Wurzelraum der Bodensonde (Index) und Bewässerung in mm, Verfahren Sonde

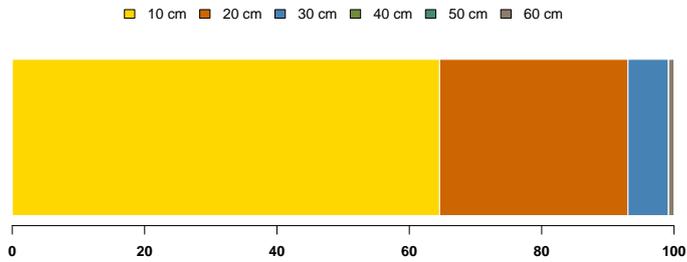


**Abbildung 14:** Bodenwasserverlauf im Wurzelraum der Bodensonde (Index) und Bewässerung in mm, Verfahren Sonde. Der Wurzelraum für die Sondenempfehlung war bis 18.7.19 auf 20 cm eingestellt.

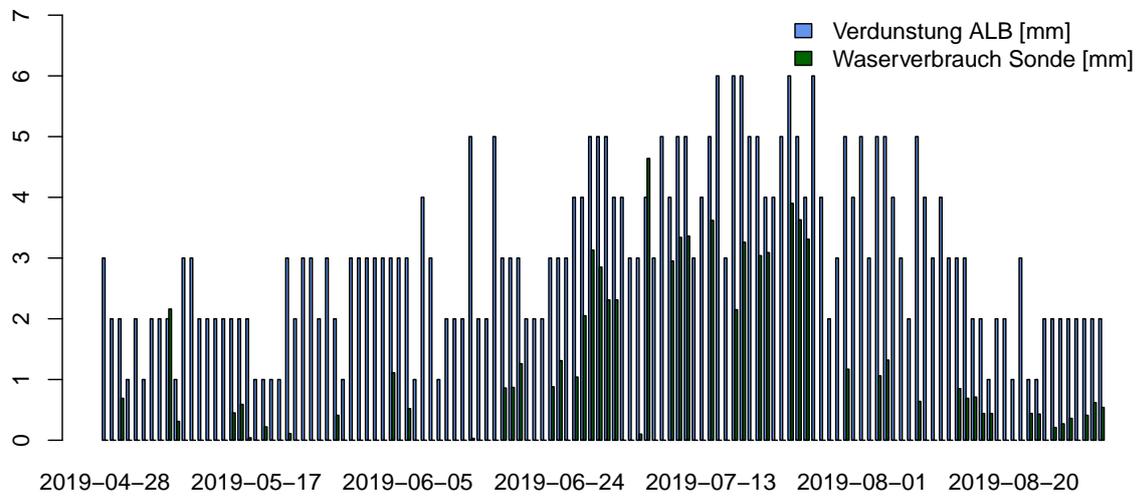
### 4.1.4 Täglicher Wasserbedarf



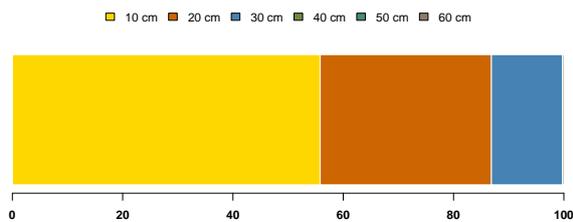
**Abbildung 15:** Tägliche Wasseraufnahme der Pflanzen in mm berechnet durch die ALB-App und aus den Messungen der Bodensonden für das Verfahren Bilanz



**Abbildung 16:** Wasseraufnahme aus den Einzeltiefen in % der Gesamtwasseraufnahme für das Verfahren Bilanz



**Abbildung 17:** Tägliche Wasseraufnahme der Pflanzen in mm berechnet durch die ALB-App und aus den Messungen der Bodensonden für das Verfahren Sonde



**Abbildung 18:** Wasseraufnahme aus den Einzeltiefen in % der Gesamtwasseraufnahme für das Verfahren Sonde

## 4.2 Standort

Betrieb:   
 Kultur: Zwiebeln   
 Sorte: Restora   
 Bewässerungstechnik: Sprinkler   
 Seriennummer Sonden: 861496, 863309

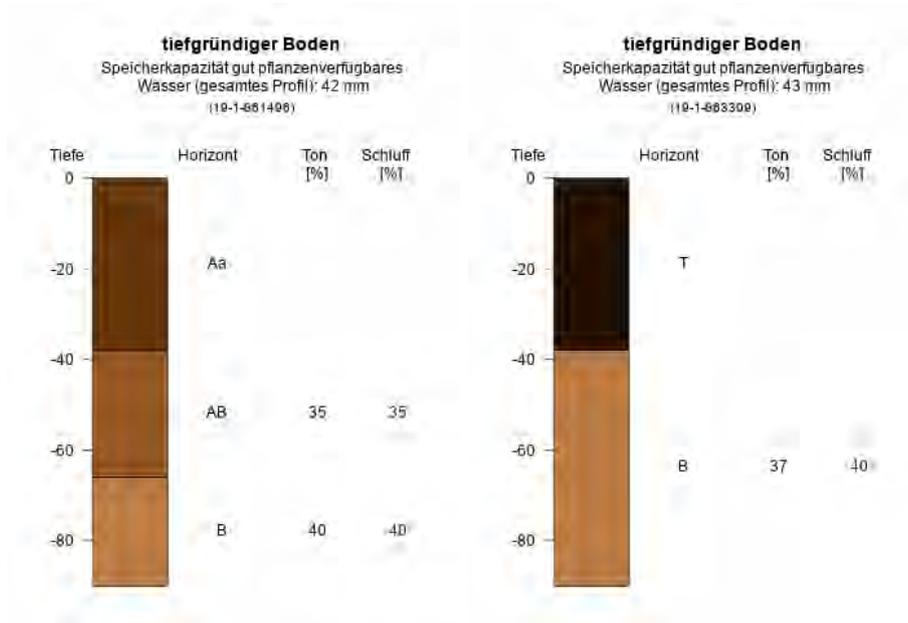


Abbildung 19: Bodentextur für die Verfahren Bilanz-App (links) und Bodensonde (rechts)



Abbildung 20: übersicht der Versuchsparzelle

### 4.2.1 Bewässerungsempfehlung

### 4.2.2 Ertrag



Abbildung 21: Verfahren Bilanz (links) und Bodensonde (rechts) im Juni

Tabelle 7: Anzahl Bewässerungsgaben, total Bewässerung in mm und Datum erster Gabeempfehlung für die Webapplikation der ALB und die realisierte Bewässerung des Betriebsleiters.

Verfahren	Anzahl Gaben	Bewässerung total	Datum 1. Gabe
ALB_std	2	60	2019-07-12
Betriebsleiter Bilanz	6	112	2019-06-27
Betriebsleiter Sonde	6	109	2019-06-26

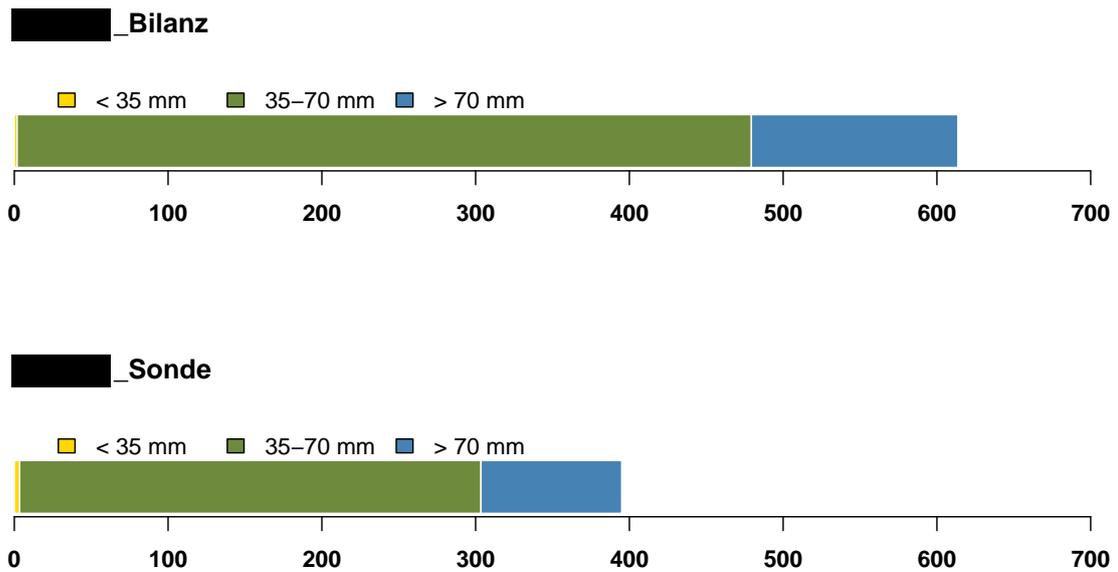
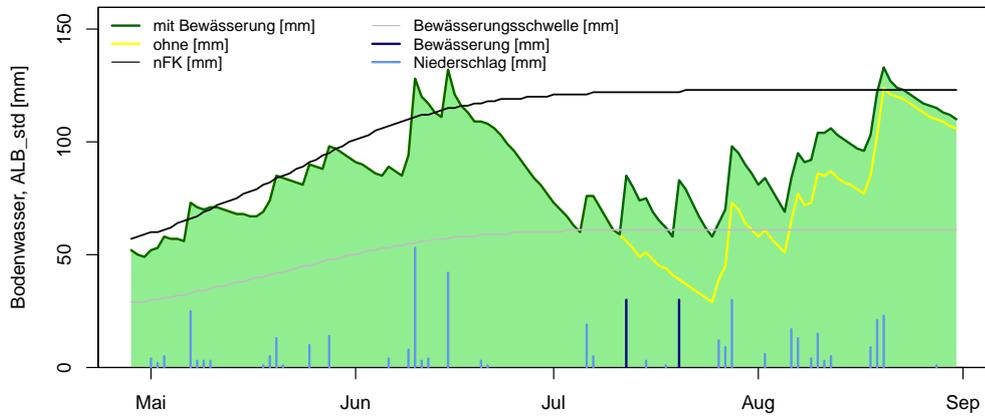
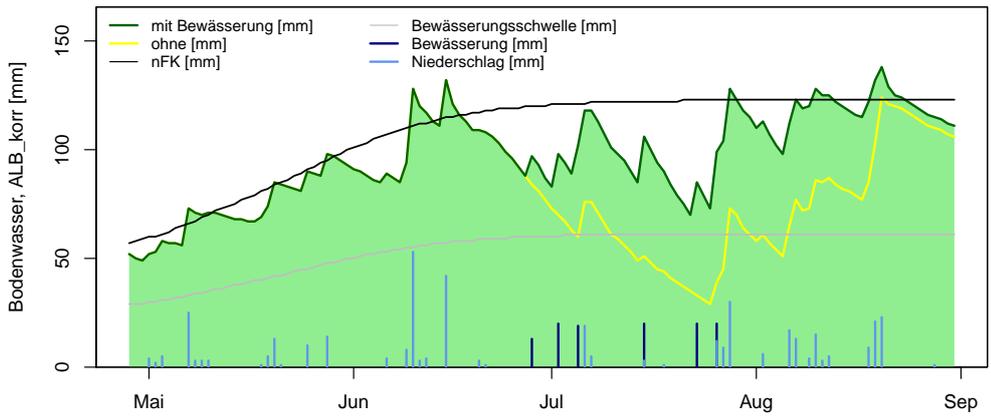


Abbildung 22: Ertrag nach Kaliberklassen in den zwei Verfahren Bilanz und Sonde für den Betrieb [redacted]

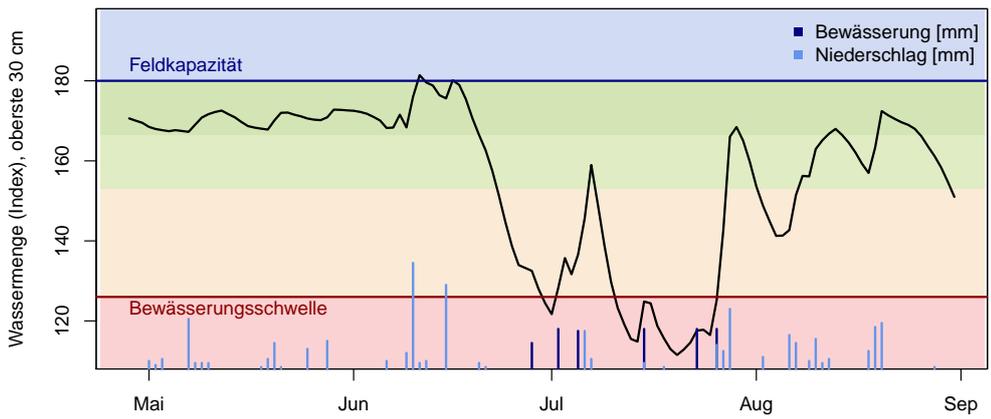
### 4.2.3 Verlaufsgrafiken Bodenfeuchtigkeit



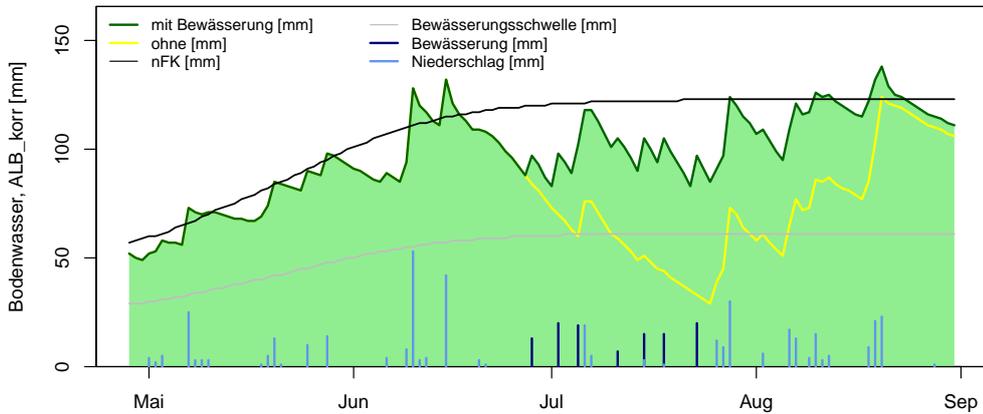
**Abbildung 23:** Bodenwasserverlauf der Web-Applikation, Verfahren std in mm und empfohlene Bewaessering in mm für die Stationen [redacted] 861496, 863309



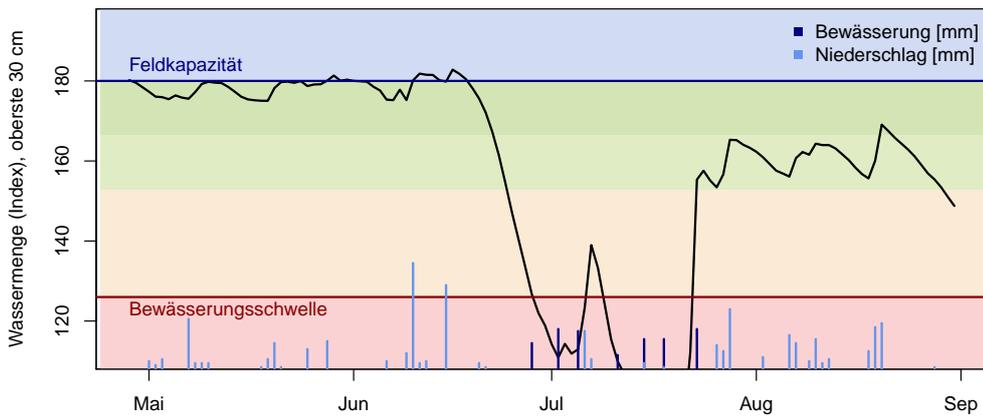
**Abbildung 24:** Bodenwasserverlauf der Web-Applikation korrigiert in mm, Verfahren Bilanz



**Abbildung 25:** Bodenwasserverlauf im Wurzelraum mit 30 cm der Bodensonde (Index) und Bewässerung in mm, Verfahren Bilanz



**Abbildung 26:** Bodenwasserverlauf der Web-Applikation korrigiert in mm, Verfahren Sonde

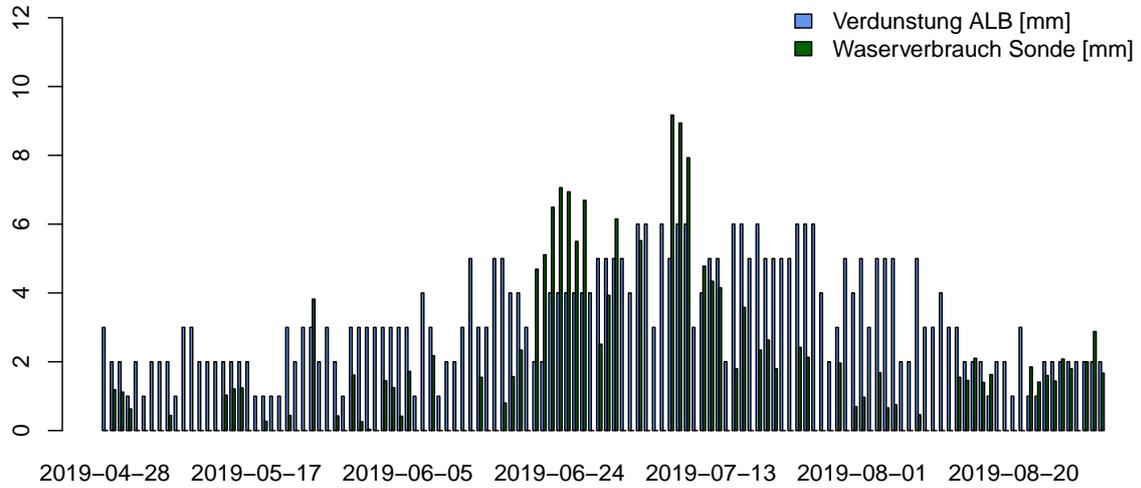


**Abbildung 27:** Bodenwasserverlauf im Wurzelraum der Bodensonde (Index) und Bewässerung in mm, Verfahren Sonde

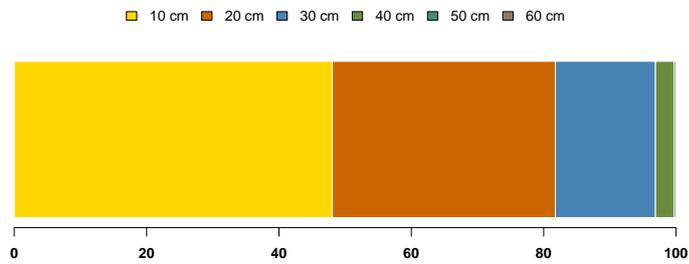
**Tabelle 8:** Anzahl Messtage unter der Schwelle (d.unter.schwelle), Anzahl Tage oberhalb der Feldkapazität (d.o.fk), Werte für die Feldkapazität [mm/10 cm] und die Bewässerungsschwelle [mm/10 cm] und das Verhältnis von Schwelle zu Feldkapazität für die beiden Methoden ALB-Applikation und Sonde und die beiden Verfahren Bilanz und Sonde.

Methode	d.unter.schwelle	d.o.fk	nfk.mm	fk.mm	schwelle.mm	rel.fk.schwelle
ALB_Bilanz	0	20	20	32	21	0.67
Sonde_Bilanz	0	0		60	42	0.70
ALB_Sonde	0	20	20	32	21	0.67
Sonde_Sonde	0	14		60	42	0.70

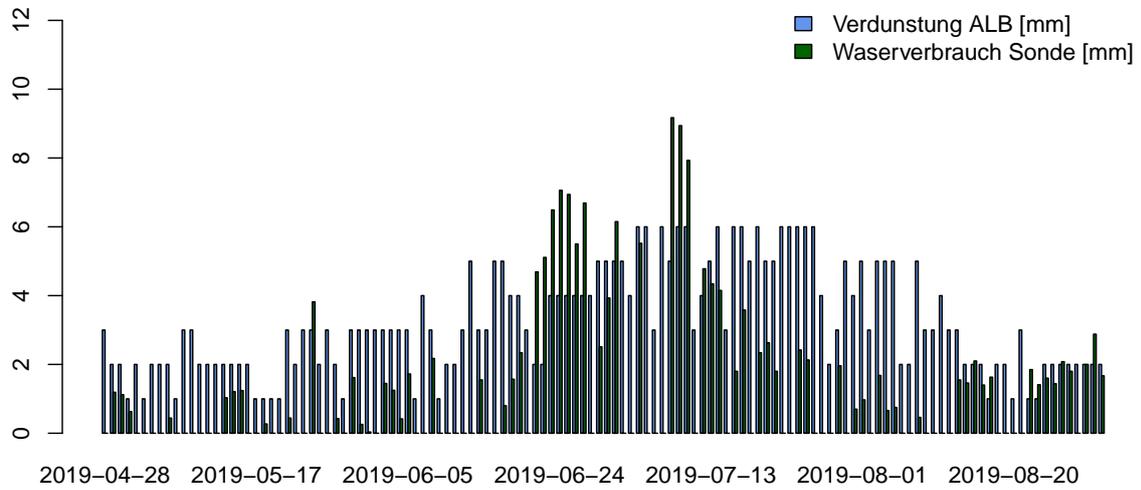
### 4.2.4 Täglicher Wasserbedarf



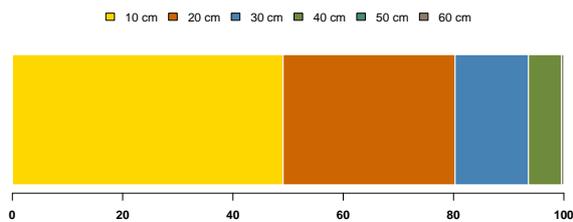
**Abbildung 28:** Tägliche Wasseraufnahme der Pflanzen in mm berechnet durch die ALB-App und aus den Messungen der Bodensonden für das Verfahren Bilanz



**Abbildung 29:** Wasseraufnahme aus den Einzeltiefen in % der Gesamtwasseraufnahme für das Verfahren Bilanz



**Abbildung 30:** Tägliche Wasseraufnahme der Pflanzen in mm berechnet durch die ALB-App und aus den Messungen der Bodensonden für das Verfahren Sonde

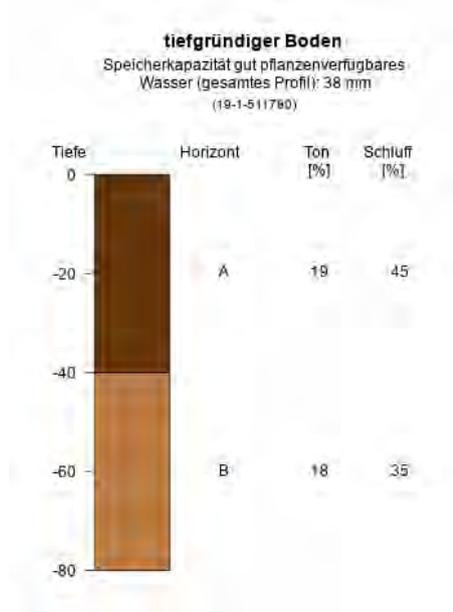


**Abbildung 31:** Wasseraufnahme aus den Einzeltiefen in % der Gesamtwasseraufnahme für das Verfahren Sonde

## 5 Resultate Nebenversuche

### 5.1 Station 511780

Betrieb: [REDACTED]  
 Kultur: Kartoffeln  
 Sorte: Amandine  
 Bewässerungstechnik: Tröpfchenbewässerung  
 Seriennummer Sonde: 511780

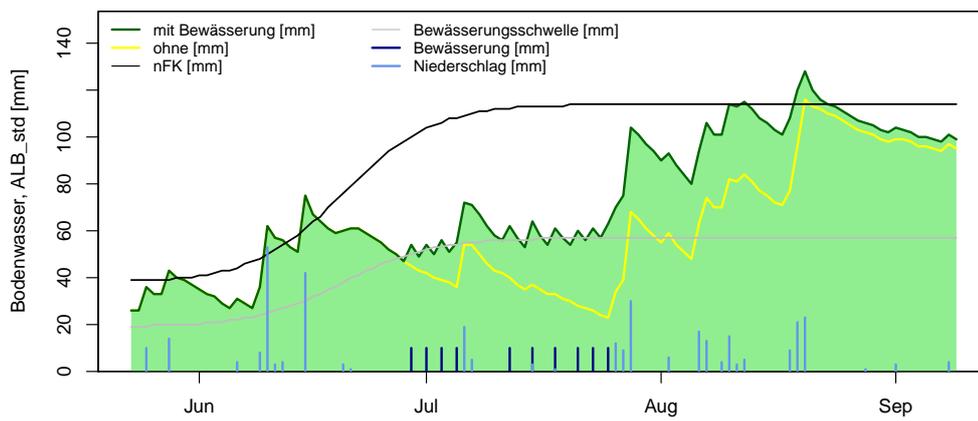


#### 5.1.1 Bewässerungsempfehlung

**Tabelle 10:** Anzahl Bewässerungsgaben, total Bewässerung in mm und Datum erster Gabeempfehlung für die Webapplikation der ALB und die realisierte Bewässerung des Betriebsleiters.

Verfahren	Anzahl Gaben	Bewässerung total	Datum 1. Gabe
ALB_std	10	100	2019-06-29
Betriebsleiter	5	95	2019-07-04

#### 5.1.2 Verlaufsgrafiken Bodenfeuchtigkeit



**Abbildung 32:** Bodenwasserverlauf der Web-Applikation, Verfahren std in mm und empfohlene Bewässerung in mm für die Station 511780

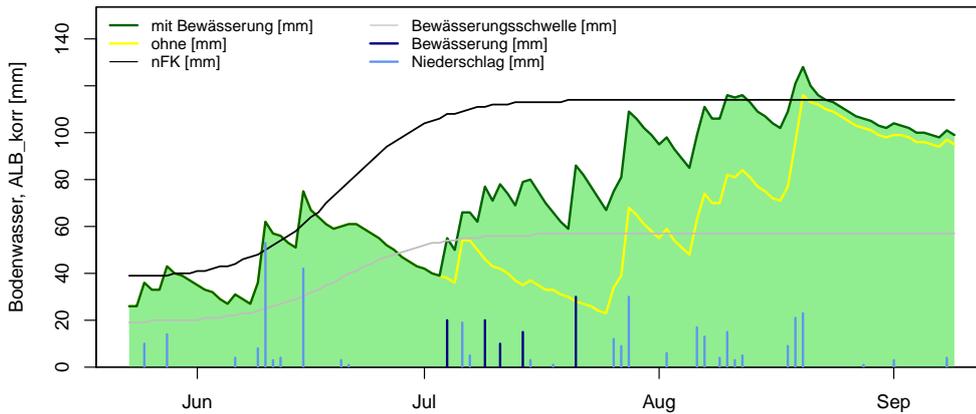


Abbildung 33: Bodenwasserverlauf der Web-Applikation korrigiert in mm für die Station 511780

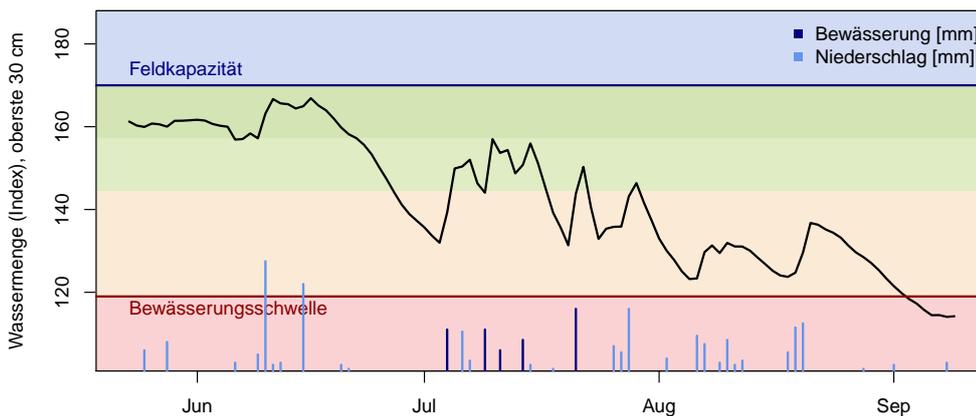
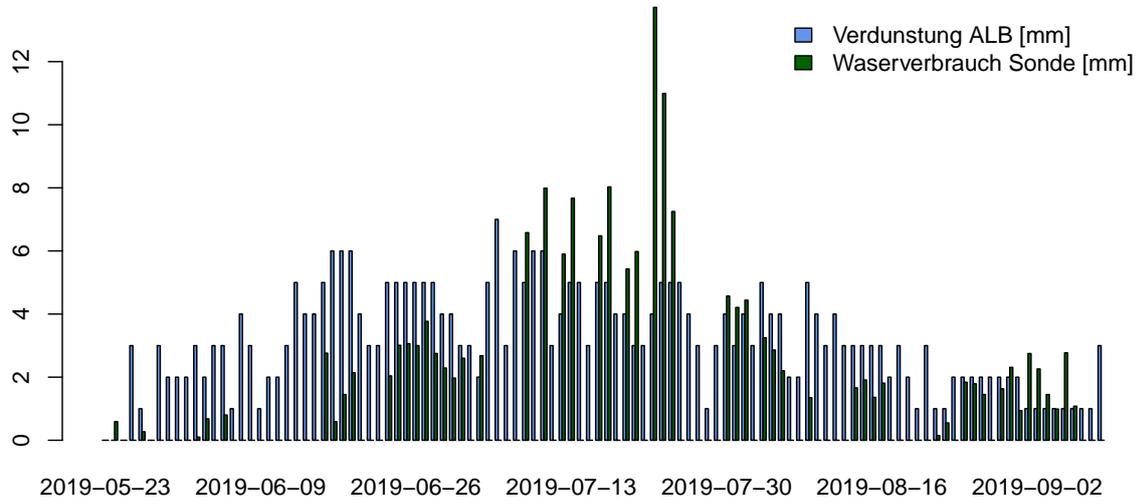


Abbildung 34: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum der Bodensonde (Index) und Bewässerung in mm für Station 511780

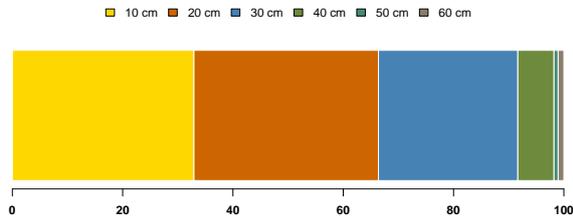
**Tabelle 11:** Anzahl Messtage unter der Schwelle (d.unter.schwelle), Anzahl Tage oberhalb der Feldkapazität (d.o.fk), Werte für die Feldkapazität [mm/10 cm] und die Bewässerungsschwelle [mm/10 cm] und das Verhältnis von Schwelle zu Feldkapazität für die beiden Methoden ALB-Applikation und Sonde.

Methode	d.unter.schwelle	d.o.fk	nfk.mm	fk.mm	schwelle.mm	rel.fk.schwelle
ALB_korr	7	13	19	37	27	0.74
Sonde	7	0		57	40	0.70

### 5.1.3 Täglicher Wasserbedarf



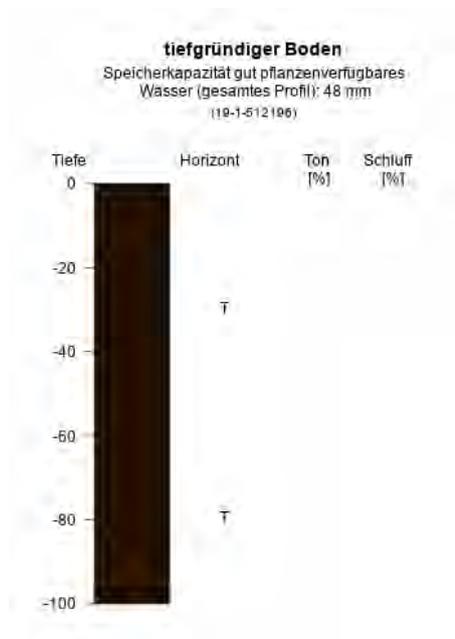
**Abbildung 35:** Tägliche Wasseraufnahme der Pflanzen in mm berechnet durch die ALB-App und aus den Messungen der Bodensonden für die Station 511780



**Abbildung 36:** Wasseraufnahme aus den Einzeltiefen in % der Gesamtwasseraufnahme für die Station 511780

## 5.2 Station 512196

Betrieb: [REDACTED]  
 Kultur: Kartoffeln  
 Sorte: Lady Claire  
 Bewässerungstechnik: Rollomat  
 Seriennummer Sonde: 512196

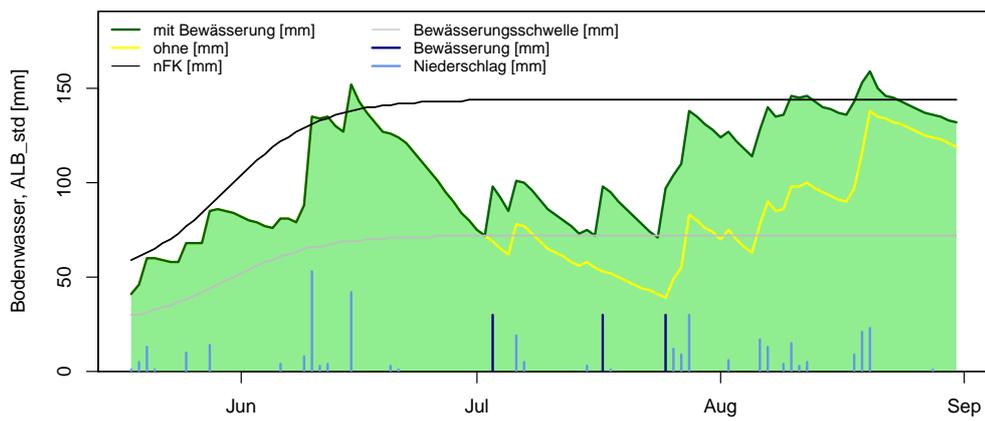


### 5.2.1 Bewässerungsempfehlung

**Tabelle 13:** Anzahl Bewässerungsgaben, total Bewässerung in mm und Datum erster Gabeempfehlung für die Webapplikation der ALB und die realisierte Bewässerung des Betriebsleiters.

Verfahren	Anzahl Gaben	Bewässerung total	Datum 1. Gabe
ALB_std	3	90	2019-07-03
Betriebsleiter	6	118	2019-06-28

### 5.2.2 Verlaufsgrafiken Bodenfeuchtigkeit



**Abbildung 37:** Bodenwasserverlauf der Web-Applikation, Verfahren std in mm und empfohlene Bewässerung in mm für die Station 512196

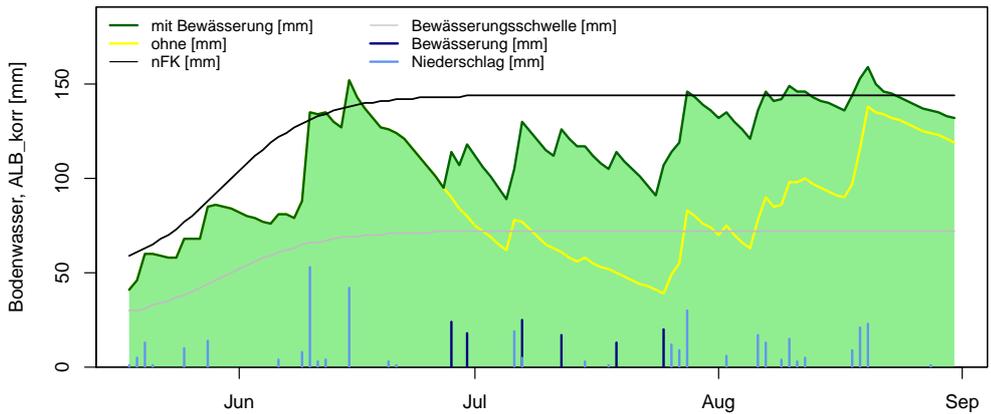


Abbildung 38: Bodenwasserverlauf der Web-Applikation korrigiert in mm für die Station 512196

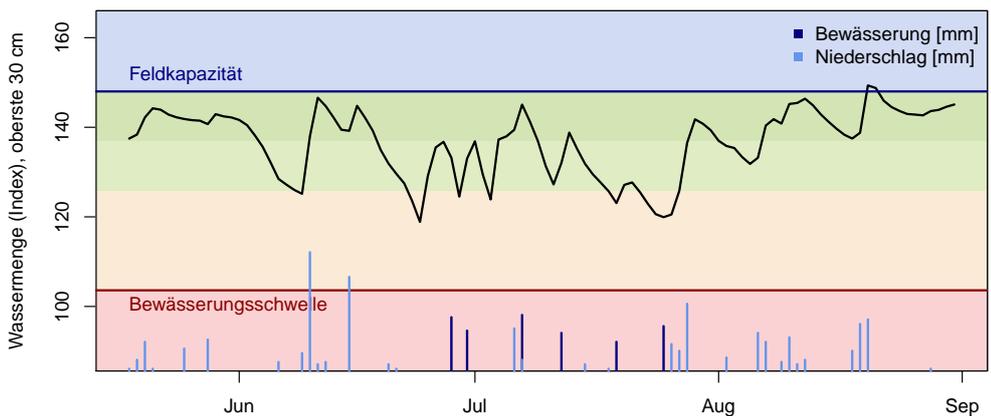
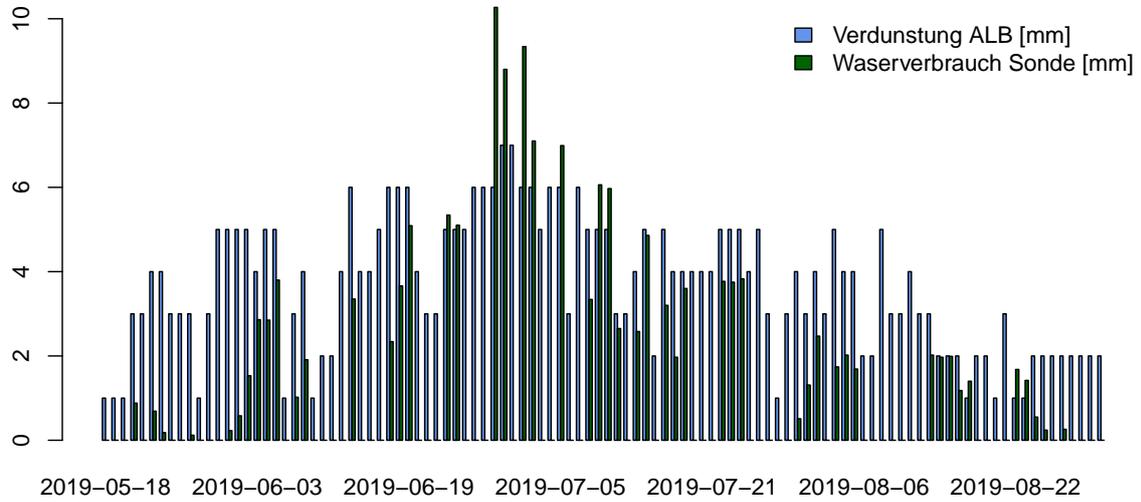


Abbildung 39: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum der Bodensonde (Index) und Bewässerung in mm für Station 512196

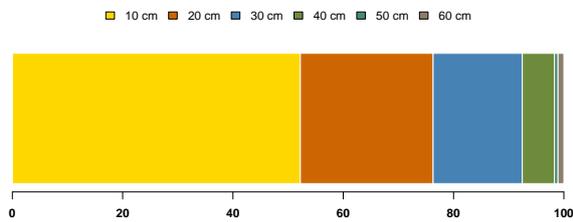
**Tabelle 14:** Anzahl Messtage unter der Schwelle (d.unter.schwelle), Anzahl Tage oberhalb der Feldkapazität (d.o.fk), Werte für die Feldkapazität [mm/10 cm] und die Bewässerungsschwelle [mm/10 cm] und das Verhältnis von Schwelle zu Feldkapazität für die beiden Methoden ALB-Applikation und Sonde.

Methode	d.unter.schwelle	d.o.fk	nfk.mm	fk.mm	schwelle.mm	rel.fk.schwelle
ALB_korr	0	15	24	37	25	0.68
Sonde	0	2		49	35	0.70

### 5.2.3 Täglicher Wasserbedarf



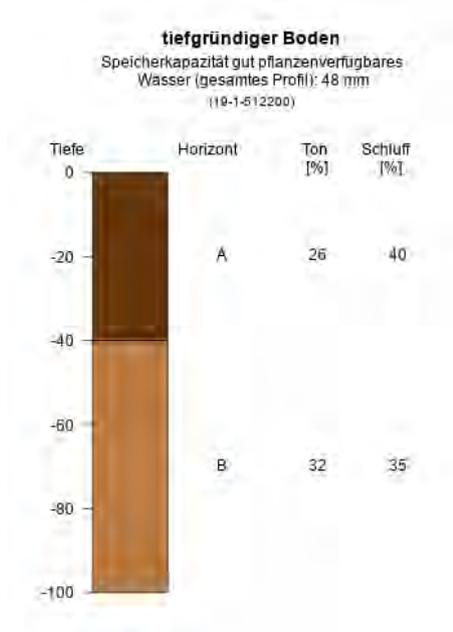
**Abbildung 40:** Tägliche Wasseraufnahme der Pflanzen in mm berechnet durch die ALB-App und aus den Messungen der Bodensonden für die Station 512196



**Abbildung 41:** Wasseraufnahme aus den Einzeltiefen in % der Gesamtwasseraufnahme für die Station 512196

### 5.3 Station 512200

Betrieb: XXXXXXXXXX  
 Kultur: Kartoffeln  
 Sorte: Fontane  
 Bewässerungstechnik: Sprinkler  
 Seriennummer Sonde: 512200

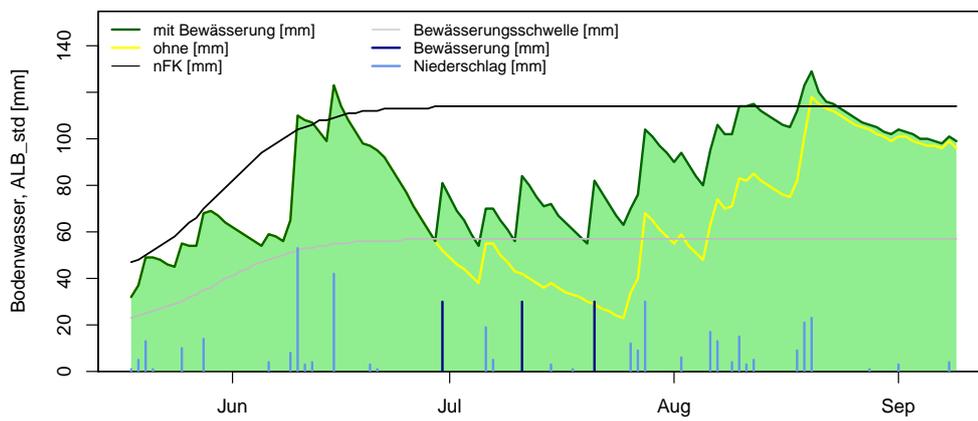


#### 5.3.1 Bewässerungsempfehlung

**Tabelle 16:** Anzahl Bewässerungsgaben, total Bewässerung in mm und Datum erster Gabeempfehlung für die Webapplikation der ALB und die realisierte Bewässerung des Betriebsleiters.

Verfahren	Anzahl Gaben	Bewässerung total	Datum 1. Gabe
ALB_std	3	90	2019-06-30
Betriebsleiter	5	108	2019-06-27

#### 5.3.2 Verlaufsgrafiken Bodenfeuchtigkeit



**Abbildung 42:** Bodenwasserverlauf der Web-Applikation, Verfahren std in mm und empfohlene Bewässerung in mm für die Station 512200

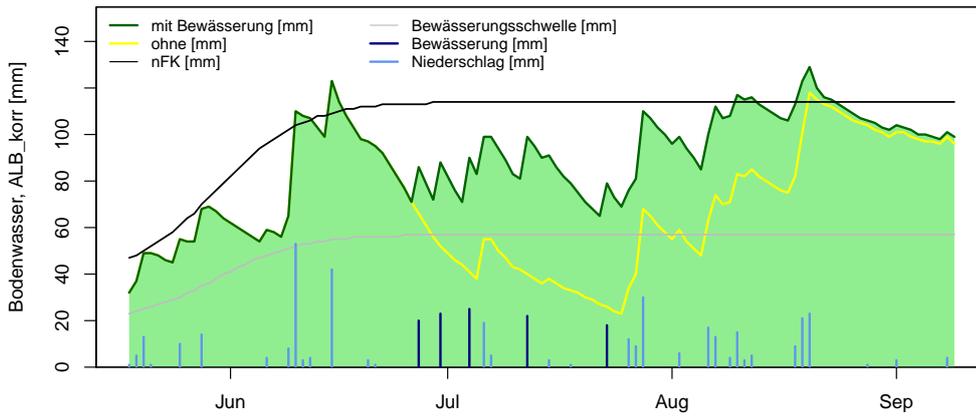


Abbildung 43: Bodenwasserverlauf der Web-Applikation korrigiert in mm für die Station 512200

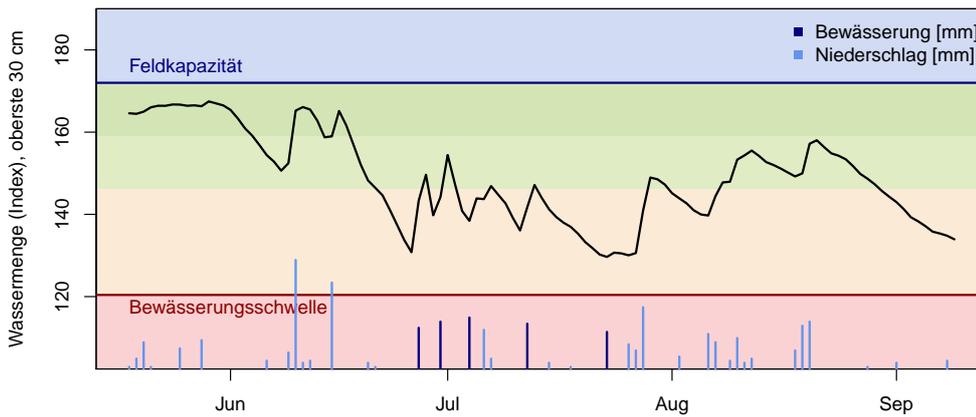
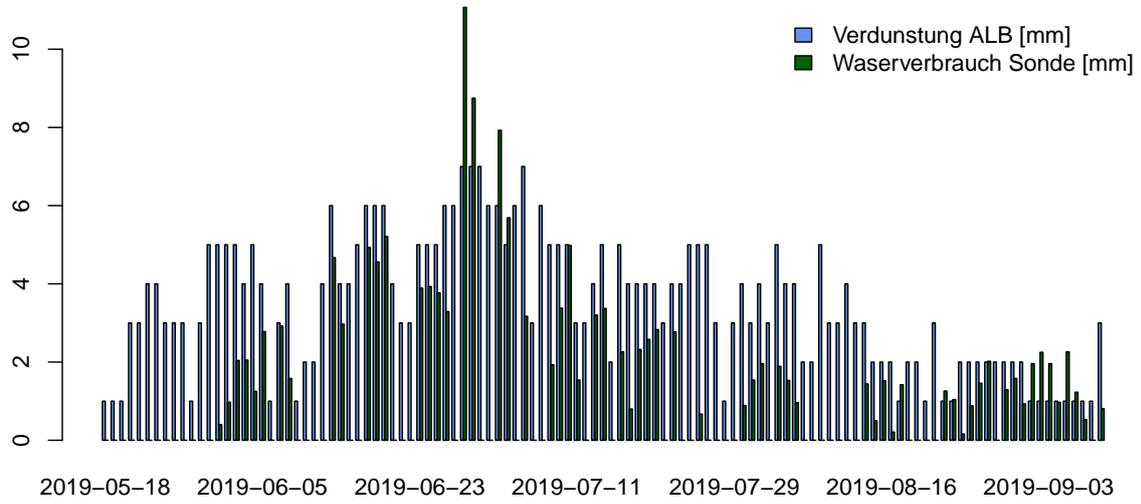


Abbildung 44: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum der Bodensonde (Index) und Bewässerung in mm für Station 512200

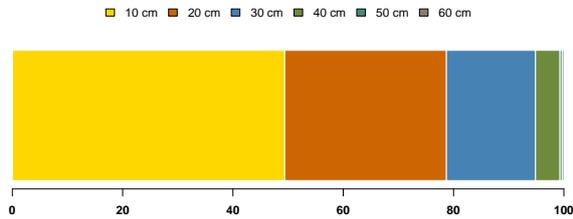
**Tabelle 17:** Anzahl Messtage unter der Schwelle (d.unter.schwelle), Anzahl Tage oberhalb der Feldkapazität (d.o.fk), Werte für die Feldkapazität [mm/10 cm] und die Bewässerungsschwelle [mm/10 cm] und das Verhältnis von Schwelle zu Feldkapazität für die beiden Methoden ALB-Applikation und Sonde.

Methode	d.unter.schwelle	d.o.fk	nfk.mm	fk.mm	schwelle.mm	rel.fk.schwelle
ALB_korr	0	13	19	37	27	0.74
Sonde	0	0		57	40	0.70

### 5.3.3 Täglicher Wasserbedarf



**Abbildung 45:** Tägliche Wasseraufnahme der Pflanzen in mm berechnet durch die ALB-App und aus den Messungen der Bodensonden für die Station 512200



**Abbildung 46:** Wasseraufnahme aus den Einzeltiefen in % der Gesamtwasseraufnahme für die Station 512200

## 5.4 Station 863316

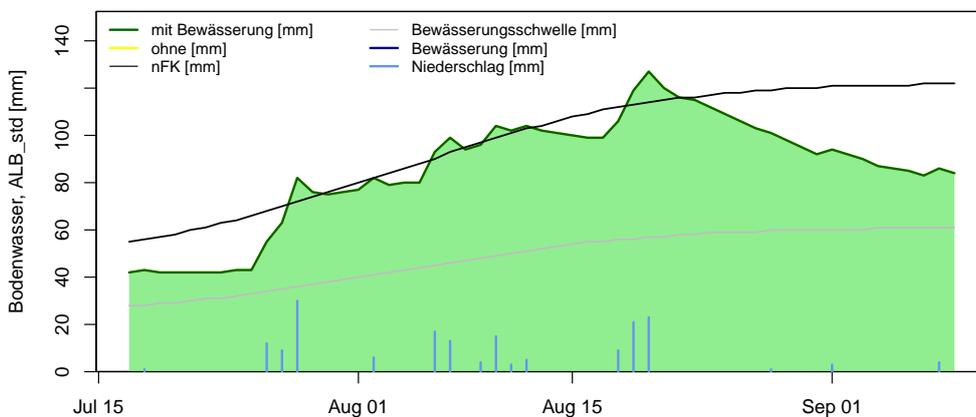
Betrieb: XXXXXXXXXX  
 Kultur: Karotten  
 Sorte: Romance  
 Bewässerungstechnik: Sprinkler  
 Seriennummer Sonde: 863316

### 5.4.1 Bewässerungsempfehlung

**Tabelle 19:** Anzahl Bewässerungsgaben, total Bewässerung in mm und Datum erster Gabeempfehlung für die Webapplikation der ALB und die realisierte Bewässerung des Betriebsleiters.

Verfahren	Anzahl Gaben	Bewässerung total	Datum 1. Gabe
ALB_std	0	0	keine
Betriebsleiter	3	69	2019-07-18

### 5.4.2 Verlaufsgrafiken Bodenfeuchtigkeit



**Abbildung 47:** Bodenwasserverlauf der Web-Applikation, Verfahren std in mm und empfohlene Bewässerung in mm für die Station 863316

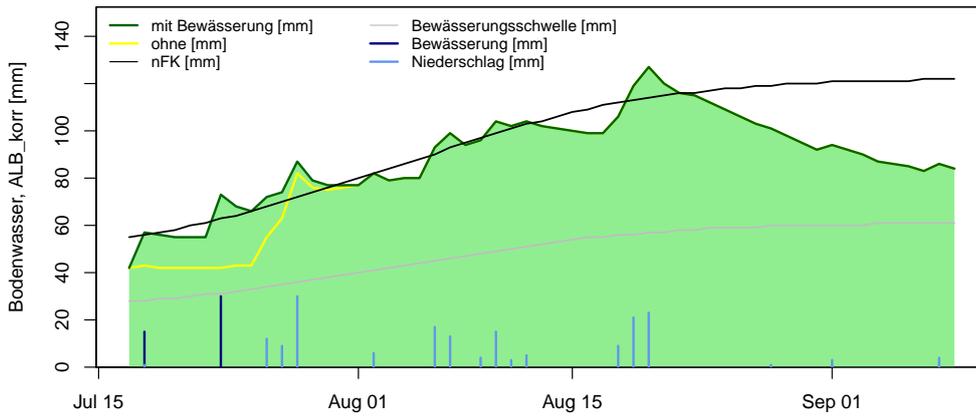


Abbildung 48: Bodenwasserverlauf der Web-Applikation korrigiert in mm für die Station 863316

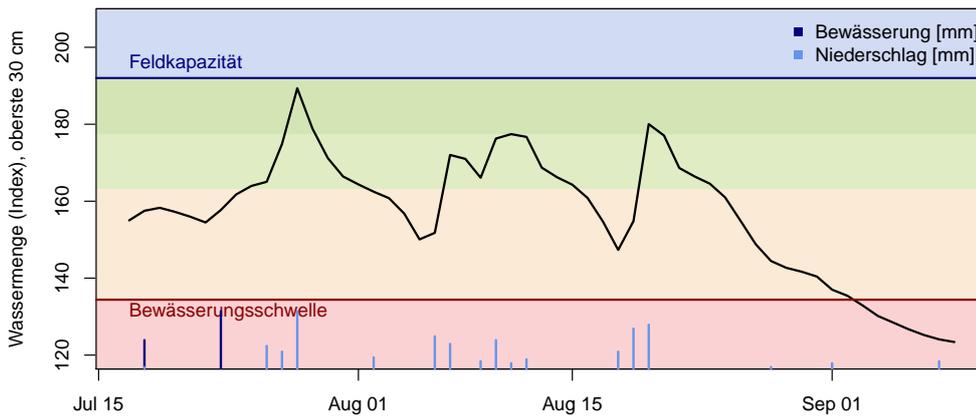
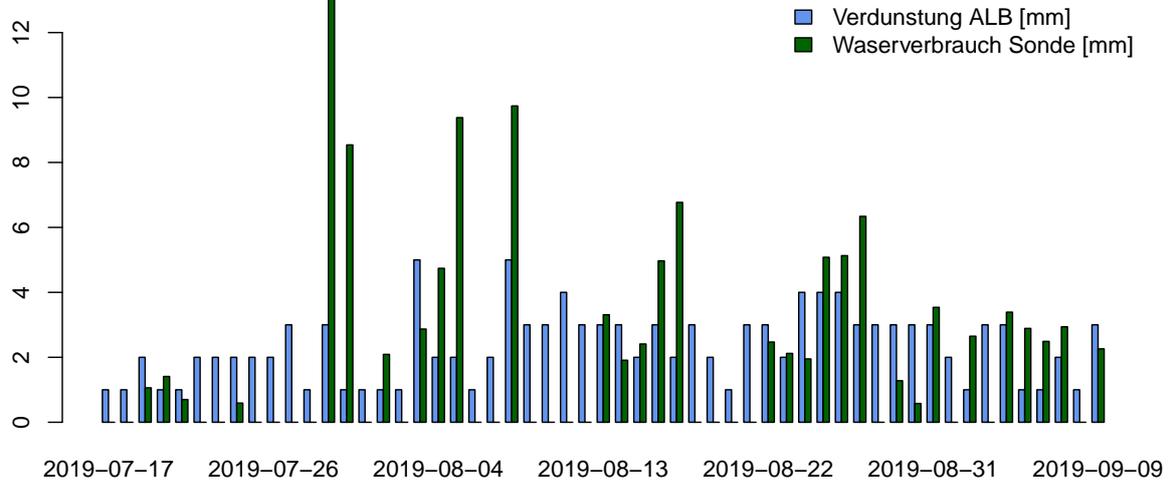


Abbildung 49: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum der Bodensonde (Index) und Bewässerung in mm für Station 863316

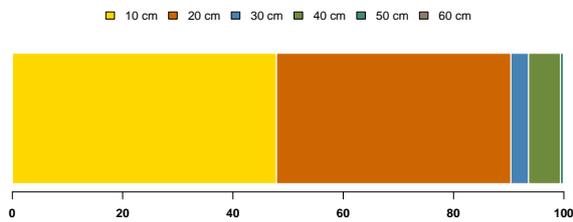
**Tabelle 20:** Anzahl Messtage unter der Schwelle (d.unter.schwelle), Anzahl Tage oberhalb der Feldkapazität (d.o.fk), Werte für die Feldkapazität [mm/10 cm] und die Bewässerungsschwelle [mm/10 cm] und das Verhältnis von Schwelle zu Feldkapazität für die beiden Methoden ALB-Applikation und Sonde.

Methode	d.unter.schwelle	d.o.fk	nfk.mm	fk.mm	schwelle.mm	rel.fk.schwelle
ALB_korr	0	16	20	39	28	0.74
Sonde	7	0		64	45	0.70

### 5.4.3 Täglicher Wasserbedarf



**Abbildung 50:** Tägliche Wasseraufnahme der Pflanzen in mm berechnet durch die ALB-App und aus den Messungen der Bodensonden für die Station 863316



**Abbildung 51:** Wasseraufnahme aus den Einzeltiefen in % der Gesamtwasseraufnahme für die Station 863316

## 6 Diskussion

### 6.1 Beurteilung Bewässerungspraxis

#### 6.1.1 Hauptversuch, [REDACTED] (861493 und 861484)

Der Betrieb [REDACTED] bewässerte aufgrund der Sonden rund 14 Tage früher im Vergleich zur Empfehlung der ALB. Laut Sondenempfehlung wurde gezielt bewässert. Für die Empfehlung der ALB-App wurde zu diesem Zeitpunkt eine Wurzeltiefe von rund 50 cm angenommen. Die Wurzeltiefe für die Sondenempfehlung war aufgrund des Messverlaufs auf den Einzeltiefen in der ersten Saisonhälfte auf 20 cm Wurzelraum eingestellt. In den Verfahren Sonde und Bilanz wurde zum Zeitpunkt Empfehlung der Sonde mit der Berechnung gestartet. Deshalb sind die Ertragsunterschiede zwischen den Verfahren Sonde und Bilanz vernachlässigbar. Im Verfahren Bilanz lag die Bodenfeuchtigkeit nie im Stressbereich. Im Verfahren Sonde lag die Bodenfeuchtigkeit gemäss Sondenmessung Ende Juni für zwei Tage im Stressbereich, gemäss ALB-App Ende Juli für drei Tage. Diese kurzen Stressphasen scheinen keinen Einfluss auf den Ertrag gehabt zu haben.

#### 6.1.2 Hauptversuch, [REDACTED] (861496 und 863309)

Aufgrund der Sondenempfehlungen wurde auf diesem Betrieb gezielt bewässert. Aufgrund der Bilanz-App hätten vier der sechs Gaben eingespart werden können und die Bewässerungsmenge halbiert werden können. Für die Empfehlung der Sonde wurden die obersten 30 cm berücksichtigt, für die Empfehlung mit der Bilanz-App die obersten 60 cm. Bei zunehmender Trockenheit haben sich um die Sonden Risse gebildet und es kann nicht abschliessend beurteilt werden, ob die Bodenfeuchte tatsächlich so tief war, wie die Messwerte angegeben haben. Die tatsächlich durchgeführte Bewässerung in den Verfahren Bilanz und Sonde unterschied sich um bloss drei Millimeter und einen leicht früheren Bewässerungsbeginn im Verfahren Sonde. Die Ertragsunterschiede in den Verfahren sind auf Unterschiede im Auflaufen zurückzuführen (vgl. Abb. 19).

#### 6.1.3 Nebenversuche

Bei den Kartoffeln mit Tröpfchenbewässerung ([REDACTED], Amandine, 511780) wurden weniger, dafür höhere Gaben als empfohlen gemacht. Durch die Verwendung der App hätte die Bewässerungspraxis besser auf die Bewässerungstechnik abgestimmt werden können. Die total verabreichte Wassermenge stimmt gut mit der Empfehlung überein.

Bei den Kartoffeln mit Rollomat ([REDACTED], Erika, 512196) hätten laut ALB-App drei der sechs Gaben eingespart werden können, was einer Einsparung von ca. 30 mm entspricht. Auch der Betriebsleiter sagt im Nachhinein, dass die erste Gabe nicht wegen Trockenheit sondern wegen Hagelschaden erfolgt ist. Genügend verfügbares Wasser sollte ermöglichen, dass sich die Blattmasse leichter wieder aufbaut.

Bei den Kartoffeln mit Sprinkler ([REDACTED], Fontane, 512200) hätten laut der ALB-App zwei der fünf Gaben eingespart werden können, was einer Einsparung von 20 mm entspricht. Auch in dieser Parzelle wurde wegen des Hagelschadens früher als aufgrund der Trockenheit nötig gestartet.

Bei den Karotten mit Spinkler (863316) wären laut der App und der Sonde keine Berechnung nötig gewesen.

### 6.2 Bodenfeuchteverlauf mit Bilanz-App und Sonde

Insgesamt gleichen sich die Verläufe der Sondenmessungen und der Bilanzrechnungen auf den unterschiedlichen Parzellen und in den unterschiedlichen Kulturen. Auf organischen Böden mit eher schlechterer Bodenstruktur, wie es in den Hauptversuchen der Fall war, war die Bilanz-App im Vergleich zur Sonde teilweise im Vorteil. Bei den Sonden gab es Probleme mit ungenügendem Bodenschluss.

Die Anzahl Tage unterhalb der Bewässerungsschwelle unterschieden sich an zwei der acht Vergleichsstandorte zwischen Bodensonde und Bilanz-App um mehr als einen Tag. In der Parzelle 861484 ([REDACTED], Zwiebeln) gab es gemäss App mehr Stress-Tage, in der Parzelle 863316 gemäss Bodensonde ([REDACTED], Karotten).

**Tabelle 22:** Übersicht über die Bewässerungspraxis an den verschiedenen Standorten: Anzahl Gaben, Bewässerung geammt in mm und das Datum der ersten Gabe für die Empfehlungen der Bilanz-App und der tatsächlichen Praxis.

SN	Anz. Gaben		Bewässerung total		Datum 1. Gabe	
	ALB_std	Betriebsleiter	ALB_std	Betriebsleiter	ALB_std	Betriebsleiter
861493	6	5	60	66	2019-07-14	2019-06-29
861484	6	5	60	53	2019-07-14	2019-06-28
861496	2	6	60	112	2019-07-12	2019-06-27
863309	2	6	60	109	2019-07-12	2019-06-26
511780	10	5	100	95	2019-06-29	2019-07-04
512196	3	6	90	117.6	2019-07-03	2019-06-28
512200	3	5	90	108	2019-06-30	2019-06-27
863316	0	3	0	69	keine	2019-07-18

Die Anzahl Tage oberhalb der Feldkapazität war an allen Standorten höher bei der Bilanz-App, unabhängig davon ob die Feldfeuchte zu Berechnungsbeginn im Labor gemessen wurde (erste vier Parzellen) oder nicht (letzte vier Parzellen). Auf vier der acht Standorte sind die Unterschiede in der zweiten Saisonhälfte grösser. Die könnte damit zusammenhängen, dass für die Sondenempfehlung die obersten 30 und für die Bilanz-Empfehlung die obersten 60 cm verwendet werden. Gegen Ende Saison (=Ende Sommer) ist der Oberboden wahrscheinlich stärker ausgetrocknet durch den Wasserentzug der Kulturen als der Unterboden und die Wasserverfügbarkeit deshalb in den obersten 30 cm tiefer als in den obersten 60 cm.

Die Feldkapazität pro 10 cm, die für die Empfehlungen hinterlegt ist, ist bei den Bodensonden höher als bei der Bilanz-App. Mit Zylindermessungen wurde bereits gezeigt, dass die Bodensonden die Bodenfeuchtigkeit systematisch überschätzen und deshalb alle absoluten Werte ebenfalls höher liegen, als sonst in der Literatur angegeben wird.

Das Verhältnis Schwelle zu Feldkapazität schwankt bei der ALB-App in Funktion der eingestellten Bodenart. In fünf der acht Vergleiche liegt die Schwelle bei der ALB-App leicht höher als bei den Bodensonden. Insgesamt liegen die verwendeten Schwellen aber in einem vergleichbaren Bereich.

**Tabelle 23:** Übersicht über den Feuchteverlauf an den verschiedenen Standorten: Messtage unterhalb der Schwelle und oberhalb der Feldkapazität (FK), FK in mm/10 cm und das Verhältnis Schwelle/FK für die Berechnungen der Bilanz-App und die Messungen der Bodensonde.

SN	Messtage	< Schwelle	Messtage	> FK	FK/10 cm	Verhältnis		Schwelle zu FK
	ALB_korr	Sonde	ALB_korr	Sonde	ALB_korr	Sonde	ALB_korr	Sonde
861493	1	0	14	0	37	58	0.74	0.7
861484	5	0	13	0	37	58	0.74	0.7
861496	0	0	20	0	32	60	0.67	0.7
863309	0	0	20	14	32	60	0.67	0.7
511780	7	7	13	0	37	57	0.74	0.7
512196	0	0	15	2	37	49	0.68	0.7
512200	0	0	13	0	37	57	0.74	0.7
863316	0	7	16	0	39	64	0.74	0.7

### 6.2.1 Limitierung organische Böden

Bei der Bilanz-App fehlt die Einstellung organische Böden. Die mit den Zylindermessungen ermittelte Wasserspeicherfähigkeit der Parzellen konnte für einige Parzellen in der App gar nicht eingestellt werden (861496, 863309, 512196, 863316). Die Bewässerung wird durch den unterschätzten Bodenspeicher früher empfohlen als nötig wäre.

Die organischen Böden mit schwacher Bodenstruktur sind aber ebenso eine starke Limitierung für die Bodensonden. Durch die schwache Struktur senkt sich der Boden nach stärkeren Niederschlägen ab oder verschlämmt leichter. Es gelangt Luft zwischen Sonde und Boden und die Messung der Bodensonden ist nicht mehr zuverlässig. Deshalb mussten die Sonden im Hauptversuch mehrmals neu installiert werden.

### 6.2.2 Nötige Angaben für genaue Bilanzrechnung

Bei den letzten vier Vergleichsstandorten wurde keine genaue Bestimmung der Anfangsfeuchte gemacht und die Wachstumsstadien wurden nicht im Feld bestimmt. Trotzdem ist der berechnete Bodenfeuchteverlauf ähnlich wie die Sondenmessung. Dass die Abweichungen nicht merklich grösser sind als in den Hauptversuchen könnte auch damit zusammenhängen, dass die organischen Böden mit eher schwacher Bodenstruktur die oben beschriebenen Probleme verursacht haben. Einzig in der Karottenparzelle (863316) wurde die Anfangsfeuchte im Vergleich zur Sondenmessung eher hoch eingeschätzt. Weil aber Zylindermessungen am Standort fehlen, kann die genaue Anfangsfeuchte nicht abschliessend beurteilt werden. Als erste Tendenz lässt sich also vermuten, dass die Anfangsfeuchte und die genaue Bestimmung der Stadien für eine valide Empfehlung nicht zwingend notwendig sind. Dies muss aber mit weiteren Versuchen bestätigt werden.

### 6.2.3 Wasseraufnahme

Die berechnete Wasseraufnahme der Kulturen ist an allen Standorten tiefer als die Wasserverdunstung berechnet mit der ALB-App. Zudem schwankt die nach Sonden berechnete Wasseraufnahme stärker als die nach Bilanz berechnete (grössere Maximal- und Minimalwerte). Die Berechnungsmethode für die Wasseraufnahme nach Sonden wird in der Saison 2020 durch Versuche validiert. Danach können genauere Aussagen gemacht werden.

**Tabelle 24:** Gesamtwasseraufnahme an den verschiedenen Standorten für die Berechnungen der Bilanz-App (ALB\_korr) und die Messungen der Bodensonde

SN	ALB_korr	Sonde
861493	383	88
861484	379	76
861496	402	192
863309	406	176
511780	346	174
512196	386	152
512200	396	157
863316	128	119

## 7 Schlussfolgerungen

Die Ähnlichen Feuchteverläufe der App und der Sonde sind erfreulich. Die App ist einfach zu bedienen und liefert interessante Ergebnisse, um die Bewässerungspraxis zu beurteilen. Folgende Anpassungen der App werden vorgeschlagen:

- Die Wurzeltiefe 60 cm in der App ist für die untersuchten Kulturen Kartoffeln, Zwiebeln und Karotten zu hoch. Die Messungen der Bodensonden zeigen Hauptwasseraufnahmen aus den obersten 30 cm. Dies kann in der App parzellenspezifisch eingestellt werden bei den Kulturangaben und wird für den Vergleich 2020 so umgesetzt.
- Eine zusätzliche Bodenkategorie hinzufügen für organische Böden mit 35 - 40

Folgende Erhebungen müssen bei einem nächsten Vergleich gemacht werden:

- Zylindermessungen der Parzelle. Dadurch können spätere Abweichungen des Feuchteverlaufs erklärt werden.
- Festhalten der Wachstumsstadien. Insbesondere sollen Abweichungen zur Standardeinstellung festgehalten und bei der Auswertung berücksichtigt werden.

Die grösste Unsicherheit besteht bei der Bewässerungsschwelle. Bei App und Sonde kann nicht abschliessend bestätigt werden, wo nun die passende Schwelle für den entsprechenden Fall liegt. Deshalb ist es nicht möglich, Aussagen über die Ertragswirkung der allenfalls unterschiedlichen Bewässerungsempfehlungen zu machen.

## 8 Annex

ID	Verfahren	SN	Betrieb	Kultur	Boden.o.30	Boden.u.30
19-1-861484	Sonde	861484		Zwiebeln	sL	sL
19-1-861493	Bilanz	861493		Zwiebeln	sL	sL
19-1-861494		x		Flower Sprout	sL	sL
19-1-861495		x		Flower Sprout	sL	sL
19-1-861496	Bilanz	861496		Zwiebeln	Org.	tL
19-1-863309	Sonde	863309		Zwiebeln	Org.	tL
		511780		Kartoffeln	sL	sL
		863316		Karotten	uL	tL
		512200		Kartoffeln	sL	sL
		512196		Kartoffeln	Org.	Org.

SN	Durchwurzelbarkeit	nFK.Oberboden	nFK.Unterboden	Fruchtart
861484	95	std	std	Zwiebeln, gesät
861493	100	std	std	Zwiebeln, gesät
x	100			
x	90			
861496	90	24	std	Zwiebeln, gesät
863309	90	24	std	Zwiebeln, gesät
511780	80	std	std	Kartoffeln
863316	100	24	std	Karotten
512200	100	std	std	Kartoffeln
512196	100	24	24	Kartoffeln

**Tabelle 25:** Einstellungen in der Webapplikation für die Versuchspartellen. Die Bodentextur wird für die oberen 30 cm (Boden.o.30) und die unteren 30 cm (Boden.u.30) separat eingestellt. Die Wassersättigung zum Start wird in % der nFK angegeben.

SN	Auflauftermin	Erscheinen.5..Blatt
861484	15.04.2019 (17 Tage nach Saat -> aus Lehrmittel Inforama)	27.06.2019 25.6.19 eingestellt
861493	15.04.2019 (17 Tage nach Saat -> aus Lehrmittel Inforama)	27.06.2019 25.6.19 eingestellt
x		
x		
861496	15.4.19 (std)	13.06.2019
863309	15.4.19 (std)	13.06.2019
511780	31.05.2019	10.06.2019
863316	10.07.2019	08.08.2019
512200	std	
512196	std	

SN	Erscheinen.8..Blatt	Schlottenknicken	Wassersättigung.Oberboden.Start
861484	25.07.2019 10.7.19 eingestellt	12.08.2019	80%nFK
861493	25.07.2019 10.7.19 eingestellt	12.08.2019	80%nFK
x			
x			
861496	04.07.2019	08.08.2019	90%nFK
863309	04.07.2019	08.08.2019	90%nFK
511780	std	std	std
863316	21.08.2019	—	std
512200			std
512196			std

**Tabelle 26:** Einstellungen in der Webapplikation für die Versuchspartzellen. Die Bodentextur wird für die oberen 30 cm (Boden.o.30) und die unteren 30 cm (Boden.u.30) separat eingestellt. Die Wassersättigung zum Start wird in % der nFK angegeben.

SN	Wassersättigung.Unterboden.Start
861484	90%nFK
861493	90%nFK
x	
x	
861496	90%nFK
863309	90%nFK
511780	std
863316	std
512200	std
512196	std