

Bilanzmethode zur Bewässerungssteuerung

Validierung der ALB-App mit volumetrischen Bodensonden von RMA,
Saison 2020

**Andrea Marti¹, Patrick Müller², Daniel Bachmann³, Bernd Robbert⁴, Martin Müller⁵,
Andreas Keiser¹**

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

²Inforama Seeland, Herrenhalde 80, 3232 Ins

³Strickhof, Fachstelle Gemüse, Riedhofstrasse 62, 8408 Winterthur-Wülflingen

⁴LZSG Salez, Rheinhofstrasse 11, 9465 Salez

⁵ALB Bayern, Vöttinger Str. 36, D-85354 Freising-Weihenstephan

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	2
2	Hintergrund	3
3	Material and Methoden	3
3.1	Bewässerungs-App der ALB Bayern	3
3.2	Volumetrische Bodensonde der Firma Adcon	5
3.3	Vergleich der Bewässerungsempfehlungen	5
4	Resultate	7
4.1	Kartoffeln, Ins	7
4.1.1	Feldbeobachtung	7
4.1.2	Bewässerungsstrategie	7
4.1.3	Ertrag	8
4.2	Zwiebeln, Ins	12
4.2.1	Feldbeobachtung	12
4.2.2	Bewässerungsstrategie	12
4.2.3	Ertrag	12
4.3	Zwiebeln, Galmiz	17
4.3.1	Feldbeobachtung	18
4.3.2	Bewässerungsstrategie	18
4.4	Zucchetti, Fällanden	20
4.4.1	Feldbeobachtung	20
4.4.2	Bewässerungsstrategie	20
4.5	Salat, Pfäffikon	23
4.5.1	Feldbeobachtung	23
4.5.2	Bewässerungsstrategie	23

4.6	Kartoffeln, Buchs	27
4.6.1	Feldbeobachtung	28
4.6.2	Bewässerungsstrategie	28
4.7	Rotkohl, Ins	30
4.7.1	Feldbeobachtung	31
4.7.2	Bewässerungsstrategie	31
4.8	Karotten, Ins	33
4.8.1	Feldbeobachtung	34
4.8.2	Bewässerungsstrategie	34
4.9	Karotten, Müntschemier	36
4.9.1	Feldbeobachtung	37
4.9.2	Bewässerungsstrategie	37
4.10	Karotten, Wülflingen	39
4.10.1	Feldbeobachtung	39
4.10.2	Bewässerungsstrategie	39
5	Diskussion	42
5.1	Validierung der App	42
5.2	Wurzeltiefe und pflanzenverfügbares Wasser in der ALB-App und bei den untersuchten Parzellen	44
5.3	Einstellungen in der ALB-App	47
5.4	Wasserverbrauch und Evapotranspiration	49
5.5	Genauigkeit der interpolierten Niederschlagsdaten	51
6	Schlussfolgerungen	52
7	Anhang	53
7.1	Einfluss der Einstellungen der App auf die Bewässerungsempfehlung	53
7.2	Einstellungen in der App	59

1 Zusammenfassung

Eine Bewässerungssteuerung mit Wasserbilanz ermöglicht flächendeckende parzellenspezifische Bewässerungsempfehlungen ohne Investitionen in Messtechnik. Die Empfehlungen basieren aber nicht auf Messungen in der Parzelle und müssen deshalb sorgfältig validiert werden, damit sie auch das Vertrauen der Anwender gewinnen können. Im Jahr 2020 wurden auf zwölf Parzellen die Empfehlungen der Bewässerungs-App der ALB Bayern mit den Messungen der volumetrischen Bodensonden vom Bewässerungsnetz unter Schweizer Bedingungen validiert. Bodenerhebungen und Kulturbeobachtungen während der Saison ermöglichen eine sorgfältige Diskussion der unterschiedlichen Methoden. Die Bewässerungsempfehlung der ALB-App stimmten gut mit den Messungen der Bodensonden überein, insbesondere in den Kulturen Karotten, Zucchetti und Rotkohl. Abweichungen zwischen den Empfehlungen der App und den Sonden sind meist auf Unterschiede in der Evapotranspiration zurückzuführen. Die Berechnung geht immer von optimalem Wachstum aus und überschätzt den Wasserbedarf, wenn die Transpiration durch Stress oder Krankheit vermindert ist. Für Salat wird empfohlen, die kc-Faktoren über den gesamten Wachstumsverlauf für Schweizer Bedingungen zu senken, für Zwiebeln ist der kc-Faktor ab dem 8-Blatt-Stadium noch einmal zu prüfen. Die Wachstumsstadien der Kulturen durch regelmässige Feldbeobachtungen sind für eine parzellenspezifische Anpassung der Empfehlungen zentral, hingegen kann unter Praxisbedingungen darauf verzichtet werden, die Anfangsfeuchte mittels Zylinderproben exakt zu bestimmen.

2 Hintergrund

Volumetrische Bodensonden messen parzellenspezifisch und kontinuierlich den Bodenwassergehalt. Sie sind ein gutes Hilfsmittel, um die Wassernutzung der Kulturen und die Wasserverfügbarkeit in den Parzellen besser zu verstehen. Aus den Sondendaten können einfach verständliche Bewässerungsempfehlungen abgeleitet werden. Diese Empfehlungen sind aber nur begrenzt auf Parzellen ohne Sonde übertragbar. Im Gemüsebau stellen sich folgende Herausforderungen bei der Bewässerungssteuerung mit Sonden:

- Betriebe haben oft viele verschiedene Kulturen. Die Messungen der Sonde können aber nicht auf andere Kulturen übertragen werden.
- Die Investition in eine Bodensonde und der Installationsaufwand rechtfertigen sich nicht in Kulturen mit kurzer Kulturdauer wie z. B. Salat.

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 Bewässerungsempfehlung abgeleitet werden. Die Wasserbilanz-App ermöglicht flächendeckende Bewässerungsempfehlungen und kann auch eingesetzt werden, um den Bewässerungsbedarf von Regionen für Infrastrukturprojekte abzuschätzen.

Feldversuche sollen nun die mithilfe der Applikation berechnete Bodenfeuchte mit der gemessenen Bodenfeuchte der Bodensonden vergleichen. Bereits 2019 wurden solche Validierungsversuche durchgeführt. Auf zwei Parzellen im Seeland wurden unbewässerte und bewässerte Verfahren verglichen. Zusätzlich wurden auf zehn weiteren Parzellen der berechnete und der gemessene Bodenwassergehalt verglichen. Folgende Versuchsfragen sollen beantwortet werden:

- i Wie unterscheiden sich die Bewässerungsempfehlungen der Bewässerungs-App und der Bodensonden?
- ii Sollten bei der Bewässerungs-App Anpassungen für die Schweiz gemacht werden?
- iii Wie unterscheiden sich der berechnete Wasserbedarf der Bewässerungs-App und der berechnete Wasserverbrauch aufgrund der Sondendaten?
- iv Welche Angaben braucht es (Anfangsfeuchte, Wachstumsstadien, Parzelleninformationen) für eine genaue Empfehlung der Bewässerungs-App?
- v Wie beurteilen die Betriebsleiter die Anwendung und die Empfehlungen der Bewässerungs-App?

3 Material and Methoden

Die zwölf Versuchsparzellen liegen im Seeland, im Rheintal und in der Region Zürich. Untersucht werden Gemüsekulturen und Kartoffeln. Auf zwei Parzellen wurde ein Rand nicht bewässert, um auch den Bodenwasserverlauf der ALB-App ohne Bewässerung zu validieren. Dort wurden Ende Saison Probegrabungen gemacht im bewässerten und unbewässerten Teil. Bei Kartoffeln wurden zwei Dämme auf 2.5 Laufmetern geerntet, bei den Zwiebeln dreimal Beete auf 2 Laufmetern. Die Erntemuster wurden nach den Handelsnormen kalibriert.

3.1 Bewässerungs-App der ALB Bayern

Der Verlauf des Bodenwassergehalts wird berechnet mithilfe von interpolierten Wetterdaten (Firma Meteotest, Bern), 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

Tabelle 1: Übersicht über die Versuchsstandorte pro ID der Sondenstation.

ID	Region	Kultur	Bewässerungstechnik	Ort	Betriebsleiter
20-1-859908	Seeland	Kartoffeln	unbewässert	Ins	Christian Gugger
20-1-513726	Seeland	Kartoffeln	Sprinkler	Ins	Christian Gugger
20-1-513700	Seeland	Karotten	Sprinkler	Ins	Roger Schwab
20-1-861498	Seeland	Zwiebeln	Sprinkler	Galmiz	Raphael Sommer
20-1-861484	Seeland	Zwiebeln	Tröpfchenbewässerung	Ins	Ulrich Kilchhofer
20-1-863290	Seeland	Zwiebeln	unbewässert	Ins	Ulrich Kilchhofer
20-2-863316	Seeland	Zucchetti	Tröpfchenbewässerung	Ins	Ulrich Kilchhofer
20-1-861496	Seeland	Rotkohl	Sprinkler	Ins	Pascal Occhini
20-1-863310	Seeland	Karotten	Sprinkler	Müntschemier	Pascal Occhini
20-1-861492	Zürich	Zucchetti	Tröpfchenbewässerung	Fällanden	Beerstecher
20-1-861495	Zürich	Salat	Giesswagen	Pfäffikon	Beerstecher
20-2-861495	Zürich	Salat	Giesswagen	Pfäffikon	Beerstecher
20-3-861495	Zürich	Karotten	Sprinkler	Wülflingen	Strickhof
20-1-513695	Rheintal	Kartoffeln	Tröpfchenbewässerung	Buchs	Philipp Rohrer

aus dem FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Aus dem Wurzel- und Bodenwassermodell werden bodenphysikalische Grundlagen abgeleitet wie Feldkapazität, Bewässerungsschwelle, die nutzbare Feldkapazität und die Durchwurzelungstiefe. Die Bewässerungsschwelle liegt kulturabhängig bei 50 bis 60% der nutzbaren 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.

Tabelle 2: Einstufung verschiedener Bodenarten in Hinsicht auf ihre nutzbare Feldkapazität nFK in Vol.-% gemäß Bewässerungs-App.

Bodenart	nFK in vol% / 10 cm
leicht, Sand (S)	9
leicht, schwach lehmiger Sand (lS)	13
mittel, stark lehmiger Sand (llS)	16
mittel, sandiger Lehm (sL)	19
mittel, schluffiger Lehm (uL)	22
schwer, toniger Lehm (tL)	17
schwer, lehmiger Ton (lT)	14
schwer, Ton (T)	10
organisch, Moor (M)	30

Die Empfehlung der Bewässerungs-App kann mit zahlreichen Angaben zur Parzelle und zur Kultur angepasst werden. Um den Einfluss dieser Faktoren zu untersuchen, wurden pro Parzellen verschiedene Empfehlungen berechnet:

- Standard (Std): Empfehlung mit den voreingestellten Standardwerten der ALB ohne zusätzliche Beobachtungen in der Parzelle, mit Ausnahme der Bodentextur.
- Anfangsfeuchte (Anf): Anfangsfeuchte bei Berechnungsbeginn parzellenspezifisch eingestellt aufgrund von Zylindermessungen.
- Stadien (Stad): Zeitpunkt der Wachstumsstadien und Durchwurzelungstiefe der Kulturen parzellenspezifisch angepasst aufgrund von Feldbeobachtungen.
- Kombiniert (Komb): Anfangsfeuchte und Wachstumsstadien parzellenspezifisch eingestellt.

Tabelle 3: Daten der zentralen Stadien für die Wasserbilanz der untersuchten Kulturen, Standardeinstellung der ALB.

Kultur	Stadium1	Datum1	Stadium2	Datum2	Stadium3	Datum3	Stadium4	Datum4	max Wurzeltiefe
Kartoffeln	Auflauftermin	10.05.2020	Wuchshöhe 15 cm	25.05.2020	Bestandesschluss	10.06.2020	Vergilbung 50%	10.08.2020	60
Zwiebeln	Auflauftermin	15.04.2020	Erscheinen 5. Blatt	10.06.2020	Erscheinen 8. Blatt	01.07.2020	Schlottenknicken	01.07.2020	60
Kopfsalat, Frühjahr	Pflanzung	20.03.2020	Durchmesser 30% (BBCH 43)	20.04.2020	Durchmesser 60% (BBCH 46)	01.05.2020			
Kopfsalat, Sommer	Pflanzung	01.06.2020	Durchmesser 30% (BBCH 43)	15.06.2020	Durchmesser 60% (BBCH 46)	22.06.2020			
Karotten	Auflaufen	05.04.2020	Erscheinen 5. Blatt	05.05.2020	Bestandesschluss	05.06.2020			60
Rotkohl	Pflanzung	16.04.2020	Erscheinen 8. Blatt	10.05.2020	Erscheinen 11. Blatt	25.05.2020	Beginnende Kopfbildung	05.06.2020	60
Zucchetti	Auflauftermin	05.05.2020	Blühbeginn	01.06.2020	Bestandesschluss	10.06.2020	Ernteende	10.09.2020	60

Tabelle 4: Anfangsfeuchte in % der nutzbaren Feldkapazität als Ausgangspunkt für die Bilanz-Rechnung, Standardeinstellung der ALB und Standardeinstellung für die Bewässerungsschwelle pro Kultur in % der nutzbaren Feldkapazität

Kultur	Anfangsfeuchte Oberboden, %nFK	Anfangsfeuchte Unterboden, %nFK	Schwelle
Kartoffeln	50	80	50
Zwiebeln	50	80	50
Kopfsalat, Frühjahr	65	90	60
Kopfsalat, Sommer	65	70	60
Karotten	50	80	50
Rotkohl	50	80	50
Zucchetti	50	80	55

- Kombiniert + Niederschlag (Komb_NS): Niederschlag der interpolierten Daten in der App korrigiert nach den Messungen der Sondenstation im Feld
- Empfehlung: Bewässerungsgaben strikt nach Empfehlungen der Bewässerungs-App statt nach der Praxis der Betriebsleiter. Stadien und Anfangsfeuchte parzellenspezifisch angepasst, Niederschlag aus interpolierten Daten.

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 in 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 in Abhängigkeit des Wurzelraums der Kultur und der Textur des Parzellenbodens. Anhand dieser Parameter wird die Gesamtwassermenge im Wurzelraum berechnet und mithilfe der Bodentextur wird 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. Zusätzlich wird auf 30 cm auch die Saugspannung gemessen. Für die untersuchten Kulturen wird eine Bewässerungsschwelle bei 50 cbar angegeben.

3.3 Vergleich der Bewässerungsempfehlungen

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 45 bis 60 cm über den Wachstumsverlauf.

Um die Empfehlungen trotzdem vergleichen zu können wurden die Werte für den Bodenwassergehalt in der App und der Sonde normiert:

$$Wasserverfügbarkeit_{normiert} = \frac{Bodenwassergehalt - Bodenwassergehalt_{Bewässerungsschwelle}}{Bodenwassergehalt_{Feldkapazität} - Bodenwassergehalt_{Bewässerungsschwelle}} \quad (1)$$

Die Normierung der Saugspannung ist eine Vereinfachung, weil es keinen linearen Zusammenhang gibt zwischen dem Wassergehalt und der Saugspannung. Im Bereich des einfach pflanzenverfügbaren Wassers verläuft die Desorptionskurve in den meisten Böden aber annähernd linear. Die normierten Werte der Saugspannungsmessung an den kritischen Punkten (Feldkapazität und Schwelle) dienen als genauen und bodenkundlich korrekten Vergleich, der Verlauf dazwischen ist eine Annäherung.

Tabelle 5: Grundlagen für die Bewässerungsempfehlung bei der ALB-App, der volumetrischen Sonde und der Messung der Saugspannung auf 30 cm.

Methode	Feldkapazität	Schwelle	Wurzelraum
ALB-App	nutzbare Feldkapazität	50% der nutzbaren Feldkapazität	45 bis 60 cm, Anhang von Modell über Wachstumsverlauf
Sonde, volumetrisch	Wassergehalt bei Feldkapazität	70% vom Wassergehalt bei Feldkapazität	20 oder 30 cm (kulturspezifisch)
Sonde, Saugspannung	-6 cbar	-50 cbar	Messung auf 30 cm

4 Resultate

4.1 Kartoffeln, Ins

Betrieb:	Christian Gugger
Kultur:	Kartoffeln
Sorte:	Innovator
Bewässerungstechnik:	Sprinkler
Pflanzdatum:	18.04.2020
Seriennummer Sonden:	20-1-513726, 20-1-859908
Wassersättigung Oberboden, Versuchsbeginn in %:	40

Auf der Parzelle wurde eine Teilfläche am Rand nicht bewässert. Die Bodeneigenschaften unterscheiden sich im unbewässerten Randstück vom Rest der Parzelle: Der Boden ist bereits ab 40 cm verdichtet, zudem ist der Tongehalt höher und der Gehalt an organischer Substanz tiefer. Die Wasserspeicherkapazität im Oberboden ist folglich im unbewässerten Rand kleiner als im Rest der Parzelle.

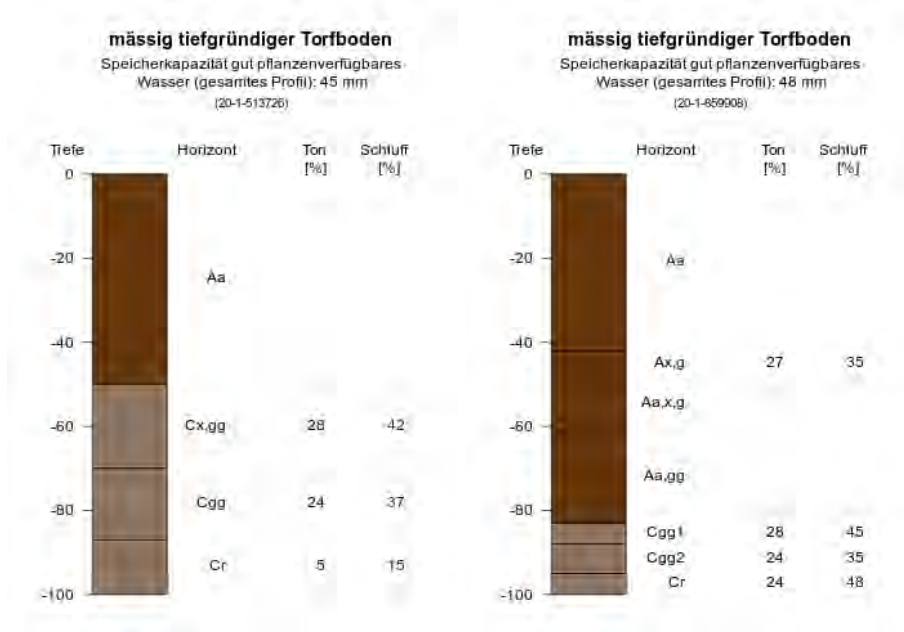


Abbildung 1: Bodentextur für die Verfahren bewässert (links) und unbewässert (rechts).

4.1.1 Feldbeobachtung

Auf der Parzelle wurde das Unkraut mechanisch bekämpft. Die Dammformung wurde bei trockenen Verhältnissen zu Versuchsbeginn gemacht. Der Damm war daher unkompakt und eher klein und das Risiko für viele grüne Kartoffeln erhöht. Der Bestand hat sich sehr gut entwickelt und die Pflanzen wurden bis 60 cm hoch. Im unbewässerten Rand gab es viele Risse im Damm ab Anfang Juli. Die Erde um den Sensor wurde immer wieder angedrückt, um einen möglichst guten Bodenkontakt aufrecht zu erhalten.

4.1.2 Bewässerungsstrategie

Gemäss Sondenmessung lag die Bodenfeuchte während der gesamten Saison im idealen Bereich. Im unbewässerten Rand sank die Bodenfeuchte in der ersten Juli-Hälfte in den zu trockenen Bereich für knapp einen Monat. Gemäss Berechnungen der ALB-App lag die Bodenfeuchte Mitte Juli und in der zweiten Augushälfte im zu trockenen Bereich.

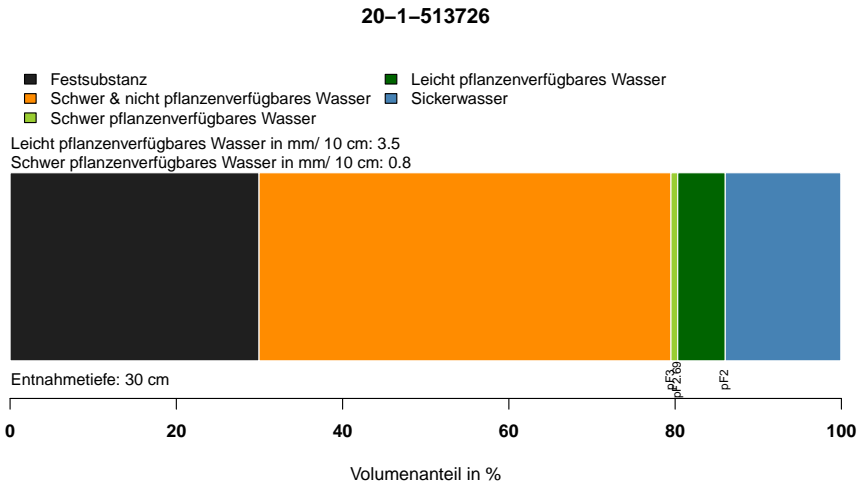


Abbildung 2: Wasserspeichervermögen und Porengrößenverteilung der Parzelle Kartoffeln, Ins, Probenahme auf 30 cm im bewässerten Teil. Dargestellt sind die Mittelwerte von drei Zylinderproben. Der Wassergehalt bei pF 2 entspricht ungefähr dem Wassergehalt bei Feldkapazität, bei pF 2.69 dem Wassergehalt bei -50 cbar und bei pF 3 dem Wassergehalt bei -1 bar Saugsapannung. Die farbigen Flächen bilden das Gesamtporenvolumen der Parzelle ab, das mit Wasser oder Luft gefüllt sein kann.



Abbildung 3: Parzelle Innovator, Ins am 15.6., 6.7. und 27.7. (von links).

4.1.3 Ertrag

Der Gesamtertrag und der marktfähige Ertrag waren mit Bewässerung höher als ohne. Mit Bewässerung wurde ein marktfähiger Ertrag von 580 dt/ha erreicht, ohne ein Ertrag von 390 dt/ha. Ohne Bewässerung gab es etwas mehr Knollen mit Missförmigkeit.



Abbildung 4: Unbewässertes Rand Innovator, Ins am 27.7. mit sichtbarer Differenz zum Rest der Parzelle. Am 15.6. und 6.7. wurden noch keine Unterschiede zur bewässerten Parzelle beobachtet.

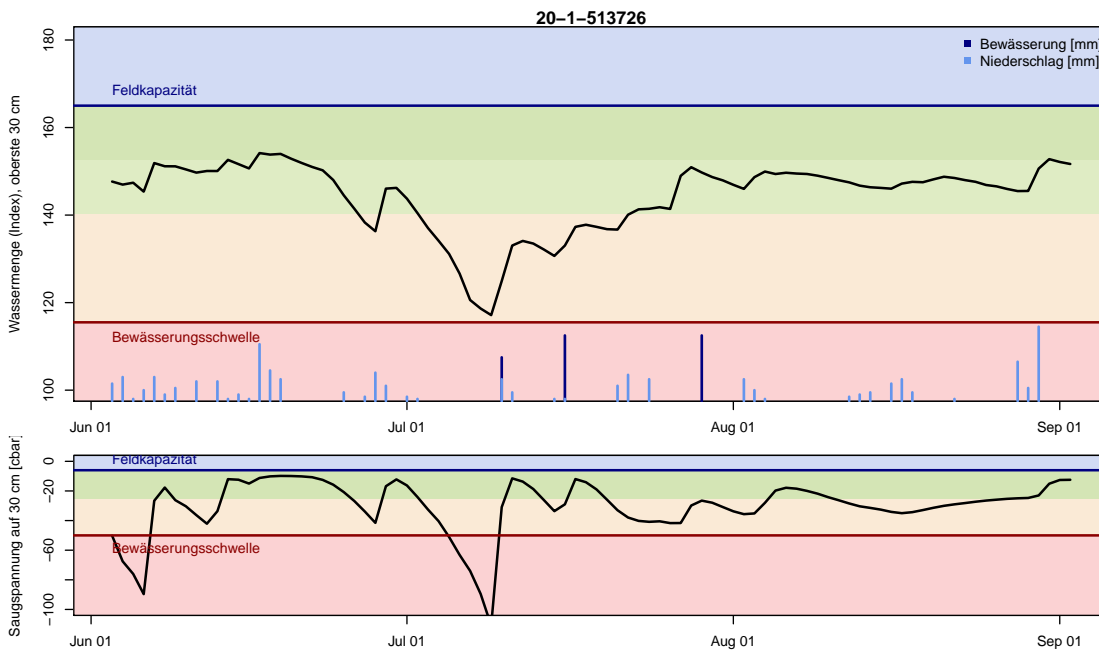


Abbildung 5: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum der Bodensonde (Index) und Bewässerung in mm.

Tabelle 6: Kennzahlen der Bewässerung vom Betriebsleiter im Vergleich zu den Empfehlungen der ALB-App.

	Betriebsleiter	Empfehlung ALB
Bewässerung total	80	120
Anzahl Gaben	3	4
Datum erste Gabe	2020-07-10	2020-06-02
Kleinste Gabe in mm	20	30
Grösste Gabe in mm	30	30

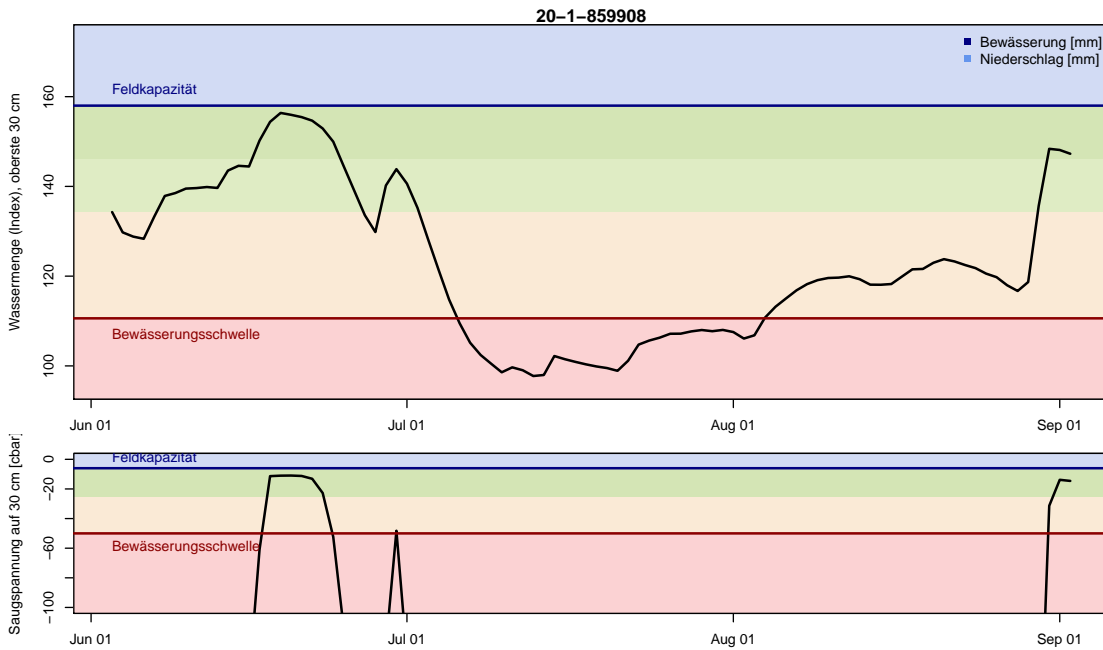


Abbildung 6: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum der Bodensonde (Index) ohne Bewässerung.

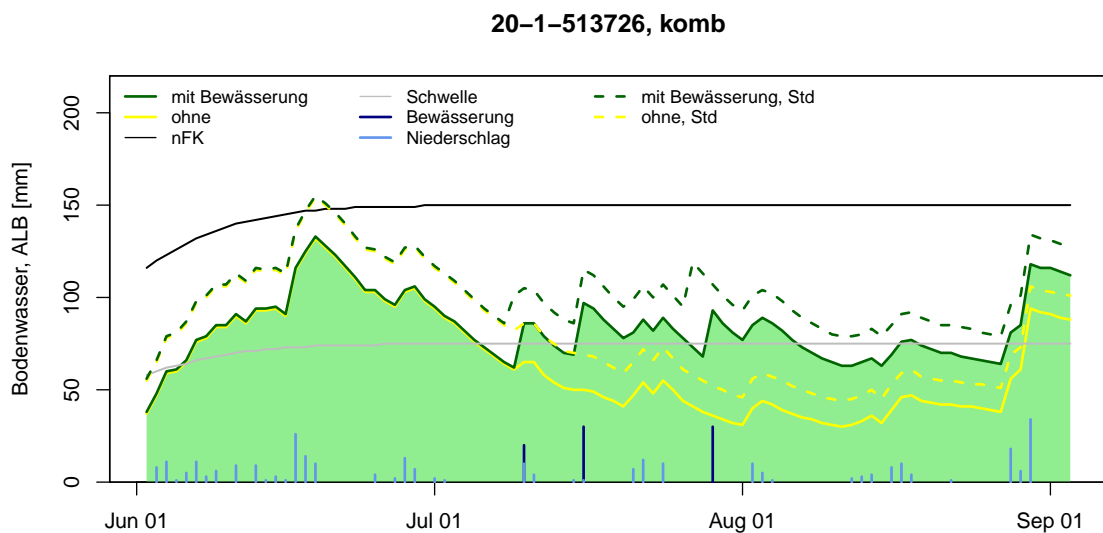


Abbildung 7: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum berechnet von der ALB-App mit angepasster Anfangsfeuchte und angepassten Stadien aufgrund der Feldbeobachtungen. Die gestrichelten Linien zeigen die Empfehlung der App mit den Standardeinstellungen.

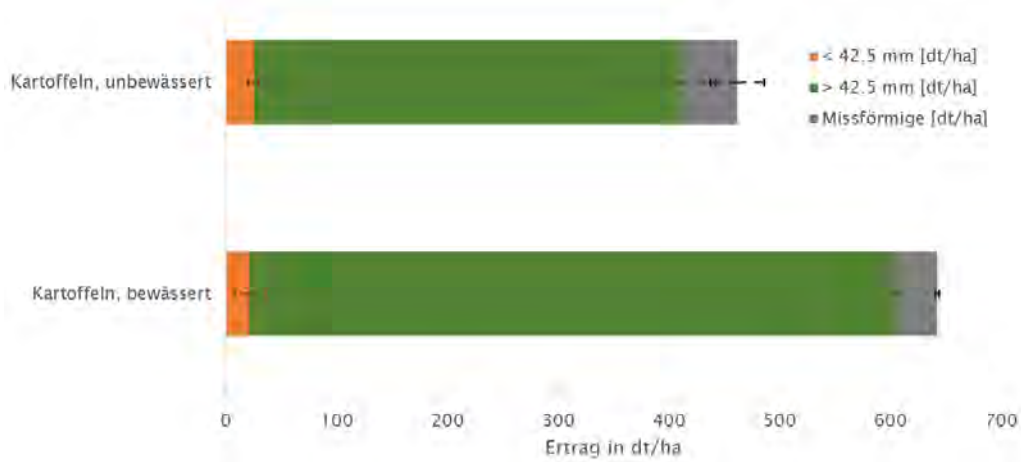


Abbildung 8: Ertrag der Probegrabung in den Kartoffeln in Ins, Mittelwert und Standardabweichung aus zwei Erntemustern (1 Damm à 2.5 m). Marktfähig sind die Kaliber ab 42.5 mm Quadratmass.



Abbildung 9: Erntemuster der Kartoffeln in Ins vom bewässerten (links) und unbewässerten Teil (rechts) vom 11.9..

4.2 Zwiebeln, Ins

Betrieb:	Ulrich Kilchhofer
Kultur:	Zwiebeln
Sorte:	Oneida
Bewässerungstechnik:	Tröpfchenbewässerung
Saat:	19.03.2020
Seriennummer Sonden:	20-1-861484, 20-1-863290
Wassersättigung Oberboden, Versuchsbeginn in %:	94

In einem Beet wurden die Tropfschläuche vom Rand her auf 25 Metern eingekürzt, um den Feuchteverlauf in unbewässerten Zwiebeln zu verfolgen. Am Parzellenrand war die Parzelle etwas steiniger und die Bodenstruktur etwas schlechter. Zudem liefen aufgrund der Senke nicht gleich viele Pflanzen auf. Durch die Tropfschläuche wurde auch Flüssigdünger verabreicht. Im unbewässerten Teil gab es also weniger Nährstoffe als im bewässerten Rest der Parzelle.

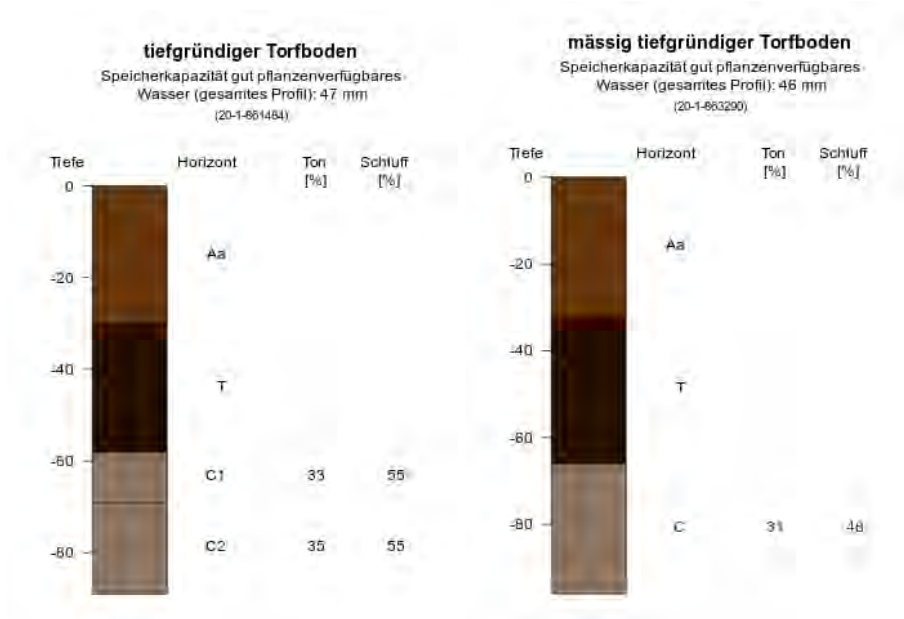


Abbildung 10: Bodentextur für die Verfahren bewässert (links) und unbewässert (rechts).

4.2.1 Feldbeobachtung

Die Parzelle entwickelte sich von Beginn weg sehr schön. Bereits Mitte Juni ist der Bestand im bewässerten Teil rund 65 cm hoch. Das Kraut war auch vor der Ernte noch sehr vital und musste mechanisch zerstört werden, weil das Kaliber bereits erreicht worden war. Ab dem ersten Feldbesuch vom 28. Mai unterschied sich der unbewässerte Rand visuell von der bewässerten Parzelle. Allerdings waren die Zwiebeln am Rand allgemein weniger wüchsig als im Rest der Parzelle.

4.2.2 Bewässerungsstrategie

Gemäss Sondenmessung lag die Bodenfeuchte während der gesamten Saison im idealen Bereich. Am unbewässerten Rand sank die Bodenfeuchte Anfang Juli in den zu trockenen Bereich und stieg bis zur Ernte nicht mehr an. Gemäss Berechnungen der ALB-App sank der Wassergehalt in der ersten Juli-Hälfte in den zu trockenen Bereich und stieg ebenfalls nicht mehr an bis zur Ernte.

4.2.3 Ertrag

Der Gesamtertrag und der marktfähige Ertrag waren mit Bewässerung höher als ohne. Mit Bewässerung wurde ein marktfähiger Ertrag von 860 kg/are erreicht, ohne ein Ertrag von 670 kg/are. Ohne

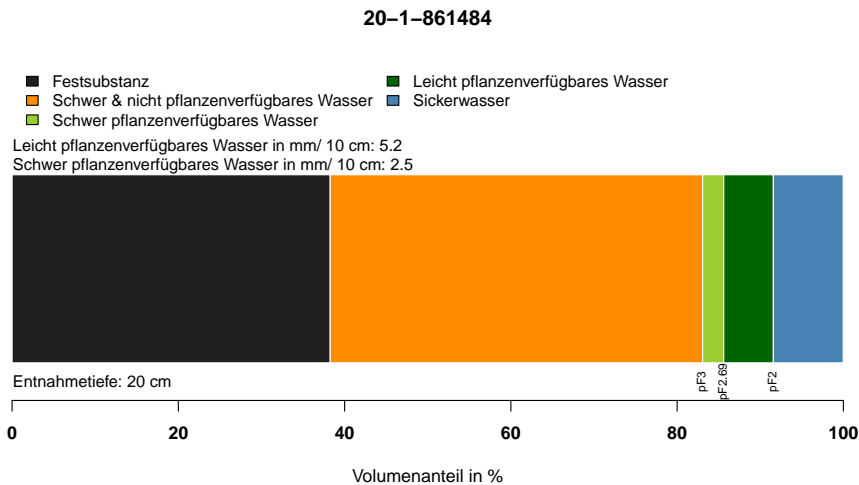


Abbildung 11: Wasserspeichervermögen und Porengrößenverteilung der Parzelle Zwiebeln, Ins, Probenahme auf 20 cm im bewässerten Teil. Dargestellt sind die Mittelwerte von drei Zylinderproben. Der Wassergehalt bei pF 2 entspricht ungefähr dem Wassergehalt bei Feldkapazität, bei pF 2.69 dem Wassergehalt bei -50 cbar und bei pF 3 dem Wassergehalt bei -1 bar Saugspannung. Die farbigen Flächen bilden das Gesamtporenvolumen der Parzelle ab, das mit Wasser oder Luft gefüllt sein kann.

Tabelle 7: Kennzahlen der Bewässerung vom Betriebsleiter im Vergleich zu den Empfehlungen der ALB-App.

	Betriebsleiter	Empfehlung ALB
Bewässerung total	33	70
Anzahl Gaben	6	7
Datum erste Gabe	2020-05-28	2020-07-08
Kleinste Gabe in mm	4	10
Grösste Gabe in mm	7	10

Bewässerung gab es weniger grosse Zwiebeln. Je weiter weg die Probenahme vom Parzellenrand gemacht worden ist, desto höher wurde der Ertrag. Das erklärt auch die grosse Standardabweichung bei den Daten für das unbewässerte Verfahren.



Abbildung 12: Unbewässerter Rand Zwiebeln, Ins am 28.5. mit sichtbarer Differenz zum Rest der Parzelle und etwas schwächerem Bestand in der Randpartie.



Abbildung 13: Parzelle Zwiebeln, Ins am 6.7., links bewässert und rechts unbewässert.

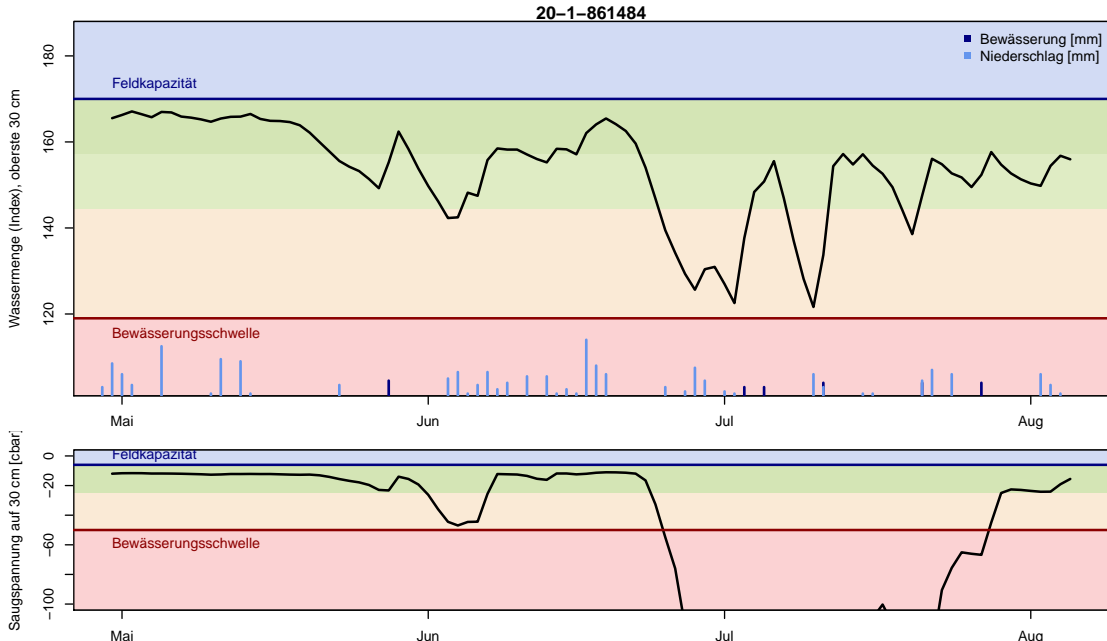


Abbildung 14: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum der Bodensonde (Index) und Bewässerung in mm.

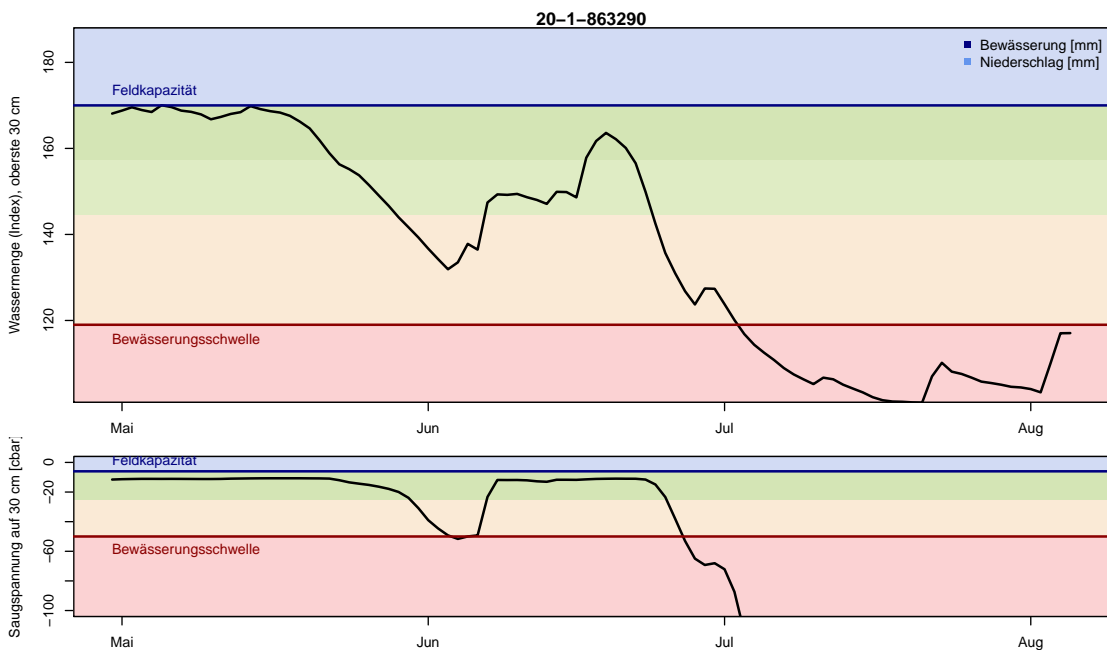


Abbildung 15: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum der Bodensonde (Index) ohne Bewässerung.

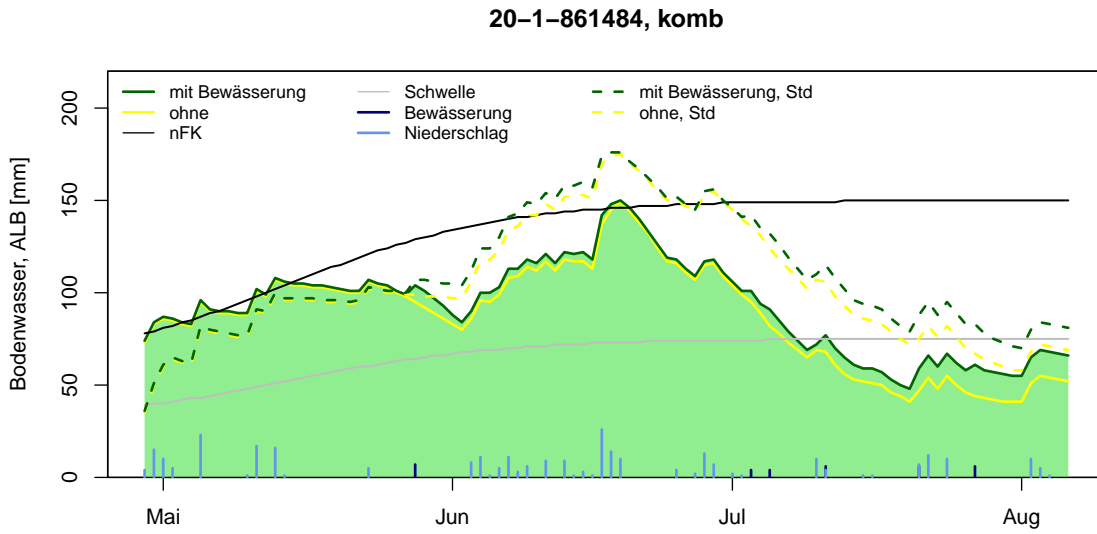


Abbildung 16: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum berechnet von der ALB-App mit angepasster Anfangsfeuchte und angepassten Stadien aufgrund der Feldbeobachtungen. Die gestrichelten Linien zeigen die Empfehlung der App mit den Standardeinstellungen.

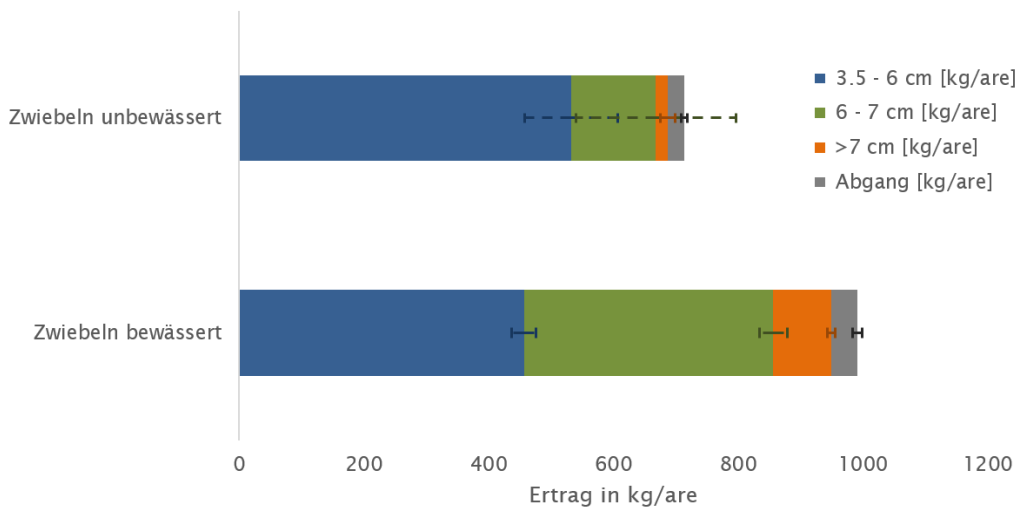


Abbildung 17: Ertrag der Probegrabung in den Zwiebeln in Ins, Mittelwert und Standardabweichung aus drei Erntemustern (Beetbreite mal 2 m). Marktfähig sind die Kaliber von 3.5 bis 7 cm.



Abbildung 18: Erntemuster der Zwiebeln in Ins vom bewässerten (links) und unbewässerten Teil (rechts) vom 5.8..

4.3 Zwiebeln, Galmiz

Betrieb: Raphael Sommer
 Kultur: Zwiebeln
 Sorte: Red Carpett
 Bewässerungstechnik: Sprinkler
 Saat: 22.03.2020
 Seriennummer Sonde: 20-1-861498
 Wassersättigung Oberboden, Versuchsbeginn in %: 51

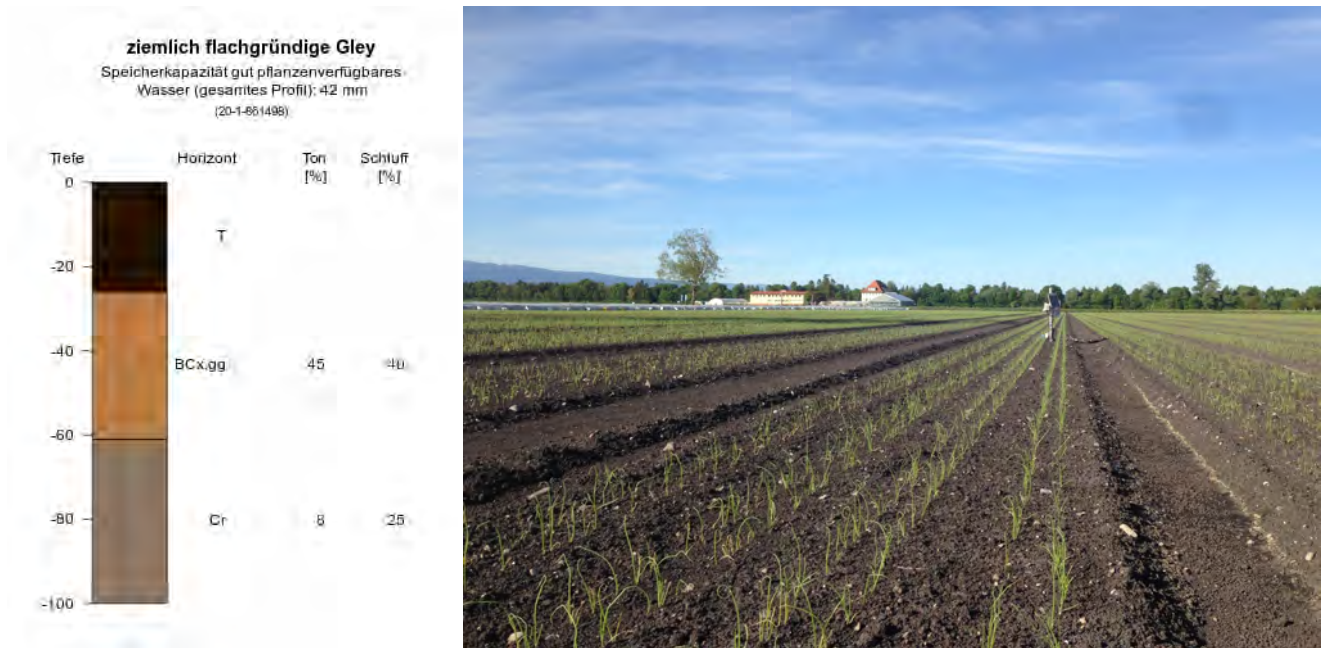


Abbildung 19: Bodentextur für den Standort Zwiebeln, Galmiz (links) und Blick auf die Parzelle am 7.5.20 (3-Blatt-Stadium, rechts).

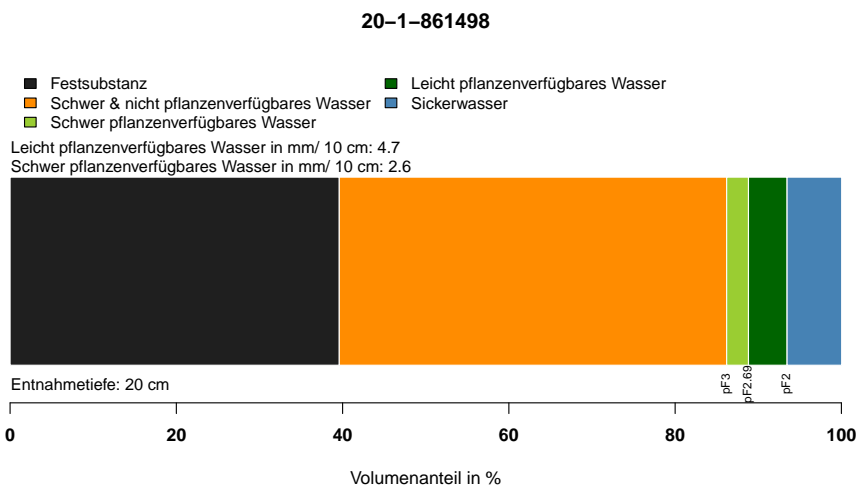


Abbildung 20: Wasserspeichervermögen und Porengrößenverteilung der Parzelle Zwiebeln, Galmiz, Probenahme auf 20 cm. Dargestellt sind die Mittelwerte von drei Zylinderproben. Der Wassergehalt bei pF 2 entspricht ungefähr dem Wassergehalt bei Feldkapazität, bei pF 2.69 dem Wassergehalt bei -50 cbar und bei pF 3 dem Wassergehalt bei -1 bar Saugsapannung. Die farbigen Flächen bilden das Gesamtporenvolumen der Parzelle ab, das mit Wasser oder Luft gefüllt sein kann.

4.3.1 Feldbeobachtung

Die Kultur hat sich schön entwickelt und das Laub blieb bis zum Vegetationsende hin gesund. Der Ertrag lag bei gut 600 kg/are. Im unbewässerten Randstück lag der Ertrag rund 60 kg/are tiefer.



Abbildung 21: Parzelle Zwiebeln, Galmiz am 15.6., 6.7., 27.7. und 7.8. (v. links).



Abbildung 22: Wurzeln Zwiebeln, Galmiz am 15.6., 26.6., 27.7. und 13.8. (v. links).

4.3.2 Bewässerungsstrategie

Gemäss Sondenmessung lag die Bodenfeuchte während der gesamten Saison im idealen Bereich. Die Trockenheit Ende Juni führte zu Rissen im Boden, auch in der Nähe des Sensors. Deshalb wurde der Sensor am 26.6. neu installiert. Das Absinken Ende Juni in den Messungen ist wahrscheinlich steiler als das tatsächliche Absinken des Bodenwassergehalts, weil durch den Riss Luft an den Sensor gelangt ist. Gemäss Saugspannungsmessung auf 30 cm lag der Wassergehalt in dieser Bodenschicht im Juli und August im zu trockenen Bereich. Die frühen Bewässerungsgaben im Mai und Juni haben den Boden vor allem in den obersten 20 cm befeuchtet. Das dürfte mit ein Grund sein, wieso der Sensor auf 30 cm im Juli und August im trockenen Bereich lag.

Gemäss ALB-App lag der Bodenwassergehalt im Juli und August ebenfalls im zu trockenen Bereich. Erst mit den Niederschlägen Anfang September ist der berechnete Bodenwassergehalt wieder in den optimalen Bereich angestiegen. Die App empfiehlt deshalb für diesen Standort sechs Gaben und eine Bewässerung von insgesamt 180 mm, das heisst zwei Gaben und 85 mm mehr als vom Betriebsleiter gemacht worden sind. Die Feldbeobachtungen haben aber gezeigt, dass das Laub lange grün geblieben ist und der realisierte Ertrag entspricht den Erwartungen der Betriebsleiter.

Tabelle 8: Kennzahlen der Bewässerung vom Betriebsleiter im Vergleich zu den Empfehlungen der ALB-App.

	Betriebsleiter	Empfehlung ALB
Bewässerung total	95	180
Anzahl Gaben	4	6
Datum erste Gabe	2020-04-18	2020-04-18
Kleinste Gabe in mm	20	30
Grösste Gabe in mm	35	30

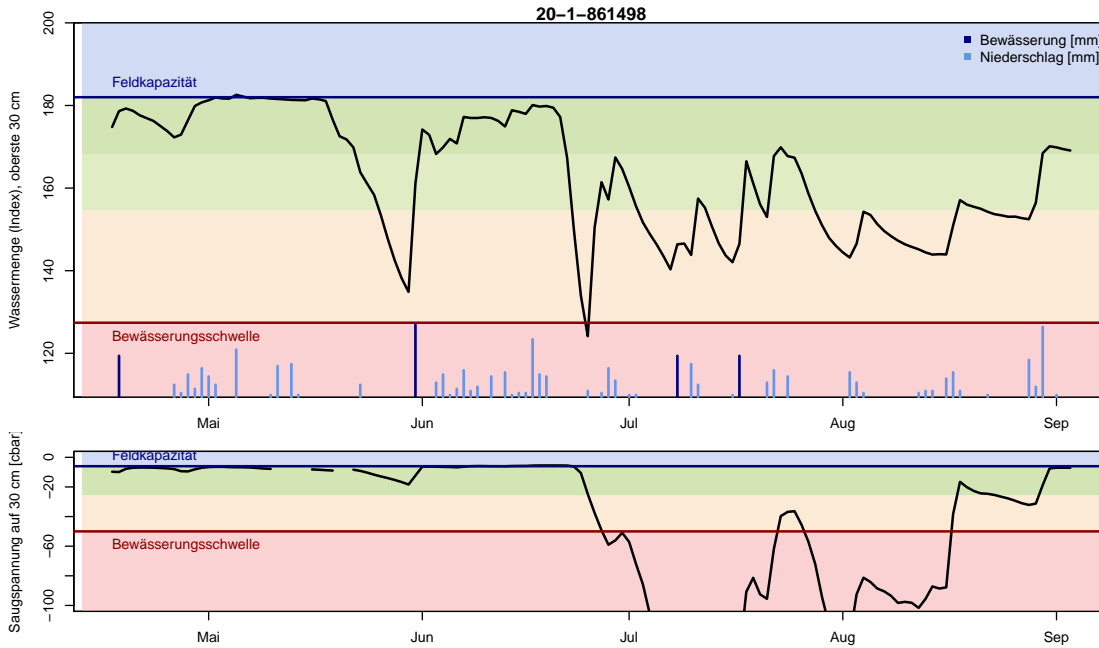


Abbildung 23: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum der Bodensonde (Index) und Bewässerung in mm.

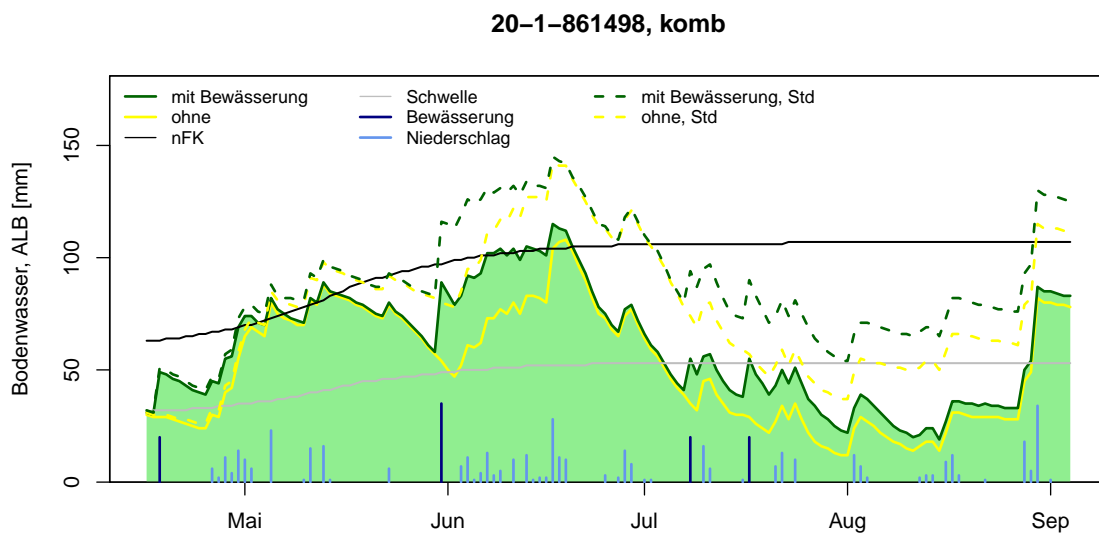


Abbildung 24: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum berechnet von der ALB-App mit angepasster Anfangsfeuchte und angepassten Stadien aufgrund der Feldbeobachtungen. Die gestrichelten Linien zeigen die Empfehlung der App mit den Standardeinstellungen.

4.4 Zucchetti, Fällanden

Betrieb:	Beerstecher
Kultur:	Zucchetti
Sorte:	Cora F1
Bewässerungstechnik:	Tröpfchenbewässerung
Pflanzdatum:	06.04.2020
Seriennummer Sonde:	20-1-861492
Wassersättigung Oberboden, Versuchsbeginn in %:	99

Die Zucchetti wurden früh gepflanzt und als Kälteschutz mit einem Mitnitunnel mit einfacher Vliesauflage abgedeckt. Zudem wurde eine Mulchfolie verwendet für die Unkrautbekämpfung. Es wurde ein Tropfschlauch pro Beet verlegt mit einem Tropferabstand von 20 cm.

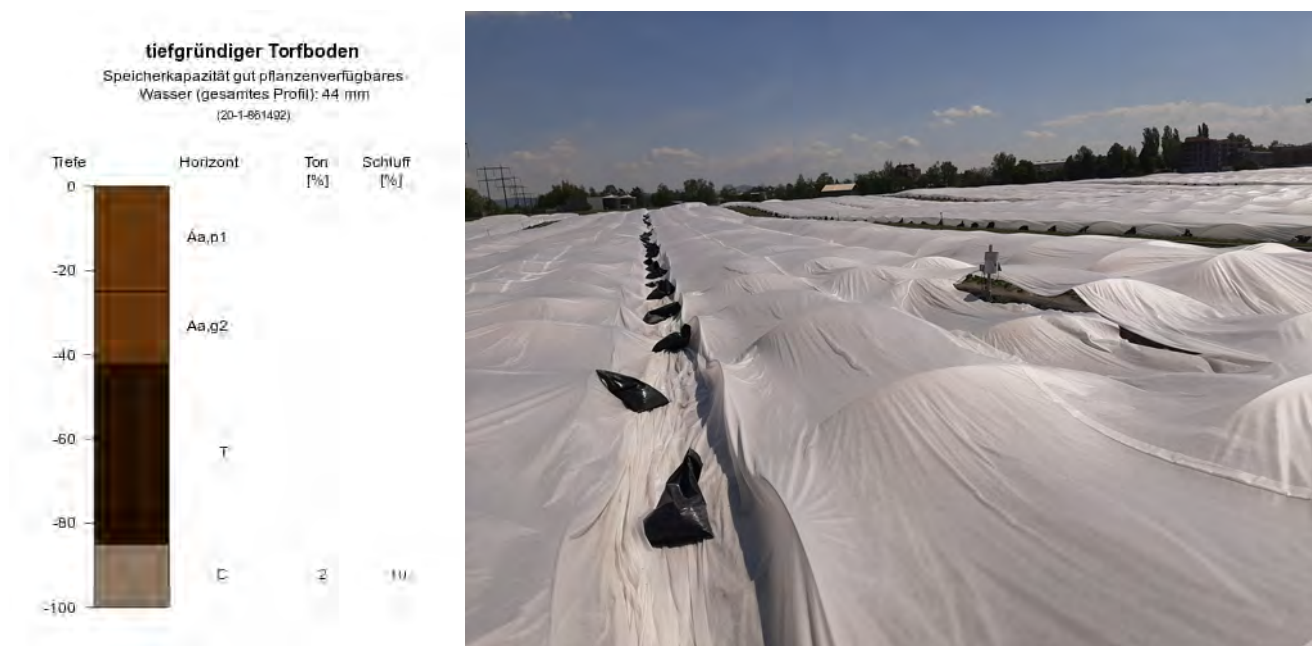


Abbildung 25: Bodentextur für den Standort Zucchetti Fällanden (links) und Blick auf die Parzelle am 24.4.20 (rechts).

4.4.1 Feldbeobachtung

Der Ertrag auf der Parzelle war gemäss Betriebsleiter mittlerer Durchschnitt. Die Kultur stand allgemein sehr schön da. Vor dem 15.5. gab es noch einmal eine Kälteperiode. Die Wurzeltiefe war gerade zu beginn nur sehr gering. Unter der Mulchfolie lagen die Wurzeln teilweise nacktoben auf dem Boden auf. Nur einige feine Wurzeln gingen dann effektiv bis 40 cm tief.

4.4.2 Bewässerungsstrategie

Gemäss Sondenmessung und der Berechnung der ALB-App lag die Bodenfeuchte während der gesamten Saison im idealen Bereich. Gemäss Saugspannungsmessung auf 30 cm lag der Wassergehalt in dieser Bodenschicht Ende Juni, Mitte Juli und Anfang August im leicht zu trockenen Bereich. Die Bewässerungsgaben Anfang Mai sind nicht bis auf 30 cm in den Boden eingedrungen. Durch die höheren Gaben Anfang Juni stieg der Bodenwassergehalt auch in 30 cm Tiefe an. Die ALB-App empfiehlt bei Tröpfchenbewässerung bei Zucchetti, Tagesgaben grösser als 4 mm aufzuteilen (Morgen- und Abendgabe). Aufgrund der Sondenmessungen war die betriebsübliche Gabenhöhe aber gut auf den Parzellenboden und den Kulturbedarf abgestimmt.

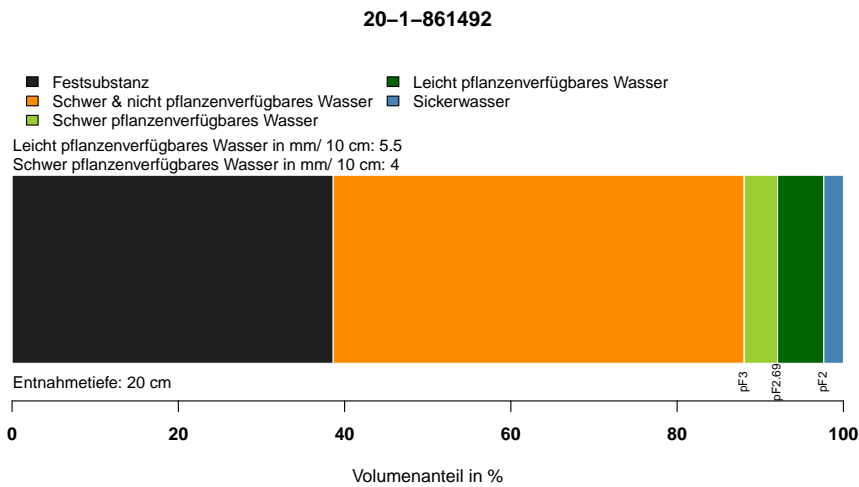


Abbildung 26: Wasserspeichervermögen und Porengrössenverteilung der Parzelle Zuchetti, Fällanden, Probenahme auf 20 cm. Dargestellt sind die Mittelwerte von drei Zylinderproben. Der Wassergehalt bei pF 2 entspricht ungefähr dem Wassergehalt bei Feldkapazität, bei pF 2.69 dem Wassergehalt bei -50 cbar und bei pF 3 dem Wassergehalt bei -1 bar Saugspannung. Die farbigen Flächen bilden das Gesamtporenvolumen der Parzelle ab, das mit Wasser oder Luft gefüllt sein kann.



Abbildung 27: Parzelle Zuchetti, Fällanden am 2.6. mit einer Wurzeltiefe von 30 cm.

Tabelle 9: Kennzahlen der Bewässerung vom Betriebsleiter im Vergleich zu den Empfehlungen der ALB-App.

	Betriebsleiter	Empfehlung ALB
Bewässerung total	182	126
Anzahl Gaben	35	21
Datum erste Gabe	2020-04-25	2020-05-31
Kleinste Gabe in mm	1	6
Grösste Gabe in mm	14	6

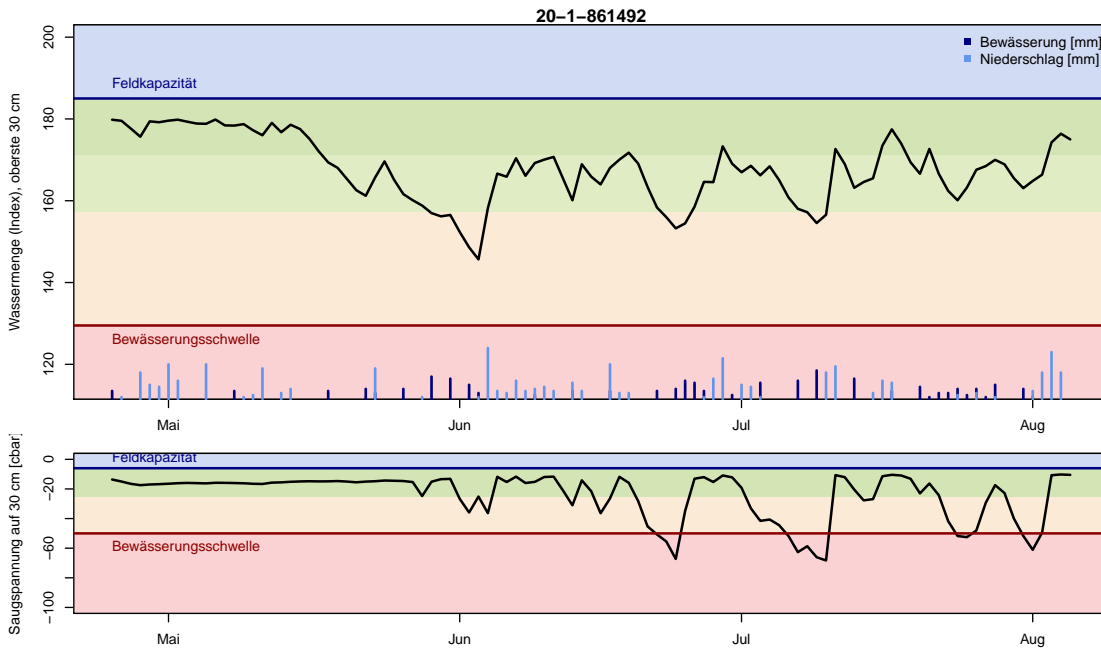


Abbildung 28: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum der Bodensonde (Index) und Bewässerung in mm.

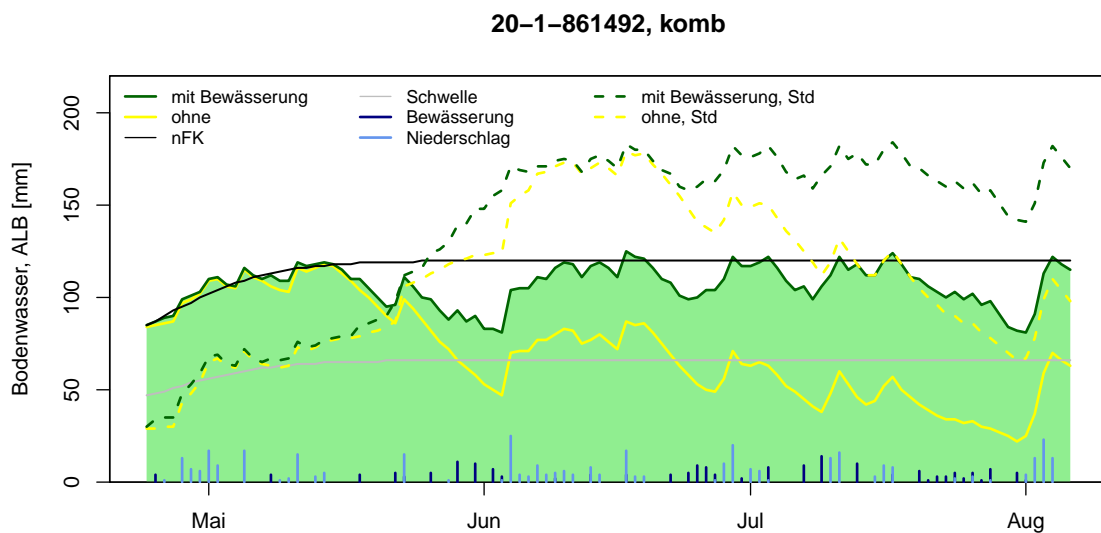


Abbildung 29: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum berechnet von der ALB-App mit angepasster Anfangsfeuchte und angepassten Stadien aufgrund der Feldbeobachtungen. Die gestrichelten Linien zeigen die Empfehlung der App mit den Standardeinstellungen.

4.5 Salat, Pfäffikon

Betrieb:	Beerstecher
Kultur:	Salat
Sorte:	Analotte
Bewässerungstechnik:	Giesswagen
Pflanzdatum Satz 1:	21.04.2020
Pflanzdatum Satz 2:	06.06.2020
Seriennummer Sonden:	20-1-861495, 20-2-861495
Wassersättigung Oberboden, Versuchsbeginn in %:	87, 100

Der Bodenwassergehalt wurde für zwei Salatsätze hintereinander gemessen und berechnet auf zwei nahe beieinander liegenden Parzellen. Der erste Satz wurde im April gesetzt und der zweite Mitte Juni. Die Wassersättigung im Oberboden war zu Beginn beim zweiten Satz höher. Der Tongehalt in der zweiten Parzelle ist höher als in der ersten Parzelle, das leicht pflanzenverfügbare Wasser hingegen höher in der ersten Parzelle als in der zweiten Parzelle.

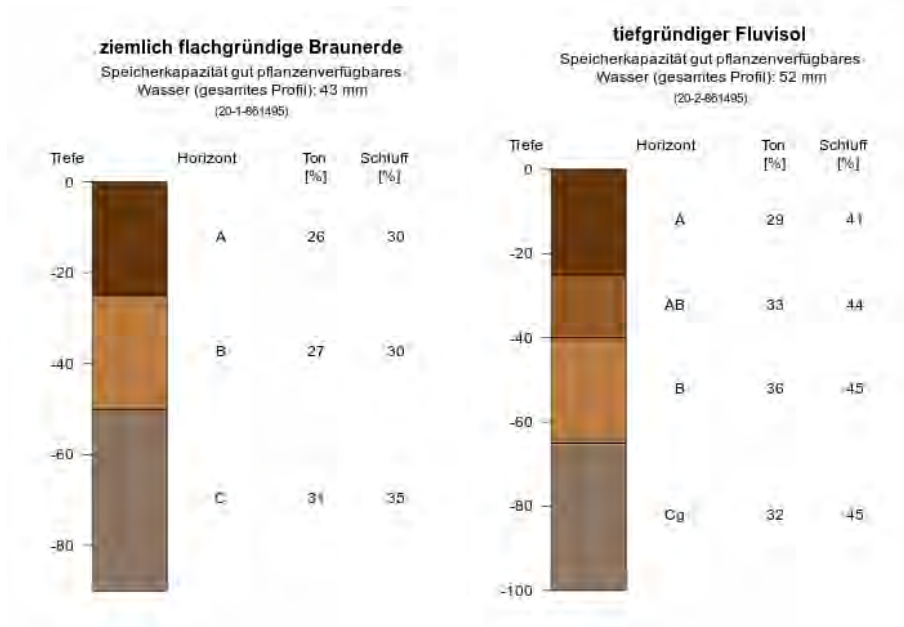


Abbildung 30: Bodentextur für den ersten (links) und zweiten (rechts) Satz.

4.5.1 Feldbeobachtung

Die Parzelle entwickelt sich von Beginn an gut. Die Aberntrate lag gemäss Betriebsleiter bei 95% beim ersten Satz und bei 50% beim zweiten Satz. Die tiefere Aberntrate erklärt sich durch die geringe Nachfrage und nicht durch die Anbautechnik oder die Wasserverfügbarkeit.

4.5.2 Bewässerungsstrategie

Gemäss Sondenmessung lag die Bodenfeuchte bei beiden Sätzen während der gesamten Saison im idealen Bereich. Gemäss Berechnungen der ALB-App sank der Wassergehalt im ersten Satz um den 20. Mai, Ende Mai und Anfang Juni in den zu trockenen Bereich und im zweiten Satz um den 10. und 15. Juli. Aufgrund der Empfehlungen der App hätte folglich häufiger bewässert werden sollen. Beim Vergleich der Grafiken fällt allerdings auf, dass der berechnete Wassergehalt in der App steiler abfällt als der gemessene Wassergehalt. Auch gemäss Saugspannungsmessung hat es keinen Wasserstress gegeben.

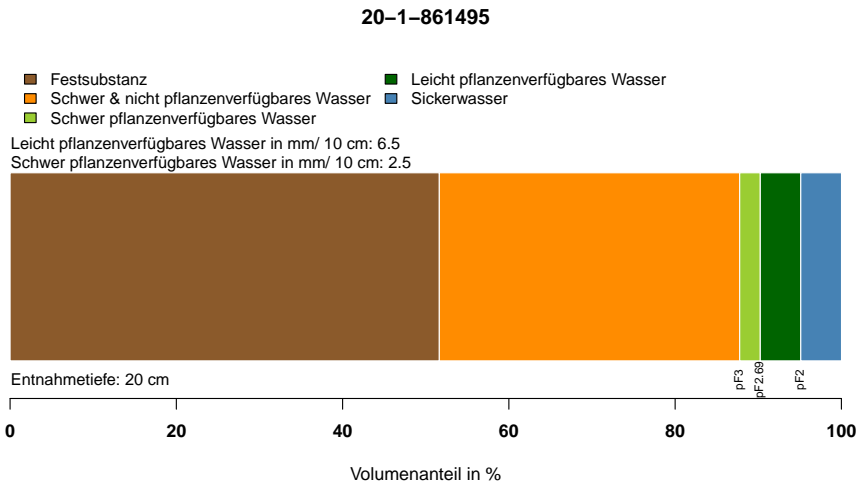


Abbildung 31: Wasserspeichervermögen und Porengrößenverteilung der Parzelle Salat 1. Satz, Pfäffikon, Probenahme auf 20 cm. Dargestellt sind die Mittelwerte von drei Zylinderproben. Der Wassergehalt bei pF 2 entspricht ungefähr dem Wassergehalt bei Feldkapazität, bei pF 2.69 dem Wassergehalt bei -50 cbar und bei pF 3 dem Wassergehalt bei -1 bar Saugsapannung. Die farbigen Flächen bilden das Gesamtporenvolumen der Parzelle ab, das mit Wasser oder Luft gefüllt sein kann.

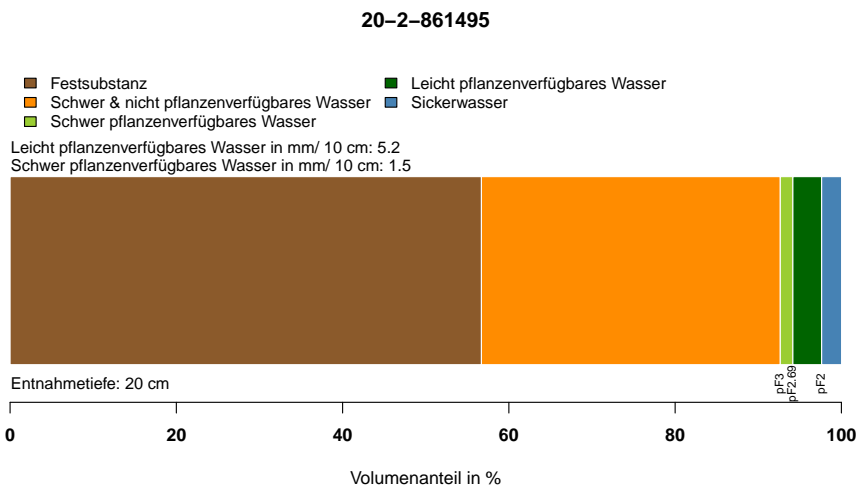


Abbildung 32: Wasserspeichervermögen und Porengrößenverteilung der Parzelle Salat 2. Satz, Pfäffikon, Probenahme auf 20 cm. Dargestellt sind die Mittelwerte von drei Zylinderproben. Der Wassergehalt bei pF 2 entspricht ungefähr dem Wassergehalt bei Feldkapazität, bei pF 2.69 dem Wassergehalt bei -50 cbar und bei pF 3 dem Wassergehalt bei -1 bar Saugsapannung. Die farbigen Flächen bilden das Gesamtporenvolumen der Parzelle ab, das mit Wasser oder Luft gefüllt sein kann.



Abbildung 33: Parzelle Salat 1. Satz, Pfäffikon am 24.4., 4.5. und 2.6. (v. links nach rechts).

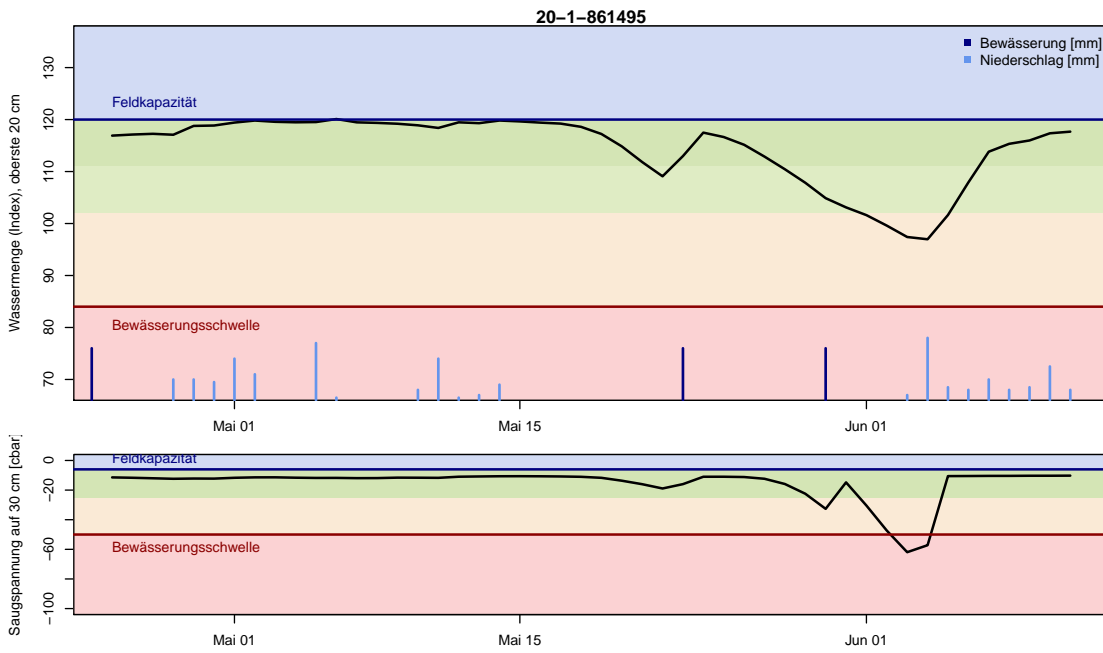


Abbildung 34: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum der Bodensonde (Index) und Bewässerung in mm, 1. Satz.

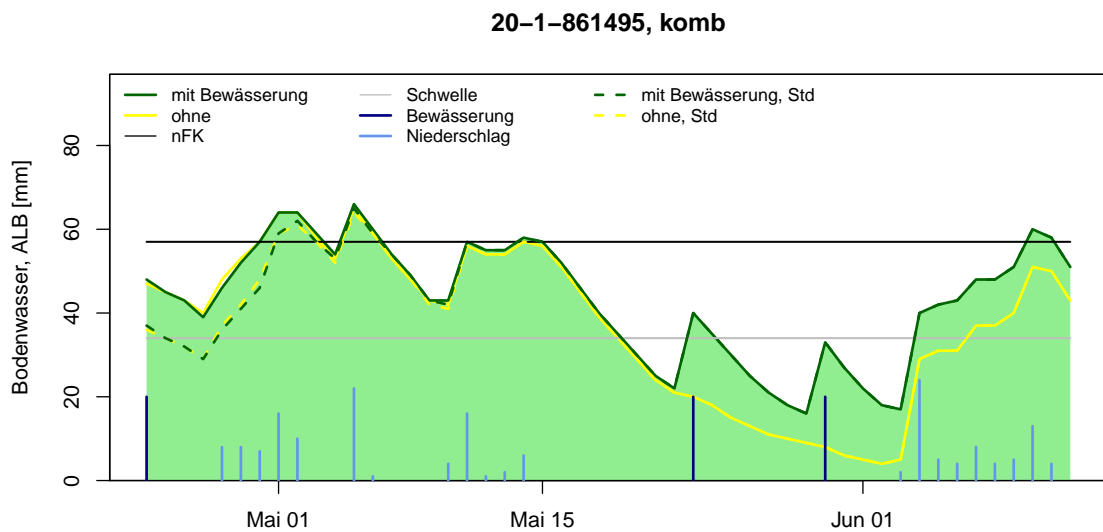


Abbildung 35: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum berechnet von der ALB-App mit angepasster Anfangsfeuchte und angepassten Stadien aufgrund der Feldbeobachtungen, 1.Satz. Die gestrichelten Linien zeigen die Empfehlung der App mit den Standardeinstellungen.

Tabelle 10: Kennzahlen der Bewässerung vom Betriebsleiter im Vergleich zu den Empfehlungen der ALB-App.

	Betriebsleiter 1.Satz	Empfehlung ALB 1.Satz	Betriebsleiter 2.Satz	Empfehlung ALB 2.Satz
Bewässerung total	60	60	19	40
Anzahl Gaben	3	6	1	4
Datum erste Gabe	2020-04-24	2020-05-21	2020-06-26	2020-06-25
Kleinste Gabe in mm	20	10	19	10
Grösste Gabe in mm	20	10	19	10

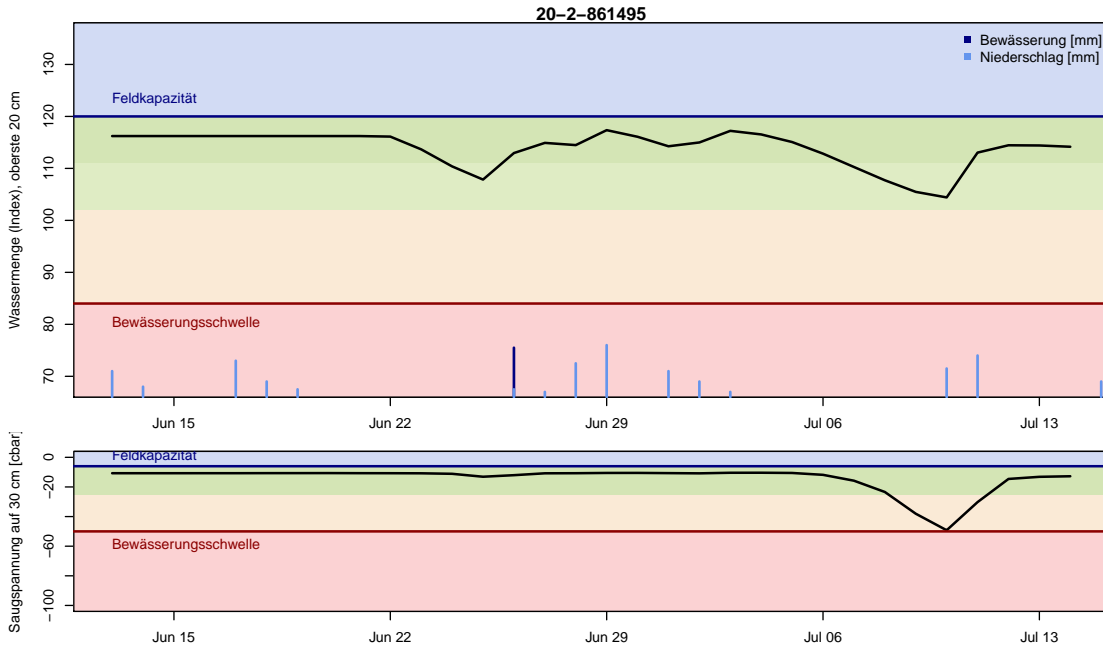


Abbildung 36: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum der Bodensonde (Index) und Bewässerung in mm, 2. Satz.

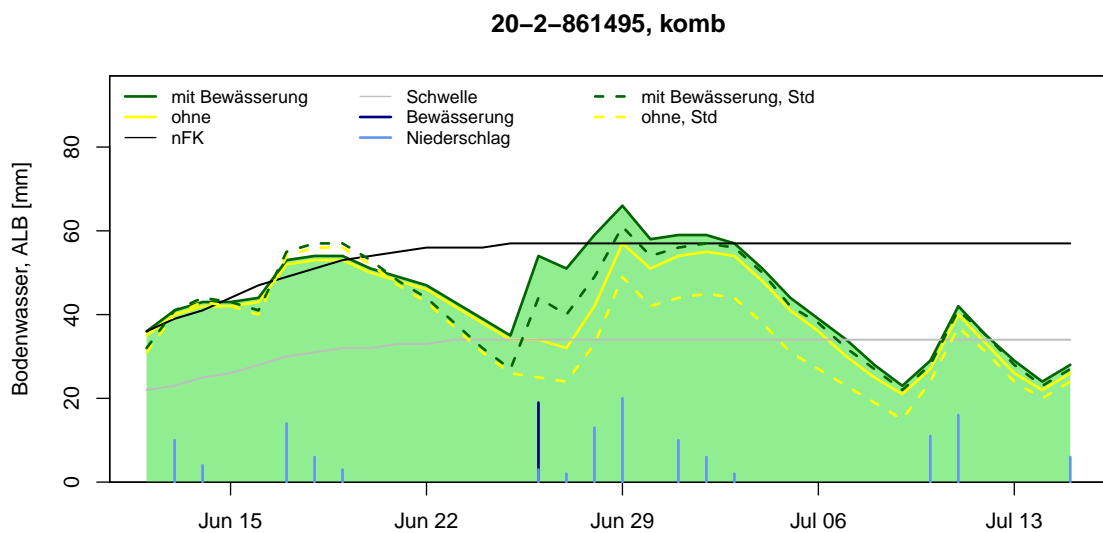


Abbildung 37: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum berechnet von der ALB-App mit angepasster Anfangsfeuchte und angepassten Stadien aufgrund der Feldbeobachtungen, 2. Satz. Die gestrichelten Linien zeigen die Empfehlung der App mit den Standardeinstellungen.

4.6 Kartoffeln, Buchs

Betrieb: Philipp Rohrer
 Kultur: Kartoffeln
 Sorte: Ivory Russet
 Bewässerungstechnik: Tröpfchenbewässerung
 Pflanzdatum: 17.04.2020
 Seriennummer Sonde: 20-1-513695
 Wassersättigung Oberboden, Versuchsbeginn in %: 79

Die Parzelle hat einen sehr hohen Schluffanteil. Die Bodenstruktur ist sehr fein, was den Bodenkontakt der Sensoren sehr erschwert hat.

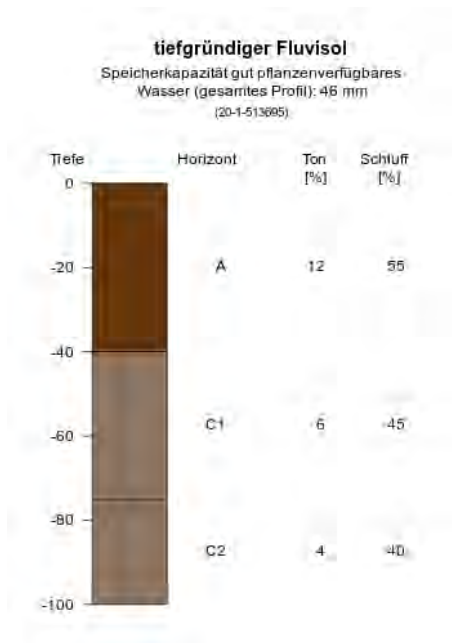


Abbildung 38: Bodentextur für den Standort Kartoffeln, Buchs.

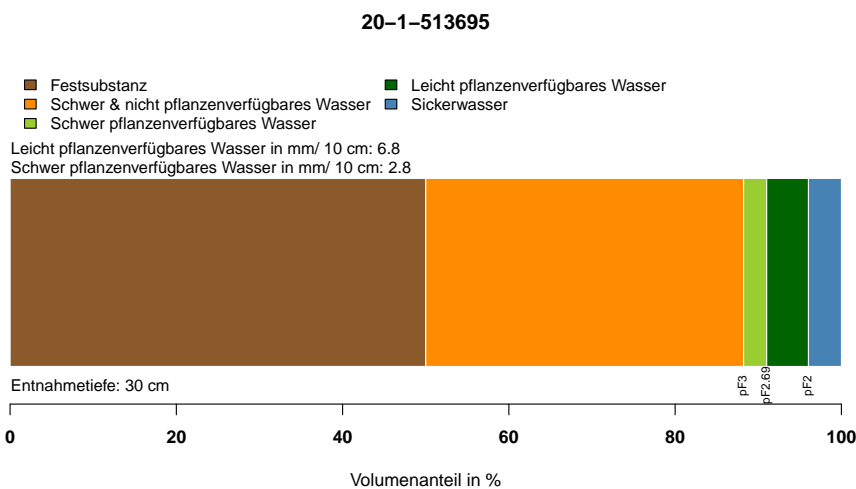


Abbildung 39: Wasserspeichervermögen und Porengrößenverteilung der Parzelle Kartoffeln, Buchs, Probenahme auf 30 cm. Dargestellt sind die Mittelwerte von drei Zylinderproben. Der Wassergehalt bei pF 2 entspricht ungefähr dem Wassergehalt bei Feldkapazität, bei pF 2.69 dem Wassergehalt bei -50 cbar und bei pF 3 dem Wassergehalt bei -1 bar Saugspannung. Die farbigen Flächen bilden das Gesamtporenvolumen der Parzelle ab, das mit Wasser oder Luft gefüllt sein kann.

4.6.1 Feldbeobachtung

Das Kartoffelfeld hat sich sehr gut entwickelt. Es gab einen guten Start im Frühjahr mit einer optimalen Wasserverfügbarkeit und Bodentemperaturen. Zum Zeitpunkt der Sensorinstallation waren alle mechanischen Massnahmen durchgeführt. Die Kartoffeln zeigten eine gute Laubentwicklung. Anzeichen von Trockenstress konnten nicht beobachtet werden und der Boden fühlte sich auch an trockenen und warmen Tagen mit der Handprobe jeweils feucht an. Die Qualität der Knollen war gemäss Aussage des Betriebsleiters sehr gut. Die Parzelle blühte um den 12.6. und erreichte anschliessend auch Reihenschluss. Ende Juli begannen die Stauden abzureifen.



Abbildung 40: Parzelle Kartoffeln, Buchs am 5.6., 12.6., 26.6. und 31.7..

4.6.2 Bewässerungsstrategie

Gemäss Sondenmessung und der Berechnung der ALB-App lag die Bodenfeuchte während der gesamten Saison im idealen Bereich. Die Bodensonde musste mehrmals neu installiert werden, weil der Bodenkontakt ungenügend war. Deshalb sind die Messungen erst ab Anfang Juli dargestellt. Gemäss Sonde und App war keine Bewässerung nötig. Das bestätigte auch die Kontrolle im Feld. Die Empfehlungen decken sich mit der Strategie des Betriebsleiters, der nie bewässert hat.

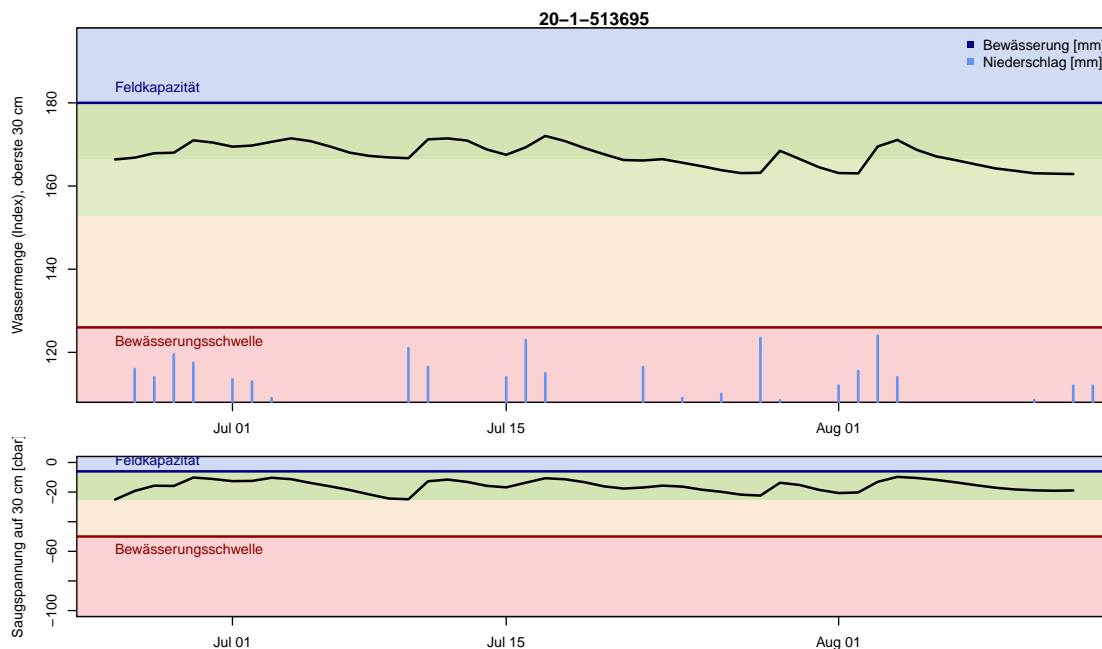


Abbildung 41: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum der Bodensonde (Index) und Bewässerung in mm.

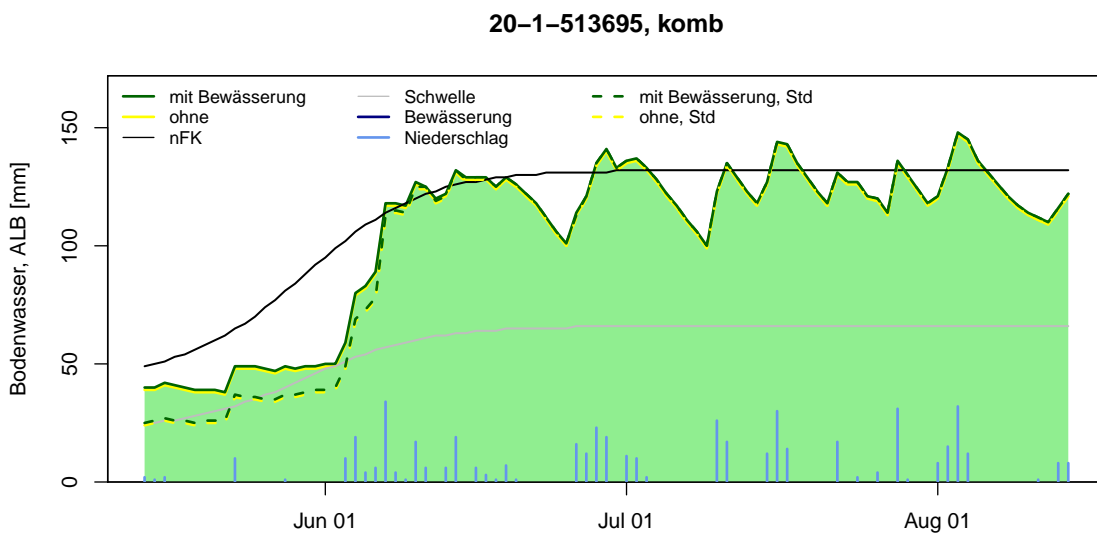


Abbildung 42: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum berechnet von der ALB-App mit angepasster Anfangsfeuchte und angepassten Stadien aufgrund der Feldbeobachtungen. Die gestrichelten Linien zeigen die Empfehlung der App mit den Standardeinstellungen.

4.7 Rotkohl, Ins

Betrieb: Pascal Occhini
 Kultur: Rotkohl
 Sorte: Roxy
 Bewässerungstechnik: Sprinkler
 Pflanzdatum: 19.05.2020
 Seriennummer Sonde: 20-1-861496
 Wassersättigung Oberboden, Versuchsbeginn in %: 90

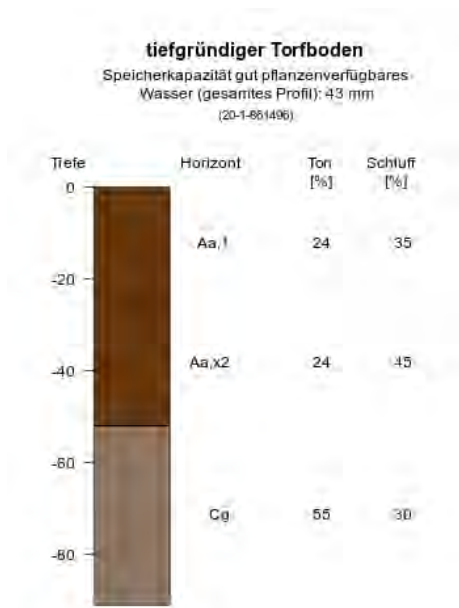


Abbildung 43: Bodentextur für den Standort Rotkohl, Ins.

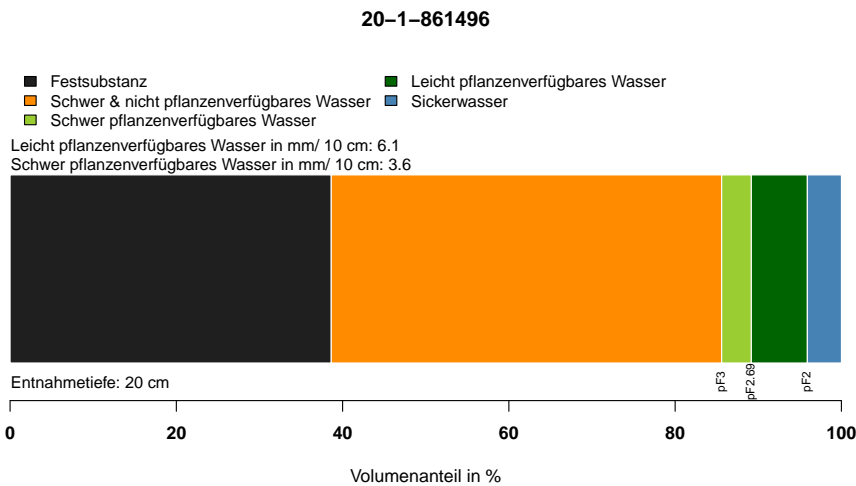


Abbildung 44: Wasserspeichervermögen und Porengrößenverteilung der Parzelle Rotkohl, Ins, Probenahme auf 20 cm. Dargestellt sind die Mittelwerte von drei Zylinderproben. Der Wassergehalt bei pF 2 entspricht ungefähr dem Wassergehalt bei Feldkapazität, bei pF 2.69 dem Wassergehalt bei -50 cbar und bei pF 3 dem Wassergehalt bei -1 bar Saugspannung. Die farbigen Flächen bilden das Gesamtporenvolumen der Parzelle ab, das mit Wasser oder Luft gefüllt sein kann.

4.7.1 Feldbeobachtung

Der Rotkohl hat sich nach der Pflanzung am 19. Mai sehr gut entwickelt. Trotz starker Verunkrautung der Parzelle im Vorjahr durch Hagelschlag in der Zwiebelkultur, war die Verunkrautung im Rotkohl nicht sehr stark ausgeprägt. Der Ertrag der Parzelle lag gemäss Betriebsleiter bei 60 kg/are, was einem guten Ertrag entspricht.



Abbildung 45: Parzelle Rotkohl, Ins bei der Sondeninstallation.

4.7.2 Bewässerungsstrategie

Gemäss Sondenmessung lag die Bodenfeuchte während der gesamten Saison im idealen Bereich. Gemäss Saugspannungsmessung auf 30 cm lag der Wassergehalt in dieser Bodenschicht im Juli und August im zu trockenen Bereich. Ab Ende Juli wurde ein Teil der Wasseraufnahme auch aus 30 cm gedeckt und die Bewässerungsgaben haben den Boden bis auf 30 cm wieder angefeuchtet.

Gemäss Berechnungen der ALB-App lag der Bodenwassergehalt in der Parzelle ebenfalls meist im idealen Bereich. Einzig Ende August vor den Niederschlägen lag der Wassergehalt wenige Tage im zu trockenen Bereich. Im Vergleich zu den Empfehlungen der ALB-App wurden auf den Betrieb häufigere kleine Bewässerungsgaben verabreicht. Es wurde zudem insgesamt mehr bewässert und die Bewässerung wurde früher ausgelöst. Gemäss Sondenmessung erfolgten die meisten Bewässerungsgaben gezielt. Einzig die Gaben Mitte Juli und Ende August hätten ausgelassen werden können.

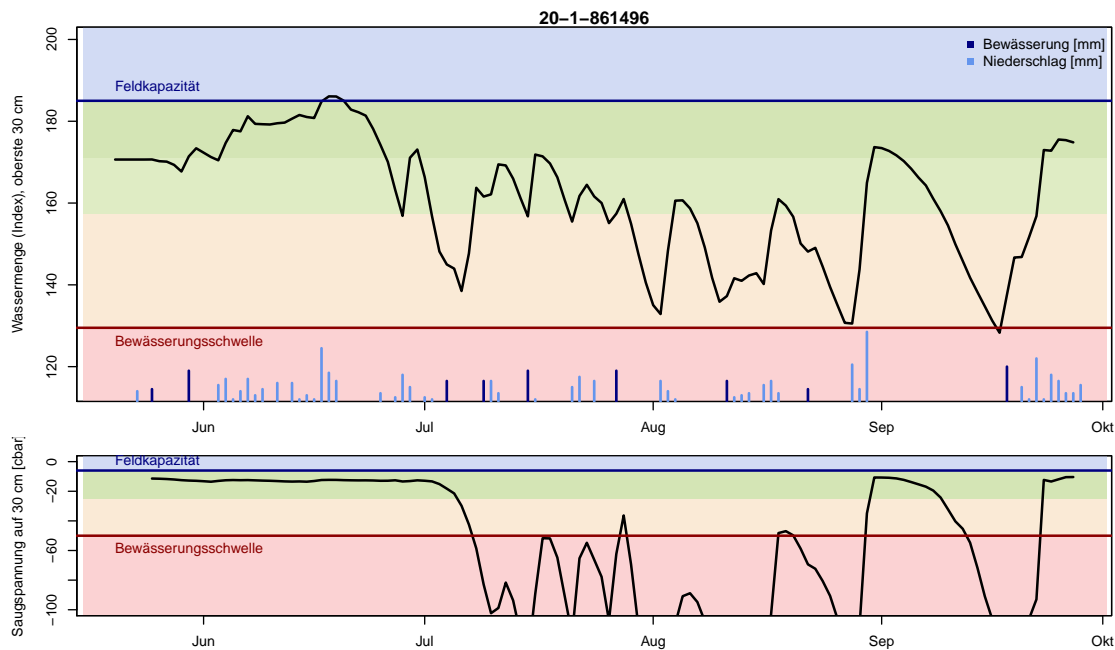


Abbildung 46: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum der Bodensonde (Index) und Bewässerung in mm.

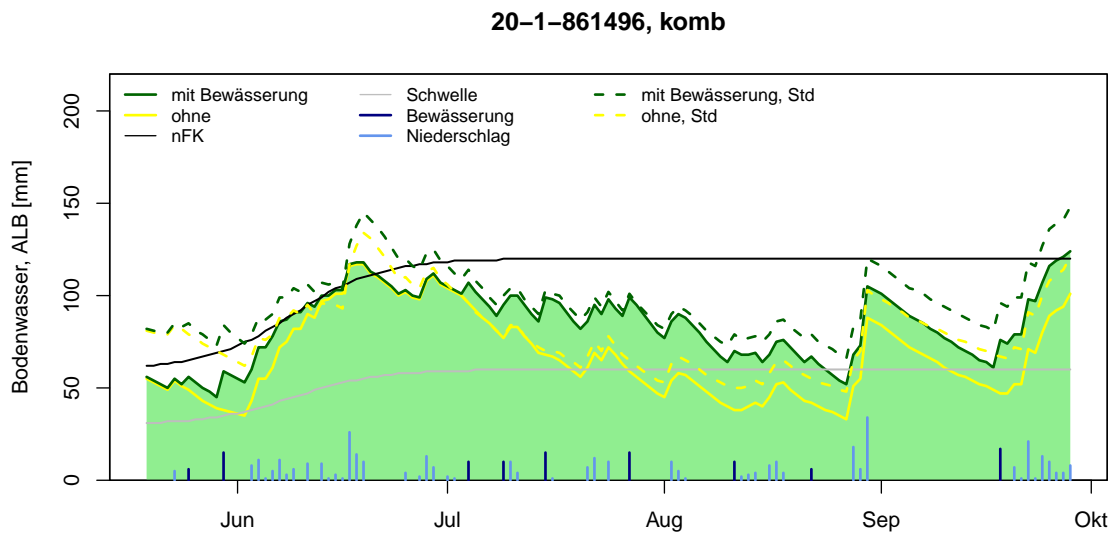


Abbildung 47: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum berechnet von der ALB-App mit angepasster Anfangsfeuchte und angepassten Stadien aufgrund der Feldbeobachtungen. Die gestrichelten Linien zeigen die Empfehlung der App mit den Standardeinstellungen.

Tabelle 11: Kennzahlen der Bewässerung vom Betriebsleiter im Vergleich zu den Empfehlungen der ALB-App.

	Betriebsleiter	Empfehlung ALB
Bewässerung total	104	60
Anzahl Gaben	9	2
Datum erste Gabe	2020-05-25	2020-07-29
Kleinste Gabe in mm	6	30
Grösste Gabe in mm	17	30

4.8 Karotten, Ins

Betrieb: Roger Schwab
 Kultur: Karotten
 Sorte: Romance
 Bewässerungstechnik: Sprinkler
 Saat: 23.06.2020
 Seriennummer Sonde: 20-1-513700
 Wassersättigung Oberboden, Versuchsbeginn in %: 79

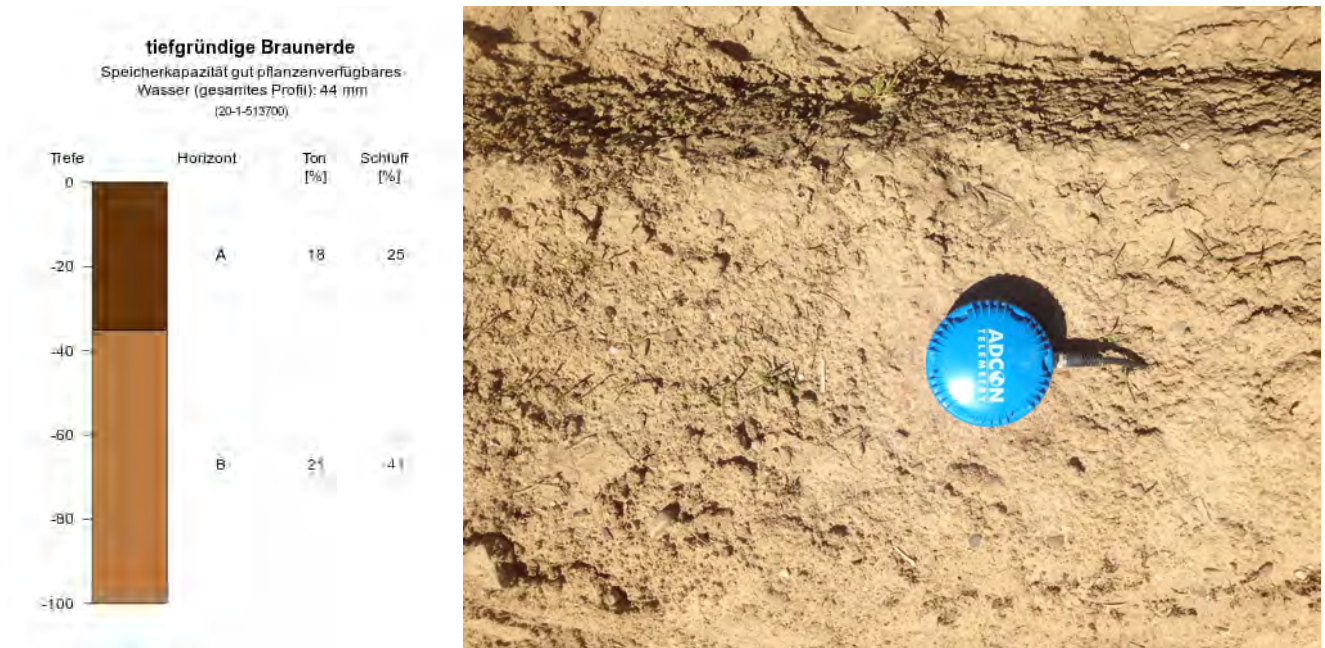


Abbildung 48: Bodentextur für den Standort Karotten Ins (links) und Dammstruktur beim Auflaufen am 6.7. (rechts).

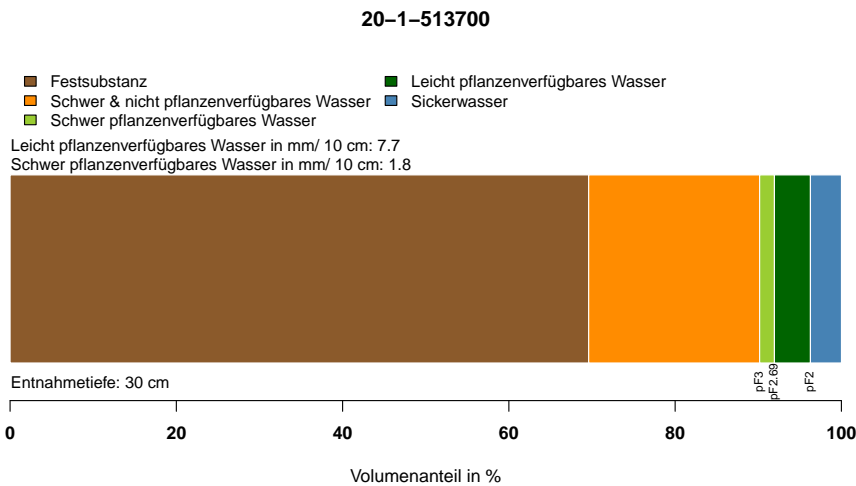


Abbildung 49: Wasserspeichervermögen und Porengrößenverteilung der Parzelle Karotten, Ins, Probenahme auf 30 cm. Dargestellt sind die Mittelwerte von drei Zylinderproben. Der Wassergehalt bei pF 2 entspricht ungefähr dem Wassergehalt bei Feldkapazität, bei pF 2.69 dem Wassergehalt bei -50 cbar und bei pF 3 dem Wassergehalt bei -1 bar Saugsapannung. Die farbigen Flächen bilden das Gesamtporenvolumen der Parzelle ab, das mit Wasser oder Luft gefüllt sein kann.

4.8.1 Feldbeobachtung

Zum Zeitpunkt vom Auflaufen der Karotten Anfang Juli gab es einige starke Niederschläge, die zu etwas Abschwemmung und Verschlammung geführt haben. Die Karotten sind aber regelmässig aufgelaufen und haben sich gut entwickelt. Abgesehen von etwas Ausfallgetreide war die Parzelle unkrautfrei. Der Ertrag auf der Parzelle lag gemäss Betriebsleiter bei 80 t/ha.



Abbildung 50: Parzelle Karotten, Ins am 5.8. mit einer Wurzeltiefe von 25 cm.



Abbildung 51: Parzelle Karotten, Ins am 11.9. mit einer Wurzeltiefe von 30 cm.

4.8.2 Bewässerungsstrategie

Gemäss Sondenmessung lag die Bodenfeuchte während der gesamten Saison im idealen Bereich. Gemäss Berechnungen der ALB-App lag der Wassergehalt zeitweise sogar über der Feldkapazität, sprich im zu nassen Bereich. Gemäss Sondendaten und der Berechnung der App wären auf der Parzelle keine Bewässerungsgaben empfohlen worden - abgesehen von Auflaufbewässerungen, die bei trockenen Bedingungen nach der Saat zentral sind für einen regelmässigen Feldaufgang. Andere Karotten-Parzellen in Ins wurden dieses Jahr nicht bewässert und es wurden vergleichbare Erträge erzielt. Allenfalls hätten also die Gaben im August und September eingespart werden können.

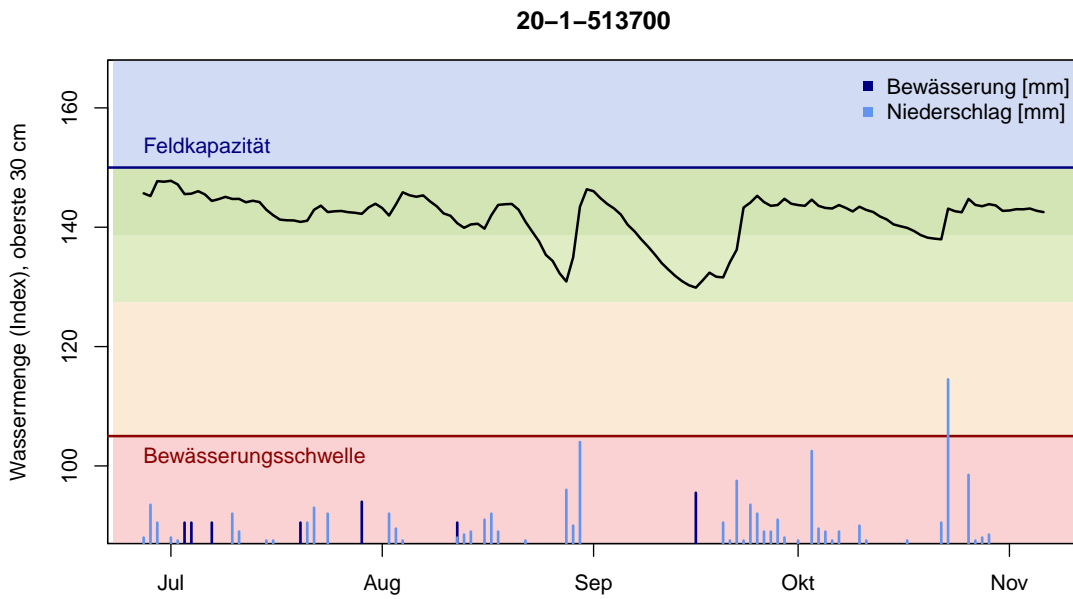


Abbildung 52: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum der Bodensonde (Index) und Bewässerung in mm.

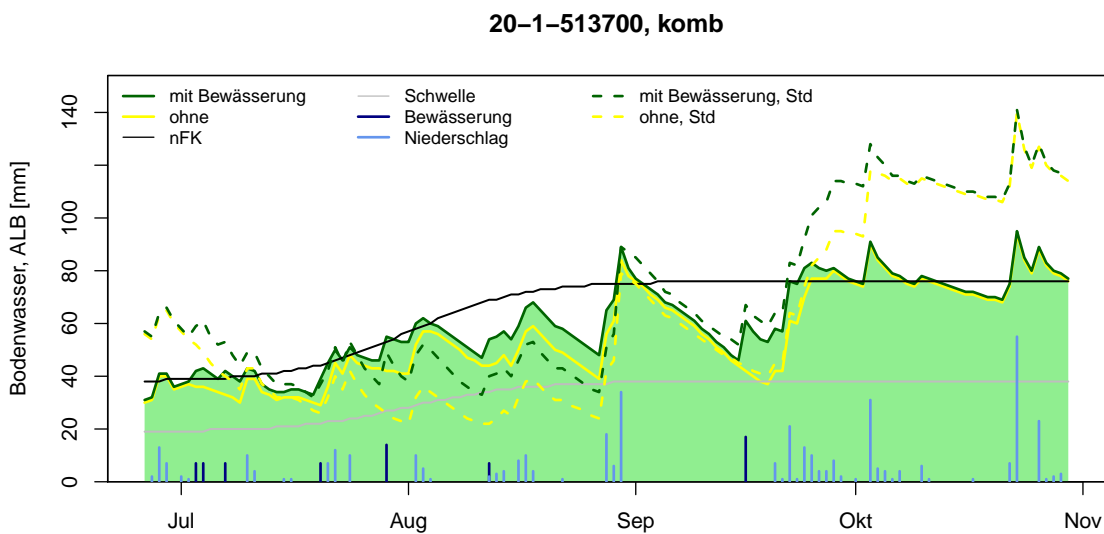


Abbildung 53: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum berechnet von der ALB-App mit angepasster Anfangsfeuchte und angepassten Stadien aufgrund der Feldbeobachtungen. Die gestrichelten Linien zeigen die Empfehlung der App mit den Standardeinstellungen.

Tabelle 12: Kennzahlen der Bewässerung vom Betriebsleiter im Vergleich zu den Empfehlungen der ALB-App.

	Betriebsleiter	Empfehlung ALB
Bewässerung total	66	0
Anzahl Gaben	7	keine Bewässerung
Datum erste Gabe	2020-07-03	
Kleinste Gabe in mm	7	keine Bewässerung
Grösste Gabe in mm	17	keine Bewässerung

4.9 Karotten, Müntschemier

Betrieb: Pascal Occhini
 Kultur: Karotten
 Sorte: Romance
 Bewässerungstechnik: Sprinkler
 Saat: 26.06.2020
 Seriennummer Sonde: 20-1-863310
 Wassersättigung Oberboden, Versuchsbeginn in %: 81

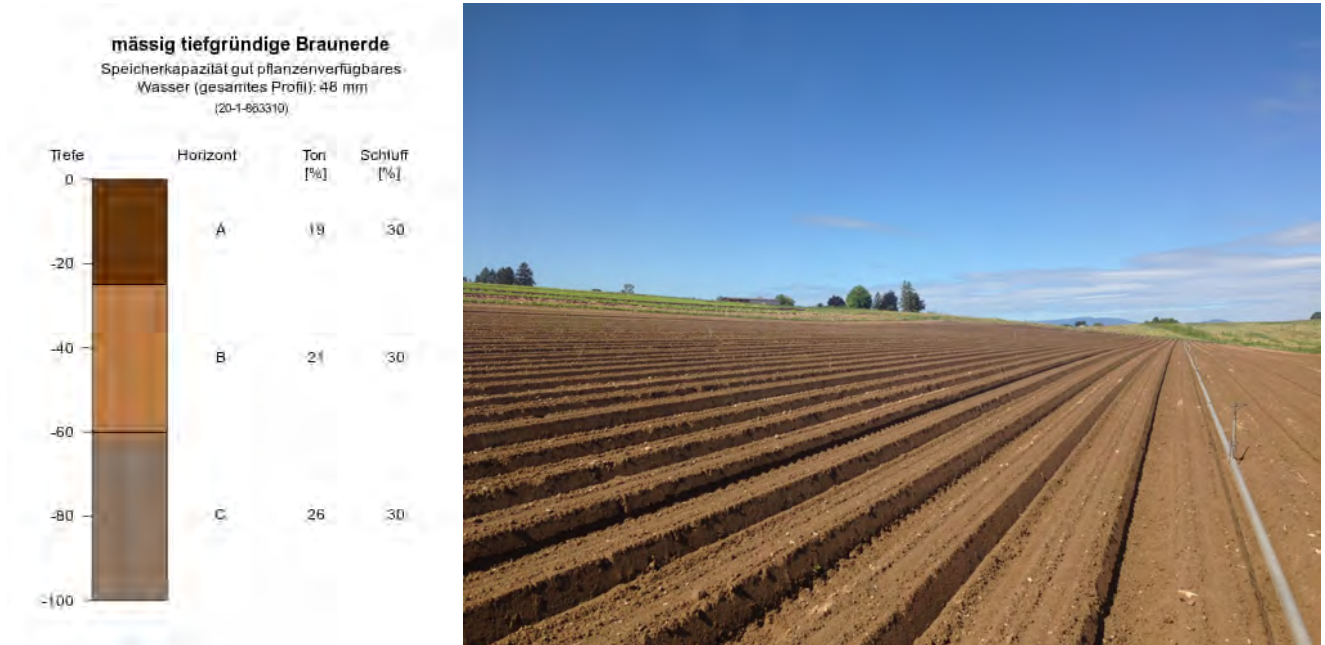


Abbildung 54: Bodentextur für den Standort Karotten Müntschemier (links) und Dammstruktur vor dem Auflaufen am 30.6. (rechts).

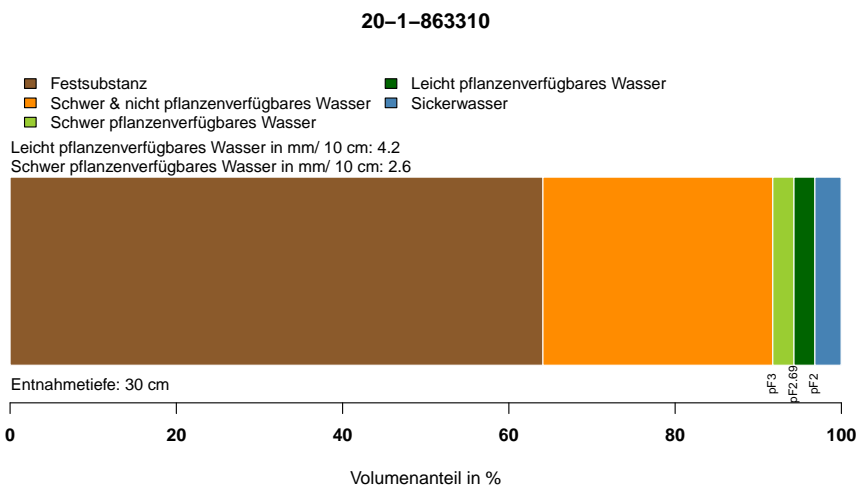


Abbildung 55: Wasserspeichervermögen und Porengrößenverteilung der Parzelle Karotten, Müntschemier, Probenahme auf 30 cm. Dargestellt sind die Mittelwerte von drei Zylinderproben. Der Wassergehalt bei pF 2 entspricht ungefähr dem Wassergehalt bei Feldkapazität, bei pF 2.69 dem Wassergehalt bei -50 cbar und bei pF 3 dem Wassergehalt bei -1 bar Saugsapannung. Die farbigen Flächen bilden das Gesamtporenvolumen der Parzelle ab, das mit Wasser oder Luft gefüllt sein kann.

4.9.1 Feldbeobachtung

Die Karotten sind nach der Saat am 26. Juni gut aufgelaufen. Zum Zeitpunkt des Auflaufens Anfang Juli gab es starke Niederschläge, die zu etwas Verschlammung geführt haben. Trotzdem sind die Karotten sehr regelmässig aufgelaufen und haben sich gut entwickelt. Es gab sehr wenig Verunkrautung in der Kultur. Der Ertrag der Parzelle lag gemäss Betriebsleiter bei 65 t/ha.

4.9.2 Bewässerungsstrategie

Gemäss Sondenmessung lag die Bodenfeuchte während der gesamten Saison im idealen Bereich. Gemäss Berechnungen der ALB-App lag der Wassergehalt zeitweise sogar über der Feldkapazität, sprich im zu nassen Bereich. Gemäss Saugspannungsmessung auf 30 cm lag der Bodenwassergehalt Ende August und Ende September im zu trockenen Bereich in dieser Bodentiefe.

Gemäss Berechnungen der App wäre auf der Parzelle nur eine Bewässerunggabe empfohlen worden Mitte September - abgesehen von Auflaufbewässerungen, die bei trockenen Bedingungen nach der Saat zentral sind für einen regelmässigen Feldaufgang.

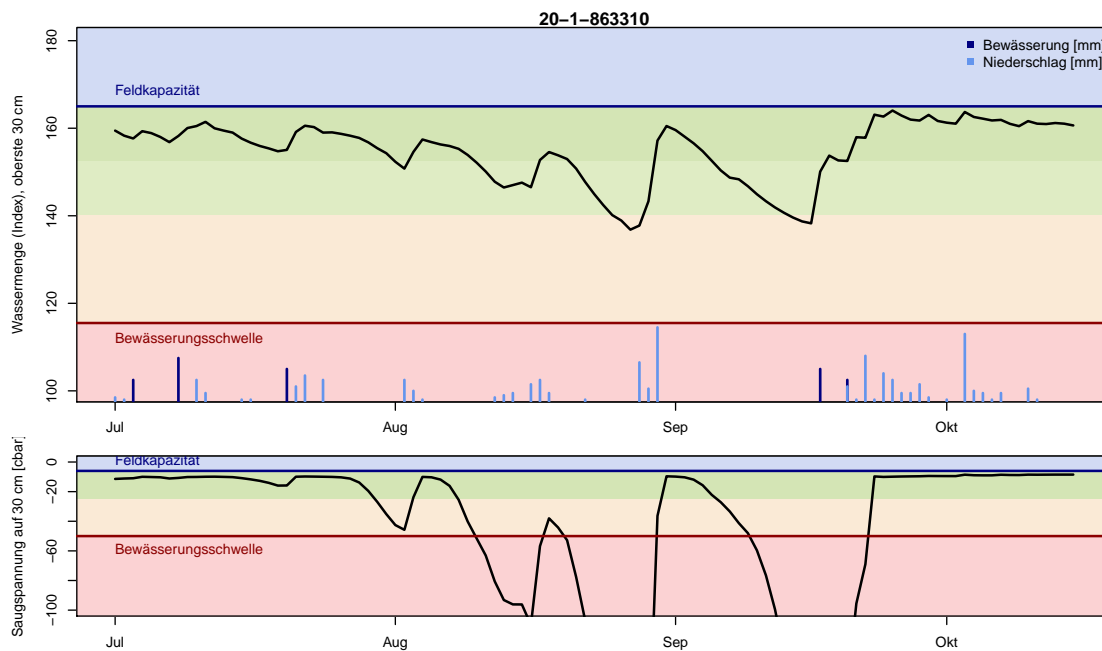


Abbildung 56: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum der Bodensonde (Index) und Bewässerung in mm.

Tabelle 13: Kennzahlen der Bewässerung vom Betriebsleiter im Vergleich zu den Empfehlungen der ALB-App.

	Betriebsleiter	Empfehlung ALB
Bewässerung total	70	30
Anzahl Gaben	5	1
Datum erste Gabe	2020-07-03	2020-09-19
Kleinste Gabe in mm	10	30
Grösste Gabe in mm	20	30

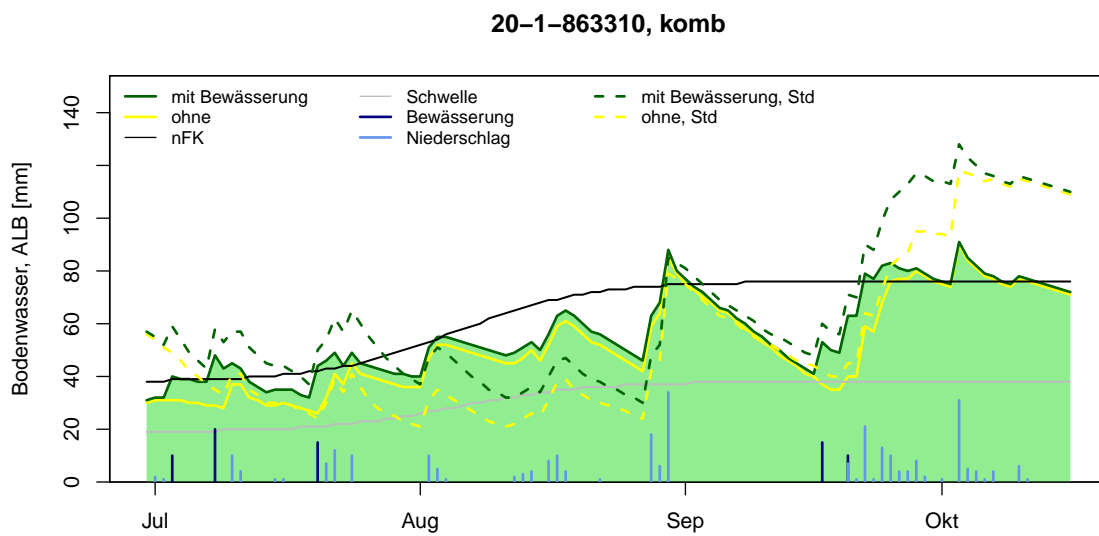


Abbildung 57: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum berechnet von der ALB-App mit angepasster Anfangsfeuchte und angepassten Stadien aufgrund der Feldbeobachtungen. Die gestrichelten Linien zeigen die Empfehlung der App mit den Standardeinstellungen.

4.10 Karotten, Wülflingen

Betrieb:	Strickhof
Kultur:	Karotten
Sorte:	Yellowstone
Bewässerungstechnik:	Sprinkler
Saat:	01.07.2020
Seriennummer Sonde:	20-3-861495
Wassersättigung Oberboden, Versuchsbeginn in %:	82

Der Standort ist durch den hohen Tongehalt im Unterboden, den hohen Skelettgehalt und die kompakte Schicht ab 40 cm nicht ideal für den Karottenanbau. Es handelt sich um einen Sortenanbauversuch, gesät mit weitem Abstand (50 cm) ohne Dämme.

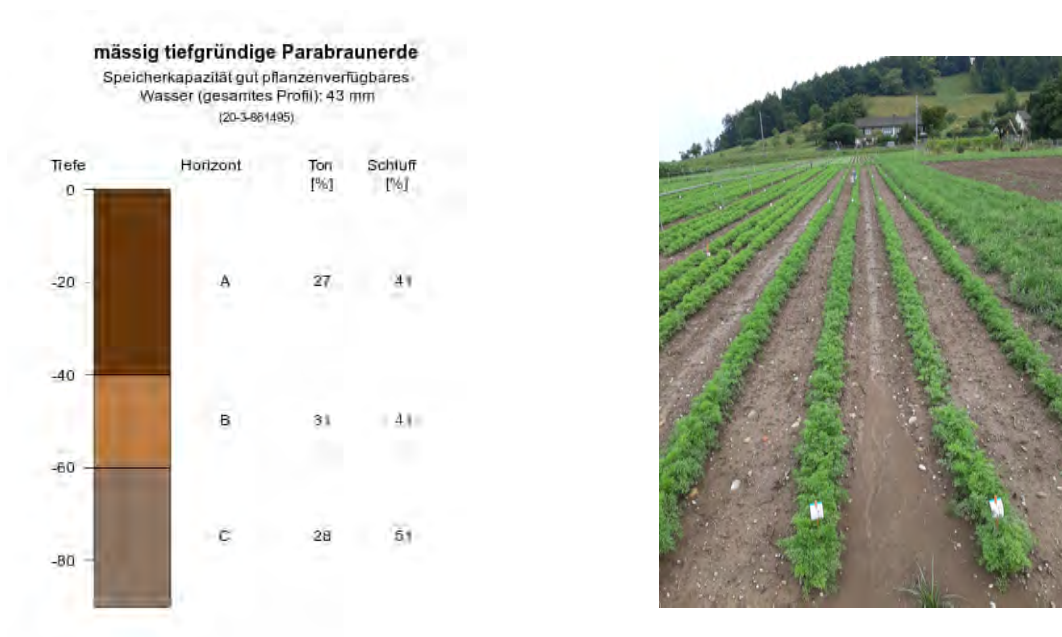


Abbildung 58: Bodentextur für den Standort Karotten, Wülflingen (links) und Dammstruktur am 4.8. (rechts).

4.10.1 Feldbeobachtung

Der Ertrag auf der Parzelle lag gemäss Betriebsleiter im durchschnittlichen Bereich.

4.10.2 Bewässerungsstrategie

Gemäss Sondenmessung lag die Bodenfeuchte Ende August und ab Mitte September im zu trockenen Bereich. Bei der Sonden-Deinstallation war die Parzelle aber feucht. Gemäss Berechnungen der ALB-App lag die Bodenfeuchte während der gesamten Saison im idealen Bereich. Diese Einschätzung deckt sich besser mit den Beobachtungen im Feld Ende September. Bei den Einzelmessungen des Sensors zeigt sich, dass die Bewässerungsgabe von rund 10 mm Mitte September die Bodenfeuchte bis auf 50 cm erhöht haben soll. Dies lässt vermuten, dass der Bodenkontakt des Sensors ungenügend war und die kleine Bewässerungsgabe durch den Hohlraum entlang der Sonde so tief in den Boden hinuntergeflossen ist.

Gemäss ALB-App wäre keine Bewässerung nötig gewesen, die Parzelle wurde aber neun Mal mit insgesamt 36 mm bewässert. Allenfalls hätten also die späteren Gaben Anfang und Mitte August und Mitte September eingespart werden können.

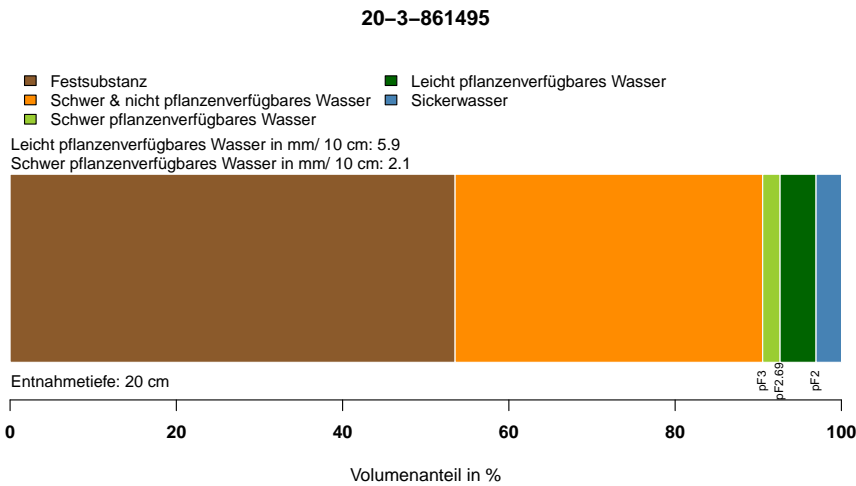


Abbildung 59: Wasserspeichervermögen und Porengrößenverteilung der Parzelle Karotten, Wülflingen, Probenahme auf 20 cm. Dargestellt sind die Mittelwerte von drei Zylinderproben. Der Wassergehalt bei pF 2 entspricht ungefähr dem Wassergehalt bei Feldkapazität, bei pF 2.69 dem Wassergehalt bei -50 cbar und bei pF 3 dem Wassergehalt bei -1 bar Saugspannung. Die farbigen Flächen bilden das Gesamtporenvolumen der Parzelle ab, das mit Wasser oder Luft gefüllt sein kann.

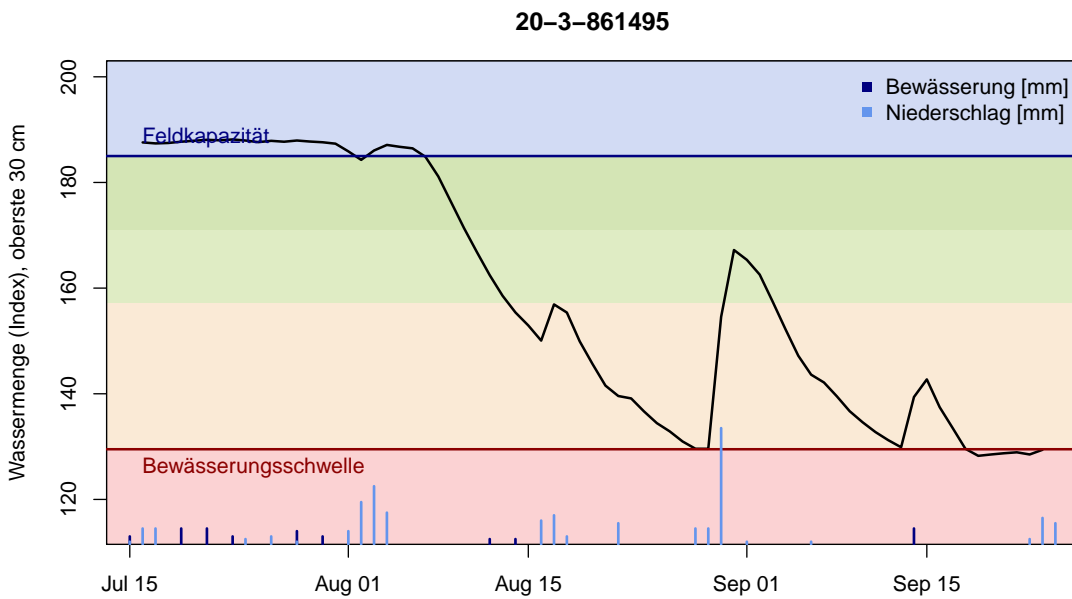


Abbildung 60: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum der Bodensonde (Index) und Bewässerung in mm.

Tabelle 14: Kennzahlen der Bewässerung vom Betriebsleiter im Vergleich zu den Empfehlungen der ALB-App.

	Betriebsleiter	Empfehlung ALB
Bewässerung total	36	0
Anzahl Gaben	9	keine Bewässerung
Datum erste Gabe	2020-07-15	
Kleinste Gabe in mm	2	keine Bewässerung
Grösste Gabe in mm	6	keine Bewässerung

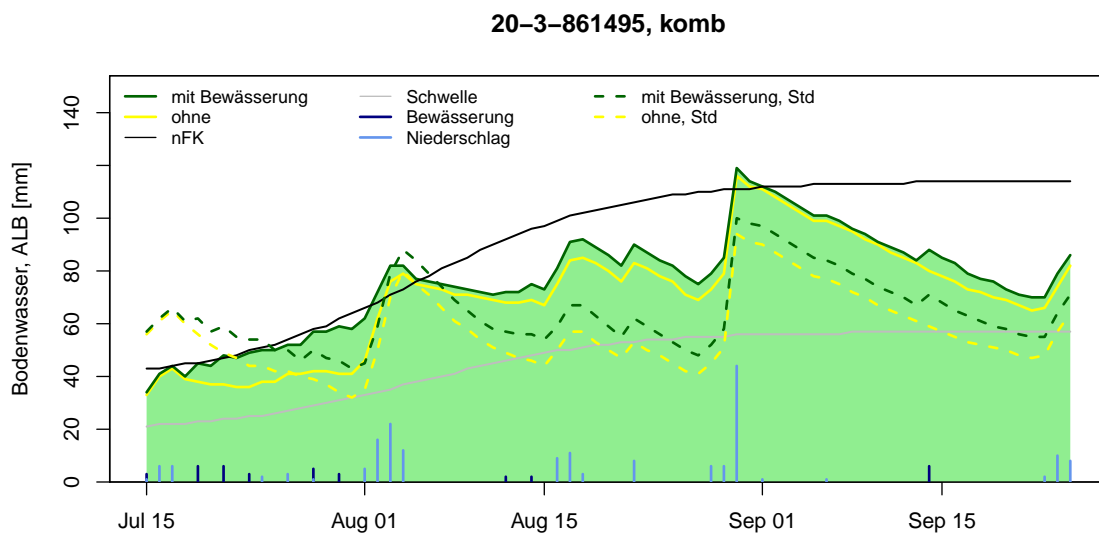


Abbildung 61: Bodenwasserverlauf im Wurzelraum berechnet von der ALB-App mit angepasster Anfangsfeuchte und angepassten Stadien aufgrund der Feldbeobachtungen. Die gestrichelten Linien zeigen die Empfehlung der App mit den Standardeinstellungen.

5 Diskussion

5.1 Validierung der App

In neun der dreizehn untersuchten Parzellen sind die Bewässerungsempfehlung und der Bodenwasserverlauf der App und der Sonde ähnlich. Gute Übereinstimmungen gab es bei den Zucchetti in Fällanden, bei den Kartoffeln in Buchs, bei den Karotten in Ins und Müntschemier, beim Kabis in Ins und bei den unbewässerten Zwiebeln in Ins. Auch bei den Karotten in Wülflingen, den Zwiebeln in Galmiz und den bewässerten Zwiebeln in Ins sind die Empfehlungen abgesehen vom Saisonende ähnlich. Besonders an den Standorten mit wenig Wasserstress stimmen die Empfehlungen der App und der Sonde gut überein. Es scheint, dass bei höherer Bodenfeuchte der gemessene und der modellierte Bodenwasserverlauf besonders gut übereinstimmen.

Bei den Kartoffeln in Ins gibt es im bewässerten und unbewässerten Teil während der gesamten Saison Abweichungen zwischen App und Sonde mit unterschiedlichen Bewässerungsempfehlungen. Die App schätzt die Wasserverfügbarkeit tiefer ein als die Sonde und empfiehlt mehr Bewässerungsgaben als die Sonde - insbesondere in der zweiten Saisonhälfte.

Am grössten sind die Abweichungen zwischen App und Sonde beim Salat. Aufgrund der ALB-App sinkt der Bodenwassergehalt schneller ab als aufgrund der Sondenmessungen. Die Saugspannung schätzt die Wasserverfügbarkeit sowohl in den Kartoffeln in Ins als auch beim Salat ähnlich ein wie die Sonde - mit Ausnahme vom Saisonende beim ersten Satz Salat.

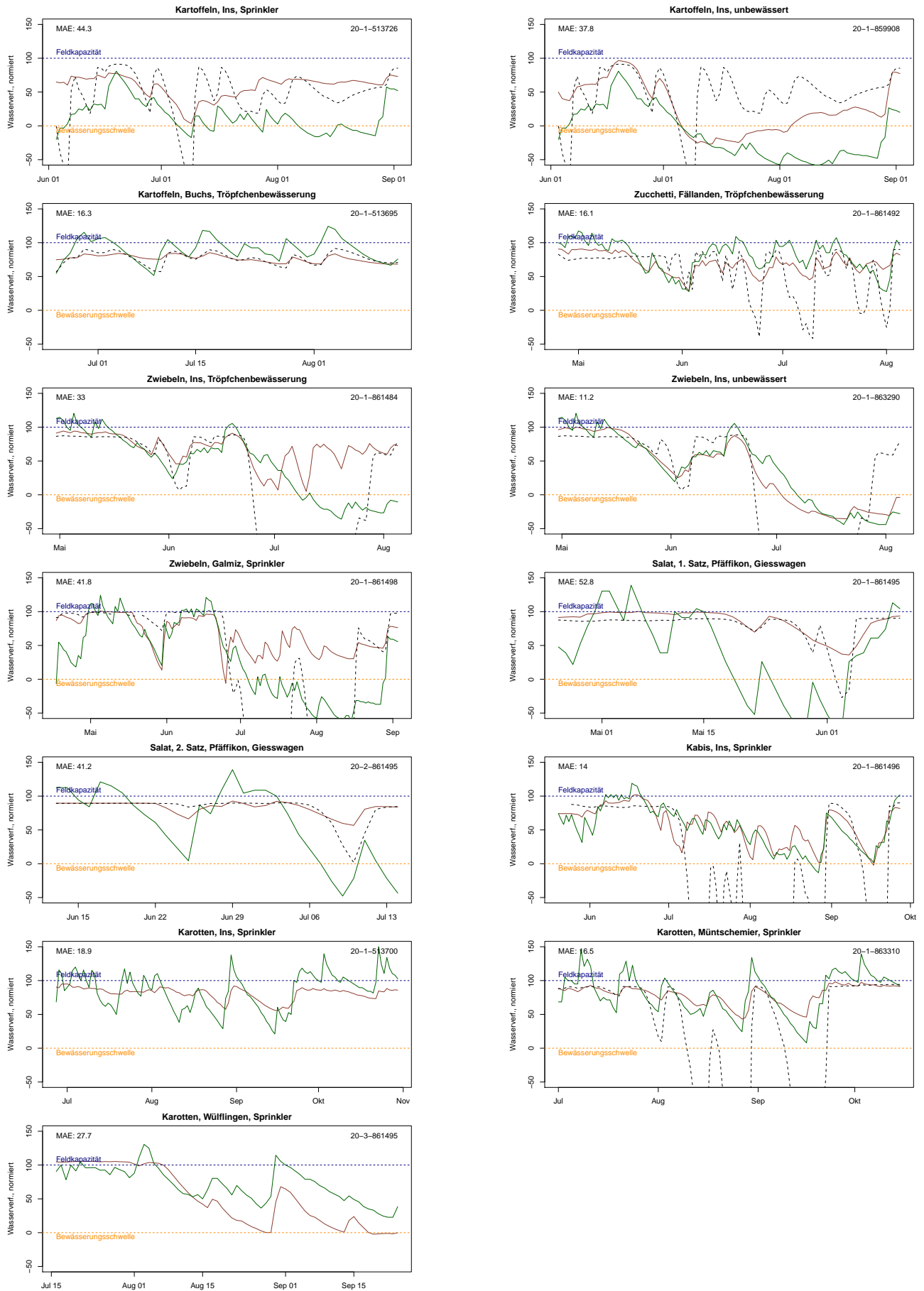


Abbildung 62: Wasserverfügbarkeit im Wurzelraum, normiert aufgrund der Grenzen für die Bewässerungsempfehlung (Wassergehalt bei Feldkapazität=100 und Wassergehalt bei Bewässerungsschwelle=0) für die untersuchten Standorte. Verglichen werden die Empfehlungen aufgrund der volumetrischen Bodensonde (braun), der ALB-App (grün, Variante komb) und der Saugspannungsmessung (schwarz, gestrichelt). Angegeben ist der Mean Absolute Error (MAE) für die Einschätzung der ALB-App im Vergleich zur Sonde.

5.2 Wurzeltiefe und pflanzenverfügbares Wasser in der ALB-App und bei den untersuchten Parzellen

Die Empfehlungen der App und der Sonden basieren auf unterschiedlichen Werten für die Wasserverfügbarkeit der Parzellenböden, die Bewässerungsschwelle und den Wurzelraum der Kulturen.

- Leicht verfügbares Wasser(EAW) pro 10 cm: Die App schätzt das leicht pflanzenverfügbare Wasser pro 10 cm Boden höher ein als die Bodensonde. Die Zylindermessungen der untersuchten Parzellen liegen näher bei den Werten der Sonde als bei den Werten der App .
- Bewässerungsschwelle: Der Wassergehalt der Zylinder bei -50 cbar dient als Richtwert für die Bewässerungsschwelle. Aufgrund der Porengrößenverteilung kann für die untersuchten Parzellen berechnet werden, wie viel % der nutzbaren Feldkapazität (nFK) beim Erreichen der Schwelle noch im Boden gespeichert ist (Schwelle App) und wie viel % des Wassergehalts bei Feldkapazität (FK) (Schwelle Sonde). Bei den Sonden wäre im Mittel bereits eine Bewässerung ab 87% der Feldkapazität nötig gewesen (Grundlage für Empfehlung: 70%), bei der App bereits bei 63% der nutzbaren Feldkapazität (Grundlage für Empfehlung: 50% bis 60%) Die Schwellen der App und der Sonde sind für die untersuchten Parzellen tendenziell leicht zu tief angesetzt und die Bewässerung wird etwas zu spät empfohlen. Das trifft vor allem bei den organischen Böden zu mit einem hohen volumetrischen Wassergehalt bei Feldkapazität. Diese Böden haben im Vergleich zu den mineralischen Böden ein grösseres Porenvolumen. Der Anteil Mittelporen ist aber kleiner als bei den mineralischen Böden, deshalb ist das Verhältnis zwischen Wassergehalt bei Feldkapazität zu leicht pflanzenverfügbarem Wasser unterschiedlich.
- Wurzelraum: Die App schätzt den Wurzelraum der Kulturen höher ein als die Sonden. Die App rechnet die Bewässerungsempfehlung folglich mit einem grösseren Wasserreservoir als die Sonden. Die Wurzeltiefe der Kulturen wurde bei Erreichen der kritischen Stadien für die Bilanz-Rechnung gemessen. In allen Kulturen und an allen Standorten wurzelten die Kulturen weniger tief als in der ALB-App für die Empfehlung angenommen wird. Für die Berechnungsvarianten Stad, Komb und Komb_NS wurde der Wurzelraum für die Berechnung entsprechend angepasst.

Aufgrund der hinterlegten Werte für die Bewässerungsempfehlung müsste die Wasserverfügbarkeit von der App eher höher eingeschätzt werden als von der Sonde. Die App geht von mehr leicht verfügbarem Wasser und einem grösserem Wurzelraum der Kulturen aus. Bei Abweichungen der Empfehlungen der App und der Sonde schätzt die App die Wasserverfügbarkeit aber tendenziell tiefer ein als die Sonde. Die Abweichungen zwischen App und Sonde sind also nicht auf die unterschiedlichen Kennzahlen zurückzuführen, die für die Bewässerungsempfehlung verwendet werden.

Tabelle 15: Vergleich der Zylindermessungen mit den hinterlegten Kennzahlen (nutzbare Feldkapazität (nFK, mm), leicht pflanzenverfügbares Wasser (EAW, mm)) pro 10 cm für die Bewässerungsempfehlung bei der App und der Sonde.

ID	Bodenart	nFK/10cm, Zylinder	nFK/10cm, App	EAW/10cm, Zylinder	EAW/10cm, App	EAW/10cm, Sonde
20-1-513695	mittel, schluffiger Lehm (uL)	18	22	7	11	6
20-1-513700	mittel, sandiger Lehm (sL)	9	19	8	10	5
20-1-513726	organisch, Moor (M)	11	30	4	15	6
20-1-861484	organisch, Moor (M)	19	30	5	15	6
20-1-861492	organisch, Moor (M)	26	30	5	15	6
20-1-861495	mittel, sandiger Lehm (sL)	16	19	6	10	9
20-1-861496	organisch, Moor (M)	24	30	6	15	6
20-1-861498	organisch, Moor (M)	17	30	5	15	6
20-1-863310	mittel, sandiger Lehm (sL)	12	19	4	10	6
20-2-861495	mittel, sandiger Lehm (sL)	12	19	5	10	9
20-2-863316		21		5		6
20-3-861495	mittel, sandiger Lehm (sL)	14	19	6	10	6

Tabelle 16: Vergleich der Kennzahlen (Wurzelraum (cm), leicht pflanzenverfügbares Wasser (EAW) im Wurzelraum (mm)) für die Bewässerungsempfehlung der App und der Sonde. Vergleich der verwendeten Schwellen 50%nFK (App) und 70%FK (Sonde) mit den Zylindermessungen.

ID	Bodenart	Wurzelraum, App (cm)	EAW Wurzel- raum, Sonde	Schwelle nFK (App), Zylinder	Schwelle FK (Sonde), Zylinder
20-1-513695	mittel, schluffiger Lehm (uL)	60	18	62	85
20-1-513700	mittel, sandiger Lehm (sL)	40	15	14	71
20-1-513726	organisch, Moor (M)	50	16	68	94
20-1-861484	organisch, Moor (M)	50	17	73	90
20-1-861492	organisch, Moor (M)	40	18	79	91
20-1-861495	mittel, sandiger Lehm (sL)	30	18	59	85
20-1-861496	organisch, Moor (M)	40	18	75	89
20-1-861498	organisch, Moor (M)	36	18	72	91
20-1-863310	mittel, sandiger Lehm (sL)	40	16	65	87
20-2-861495	mittel, sandiger Lehm (sL)	30	18	57	87
20-2-863316			17	77	92
20-3-861495	mittel, sandiger Lehm (sL)	60	18	58	86

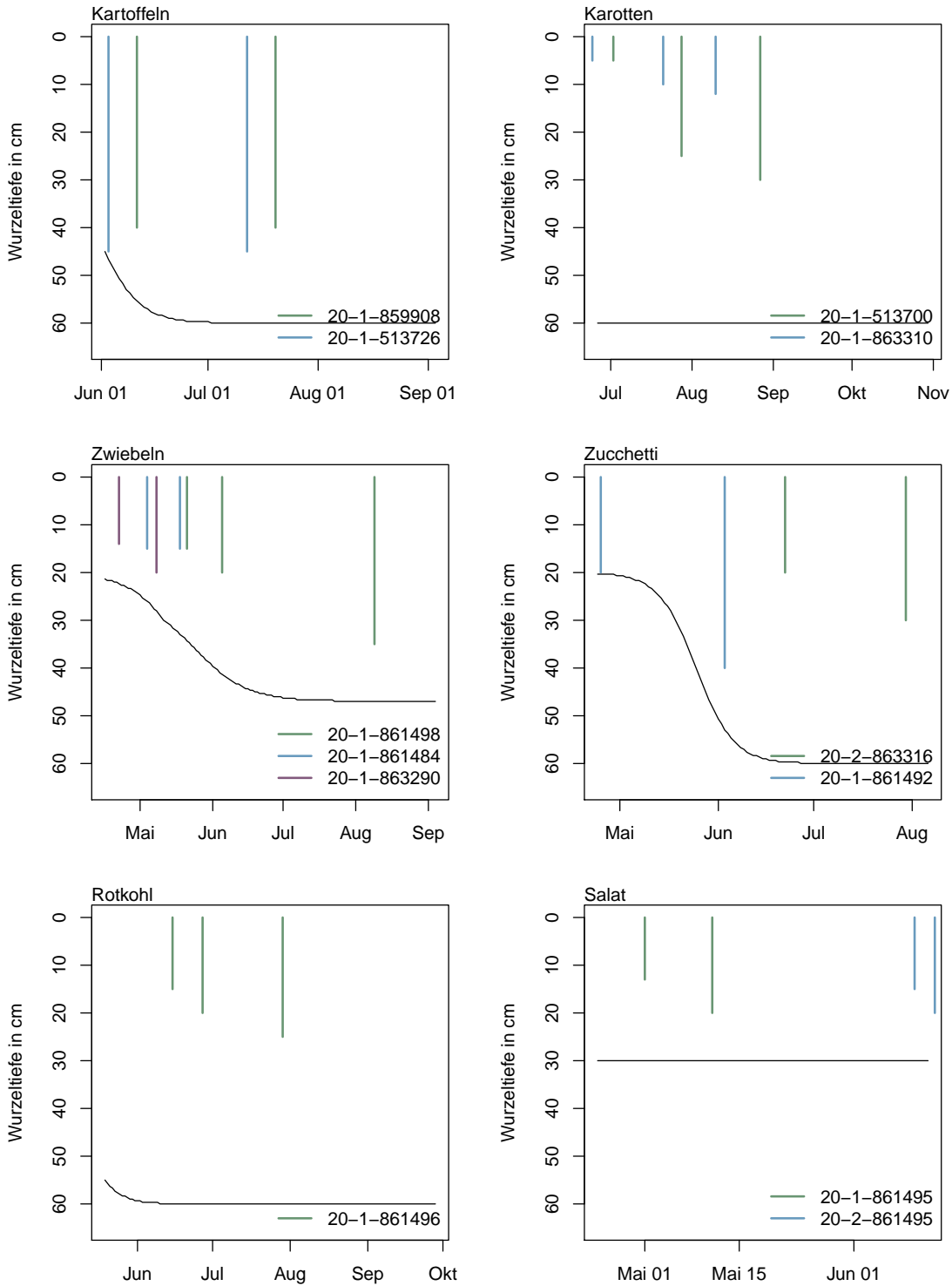


Abbildung 63: Zeitlicher Verlauf der Wurzeltiefe pro Kultur, Annahme der ALB-App (schwarze Linie) im Vergleich zu den Beobachtungen im Feld (farbige Linien).

5.3 Einstellungen in der ALB-App

Mit den nachfolgenden Grafiken und Berechnungen von allen untersuchten Standorten soll aufgezeigt werden, wie die Feineinstellungen für die Anfangsfeuchte, die Kulturstadien und den Niederschlag die Empfehlung der ALB-App verändern. Der Mean Absolute Error (MAE) gibt an, in welchem Mass der von der App berechnete normierte Bodenwassergehalt vom gemessenen normierten Bodenwassergehalt abweicht. Je tiefer der MAE ist, desto ähnlicher sind der berechnete und der gemessene Wassergehalt. Die Empfehlungsgrafiken der App für die verschiedenen Berechnungsvarianten pro Standort finden sich im Anhang.

Bei den Karotten und beim Rotkohl sinkt der MAE mit den Anpassungen der Anfangsfeuchte und den Kulturstadien am meisten ab. In diesen beiden Kulturen weichen die im Feld beobachteten Stadien am stärksten von den Standardeinstellungen der App ab. Die Standardeinstellung der App geht bei Karotten von einer Saat im Frühjahr aus, im Versuch wurden aber Lagerkarotten untersucht, die im Juli gesät worden sind.

Bei den Zwiebeln verschlechtert sich die Genauigkeit mit den Anpassungen der Anfangsfeuchte und den Stadien sogar. Die Grafiken zeigen, dass die Abweichungen vor allem in der zweiten Saisonhälfte gross sind zwischen App und Sonde. Die App schätzt in dieser Phase den Wasserverbrauch höher ein als die Sonde.

Für die meisten untersuchten Parzellen verbessert die Einstellung der Kulturstadien die Empfehlung der App stärker als die Einstellung der Anfangsfeuchte. Eine Zylindermessung der Parzellen scheint für eine genaue Empfehlung weniger zentral zu sein. Bei der App kann der Berechnungsstart frei gewählt werden. Durch die zahlreichen Niederschläge im Frühjahr sind die Parzellenböden irgendwann meistens gesättigt. Wird der Berechnungsstart vorher festgelegt, kann dadurch eine ungenaue Einschätzung der Anfangsfeuchte ausgeglichen werden. Bei acht der zwölf Versuchspartellen wurde die Anfangsfeuchte zu Versuchsbeginn mit frühem Berechnungsstart ähnlich eingeschätzt wie durch die Zylindermessungen (Daten nicht gezeigt).

Die parzellenspezifische Niederschlagskorrektur verbessert die Empfehlung der App in sechs von zwölf Parzellen geringfügig. Die interpolierten Wetterdaten scheinen für die Bewässerungsempfehlung folglich genügend genau zu sein und eine parzellenspezifische Niederschlagsmessung ist für eine genaue Empfehlung nicht zwingend notwendig.

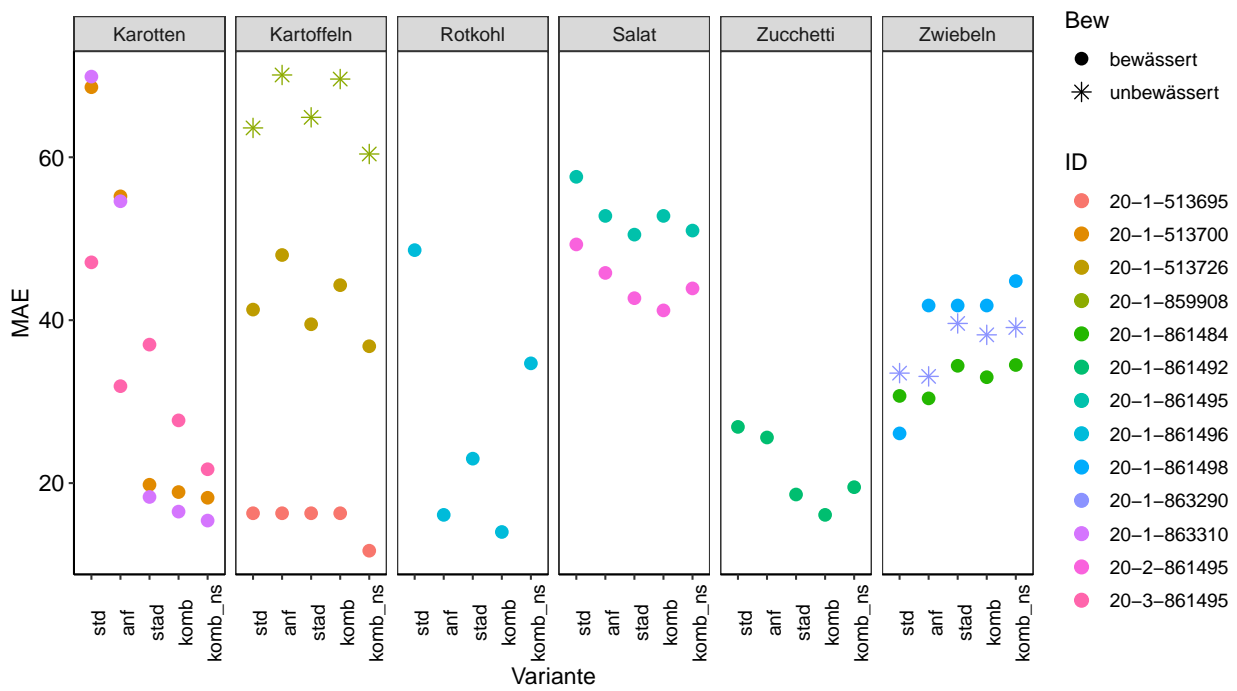


Abbildung 64: Einfluss der Feineinstellungen auf den Vergleich zwischen berechneter und gemessener Bodenfeuchte. Gezeigt wird der Mean Absolute Error (MAE) zwischen der berechneten Bodenfeuchte der ALB-App und der Bodensonde für die Varianten Standardeinstellungen der App (std), Anfangsfeuchte nach Zylindermessungen (anf), Stadien nach Feldbeobachtung (stad), die Kombination davon (komb) und zusätzlich mit parzellenspezifischem Niederschlag (komb ns).

5.4 Wasserverbrauch und Evapotranspiration

Bei Karotten, und Zucchetti ist die Evapotranspiration gemäss Bilanz-App ähnlich wie der Wasserverbrauch, berechnet aus den Sondendaten. Bei den Zwiebeln sind die Evapotranspiration und der Wasserverbrauch in der ersten Saisonhälfte ähnlich. In der zweiten Saisonhälfte ist die Evapotranspiration der App höher als der Wasserverbrauch. Die unterschiedliche Bewässerungsempfehlung der App und der Sonde könnte damit zu begründen sein, denn in der zweiten Saisonhälfte sinkt die Wasserverfügbarkeit bei der App schneller ab als bei der Sonde.

Beim Salat und bei den Kartoffeln ist die Evapotranspiration der App höher als der Wasserverbrauch der Kultur, berechnet aus den Sondendaten. Die unterschiedliche Bewässerungsempfehlung der App und der Sonde könnte damit zu begründen sein, denn die Wasserverfügbarkeit sinkt bei der App schneller ab als bei der Sonde. Bei den Karotten in Wülflingen zeigt sich das Gegenteil: Die Evaporation der App ist kleiner als der Wasserbedarf aus den Sondendaten und die Wasserverfügbarkeit ist bei der App langsamer abgesunken als bei der Sonde. Es kann allerdings sein, dass die Berechnung aus den Sondendaten durch einen ungenügenden Bodenschluss der Sonde verfälscht worden ist.

Beim Rotkohl in Ins ist die Evapotranspiration der App leicht tiefer als der Wasserverbrauch der Kultur, berechnet aus den Sondendaten. Die Bewässerungsempfehlung der Sonde und der App sind an diesem Standort aber sehr ähnlich.

Bei den bewässerten Zwiebeln in Ins ist die Evapotranspiration der App sehr ähnlich wie der Wasserverbrauch, berechnet aus den Sondendaten. Im unbewässerten Teil der Parzelle ist die Evapotranspiration der App höher als der Wasserverbrauch, berechnet aus den Sondendaten - insbesondere in der zweiten Saisonhälfte. Zu dieser Zeit ist der Bodenwassergehalt gemäss Empfehlungsgrafik der Sonde und der App im zu trockenen Bereich. Die App scheint also den Wasserbedarf bei knappem Wasserangebot zu überschätzen. Nichtsdestotrotz sind aber die Empfehlungen der App und der Sonde in den unbewässerten Zwiebeln auch in dieser Phase sehr ähnlich. Bei den Kartoffeln in Ins gibt es keine Unterschiede in der Evapotranspiration zwischen dem bewässerten und unbewässerten Teil.

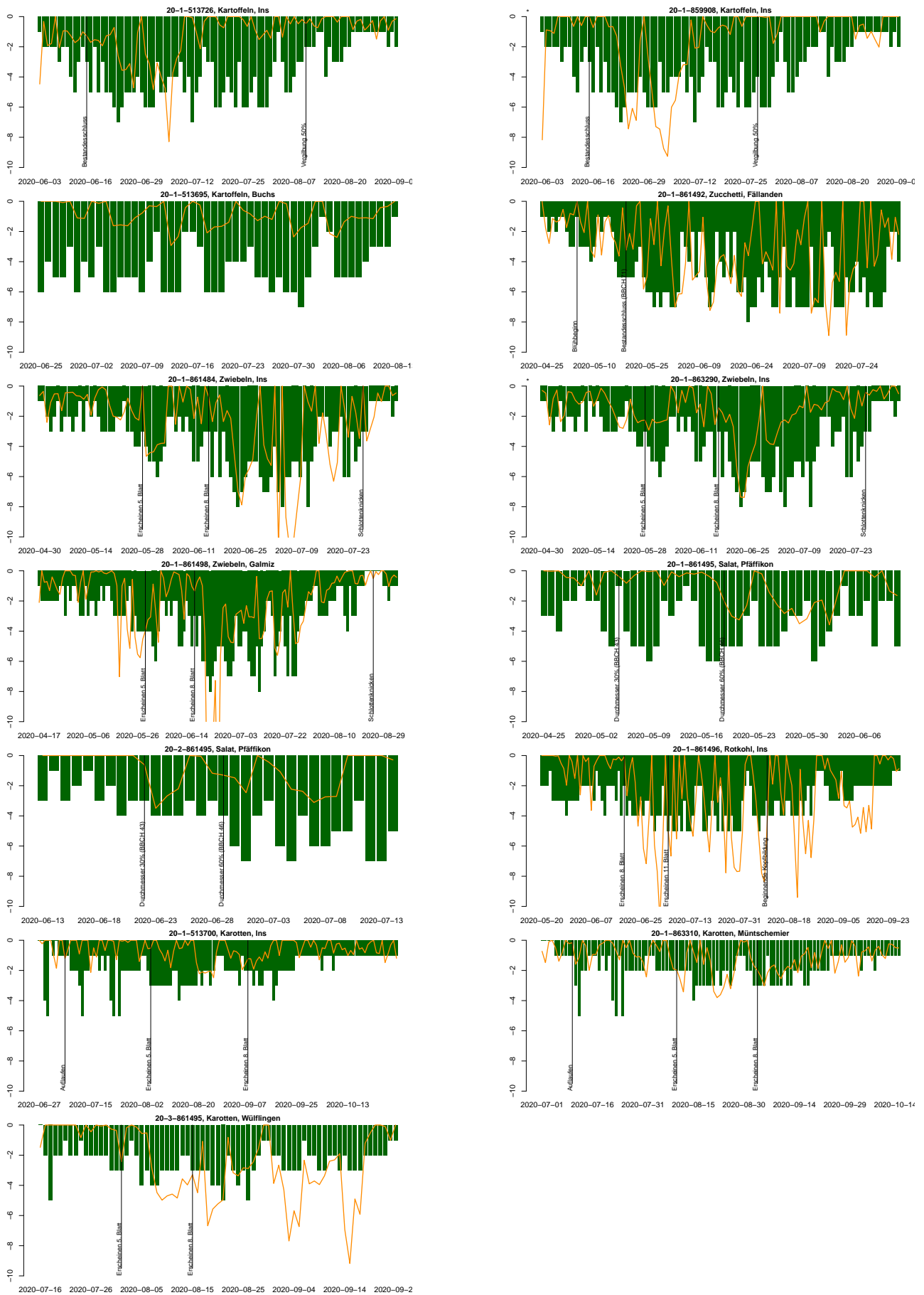


Abbildung 65: Tägliche Verdunstung in der ALB-App (grün) im Vergleich zum Wasserverbrauch der Kulturen in mm, berechnet aus dem Feuchtigkeitsverlauf der Sondendaten (orange) zu den verschiedenen Wachstumsstadien. Die beiden unbewässerten Parzellen sind mit * gekennzeichnet.

5.5 Genauigkeit der interpolierten Niederschlagsdaten

Ein weiterer Unterschied der Bewässerungsempfehlung könnte in den Niederschlagsdaten liegen. Die Niederschlagskorrektur in der App anhand der Sondenmessung hat bei sechs von dreizehn untersuchten Parzellen die Empfehlung der App derjenigen der Bodenfeuchtemessung angenähert und bei sieben von dreizehn untersuchten Parzellen von derjenigen der Bodenfeuchtemessung entfernt (s. Abbildung 64, Vergleich zwischen den Varianten komb und komb_ns). Die Abweichungen der Niederschlagswerte zwischen den Datenquellen sind klein. Eine parzellenspezifische Niederschlagskorrektur scheint für eine genaue Empfehlung der App nicht zentral zu sein.

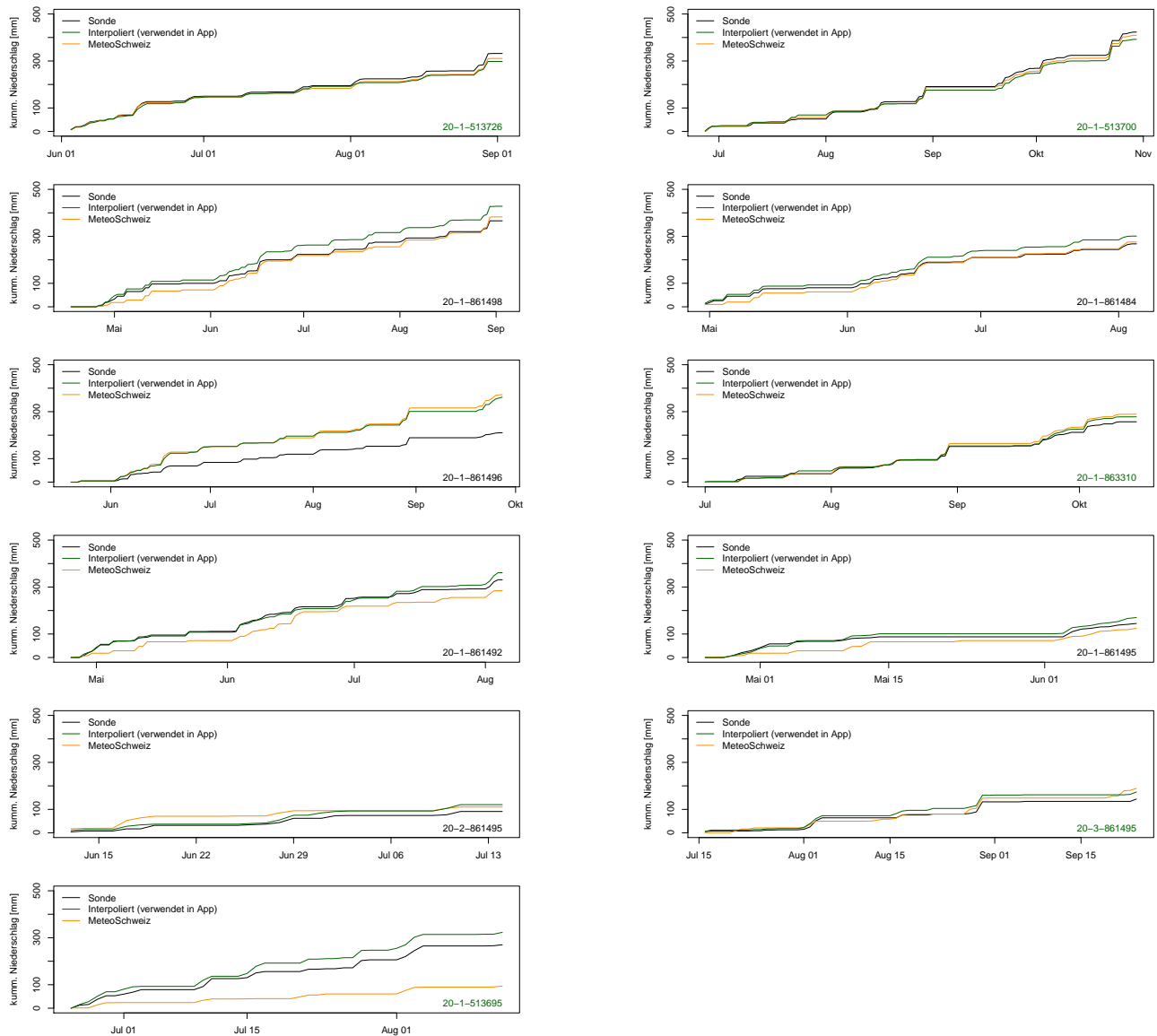


Abbildung 66: Vergleich der Niederschlagsdaten (kummuliert) zwischen Meteostation, interpolierten Daten (verwendet in der Berechnung der App) und den Sondendaten. Bei den grünen IDs gab es durch die Niederschlagskorrektur eine verbesserte Empfehlung.

6 Schlussfolgerungen

Die Auswertungen zeigen, dass die App passende Bewässerungsempfehlungen berechnet für die untersuchten Kulturen (Kartoffeln, Karotten, Zwiebeln, Zucchini, Rotkohl, Salat) und die untersuchten Texturklassen (organisch, Moor (M), mittel, sandiger Lehm (sL), mittel, schluffiger Lehm (uL)). Die Empfehlungen der App stimmen auch im zweiten Versuchsjahr gut mit den Messungen der Sonden überein. Abweichungen der Bewässerungsempfehlungen können zu einem grossen Teil durch die Unterschiede zwischen der Evapotranspiration und dem Wasserverbrauch, berechnet aus den Sonden­daten erklärt werden. Bei den Kulturen Karotten, Zucchini und Rotkohl ergeben sich ähnliche Empfehlungen der App und der Sonde. Bei den Kartoffeln waren die Ergebnisse schon im Versuchsjahr 2019 erfreulich. Dieses Jahr waren die Empfehlungen in Buchs ähnlich und in Ins unterschiedlich, insbesondere in der zweiten Saisonhälfte. In Ins könnte der Bodenkontakt der Sonde in der zweiten Saisonhälfte zu unzuverlässigen Messdaten geführt haben. Ab dem 20. Juli stiegen die Temperaturen auf rund 30° für knapp zwei Wochen. Ab 25°C leiden die Kartoffeln unter Hitzestress. Die verminderte Transpiration gemäss Sondenmessung könnte also auch auf die erhöhten Temperaturen zurückzuführen sein.

Bei den Zwiebeln sind die Empfehlungen in der ersten Saisonhälfte ähnlich. In der zweiten Saisonhälfte schätzt die ALB-App die Wasserverfügbarkeit tiefer ein als die Sonde, insbesondere in Galmiz. In dieser Phase liegt auch die Evapotranspiration der App höher als der Wasserbedarf berechnet aus den Sonden­daten. Beim Salat schätzt die App die Wasserverfügbarkeit tiefer ein als die Sonde und empfiehlt früher eine Bewässerung. Die Evapotranspiration der App ist höher als der Wasserbedarf gemäss Sonden­daten. Der Betriebsleiter hatte in keinem der Anbausätze schlechteren Ertrag oder Probleme mit der Qualität, obwohl die App die Wasserverfügbarkeit phasenweise als zu tief eingeschätzt hat. Für Schweizer Verhältnisse könnte es sich folglich lohnen, die kc-Faktoren für Salat zu senken und die kc-Faktoren bei Zwiebeln ab dem 8-Blatt-Stadium noch einmal zu prüfen. Die Bilanz-App geht immer von optimalem Wachstum aus. Wenn die Transpiration durch Stress oder Krankheiten vermindert ist, überschätzt die App den Wasserbedarf. Das könne die Unterschiede bei den Kartoffeln in Ins erklären. Für eine parzellenspezifische Empfehlung der ALB-App sind die Daten der kritischen Wachstumsstadien und die effektive Wurzeltiefe im Feld zentral. Der Wurzelraum in der ALB-App ist tendenziell höher als die beobachtete Wurzeltiefe. Die genaue Einstellung der Anfangsfeuchte mit Zylinderproben hingegen verbessert die Empfehlung nur wenig und ist für die Praxisanwendung nicht nötig. Eine parzellenspezifische Einstellung der Bodenart (Texturklasse) wird hingegen empfohlen, damit die passenden Bodenkennzahlen für die Empfehlung verwendet werden.

7 Anhang

7.1 Einfluss der Einstellungen der App auf die Bewässerungsempfehlung

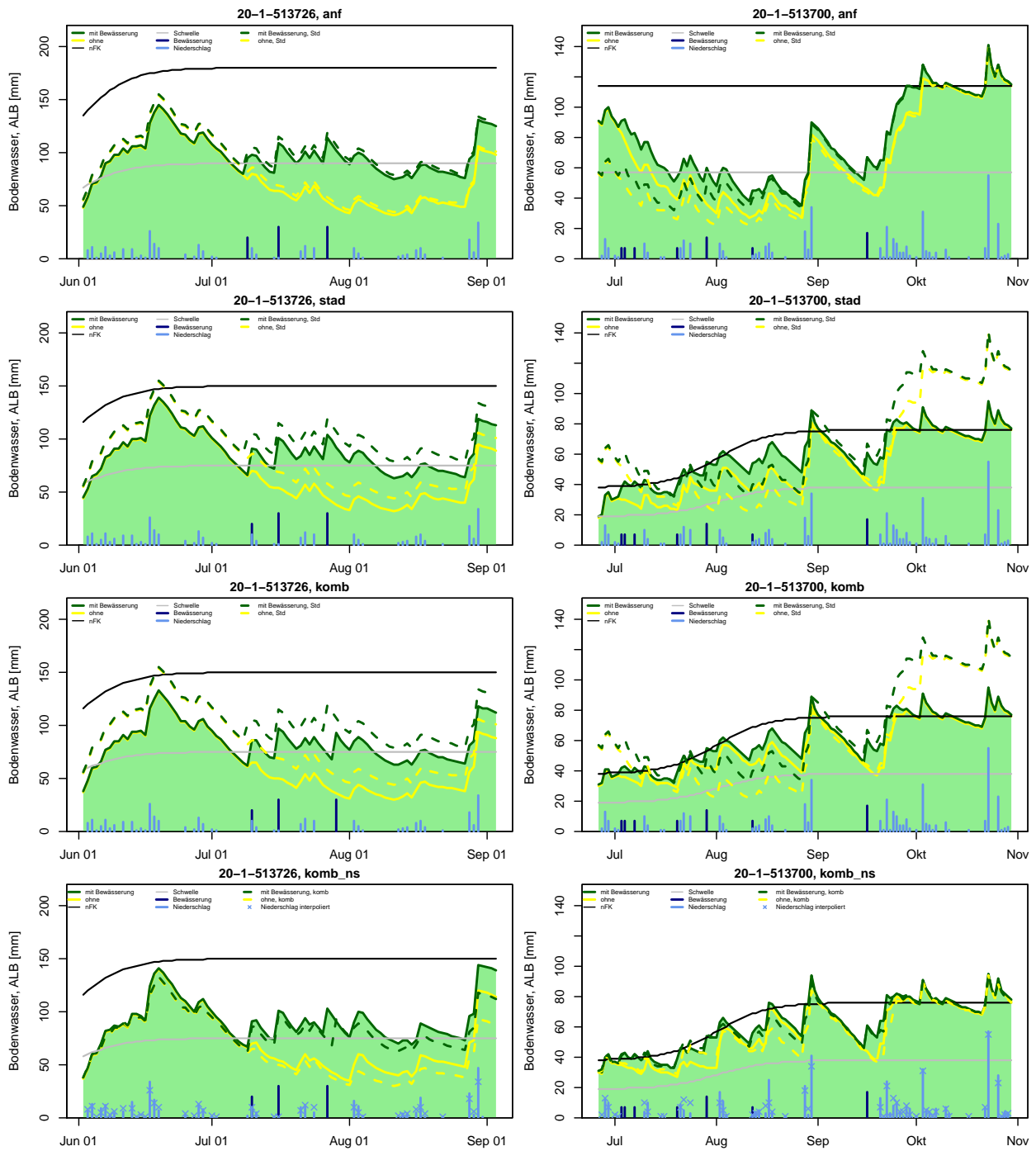


Abbildung 67: Einfluss der Feineinstellung auf die Bewässerungsempfehlung der ALB-App.

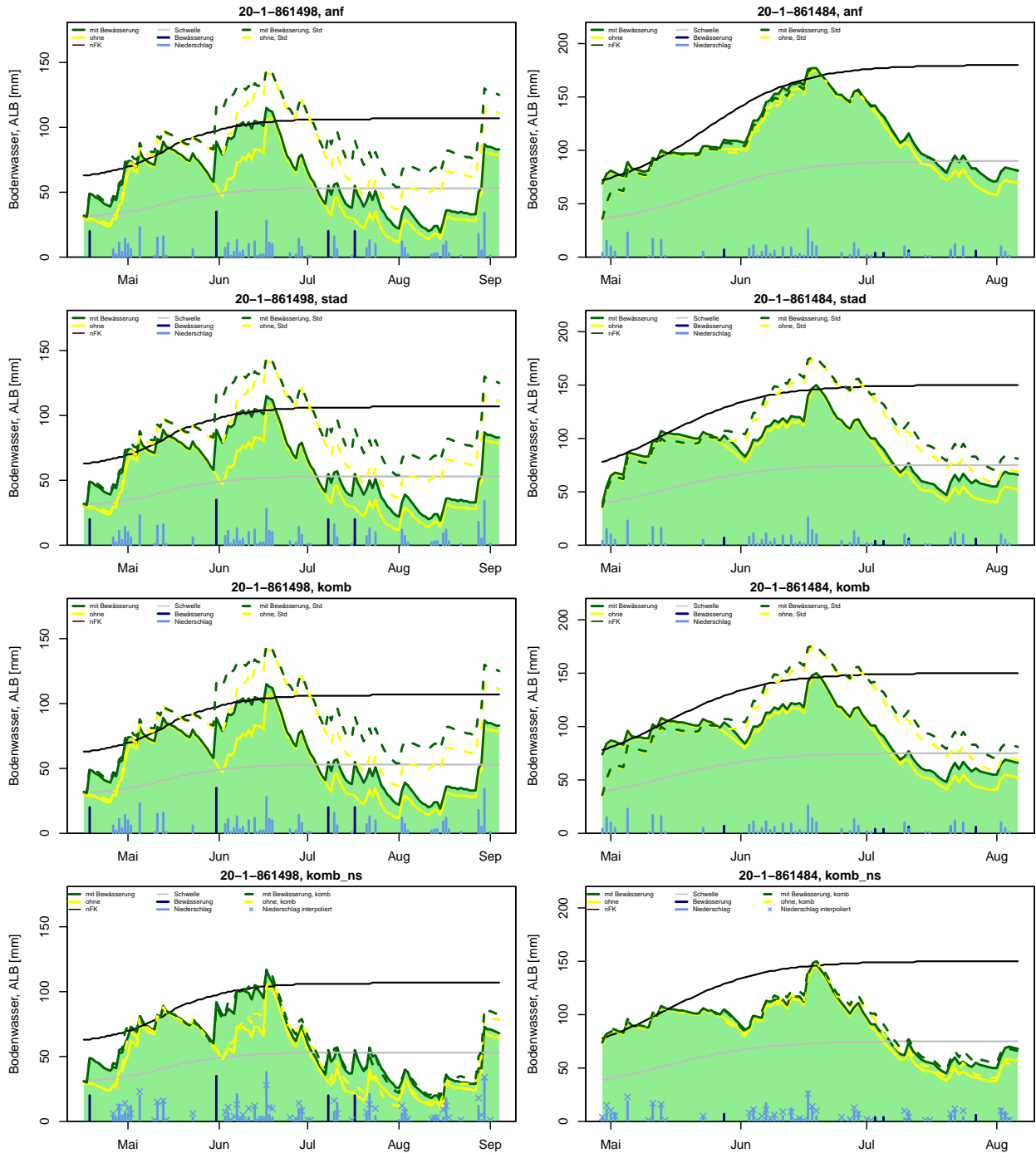


Abbildung 68: Einfluss der Feineinstellung auf die Bewässerungsempfehlung der ALB-App.

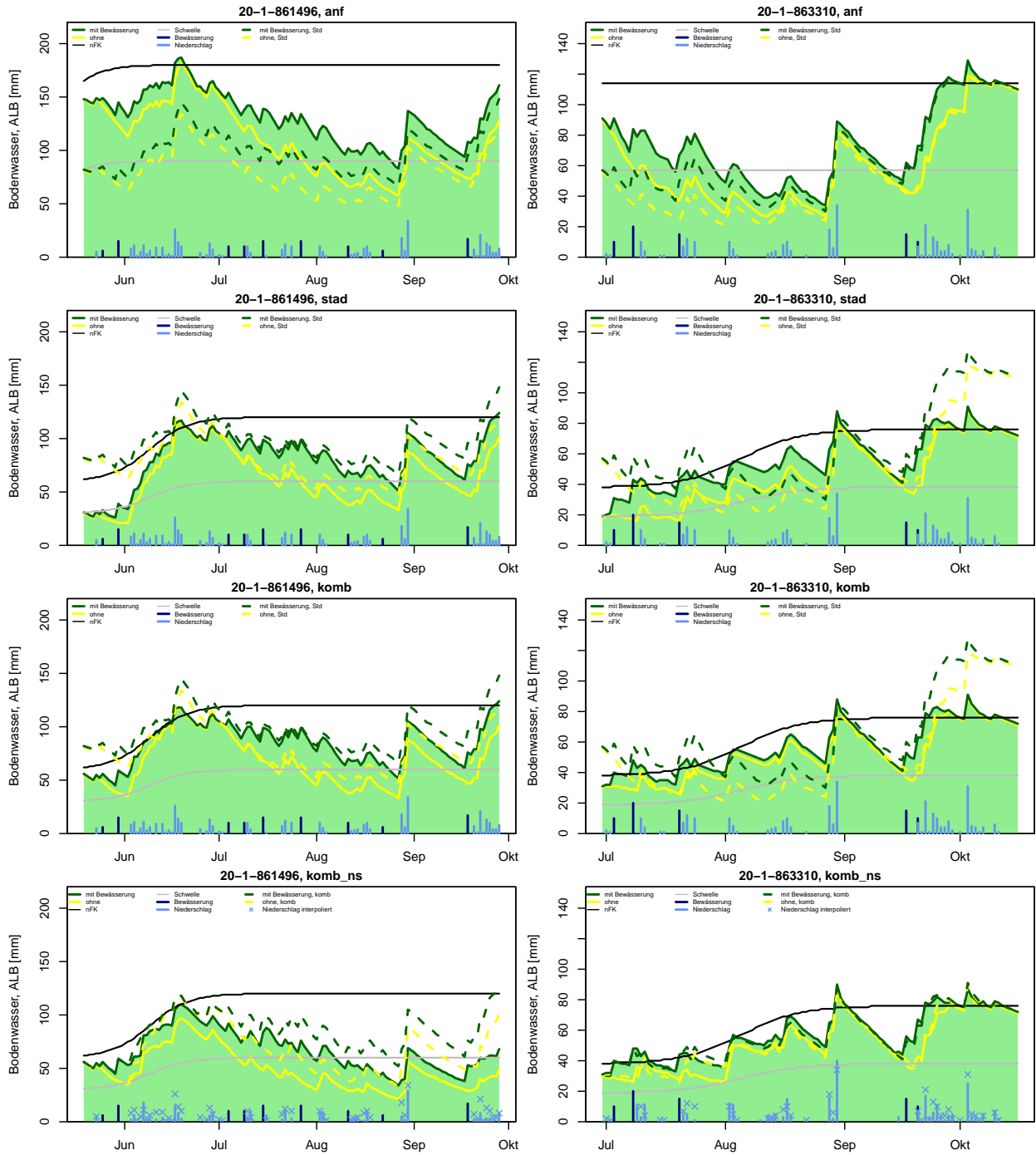


Abbildung 69: Einfluss der Feineinstellung auf die Bewässerungsempfehlung der ALB-App.

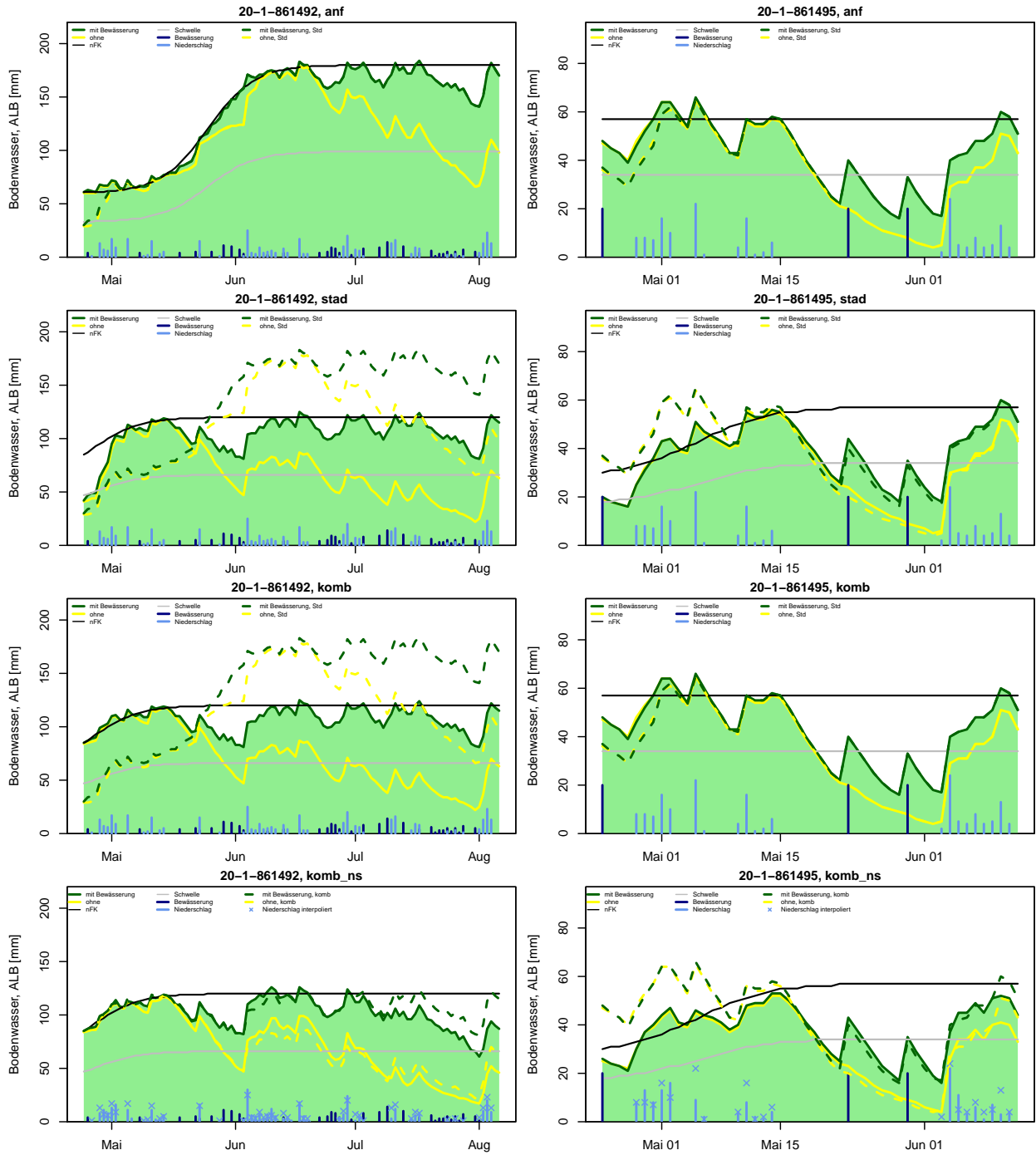


Abbildung 70: Einfluss der Feineinstellung auf die Bewässerungsempfehlung der ALB-App.

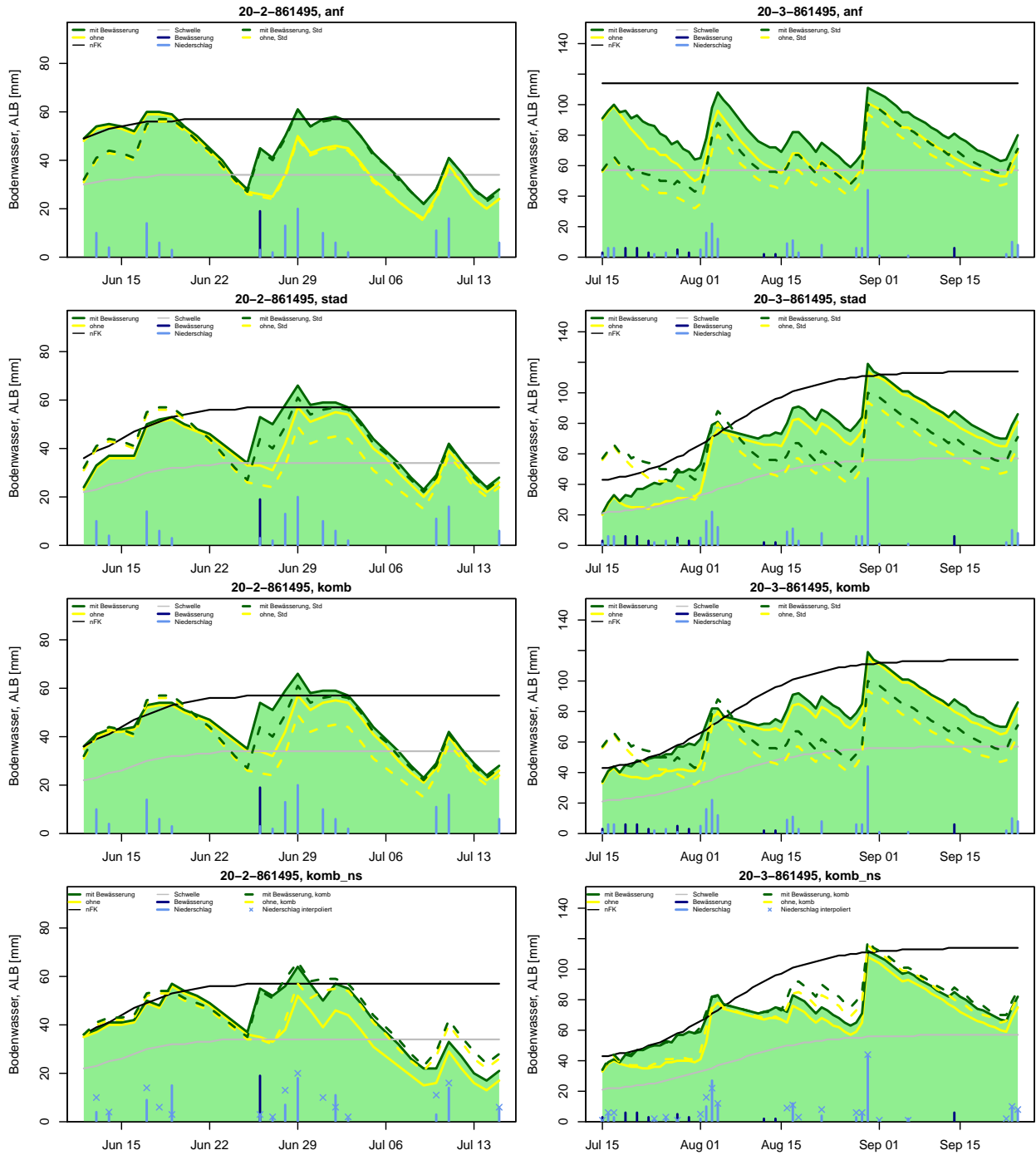


Abbildung 71: Einfluss der Feineinstellung auf die Bewässerungsempfehlung der ALB-App.

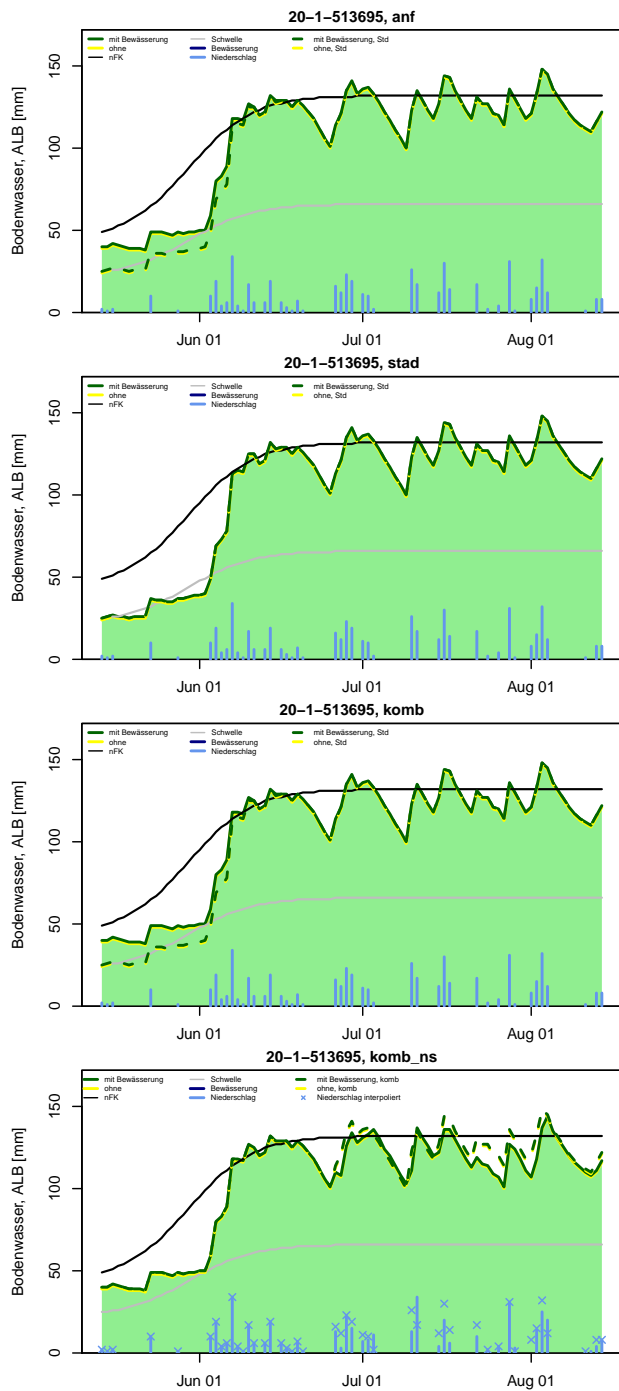


Abbildung 72: Einfluss der Feineinstellung auf die Bewässerungsempfehlung der ALB-App.

7.2 Einstellungen in der App

Tabelle 17: Bodeneinstellungen der App für die untersuchten Standorte.

ID	Kultur	Boden, oberste 30 cm	Boden ab 30 cm	Durchwurzelbarkeit	Wassersättigung Oberboden Start, %	Wassersättigung Unterboden Start, %	
20-1-859908	Kartoffeln	organisch, Moor (M)	Wie den	Oberbo-	180	40	75
20-1-513726	Kartoffeln	organisch, Moor (M)	Wie den	Oberbo-	180	40	75
20-1-513700	Karotten	mittel, sandiger Lehm (sL)	Wie den	Oberbo-	180	79	90
20-1-861498	Zwiebeln	organisch, Moor (M)	schwer, toniger Lehm (tL)	Wie den	60	51	80
20-1-861484	Zwiebeln	organisch, Moor (M)	Wie den	Oberbo-	100	94	95
20-1-863290	Zwiebeln	organisch, Moor (M)	Wie den	Oberbo-	100	94	95
20-2-863316	Zucchetti					86	
20-1-861496	Kabis	organisch, Moor (M)	Wie den	Oberbo-	60	90	90
20-1-863310	Karotten	mittel, sandiger Lehm (sL)	Wie den	Oberbo-	100	81	90
20-1-861492	Zucchetti	organisch, Moor (M)	Wie den	Oberbo-	100	99	95
20-1-861495	Salat, 1. Satz	mittel, sandiger Lehm (sL)	Wie den	Oberbo-	100	87	90
20-2-861495	Salat, 2. Satz	mittel, sandiger Lehm (sL)	schwer, toniger Lehm (tL)	Wie den	100	100	90
20-3-861495	Karotten	mittel, sandiger Lehm (sL)	Wie den	Oberbo-	100	82	90
20-1-513695	Kartoffeln	mittel, schluffiger Lehm (uL)	Wie den	Oberbo-	70	79	90

Tabelle 18: Einstellungen in der App für die Parzelle mit Tropfbewässerung

ID	Kultur	Schlauchabstand gemessen, cm	Schlauchabstand eingestellt, cm	Tropferabstand gemessen, cm	Tropferabstand eingestellt, cm
20-1-859908	Kartoffeln				
20-1-513726	Kartoffeln				
20-1-513700	Karotten				
20-1-861498	Zwiebeln				
20-1-861484	Zwiebeln	60	50	20	30
20-1-863290	Zwiebeln				
20-2-863316	Zucchetti	150	150	20	
20-1-861496	Kabis				
20-1-863310	Karotten				
20-1-861492	Zucchetti	150	150	20	30
20-1-861495	Salat, 1. Satz				
20-2-861495	Salat, 2. Satz				
20-3-861495	Karotten				
20-1-513695	Kartoffeln	75		30	