

Abschlussbericht: Implementierung und Weiterentwicklung einer online-basierten Entscheidungshilfe zur effizienten Bewässerungssteuerung für und mit dem hessischen Freilandgemüsebau „GS-Netz“

Hauptverantwortlicher:

Prof. Dr. Jana Zinkernagel

Institut für Gemüsebau

Hochschule Geisenheim

Antragsnummer: 71235398

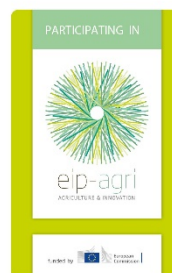
Ausstellungsdatum: 17.12.2015

Laufzeit: 01.01.2016 bis 31.12.2018



Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums: Hier investiert Europa in die ländlichen Gebiete.

HESSEN



Inhaltsverzeichnis

| | | |
|--|---|----|
| Abschlussbericht: Implementierung und Weiterentwicklung einer online-basierten Entscheidungshilfe zur effizienten Bewässerungssteuerung für und mit dem hessischen Freilandgemüsebau „GS-Netz“ | | 1 |
| 1 | Kurzdarstellung | 4 |
| 1.1 | Ausgangssituation und Bedarf | 4 |
| 1.2 | Projektziel und konkrete Aufgabenstellung | 5 |
| 1.2.1 | Problemstellung und Ausgangslage | 5 |
| 1.2.2 | Forschungsergebnisse Stand Projektantrag | 5 |
| 1.2.3 | Mögliche Lösungsansätze zu Projektbeginn..... | 6 |
| 1.2.4 | Innovationsgehalt..... | 6 |
| 1.3 | Mitglieder der OG „Innovation Entscheidungshilfe zur Bewässerungssteuerung für Freilandgemüsekulturen“ | 7 |
| 1.3.1 | Aufgaben der Mitglieder | 7 |
| 1.3.2 | Mitgliederliste | 8 |
| 1.3.3 | Kompetenzen der Mitglieder | 8 |
| 1.4 | Projektgebiet..... | 9 |
| 1.5 | Projektlaufzeit | 9 |
| 1.6 | Budget | 9 |
| 1.7 | Ablauf des Vorhabens | 10 |
| 1.8 | Zusammenfassung der Ergebnisse | 11 |
| 2 | Eingehende Darstellung | 11 |
| 2.1 | Verwendung der Zuwendung..... | 11 |
| 2.2 | Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn | 12 |
| 2.3 | Arbeitspaket Zusammenarbeit „OG-Treffen und Treffen in Betrieben“ | 14 |
| 2.4 | Ergebnisse des Arbeitspakets 1 „Wasserbedarf Gemüsekulturen“ Versuche zu kc-Temperatursummenmodellen am Standort Geisenheim | 15 |
| 2.4.1 | Versuche und Ergebnisse 2016 | 15 |
| 2.4.2 | Versuche und Ergebnisse 2017 | 28 |
| 2.4.3 | Versuche und Ergebnisse 2018 | 38 |
| 2.5 | Ergebnisse Arbeitspaket 2 „Weiterentwicklung der App“ | 42 |
| 2.5.1 | Aktivitäten 2016 | 42 |
| 2.5.2 | Aktivitäten 2017 | 44 |
| 2.6 | Ergebnisse Arbeitspaket 3 „Praxistest“ | 47 |
| 2.6.1 | Fragebogen zum Praxistest der GS-Mobil-App..... | 47 |
| 2.7 | Resümee Projektablauf | 49 |
| 2.7.1 | Zielerreichung | 49 |
| 2.7.2 | Innovationsgehalt..... | 50 |
| 2.7.3 | Abweichungen zwischen Projektplan und Ergebnis | 50 |
| 2.7.4 | Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP Zielen | 50 |
| 2.7.5 | Nebenergebnisse | 51 |
| 2.8 | Verwertung und Nutzen der Ergebnisse | 51 |
| 2.8.1 | Vortragsveranstaltungen zu GS-Netz | 52 |
| 2.8.2 | Posterausstellungen und Demonstrationen der App | 52 |
| 3 | Anhang | 53 |
| 3.1 | Die Geisenheimer Steuerung - Kurzanleitung | 53 |
| 4 | Abbildungsverzeichnis..... | 56 |
| 5 | Tabellenverzeichnis..... | 58 |

1 Kurzdarstellung

1.1 Ausgangssituation und Bedarf

Das Verfahren „Geisenheimer Bewässerungssteuerung“ (GS) soll in eine praxistaugliche Entscheidungshilfe zur effizienten, nachhaltigen Bewässerung im Freilandgemüsebau überführt werden. Die gemüsebauliche Praxis wird damit unterstützt, effiziente und ressourcenschonende Bewässerungsentscheidungen einfach und objektiv zu treffen. Dafür ist ein online nutzbares, server- und GPS-gestütztes System zu optimieren. Die Anwendbarkeit dieses Systems soll durch die intensive Zusammenarbeit der OG-Mitglieder auf weitere relevante Gemüsearten ausgedehnt werden sowie die vorhandene Ansätze für Kulturen im Versuchswesen und in der Praxis evaluiert werden. Die GS-Mobil-App sollte am Ende des Projekts möglichst drei Gemüsekulturen beinhalten. Betriebsspezifische Anforderungen an ein solches Beratungssystem sollen integriert und damit das innovative Entscheidungshilfesystem zur Bewässerungssteuerung in der gemüsebaulichen Praxis akzeptiert und anwendbar werden.

Die Einhaltung der EU-WRRRL, der Nitrat-VO oder der Dünge-VO soll mit dem Entscheidungshilfesystem erleichtert und somit ein wesentlicher Beitrag für einen ressourcenschonenden nachhaltigen Anbau von Freilandgemüsebau geleistet werden. Langfristig wird dies die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Gemüsebetriebe in dem größten deutschen Freilandgemüseanbaubereich Hessisches Ried/Vorderpfalz stärken.

In einer OG aus Praxis, Forschung und Beratung ist die Erprobung und Weiterentwicklung des Prototyps „GS-Mobil“ als digitales und online verfügbares Assistenzmanagementsystem für den Freilandgemüsebau zu realisieren. Diese Smartphone-unterstützte Anwendung der GS für Gemüsekulturen ermöglicht es, von jedem internetfähigen Endgerät aus den aktuellen Wasserstatus der Kulturen, zu überwachen und rechtzeitig Bewässerungsempfehlungen zu erhalten. Das Temperatursummen-Modell für die Pflanzenentwicklung und somit für den Wasserverbrauchsverlauf von Salat, welches der Anwendung zugrunde liegt, soll unter praxisnahen Versuchsbedingungen überprüft werden. Dafür sind Bewässerungsversuche in Praxisbetrieben vorgesehen. Weitere Parametrisierung von Wasserverbrauchsverläufen für Spinat, Zwiebel und andere Gemüsekulturen sowie deren Evaluierung im Versuchsbetrieb Queckbrunnerhof des DLR-Rheinpfalz werden die Palette relevanter Gemüsekulturen in dem System erweitern.

Mit den Erfahrungen aus dem Projekt werden Helm-Software und der Deutsche Wetterdienst (DWD) die Benutzerfreundlichkeit der GS-Mobil-App weiter verbessern und eine betriebliche Anpassung umsetzen können. Erst mit Umsetzung dieser Maßnahmen wird das neuartige Entscheidungshilfesystem auf Grundlage von GS-Mobil in der Praxis anwendbar sein. Es wird im Rahmen von Hoftagen auf den Praxisbetrieben der breiten interessierten Praxis demonstriert. Ein Workshop wird den potenziellen Anwendern das System näherbringen. Die beteiligten Berater des LLH und des DLR-Rheinpfalz, sowie der Hessische Gärtnereiverband werden kontinuierlich und nachhaltig für die Verbreitung der Innovation im Freilandgemüseanbau sorgetragen.

1.2 Projektziel und konkrete Aufgabenstellung

1.2.1 Problemstellung und Ausgangslage

Eine optimale, bedarfsgerechte Wasserversorgung von Freilandgemüsekulturen ist die Grundlage für sichere Ertragsbildung und damit für eine wirtschaftlich nachhaltige Gemüseproduktion. Eine bedarfsgerechte Bewässerung gewährleistet zudem einen schonenden Umgang mit der Ressource Wasser und hilft eine Überbewässerung zu vermeiden. Dies reduziert das Risiko von bewässerungsbedingten Stoffeinträgen ins Grundwasser, z. B. von Nitrat. Objektive Verfahren zum optimalen Bemessen des Wasserangebots sind in der gemüsebaulichen Praxis nach wie vor nicht weit verbreitet. Bisherige Verfahren sind entweder nicht ausreichend einfach in ihrer Anwendung oder sie ermöglichen keine zuverlässige Kalkulation des Bewässerungsbedarfs. Bislang fehlt ein innovatives, praxistaugliches Entscheidungshilfesystem zur Steuerung der Bewässerung im Freilandgemüsebau, das im Idealfall in bestehende Assistenzsysteme, wie z. B. in die betriebliche Schlagkartei, integrierbar ist. In einem, von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung geförderten Projekt (GS-Mobil) wurde ein Prototyp eines digitalen und online verfügbaren Assistenzmanagementsystems für den Freilandgemüsebau entwickelt. Für diesen Prototyp stehen bislang Daten zur Bewässerungssteuerung nur für eine Gemüsekultur zu Verfügung. Daten für weitere relevante Gemüsekulturen fehlen.

Nun gilt es, die Erkenntnisse und das Entscheidungshilfesystem in die Praxis zu transportieren und den Prototyp zur Praxis- und Marktreife weiterzuentwickeln. Dies bedarf einer Einbindung von interessierten Praxisbetrieben im Rahmen einer OG und einen Wissenstransfer zwischen diesen und weiteren Betrieben. Im Rahmen von Bewässerung-relevanten Projekten hat sich ein gut funktionierendes Konsortium aus Forschung und Lehre (Hochschule Geisenheim, HGU), Versuchswesen (Dienstleistungszentrum ländlicher Raum – Rheinpfalz), Praxisunternehmen (Gemüsebaubetriebe und landwirtschaftlicher Software-Hersteller) und Beratung (Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, LLH) sowie dem Deutschen Wetterdienst etabliert. Darüber hinaus sind einzelne Mitglieder gemeinsam mit dem Hessischen Gärtnereiverband e.V. in Fachausschüssen oder Kuratorien intensiv organisiert. Mit dem LLH und dem DLR-Rheinpfalz wurde von 2012 bis 2016 ein bundesweites BLE Modellvorhaben zur effizienten Bewässerung erfolgreich durchgeführt in dessen Rahmen auch ein hessischer Gemüsebaubetriebe Ewald und aus der Südpfalz der Betrieb Ohmer aktiv mitarbeiteten.

Die Hochschule Geisenheim steht zum Zwecke der Europäischen Netzwerkbildung auf dem Gebiet „regional cooperation for innovation on water management in horticulture“ mit dem ERIAFF Network, mit WIRE- action group EIP Water sowie der Arbeitsgruppe Fertigation und Bewässerung des Europäischen Netzwerkes für gemüsebauwissenschaftliche Einrichtungen (EUVRIN) in Verbindung. Als Ergebnis der Diskussionen innerhalb existierender Netzwerke hat sich die Notwendigkeit herauskristallisiert, bewässerungstechnische Forschungsergebnisse stärker in die gemüsebauliche Praxis einfließen zu lassen. Ebenso wurde die Notwendigkeit deutlich, die gemüsebauliche Praxis in die angewandte Bewässerungsforschung zu integrieren. Alle beteiligten Organisationen bekundeten bereits seit Jahren starkes Interesse an einer gemeinsamen Erarbeitung von Lösungsvorschlägen für eine effiziente und nachhaltige Bewässerungssteuerung und sehen in der hessischen Umsetzung des EIP-Programms den geeigneten Rahmen für die Erarbeitung praktischer und langfristiger bewässerungsspezifischer Problemlösungen.

1.2.2 Forschungsergebnisse Stand Projektantrag

Die Forschung zur Bewässerungssteuerung konzentriert sich im Wesentlichen auf drei Methoden: a) Klimatische Wasserbilanz, b) Bodenfeuchte und c) Pflanzenreaktion auf Wassermangel (Jones 2004).

Die Methoden a) und b) stellen indirekte Messungen des pflanzlichen Wasserbedarfs dar, c) bestimmt direkt den Wasserbedarf anhand des Wasserhaushalts der Pflanze. Pflanzenbasierte Methoden beruhen entweder auf Messungen des Wasserstatus, oder der Pflanzenreaktion. Für Freilandgemüse gibt es nach unserem Kenntnisstand nur für Spargel erste Schwellenwerte des Wasserstatus' zur Bewässerungssteuerung (Schaller und Paschold, 2009; Zinkernagel et al., 2011). Unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus wurden Methoden zur Bewässerungssteuerung von Tomaten, Paprika und Melone entwickelt, die auf Stammdurchmesser, Wasserstatus oder Transpiration basieren (z.B. Gallardo et al., 2006a). Für die genannten Kulturen können Wasserstatus der Pflanze mit Schwellenwerten der Bodenfeuchte als Bewässerungssignal kombiniert werden (Thompson et al., 2007a). Im Gemüsebau ist die Nutzung einer Klimatische Wasserbilanz mit dem geringsten Aufwand verbunden und so erfährt dieses Verfahren eine intensive Anpassungsforschung zur der Berechnung des kulturspezifischen Wasserbedarfs auf Grundlage sog. kc-Werten. Die kc-Werte existieren für viele Gemüsekulturen (Allen et al., 1998; Bryla et al., 2010; Hartmann et al., 2000; Paschold et al., 2002; Paschold et al., 2011; Zinkernagel et al., 2019). Veränderungen der Genotypen und des Klimas fordern jedoch eine stetige Überprüfung, Korrektur und Ergänzung dieser Werte. Die Geisenheimer Steuerung beinhaltet für mitteleuropäische Anbaubedingungen aktuelle kc-Werte u.a. für Zwiebel. Die Anwendung der Klimatische Wasserbilanz zur Bewässerungssteuerung bedarf einer regelmäßigen Einschätzung des Pflanzenentwicklungsstatus' durch den Nutzer, damit der korrekte kc-Wert des entsprechenden Pflanzenentwicklungsstadiums gewählt wird. Aktuelle Forschung fokussiert sich auf die Prognostizierung des Pflanzenwachstums auf Grundlage von Klimadaten, um den kc-Wert dynamisch dem Pflanzenentwicklungsstatus anzupassen (Olberz und Zinkernagel, 2014). Am Beispiel von Salat, Zwiebel und Spinat wird somit die Basis für ein online-Beratungssystem für die Geisenheimer Steuerung geschaffen.

1.2.3 Mögliche Lösungsansätze zu Projektbeginn

Das Verfahren Geisenheimer Bewässerungssteuerung soll in eine praxistaugliche Entscheidungshilfe zur effizienten, nachhaltigen Bewässerung im Freiland-Gemüsebau überführt werden. Die gemüsebauliche Praxis soll damit unterstützt werden, effiziente und ressourcenschonende Bewässerungsentscheidungen nach einfachen und objektiven Kriterien zu treffen. Dazu ist ein online nutzbares, server- und GPS-gestütztes Angebot zu optimieren. Die Anwendbarkeit dieses Verfahrens soll durch die intensive Zusammenarbeit der Projektpartner auf weitere relevante Gemüsearten ausgedehnt werden sowie die Ansätze für bisher drei Kulturen im Versuchswesen und in Praxis evaluiert werden. Betriebsspezifische Anforderungen an ein solches Beratungssystem sollen integriert werden und damit das innovative Entscheidungshilfe-System zur Bewässerungssteuerung in der gemüsebaulichen Praxis akzeptiert und angewendet werden. Dies soll langfristig die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Gemüsebetriebe in dem größten Freilandgemüseanbauggebiet Hessisches Ried/Vorderpfalz stärken. Die Einhaltung der EU-WRRRL, der Nitrat- VO oder der Dünge-VO soll damit erleichtert und somit ein wesentlicher Beitrag für einen ressourcenschonenden nachhaltigen Anbau von Freilandgemüsebau geleistet wird.

1.2.4 Innovationsgehalt

- Entwicklung eines beispielhaften modernen Verfahrens zu Bewässerungssteuerung mit der Praxis
- Digitales Entscheidungshilfesystem für den Freilandgemüsebau

1.3 Mitglieder der OG „Innovation Entscheidungshilfe zur Bewässerungssteuerung für Freilandgemüsekulturen“

1.3.1 Aufgaben der Mitglieder

HGU:

Koordinierung, Kommunikation, Protokollierung, Forschung, Öffentlichkeitsarbeit, Unterstützung der Betriebe in der Umsetzung der Bewässerungsempfehlungen des Entscheidungshilfesystems

Helm-Software:

IT-Weiterentwicklung des Entscheidungshilfesystems

HGV:

assoziierter Partner: Öffentlichkeitsarbeit: Streuung der Ergebnisse bei den Mitgliedern in Hessen, aber auch darüber hinaus über den Zentralverband; Streuung von im Laufe des Verfahrens entstehenden Fragen in der Praxis, um möglicherweise Ansätze und Anregungen für deren Beantwortung aus der Praxis zu erhalten

DLR-Rheinpfalz:

Weiterentwicklung des Entscheidungshilfesystems und dessen Erweiterung um neue Gemüsekulturen auf Grundlage der Evaluierung von Parametern des pflanzlichen Wasserbedarfs; Beratung der OG und der Praxis

LLH:

Beratung der Praxis, Kommunikation, Schnittstelle für Forschung und Praxis

Betriebe:

Ohmer und Ewald, ab 2017: Guthmann und Schumacher: Praxistest und Evaluierung des neuen Systems für ausgewählte Gemüsekulturen. Dabei: schlagspezifische Bewässerungssteuerung mit der App und Rückkopplung der Erfahrungen zur Weiterentwicklung der App an die OG

DWD:

Wetterdatenbereitstellung (Niederschlag und Evapotranspiration) sowie Datenverarbeitung: Implementierung von bewässerungsrelevanten Parametern von Gemüsekulturen in das System; Wissens- und Erfahrungsaustausch mit der OG und Information dieser über agrarmeteorologische Hintergründe.

Angaben zu Mitgliedern sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

1.3.2 Mitgliederliste

Tabelle 1: Mitgliederliste der OG GS-Netz

| | | | | |
|----|---|--|---|--|
| 1 | Prof. Dr. Jana Zinkernagel Institut für Gemüsebau Hochschule Geisenheim Von-Lade-Str. 1, 65366 Geisenheim, Hessen | 06722 502 511 jana.zinkernagel@hs-gm.de | Institutsleiterin Gemüsebau | Hochschule OG-Mitglied |
| 2 | Gemüsebaubetrieb Ewald Andreas Ewald Birkenhof 65468 Trebur, Hessen | 06147 – 2513 gemuesebau-ewald@t- online.de | Betriebsinhaber und –leiter | Gartenbau OG-Mitglied |
| 3 | Gemüsebaubetrieb Ohmer Richard und Michael Ohmer Ohmerhof, 76764 Rheinzabern, Rheinland-Pfalz | 0172-1803419 michaelohmer@gmx.de | Betriebsinhaber und –leiter | Gartenbau OG-Mitglied |
| 4 | Uwe Helm HELM-Software Adam-Herd-Str. 23, 68526 Ladenburg, Hessen | 06203 - 92 880 info@helm-software.de | Inhaber | IT-Dienstleistung für Landwirtschaft OG-Mitglied |
| 5 | Wolfgang Janssen DWD Offenbach Frankfurter Straße 135 63067 Offenbach, Hessen | 069 - 8062 4407 Wolfgang.Janssen@dwd.de | Agrarmeteorologie | Wetter-Dienstleistung OG-Mitglied |
| 6 | Tannenhof Klaus Guthmann Tannenhof 47, 65474 Bischhofsheim, Hessen | 06144 - 3642 klausguthmann@gmx.de | Betriebsinhaber und –leiter | Gartenbau OG-Mitglied |
| 7 | Bruckenackerhof Klaus Schumacher Rüterstrasse 10, 70794 Filderstadt, Baden-Württemberg | 0172-9547193 bruckenackerhof.schumac her@t-online.de | Betriebsinhaber und –leiter | Gartenbau OG-Mitglied |
| 8 | Dr. Sebastian Weinheimer Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Queckbrunnerhof 67105 Schifferstadt, Rheinland-Pfalz | 06235-9263-70 Sebastian.Weinheimer@dlr .rlp.de | Versuchsbetriebs- leiter | Forschung und Beratung Assozierender Partner |
| 9 | Dr. Sandra Kruse Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen Pfüzenstraße 67 64347 Griesheim, Hessen | 06155 7980-0213 sandra.kruse@llh.hessen.d e | Fachinformation Pflanzen-produktion Bewässerung | Offizialberatung Assozierender Partner |
| 10 | Hans-Georg Paulus Hessischer Gärtnereiverband e.V. An der Festeburg 33, 60389 Frankfurt, Hessen | 069 90 47 67 Opaulus@hgverband.de | Verbandsdirektor | Verband Assozierender Partner |

1.3.3 Kompetenzen der Mitglieder

Hohe fachliche Kompetenz des praktischen Gemüsebaus soll durch die Beteiligung der Betriebe Ohmer und Ewald gewährleistet werden. Beide praktizieren eine integrierte Pflanzenproduktion,

welche durch ihre QS-Zertifizierung nachgewiesen ist. Beide Betriebe haben umfangreiche Erfahrungen mit Bewässerungssteuerung und -technik. Sie sind Mitglieder des bundesweiten BLE Modellvorhabens zur Effizienzsteigerung der Bewässerungstechnik im Freilandgemüsebau und kooperieren erfolgreich mit Beratung, Forschung und anderen Praxisbetrieben. Wie im Bericht an anderer Stelle zu lesen ist baut der Betrieb Ohmer nur kleine Flächen Salat an. Beide Betriebe bauen keine Zwiebeln an. Deshalb verstärken seit dem Jahr 2017 der Betrieb Guthmann mit der Kultur Zwiebel und der Betrieb Schumacher mit der Kultur Salat das Team der beteiligten Praktiker.

Der LLH weist eine hohe Expertise in der landwirtschaftlichen Beregnungsberatung und in der Wasserwirtschaft auf. Frau Dr. Kruse ist Mitglied des Konsortiums des BLE-Modellvorhabens und darüber hinaus in zahlreichen bundesweiten Beregnungsgremien organisiert.

Der DWD ist zuständig für die Wetterdatenbereitstellung in der landwirtschaftlichen Beregnung. Herr Janssen ist Meteorologe und betreut beim DWD die agrarmeteorologische Beregnungsberatung „Agrowetter.de“¹, welche auf der Geisenheimer Steuerung beruht. In diesem Zusammenhang kooperiert Herr Janssen eng mit der HGU. Er ist u.a. beteiligt am BLE-Modellvorhaben sowie am BLE-Innovationsprojekt GS-Mobil. Herr Janssen ist mit den Anforderungen und den Problemlösungen einer mobilen Bewässerungs-App eng vertraut.

Helm-Software besitzt die Kompetenz in der Programmierung, Entwicklung und Vertrieb von landwirtschaftlicher Software. Neben digitalen Schlagkarteien entwickelte Helm Software gemeinsam mit der HGU und DWD den Prototyp der Bewässerungs-App „GS-Mobil“.

Der DLR-Rheinpfalz, Versuchsbetrieb Queckbrunnerhof in Person Herrn Dr. Weinheimers hat große Kompetenz in Forschung und Beratung des Freilandanbaus von Gemüse. Herr Weinheimer ist promovierter Bewässerungsexperte und verfügt über einen Parzellengießwagen, mit Hilfe dessen auch am Queckbrunnerhof der Wasserbedarf von Gemüsekultur untersucht wird.

Das Institut für Gemüsebau der Hochschule Geisenheim, besitzt die wissenschaftliche Expertise mit entsprechender Forschungs- und Anbauinfrastruktur im Freilandgemüsebau, insbesondere in der Bewässerung. Neben der Bewässerung stellen der Pflanzenwasserhaushalt, die Bewässerungstechnik und neue Entwicklungen zur Bewässerungssteuerung einen wichtigen Forschungsschwerpunkt dar.

Z.B. Projekt: „ GS-mobil“ 2012-2015 gefördert durch BLE

Projekt: „„Demonstrationsbetriebe zur Effizienzsteigerung der Bewässerungstechnik und des Bewässerungsmanagements im Freilandgemüsebau“ Gefördert durch BLE 2012-2016

1.4 Projektgebiet

- Hessen, Rheinland-Pfalz

1.5 Projektlaufzeit

01.01.2016 -31.12.2018

1.6 Budget

Bewilligt laut Zuwendungsbescheid vom 17.12.2015: 268.833 Euro

¹ <https://kunden.dwd.de/agrobereg/>

1.7 Ablauf des Vorhabens

Der geplante Ablauf des Projektes ist schematisch in Abbildung 1 dargestellt.

| | Jahr Monat | 2016 | | | | | | | | | | | | 2017 | | | | | | | | | | | | 2018 | | | | | | | | | | | |
|--|---|------|----|---|-----|---|---|---|---|---|----|----|----|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|------|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|-----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Zusammenarbeit | OG-Treffen | M1 | M2 | | | | | | | | | M3 | | M4 | | | | | | | | | M5 | | | M6 | | | | | | | | | | | |
| | OG-Treffen in Betrieben | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Hofseminar/Workshop | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Publikationen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | M7 | |
| AP 1 Wasserbedarf Gemüsekulturen | Versuchsplanung | | | | M8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Bewässerungsversuch | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Auswertung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | M11 | |
| AP 2 Weiterentwicklung der App | Einführung der Betriebe in GS und App | | | | M12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Anwendung der App im Salatanbau | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Programmierung und Programmanpassung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| AP 3 Praxistest | Einsatz der App im Salatanbau | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | M19 | | |

Abbildung 1: Meilensteine des Projektes GS-Netz

Legende zu Abbildung 1

| | |
|------|---|
| M: | Meilensteine |
| M1: | OG ist konstituiert und arbeitsfähig |
| M2: | Arbeitsinhalte sind abgestimmt |
| M3: | Resümee des ersten Projektjahres ist gezogen |
| M4: | Planung für das 2. Projektjahr ist abgeschlossen |
| M5: | Resümee des zweiten Projektjahres ist gezogen |
| M6: | Planung für das 3. Projektjahr und Hofseminar ist abgeschlossen |
| M7: | Ergebnisse der OG und des Innovationsprojektes sind für die Öffentlichkeit zugänglich |
| M8: | Versuchsplanung ist abgeschlossen |
| M9: | Ergebnisse des 1. Versuchsjahres sind ausgewertet; Konsequenzen für das Folgejahr sind gezogen |
| M10: | Ergebnisse des 2. Versuchsjahres sind ausgewertet; Konsequenzen für das letzte Projektjahr sind gezogen |
| M11: | Temperatursummen-Modelle der Gemüsekulturen sind erstellt |
| M12: | GS und App: Einführung ist abgeschlossen |
| M13: | App ist für Betriebe einsatzbereit |
| M14: | Anbausätze sind nach den Empfehlungen der App bewässert; Anforderungen der Praxis an App sind erfasst |
| M15: | Umsetzung der Anforderungen an App sind abgeschlossen |
| M16: | Anbausätze sind nach den Empfehlungen der App bewässert; Anforderungen der Praxis an App sind erfasst |
| M17: | App ist für den Praxistest optimiert |
| M18: | App steht der Praxis zur Verfügung |
| M19: | Praxistest der App ist abgeschlossen |

1.8 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Laufe des Projektes wurde das kc-Temperatursummen-Modell für die zwei Kulturen Salat und Zwiebel evaluiert. Die App wurde den Bedürfnissen der Anbauer angepasst. Im App-Store der Firma Helm steht die Anwendung "GS-Mobil" zur Verfügung. Voraussetzung für die Nutzung ist eine Registrierung bei Helm Software. Für den Zugriff auf die App wird eine Farmbox-ID benötigt. Auf Messen und Veranstaltungen wurde das Projekt und die App einem breiten Publikum vorgestellt. Siehe Vortragsveranstaltungen zu GS-Netz.

Eine wichtige Erkenntnis ist, dass die Vorstellungen von Wissenschaft und Praxis über die Anforderungen an eine App sich annähern mussten. So ist die Einschätzung, dem Praktiker alle Eingabeschritte der App abzunehmen, nicht kongruent zu dessen Wünschen. Der Praktiker möchte diese App zudem möglichst im Rahmen einer schon vorhandenen Schlagkartei nutzen. Hier wäre vorstellbar, auch die Bestandsentwicklung seiner Kulturen einzupflegen, welches für Pflanzenschutz und Düngung ohnehin nötig ist. Die Genauigkeit der Wassermengenbilanzierung und die in der gemüsebaulichen Praxis mögliche Genauigkeit der Wasserausbringung weichen voneinander ab. Je nach Bewässerungssystem sind Ungenauigkeit von 10-15 mm schon bei einem Bewässerungsvorgang möglich. Insbesondere bei extremer Witterung, wie im Sommer 2018, steht weniger die die Höhe der Bewässerungsmengen im Fokus der Praktiker, sondern die Frage: „Auf welche Flächen muss ich mit meiner mobilen Bewässerung zuerst?“.

Die Bedeutung der Erfassung von Niederschlägen vor Ort wurde im Projekt erneut unterstrichen, weil Niederschläge der nächst gelegenen DWD-Wetterstationen sehr stark abweichen von den Werten vor Ort können. Eine vollautomatische Erfassung von Niederschlägen mit betriebseigenen Regenmessern hat Helm-Software in die GS-Mobil-App erfolgreich integriert. Eingehende Darstellung

2 Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung

Die Verwendung der Zuwendung ist in durch die Verwendungsnachweise VN1 bis VN6 dokumentiert. Diese beinhalten die Verwendung im Einzelnen (inklusive Auflistung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises) mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele und möglicher weiterer Verwendung von Investitionsgütern.

Tabelle 2: Ausgaben brutto und zuwendungsfähige Ausgaben netto zum Stand des abschließenden Verwendungsnachweises

| | Ausgaben brutto | | Ausgaben netto | | |
|----------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|--------------------|
| | Stand Bewilligungsbescheid | Abgerechnet | Stand Bewilligungsbescheid | Abgerechnet | Abweichung |
| Laufende Ausgaben | 73.628,00 € | 61.488,70 € | 68.892,00 € | 61.122,09 € | 7.769,91 € |
| AP 1 | 194.098,00 € | 190.298,55 € | 187.430,00 € | 184.336,27 € | 3.093,73 € |
| AP 2 | 9.413,00 € | 4.498,13 € | 9.126,00 € | 3.922,22 € | 5.203,78 € |
| AP 3 | 5.600,00 € | 2.800,00 € | 5.385,00 € | 2.800,00 € | 2.585,00 € |
| Summe Arbeitspakete | 209.111,00 € | 197.596,68 € | 201.941,00 € | 191.058,49 € | 10.882,51 € |
| Gesamtsumme | 282.739,00 € | 259.085,38 € | 270.833,00 € | 252.180,58 € | 18.652,42 € |

2.2 Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn

Für eine Bewässerungssteuerung ohne Sensortechnik steht die Klimatische Wasserbilanz zur Verfügung.

Die Geisenheimer Steuerung ist ein einfaches Kalkulationsmodell der klimatischen Wasserbilanz, um zu berechnen, wann und mit welcher Wassermenge eine Gemüsekultur zu versorgen ist. Grundlage ist die Referenzverdunstung nach FAO56 (Allen et al. 1998), die aus Wetterdaten berechnet wird. Die Referenzverdunstung wird mit sog. kc-Werten multipliziert, um damit die tatsächliche Verdunstung eines konkreten Pflanzenbestandes zu schätzen. Die kultur- und entwicklungsabhängigen kc-Werte spiegeln den steigenden Wasserbedarf der wachsenden Kultur in einem Stufenmodell wider (Abbildung 2). Der Wasserverbrauch einer Kultur ergibt sich mit folgender Formel:

Formel 1: Klimatischen Wasserbilanz der Geisenheimer Steuerung

Wasserverbrauch = Referenzverdunstung x kc – Niederschlag – Bewässerungsmenge





| Stadium 1 | Stadium 2 | Stadium 3 | Stadium 4 |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| ab Auflaufen | ab 5. Blatt | ab 8. Blatt | ab Schlottenknicken |
| kc | kc | kc | kc |
| BBCH 09 | BBCH 15 | BBCH 18 | BBCH 47 |
| 0,7 | 1,3 | 1,6 | 0 |

Abbildung 2: kc-Werte für unterschiedliche Entwicklungsstadien von Sommerzwiebel für die Geisenheimer Steuerung

Für kc-Werte gemüsebaulicher Kulturen liegen in Geisenheim Daten aus langjährigen Versuchen vor. Die kc-Werte für 23 Gemüsearten stehen auf der Internetseite des Instituts für Gemüsebau der HGU zur Verfügung (Zinkernagel et al. 2018).

Modellierung der kc-Wert-Veränderung mit Hilfe von Temperatursummen

Die regelmäßige Einschätzung des Pflanzenentwicklungsstatus' durch den Nutzer soll obsolet gemacht werden, um die Anwendbarkeit der Geisenheimer Steuerung zu vereinfachen. Der pflanzenentwicklungsabhängige kc-Wert wird dafür auf Grundlage von Temperatursummen modelliert (Olberz und Zinkernagel 2014). Das bisherige kc-Stufenmodell wird durch ein kc-Temperatursummenmodell ersetzt (Abbildung 3).

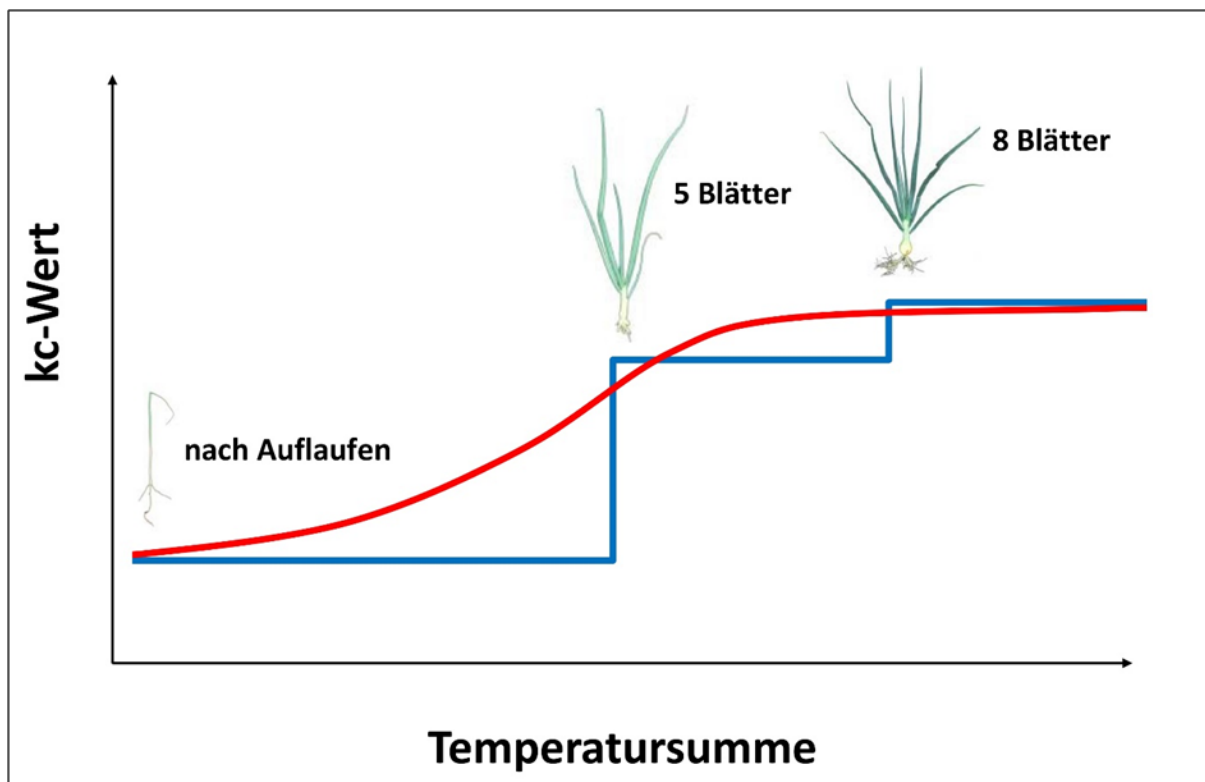


Abbildung 3: Schematische Darstellung des GS-Stufenmodells im Vergleich zur GS-Mobil-Temperatursummenfunktion am Beispiel von Sommerzwiebel

Kc-Werte werden mit einer sigmoid-exponentiellen Sättigungsfunktion aus Temperatursummen berechnet.

Für die Parametrisierung werden in regelmäßigem Abstand Pflanzen fortlaufend zu festgelegten Terminen entnommen (Abbildung 24). In der Regel werden 40 Einzelpflanzen an zufällig gewählten Positionen im Bestand ausgewählt und deren Frischmasse bestimmt. Z. T. werden auch die Trockenmasse, die Blattfläche oder andere Parameter bestimmt. Aus den entsprechenden Daten der Pflanzenentwicklung und der Temperatursumme von Kulturbeginn bis zu jeweiligen Entnahmeterrin wird das kc-Temperatursummenmodell abgeleitet. Für die Kultur Stangensellerie wurde die Probenahme bis über den Termin der Erntefähigkeit, um zu ermitteln, ob und wann diese Pflanzenart ihre Entwicklung vermindert oder einschränkt.

Nach mindestens drei Anbausätzen zur Parametrisierung wird für jede Kultur ein Evaluierungsversuch angelegt, bei die Klimatische Wasserbilanz entweder mit Hilfe des

kc-Stufenmodells oder mit dem kc-Temperatursummenmodell berechnet. Entsprechend werden Teilflächen entsprechend der einen oder der anderen Methode bewässert. Ein Vergleich der jeweils ausgebrachten Wassermengen und der jeweils erzielten Erträge wird genutzt, um zu bestimmen, ob das kc-Temperatursummenmodell gleichwertiges Wasserangebot und gleichwertige Erträge sicherstellt wie das bisherige kc-Stufenmodell.

Im Vorgängerprojekt GS-Mobil wurde das kc-Temperatursummenmodell für die Kultur Salat parametrisiert und evaluiert. Die Parametrisierung für Zwiebel und Spinat war begonnen, die Evaluierung der Parameter stand noch aus. Im Rahmen von GS-Mobil wurde in Zusammenarbeit mit Helm-Software der Prototyp der GS-Mobil-App entwickelt.

Eine fortführende Forschung zu Zwiebel und Salat und damit deren App-Integration sowie die App-Erweiterung um weitere Gemüsekulturen bedurften eines neuen Projektes. Vor einer Praxiseinführung der GS-Mobil-App fehlte zudem ein Praxistest und den damit verbundenen Weiterentwicklungen. So begegnete der Auftrag von EIP Projekten „Wissenstransfer in die Praxis“ zu leiten den Zielen der Projektpartner und den Bedürfnissen des Gemüsebaus.

2.3 Arbeitspaket Zusammenarbeit „OG-Treffen und Treffen in Betrieben“

In 2016 startete das Projekt mit der Übergabe des Zuwendungsbescheides am 12.02.2016 in Wetzlar. Ziel der Zusammenarbeit war es, die innovative Idee GS-Mobil zusammen mit Praktikern, DWD, Beratung, Hochschule und Softwarefirma in die Praxis umzusetzen.

Schon vor der offiziellen Übergabe stellt Frau Prof. Dr. Zinkernagel auf dem hessischen Gemüsebautag am 27.01.2016 in Gernsheim mit einem Vortrag „Förderung von Innovation und Zusammenarbeit in der gemüsebaulichen Praxis in Hessen“ das EIP-Projekt GS-Netz vor.

Das erste OG-Treffen fand am 03.02.2016 in Geisenheim statt, um das Projekt vorzustellen, die Aufgabenverteilung zu planen und den Zeitplan zu erstellen.

Am 17.03.2016 nahmen die HGU mit einem Vertreter der Drittmittelabteilung an einer Informationsveranstaltung des RP in Wetzlar teil. Die Veranstaltung beschäftigte sich mit dem Abrechnungsprozedere von hessischen EIP-Projekten. Im März 2016 wurde die Stelle für den Versuchsingenieur ausgeschrieben; Mitte Mai konnte diese Stelle besetzt werden.

Am 14.03.2016 fand ein Arbeits-Treffen der Betriebe, der Beratung, der Hochschule und Helm-Software in Griesheim statt. Im Monat Juli besuchte die HGU ein LLH-Bildungsseminar in Rauschholzhausen und stellte dort das Projekt GS-Netz vor. Am 22. bis 23.11 2016 besuchte die HGU einen Workshop der DVS (Deutsche Vernetzungsstelle ländlicher Raum) für operationelle Gruppen in Bonn Bad Godesberg und stellte dort das Projekt vor. Es bot sich die Möglichkeit eines entsprechenden Erfahrungsaustauschs mit Vertretern bereits länger laufender EIP-Projekte.

Am 24.11.2016 kamen wir zu unserem dritten OG-Treffen in Geisenheim zusammen. Ein nächstes OG-Treffen wurde so zeitig wie möglich für Januar 2017 geplant, um dem Kulturbeginn im zeitigen Frühjahr Rechnung zu tragen und Zeitdruck zu vermeiden.

Im Jahr 2017 fand das vierte OG-Treffen am 25.01.2017 am Queckbrunnerhof, Versuchsbetrieb des DLR-Rheinpfalz, in Schifferstadt statt. An diesen Termin wurden die beiden neu dazu gekommenen Praktiker Herr Guthmann für die Kultur Zwiebel und Herr Schumacher für die Kultur Salat vorgestellt und in die Projektplanung 2017 einbezogen. Im Frühjahr 2017 besuchten wir in Bonn eine Tagung zu

dem Thema „Gewässerschutzberatung in der Landwirtschaft –Erfolge, Möglichkeiten und Grenzen“, um Verknüpfungsmöglichkeiten zu prüfen.

Am 01.08.2017 fand ein Arbeits-Treffen beim DWD statt (vgl. 2.5). Das fünfte OG-Treffen wurde am Tannenhof Bischofsheim bei Herrn Guthmann durchgeführt.

Am Ende des Jahres 2017 erfolgte das sechste OG-Treffen in Geisenheim. Der Termin weicht vom Projektplan ab, hier wurde das im Frühjahr 2018 geplante Treffen vorgezogen. Damit genügend Zeit für die Anpassung der App blieb und diese im zeitigen Frühjahr 2018 einsatzbereit war.

Das letzte OG-Treffen fand am 23.09.2018 im Lehr- und Versuchsbetrieb Queckbrunnerhof in Schifferstadt statt. Alle Protokolle der OG-Treffen sind im Anhang zu finden.

2.4 Ergebnisse des Arbeitspakets 1 „Wasserbedarf Gemüsekulturen“ Versuche zu kc-Temperatursummenmodellen am Standort Geisenheim

Am Standort Geisenheim wurden in den Jahren 2016 bis 2018 verschiedene Versuche zu den Kulturen Salat, Zwiebel und Stangensellerie durchgeführt mit dem Ziel den Wasserbedarf verschiedener Gemüsekulturen zu ermitteln.

2.4.1 Versuche und Ergebnisse 2016

Im Versuchsjahr 2016 fanden Parametrisierungsversuche zur Bestimmung der Pflanzenentwicklung von Spinat, Stangensellerie und Zwiebeln auf den Flächen der Hochschule Geisenheim statt.

Die Kulturen aller im Folgenden geschilderten Parametrisierungsversuche wurden mithilfe des dual-kc-Ansatzes der FAO56 (Allen et al. 1998) bewässert. Für eine gleichmäßige Wasserverteilung sorgte ein computergesteuerter Gießwagen (Abbildung 4).



Abbildung 4: Computergesteuerter Gießwagen zur Bewässerung der Parametrisierungs- und Evaluierungsversuche am Standort Geisenheim, hier mit Stangensellerie (Quelle Foto HGU)

2.4.1.1 Spinat S1 2016

Kultururdaten des ersten Satzes des Parametrisierungsversuchs zu Spinat im Jahr 2016 zeigt Tabelle 2.

Tabelle 3: Kulturdaten des 1. Satzes des Parametrisierungsversuch zu Spinat im Jahr 2016

| | |
|---------------|---|
| Sorte | 'Silverwhale' (RZ) |
| Aussaat: | KW 15, 11.4.2016 25cm x 1,3cm = 300 Korn/m ² (220 Pflanzen Soll) |
| Kulturfläche: | Bruttofläche: 1.080 m ² , 116 Reihen |
| Düngung: | Sollwert zur Saat 40 kg N/ha in 0-30 cm Sollwert 4 Wochen nach Saat 170 kg N/ha in 0-30 cm |
| Ernte | 08.06.2016 |

Die Bewässerungsvorgänge während der Kulturdauer des Spinats Satz 1 werden in Abbildung 5 dargestellt. Insgesamt wurde 85 mm beregnet. Bedingt durch natürliche Niederschläge waren relativ niedrige Zusatzwassergaben nötig. Hohe Niederschläge Ende Mai führten dazu, dass danach keine Beregnung mehr erforderlich war.

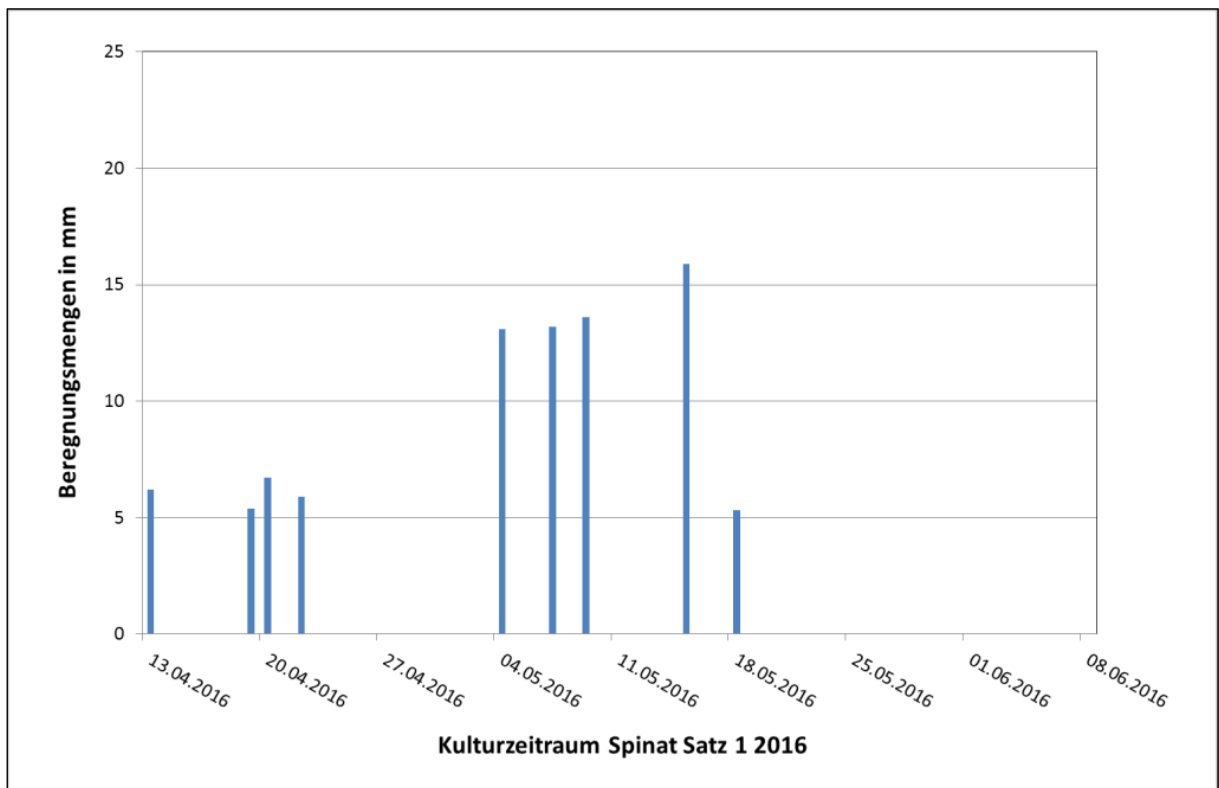


Abbildung 5: Bewässerungsvorgänge und -mengen [mm] für den Satz 1 des Parametrisierungsversuchs zu Spinat im Jahr 2016

Über die gesamte Kulturdauer wurden Saugspannungswerte zur Dokumentation und Kontrolle der Bodenfeuchte mittels Tensiometer aufgezeichnet (Abbildung 6). Eine nur mäßige Absenkung der Saugspannung in 40 und 60 cm Tiefe während der Spinatkultur weisen deutlich auf ausreichende Wasserversorgung ohne große Überschussmengen hin. Niederschlagsmengen von insgesamt ca. 50 mm am 29. und 30.5.2016 führten zur Wassersättigung des Bodens. Die Saugspannungswerte in allen drei Messtiefen näherten sich Null an.

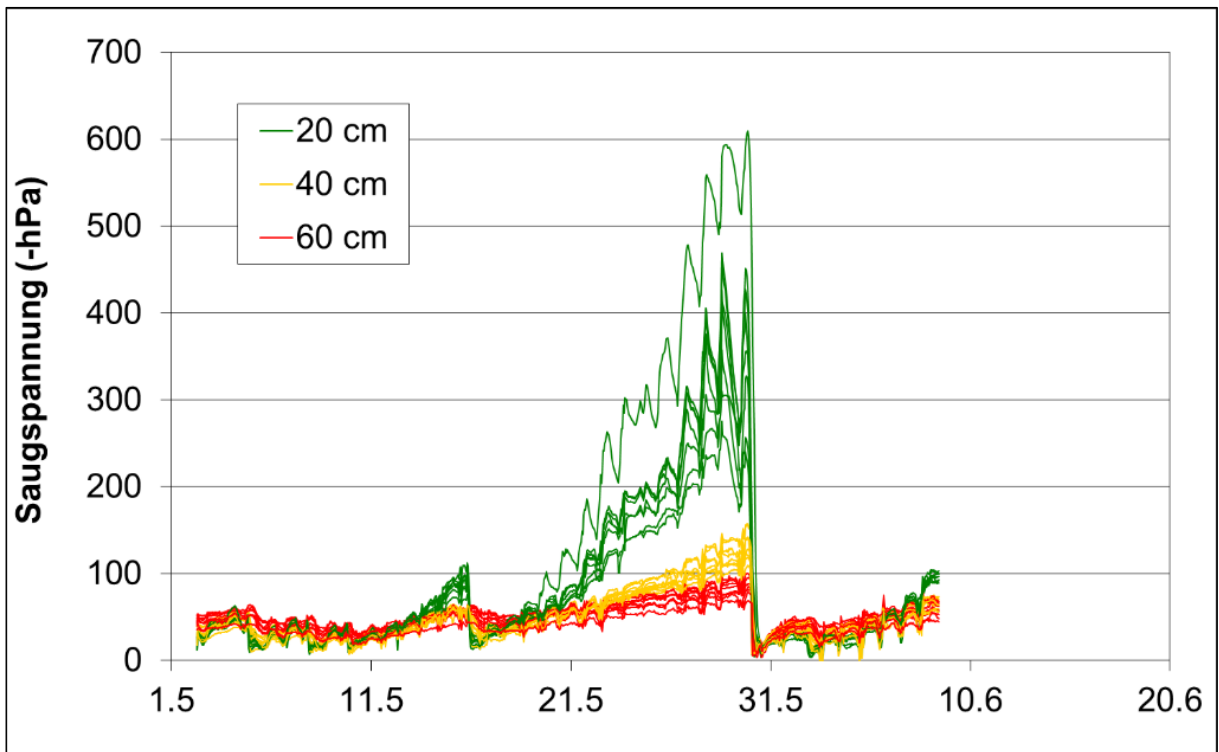


Abbildung 6: Saugspannungswerte in 20, 40 und 60 cm Bodentiefe während des Satzes 1 des Parametrisierungsversuchs zu Spinat im Jahr 2016

2.4.1.2 Spinat Satz 2 2016

Der zweite Satz fand im Zeitraum Juli bis September 2016 statt (Tabelle 4).

Tabelle 4: Kulturdaten des 2. Satzes des Parametrisierungsversuch zu Spinat im Jahr 2016

| | |
|---------------|---|
| Sorte | 'Silverwhale' (RZ) |
| Aussaat: | KW 30, 25.07.2016 25cm x 1,3cm = 300 Korn/m ² (220 Pflanzen Soll) |
| Kulturfläche: | Bruttofläche: 1080 m ² , 116 Reihen |
| Düngung: | Sollwert zur Saat 40 kg N/ha in 0-30 cm Sollwert 4 Wochen nach Saat 170 kg N/ha in 0-30 cm |
| Ernte | 15.09.2016 |

Die angeforderten Bewässerungsvorgänge auf Grundlage FAO56DC während der Kulturdauer des Spinats Satz 2 werden in Abbildung 7 dargestellt. Im Vergleich zum ersten Satz musste der zweite Satz Spinat deutlich mehr bewässert werden, mit insgesamt 134 mm.

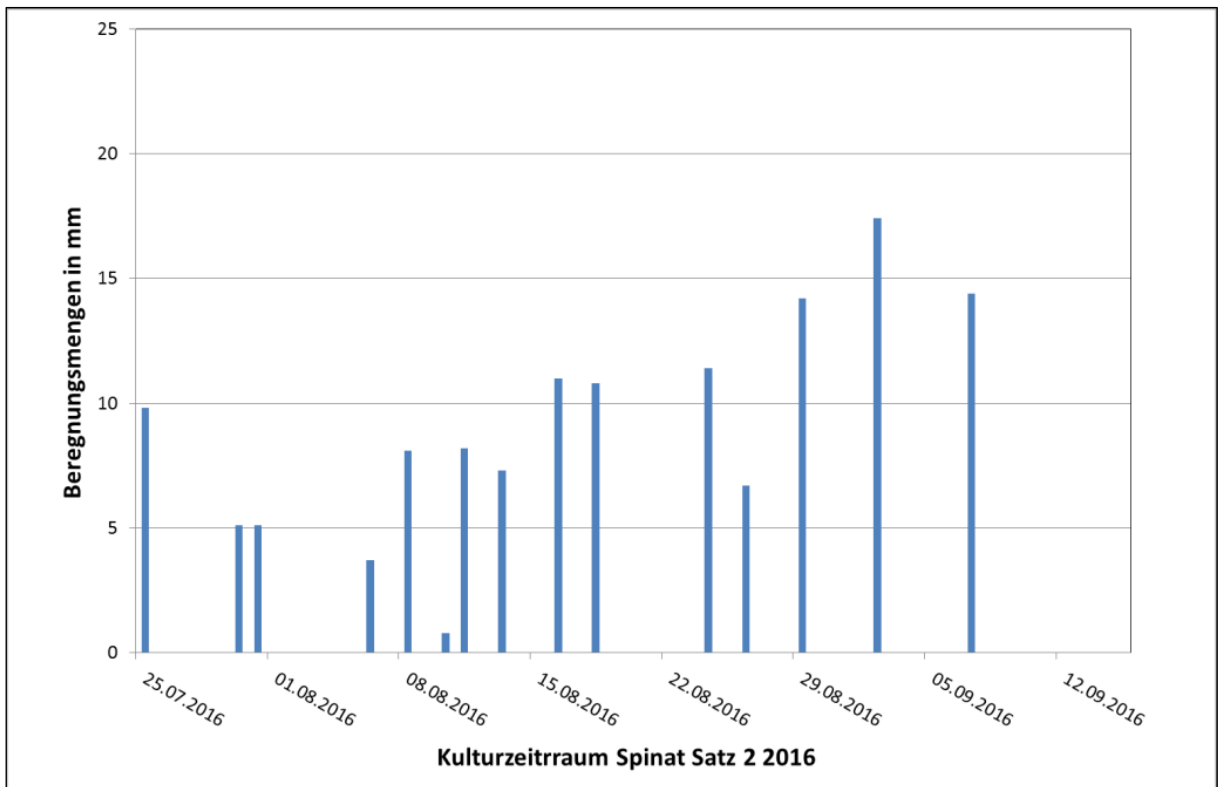


Abbildung 7: Bewässerungsvorgänge und -mengen [mm] für den Satz 2 des Parametrisierungsversuchs zu Spinat im Jahr 2016

Ab Ende August sank die Saugspannung in 20 cm Tiefe sehr stark ab und in 40 cm Tiefe merklich. Dies deutet daraufhin, dass der Wasserbedarf des Spinats durch Bewässerung nicht vollständig gedeckt wurde (Abbildung 8).

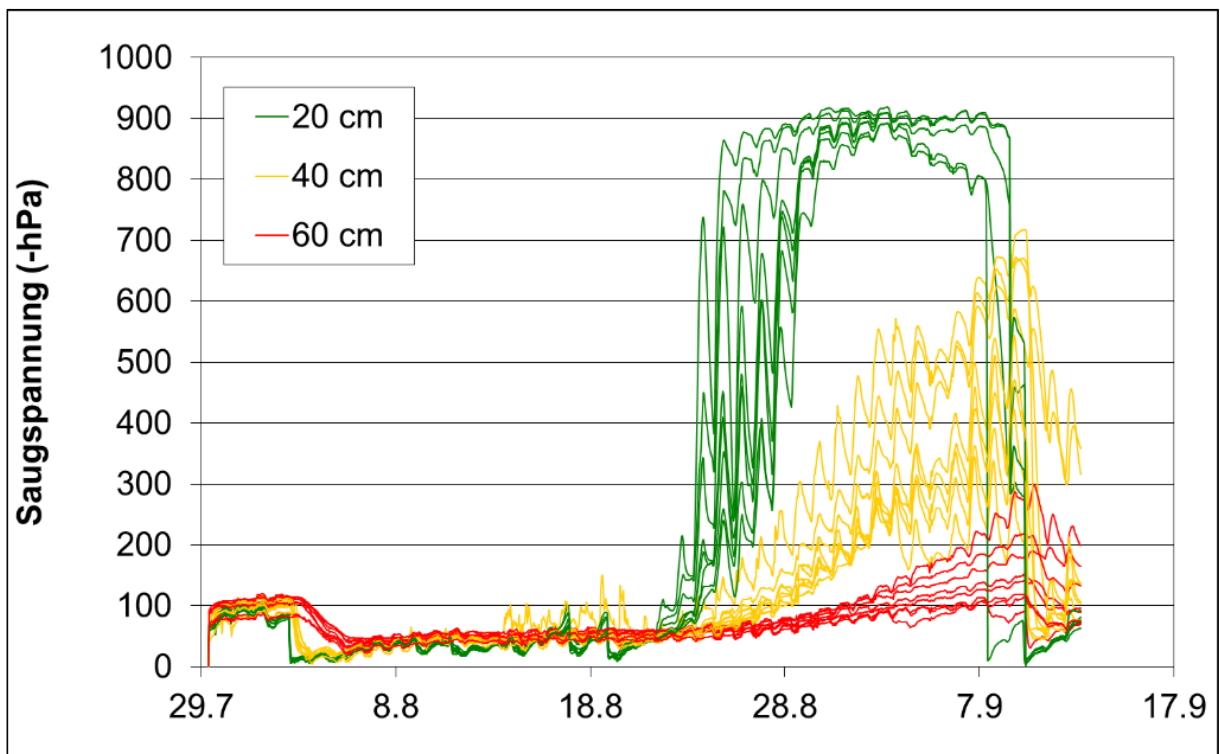


Abbildung 8: Saugspannungswerte in 20, 40 und 60 cm Bodentiefe während des Satzes 2 des Parametrisierungsversuchs zu Spinat im Jahr 2016

Die zeitliche Veränderung der Frisch- und Trockenmasse von Spinat zeigt Tabelle 5.

Tabelle 5: Frisch- und Trockenmasse in g/Pflanze von Spinat im Satz 2 des Parametrisierungsversuchs im Jahr 2016

| | Frishmasse (g/Pflanze) | Trockenmasse (g/Pflanze) |
|------------|------------------------|--------------------------|
| 18.08.2016 | 2,9 | 0,2 |
| 25.08.2016 | 11,4 | 0,7 |
| 01.09.2016 | 20,8 | 1,6 |
| 08.09.2016 | 39,8 | 2,8 |
| 15.09.2016 | 44,7 | 3,5 |

Nach dem beiden Sätzen Spinat im Jahr 2016 stand fest, dass eine Parametrisierung des temperatursummenbasierte kc-Modells für Spinat nicht gelang. Grund ist die zu hohe Einzelpflanzenvariabilität unter den vorherrschenden Anbaubedingungen. Die Frischmassenwerte streuten zu stark (Abbildung 9). Mit den bis zum Jahr 2016 generierten Daten konnten die Kurvenparameter nicht generiert werden.

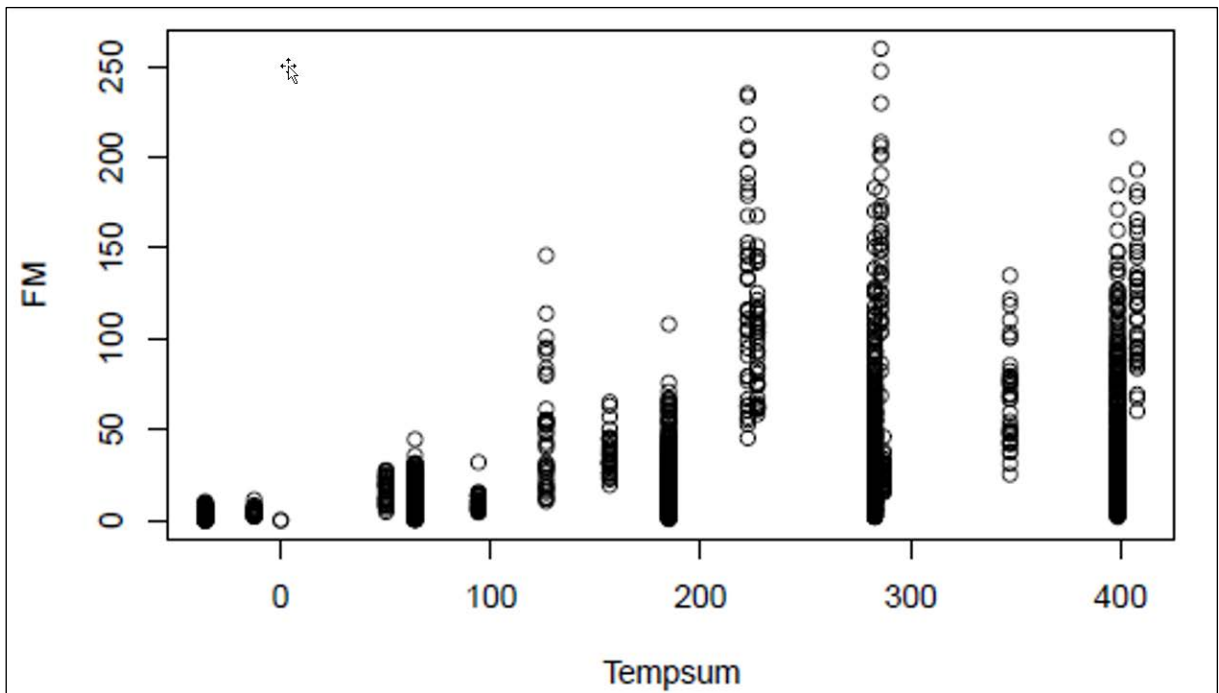


Abbildung 9: Starke Variabilität der Einzelpflanzen-Frischmassen von Spinat in Abhängigkeit der Temperatursumme verhindert, Parameter eines temperatursummen-basierten kc-Modells zu bilden. Daten aus vier Anbausätzen der Jahre 2015 und 2016

2.4.1.3 Stangensellerie 2016

Zur Bestimmung der Pflanzenentwicklung erfolgte der erste Parametrisierungsversuch mit Stangensellerie im Jahr 2016 (Abbildung 10). Die Kulturdaten sind der Tabelle 6 zu entnehmen.



Abbildung 10: Parametrisierungsversuch zu Stangensellerie im Jahr 2016 (Quelle Foto HGU)

Tabelle 6: Kulturdaten des Parametrisierungsversuchs zu Stangensellerie im Jahr 2016

| | |
|---------------|--|
| Sorte | 'Tango' (Bejo) |
| Pflanzung | KW 25, 23.06.2016 30 cm x 31 cm = 10,7/m ² |
| Kulturfläche: | Bruttofläche 1320 m ² |
| Düngung: | Sollwert zur Pflanzung: 90 kg N/ha 0-30 vor Pflanzung Sollwert Kopfdüngung: 230 kg N/ha 0-60 drei Wochen nach Pflanzung |
| Ernte | 31.08.2016 |

Die Bewässerungsvorgänge während der Kulturdauer des Stangensellerie werden in Abbildung 11 dargestellt. Stangensellerie hatte zwischen 17.8.2016 und 24.8.2016 sein marktfähiges Gewicht erreicht (Tabelle 7). So dass bis zum Zeitpunkt der Marktreife 117 mm beregnet wurden, bis zum Ende der Datenerfassung für die Parametrisierung aber 218 mm. In der Praxis wäre die Kultur mit Erreichen der Marktreife beendet, idealerweise stellt die Pflanze mit Ab- und Erntereife ihr Wachstum ein, da Sie dann in die Samenbildung (z.B. schossen bei Salat) oder in die Abreifephase (z.B. Zwiebel) geht. Bei Stangensellerie war dies wie man laut oben verwiesener Daten entnehmen kann nicht so.

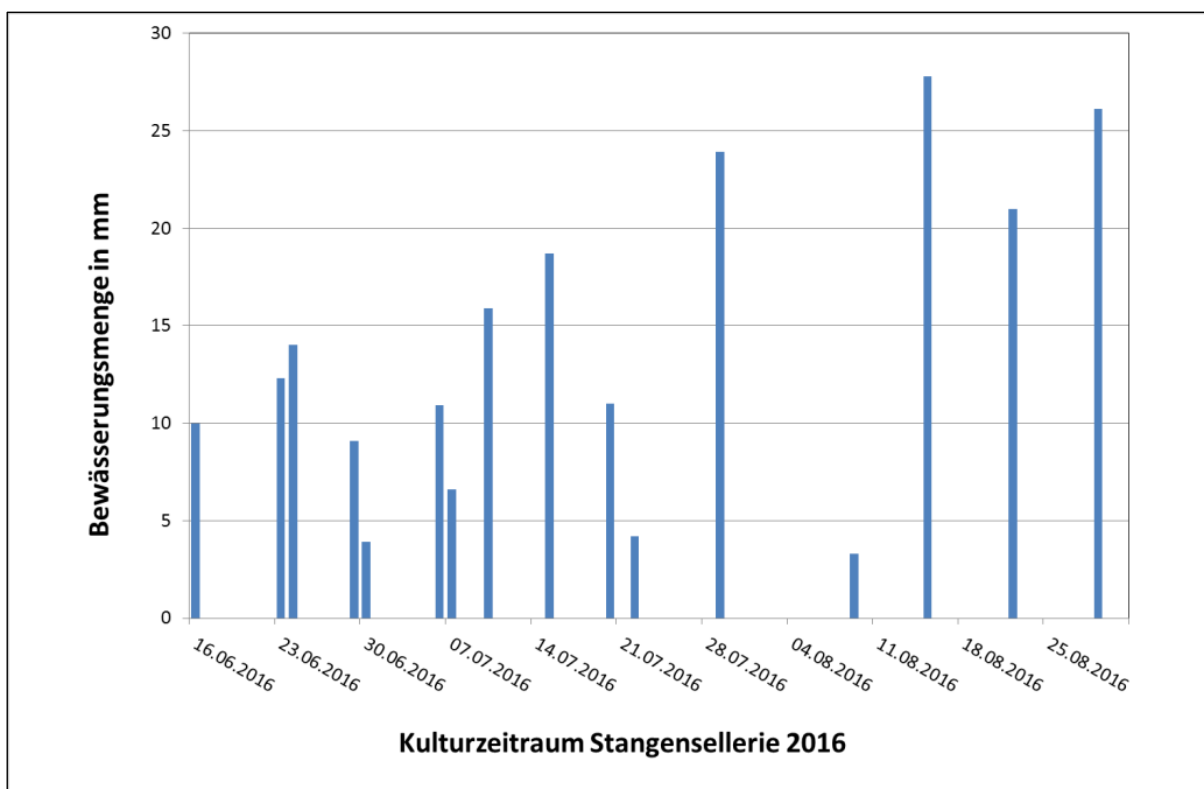


Abbildung 11: Bewässerungsvorgänge und -mengen [mm] für den Parametrisierungsversuch zu Stangensellerie im Jahr 2016

Ab Anfang August sank die Saugspannung in 20 cm sehr stark, ab Mitte/Ende August auch deutlich in 40 cm Tiefe. Die nur mäßige Absenkung der Saugspannung zu Kulturrende in 60 cm Tiefe legt nahe, dass der Wasserbedarf durch die Bewässerung noch ausreichend gedeckt worden ist (Abbildung 12).

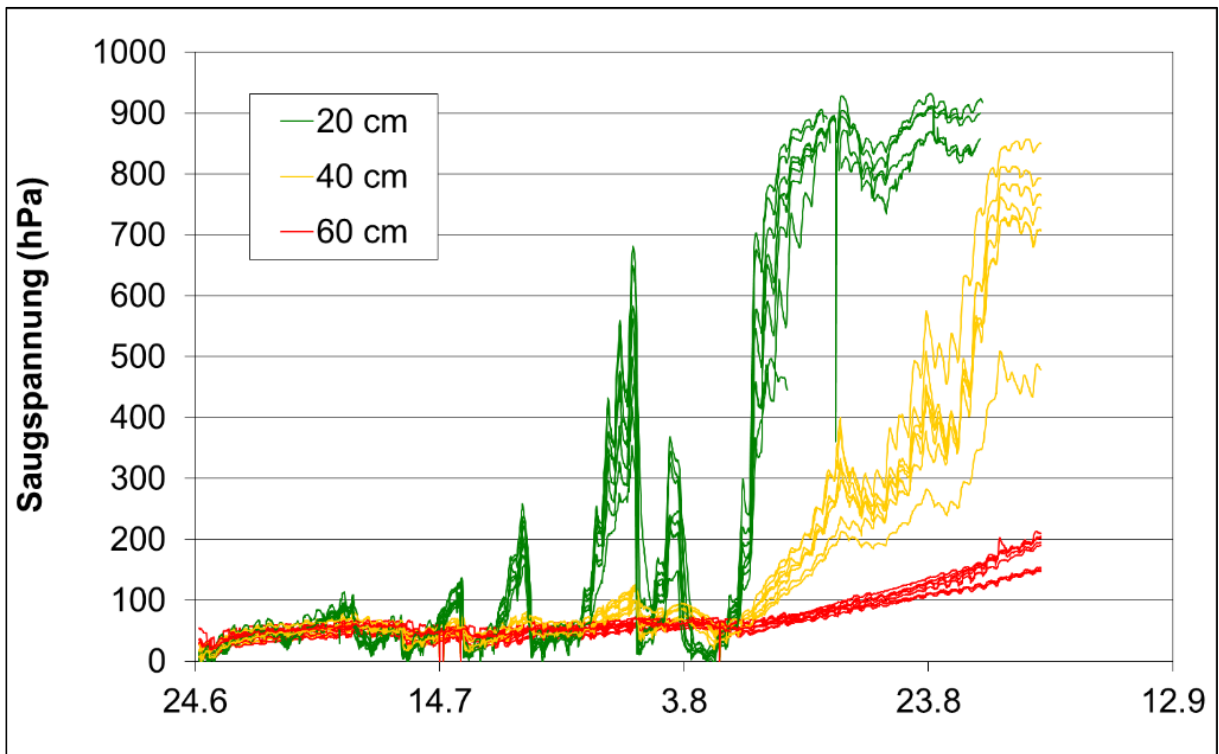


Abbildung 12: Saugspannungswerte in 20, 40 und 60 cm Bodentiefe während des Parametrisierungsversuchs zu Stangensellerie im Jahr 2016

Die Frisch- und Trockenmasse sowie die Anzahl der Stiele in Abhängigkeit der Pflanzenentwicklung zeigt Tabelle 7.

Tabelle 7: Frischmasse in g/Pflanze von Stangensellerie des Parametrisierungsversuchs im Jahr 2016

| Datum | Frischmasse (g/Pflanze) | Trockenmasse (g/Pflanze) | Stiele (St/Pflanze) |
|------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|
| 29.06.2016 | 5,8 | 0,9 | 4,5 |
| 06.07.2016 | 8,8 | 1,3 | 4,7 |
| 13.07.2016 | 15,8 | 2,5 | 6,6 |
| 20.07.2016 | 34,8 | 4,9 | 8,5 |
| 27.07.2016 | 89,8 | 11,3 | 10,8 |
| 03.08.2016 | 226,0 | 20,6 | 14,4 |
| 10.08.2016 | 409,3 | 32,1 | 16,9 |
| 17.08.2016 | 627,9 | 48,9 | 20,7 |
| 24.08.2016 | 863,0 | 59,5 | 21,7 |
| 31.08.2016 | 1101,5 | 74,2 | 24,2 |

2.4.1.4 Zwiebel 2016

Die Parametrisierung des kc-Temperatursummenmodells für Zwiebel wurde im Jahr 2016 fortgesetzt. Die Kulturdaten sind der Tabelle 8 zu entnehmen.



Abbildung 13: Parametrisierungsversuch zu Zwiebel im Jahr 2016 (Quelle Foto HGU)

Tabelle 8: Kulturdaten des Parametrisierungsversuch zu Zwiebel im Jahr 2016

| | |
|---------------|--|
| Sorte | 'Summit' (Bejo) |
| Aussaat: | KW 21, 23.03.2016 25 cm x 2,8 cm = 143 angestrebte Bestandsdichte: 130 Pflanzen/m ² |
| Kulturfläche: | Bruttofläche: 924 m ² |
| Düngung: | Sollwert zur Saat: 40 kg N/ha in 0-30 cm, Sollwert 6 Wochen nach Saat: 165 kg N/ha in 0-60 cm |
| Ernte | 29.08.2016 |

Die Bewässerungsvorgänge während der Kulturdauer der Zwiebel 2016 werden in Abbildung 14 dargestellt. Insgesamt wurden 175 mm bewässert. Im Juli mussten hohe Bewässerungsmengen ausgebracht werden, um den Bedarf der Kultur zu decken. Dies spiegelt die Absenkung der Saugspannungswerte in 20 cm wider (Abbildung 15). Mit beginnendem Schlottenknick ab Ende Juli 2016 wurde die Beregnung eingestellt. Die mittleren Gewichte (Tabelle 9) der Bulben liegen in einen gut vermarktungsfähigen Bereich für Haushaltszwiebeln.

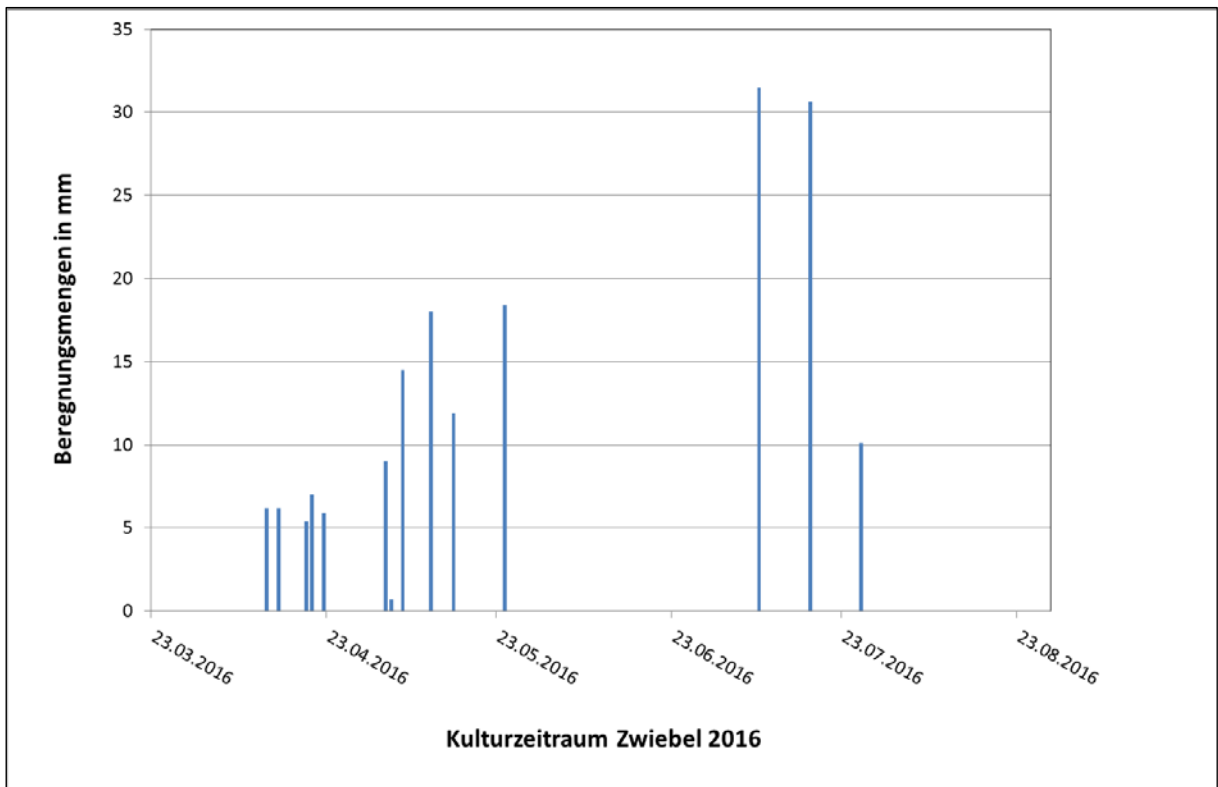


Abbildung 14: Bewässerungsvorgänge und -mengen [mm] für den Parametrisierungsversuch zu Zwiebel im Jahr 2016

Abbildung 15 zeigt den Saugspannungsverlauf in 20, 40 und 60 cm Tiefe. Die starke Absenkung der Saugspannungswerte ab Ende Juli in 40 cm und später auch in 60 cm Tiefe beruht auf der Entleerung der Bodenwasservorräte nach dem Bewässerungsende und während der Abreife der Zwiebel.

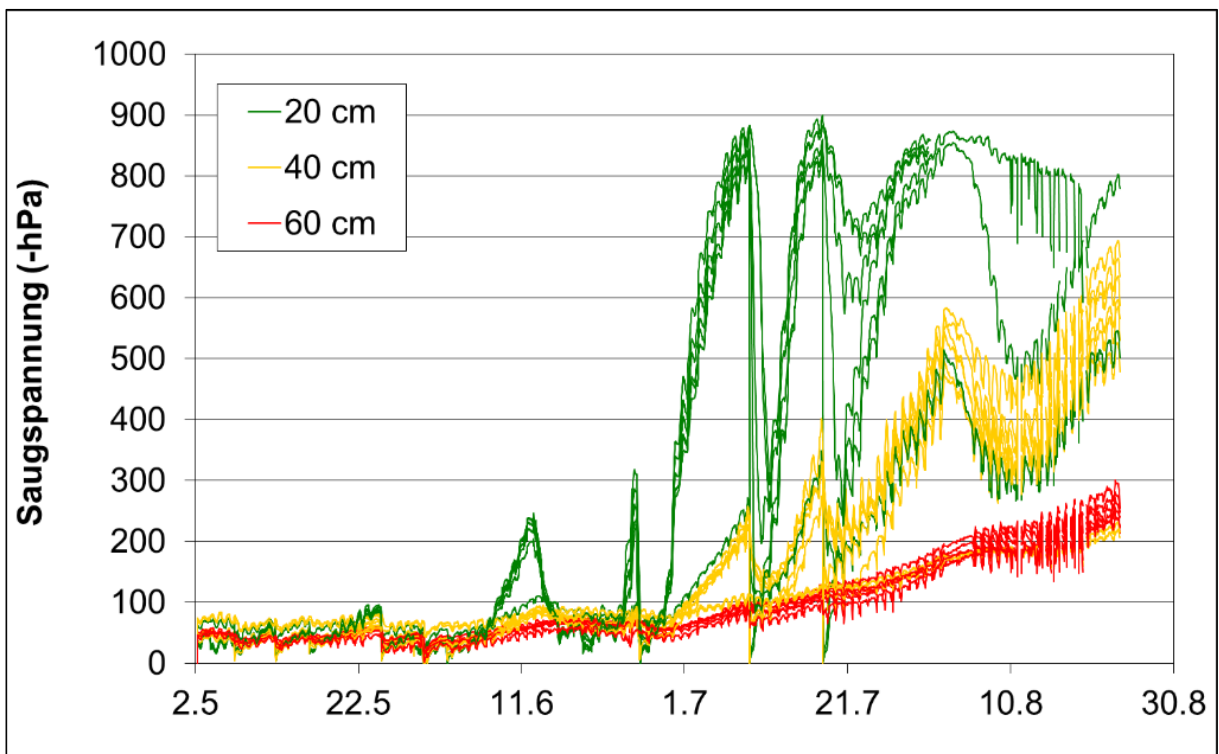


Abbildung 15: Saugspannungswerte in 20, 40 und 60 cm Bodentiefe während des Parametrisierungsversuchs zu Zwiebel im Jahr 2016

Wöchentlich wurden an 40 Stellen zehn Einzelpflanzen an randomisierten Stellen zu zehn Zeitpunkten geerntet und die Frischmasse bestimmt, differenziert nach Bulbe und Laub. Diese Einzelpflanzen wurden in Trockenschrank bei 60°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und ausschließlich die gesamte Trockenmasse bestimmt (Tabelle 9).

Tabelle 9: Frischmasse und Trockenmasse von Zwiebel des Parametrisierungsversuchs im Jahr 2016

| Datum | Frischmasse Bulbe (g/Pflanze) | Frischmasse Laub (g/Pflanze) | Frischmasse gesamt (g/Pflanze) | Trockenmasse (g/Pflanze) |
|------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| 02.06.2016 | 0,6 | 1,8 | 2,4 | 0,1 |
| 09.06.2016 | 1,3 | 6,3 | 7,6 | 0,5 |
| 16.06.2016 | 3,5 | 11,1 | 14,6 | 1,0 |
| 23.06.2016 | 7,0 | 25,5 | 32,6 | 2,4 |
| 30.06.2016 | 13,1 | 46,9 | 60,1 | 5,1 |
| 07.07.2016 | 23,7 | 54,6 | 78,4 | 7,8 |
| 14.07.2016 | 52,3 | 54,6 | 106,9 | 11,3 |
| 21.07.2016 | 78,5 | 50,6 | 129,1 | 13,7 |
| 28.07.2016 | 96,9 | 43,3 | 140,2 | 15,8 |
| 29.08.2016 | 111,2 | --- | --- | 15,2 |

Die Veränderung der Blattfläche von Zwiebel zeigt Abbildung 16.

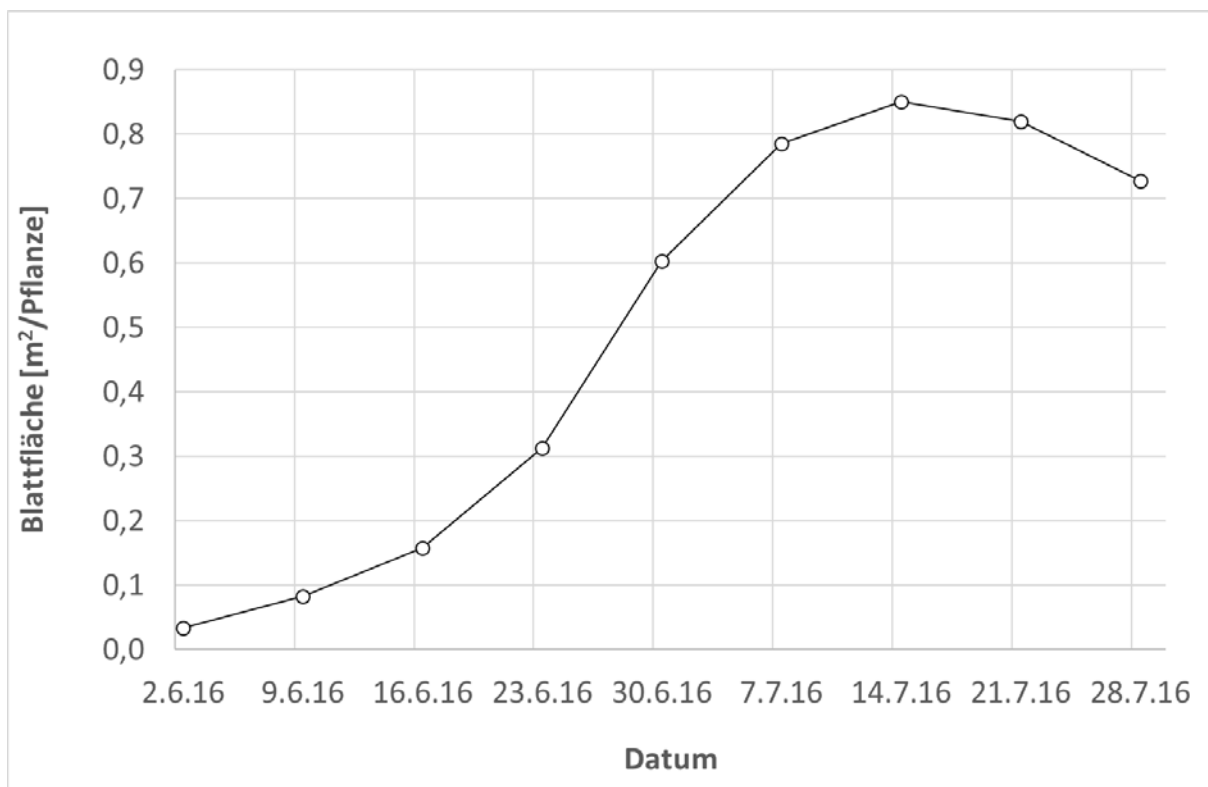


Abbildung 16: Blattfläche in m²/Pflanze von Zwiebel des Parametrisierungsversuchs im Jahr 2016

Aus den schon im Rahmen von GS-Mobil generierten Daten der Jahre 2014, 2015 und den im Rahmen von GS-Netz 2016 ermittelten Daten konnten aus der Frischmasse des Laubes und den korrespondierenden Temperatursummen eine Parametrisierung des kc-Temperatursummenmodells erfolgen (Abbildung 17). Eine Basistemperatur von 4 °C wurde dabei berücksichtigt

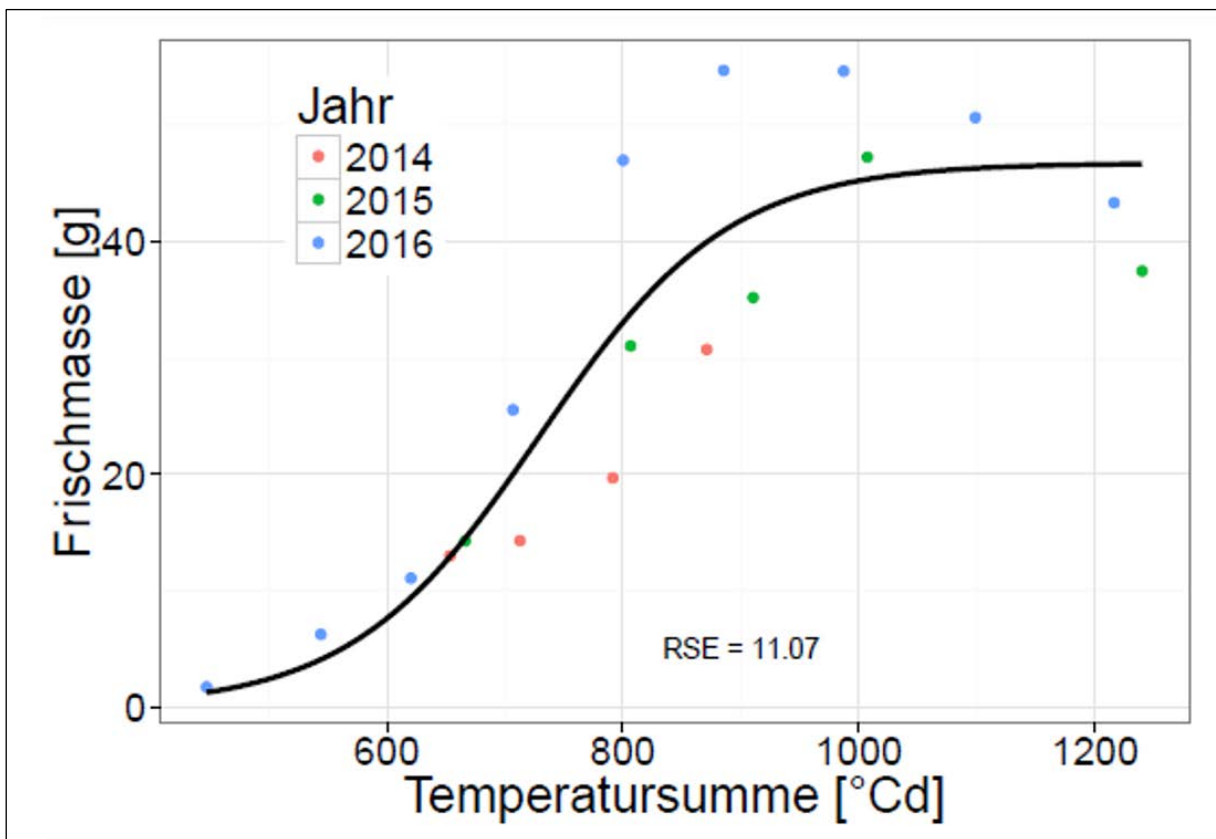


Abbildung 17: Frischmasseentwicklung (g Laub/Pflanze) von Zwiebel in Abhängigkeit der Temperatursumme [°Cd]. Daten aus Versuchen der Jahr 2014 bis 2016

2.4.2 Versuche und Ergebnisse 2017

Im Jahr 2017 fanden Parametrisierungsversuche zur Bestimmung der Pflanzenentwicklung von Stangensellerie statt. Darüber hinaus wurde ein Evaluierungsversuch der Kultur Zwiebel durchgeführt. Das kc-Temperatursummenmodell für Zwiebel wurde aus Daten der Jahre 2014 bis 2016 gebildet.

2.4.2.1 Stangensellerie Satz 1 2017

Zur Bestimmung der Pflanzenentwicklung erfolgte der zweite Parametrisierungsversuch mit Stangensellerie im Jahr 2017. Die Kulturdaten sind der Tabelle 10 zu entnehmen.



Abbildung 18: Parametrisierungsversuch Satz 1 zu Stangensellerie im Jahr 2017 (Quelle Foto HGU)

Tabelle 10: Kulturdaten des Parametrisierungsversuch Satz 1 zu Stangensellerie im Jahr 2017

| | |
|---------------|--|
| Sorte | 'Tango' (Bejo) |
| Pflanzung: | KW 15, 12.04.2017 29 cm x 30 cm = 10,95 Pfl. /m ² |
| Kulturfläche: | Bruttofläche: 930 m ² |
| Düngung: | Sollwert zur Pflanzung: 90 kg N/ha in 0-30 cm vor Pflanzung Sollwert Kopfdüngung: 230 kg N/ha in 0-60cm 3 Wochen nach Pflanzung |
| Ernte | 13.07.2017 |

Die Bewässerungsvorgänge während der Kulturdauer des ersten Satzes Stangensellerie werden in Abbildung 19 dargestellt. Insgesamt wurden im ersten Satz 250 mm bewässert. Bis zum Erreichen des marktfähigen Gewichts (500-800 g) zwischen 20.6. und 27.6.2017 (vgl. Tabelle 11) hätte der Stangensellerie des ersten Satzes 230 mm benötigt. Nach der Pflanzung wurden häufig kleine Bewässerungsmengen angefordert. Der Monat Mai war sehr Niederschlagsreich was sich in den geringen Zusatzwassergaben widerspiegelt. Ab Ende Mai und Juni war ein hoher Bewässerungsbedarf zu verzeichnen.

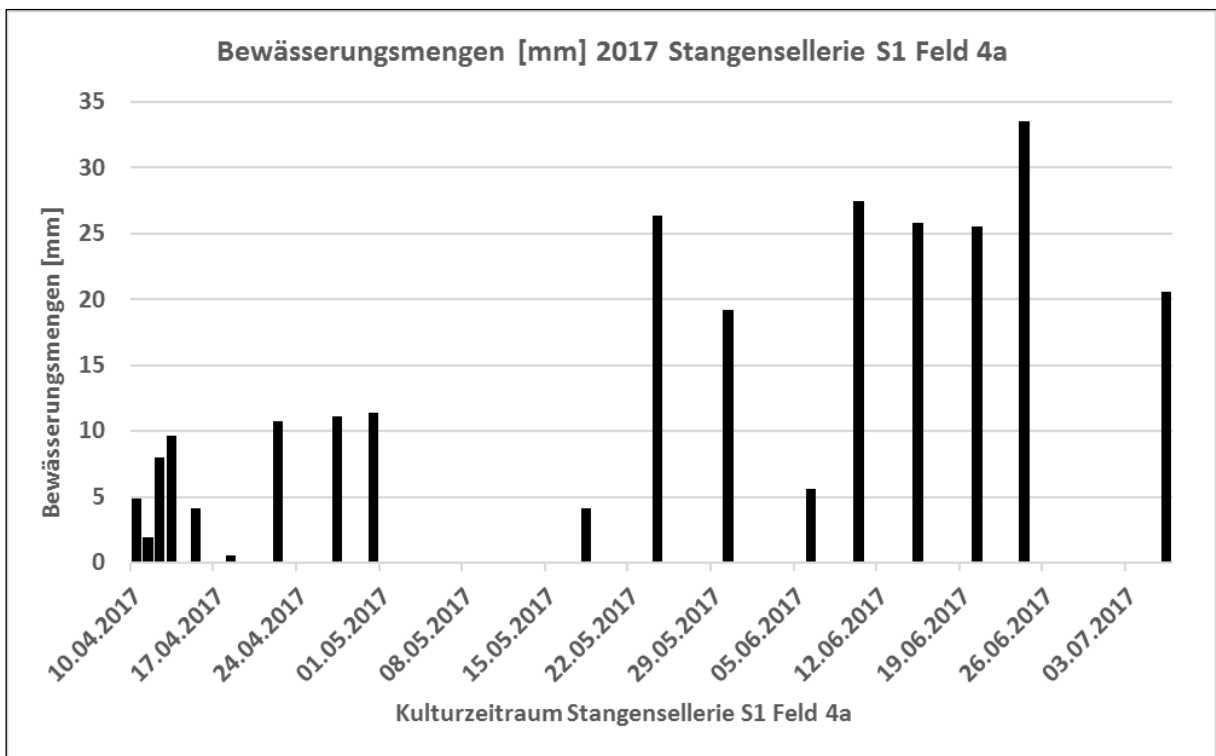


Abbildung 19: Bewässerungsvorgänge und -mengen [mm] für den ersten Satz des Parametrisierungsversuch zu Stangensellerie im Jahr 2017

Abgesenkte Saugspannungswerte in 20 und 40 cm Tiefe ab Anfang Juni spiegeln den steigenden Wasserbedarf des Stangenselleriees wider. Dass die Saugspannungswerte in 60 cm Tiefe nicht wesentlich stärker als -200 hPa abgesenkt waren, deuten auf ausreichende Wasserversorgung hin (Abbildung 20).

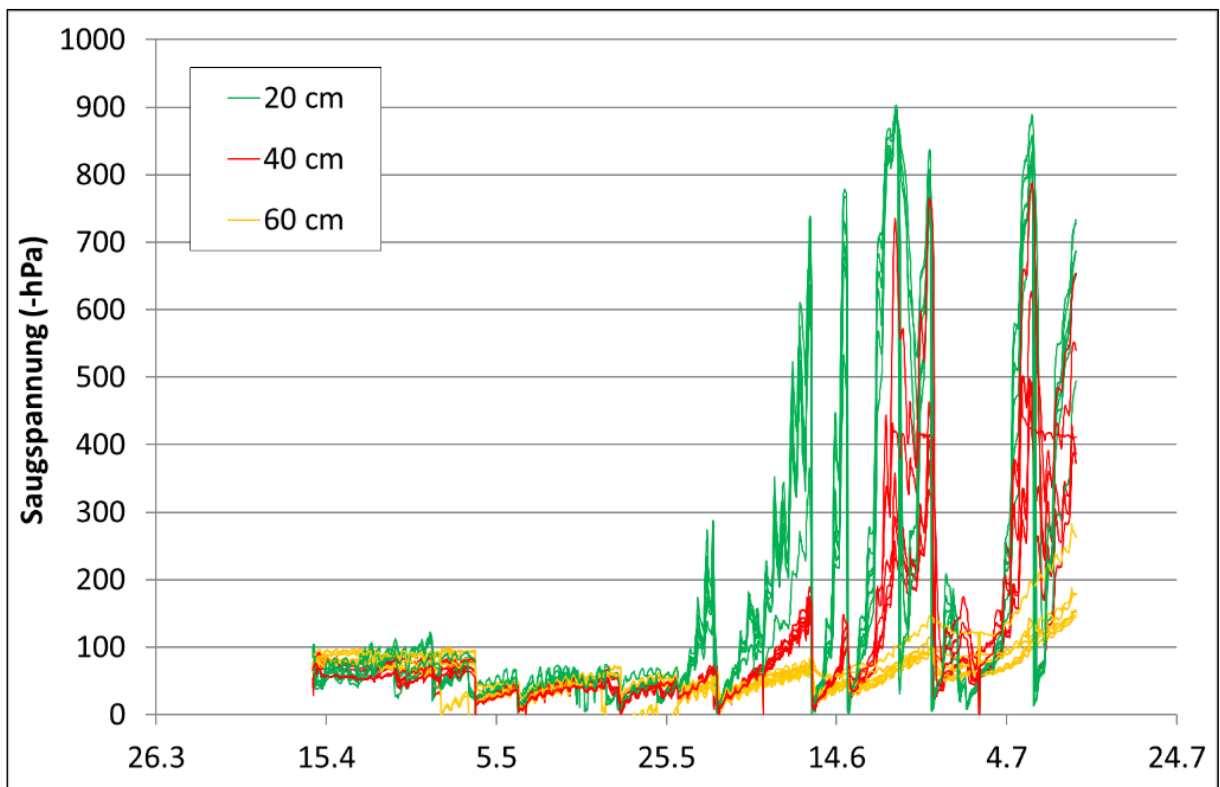


Abbildung 20: Saugspannungswerte in 20, 40 und 60 cm Bodentiefe während des ersten Satzes des Parametrisierungsversuchs zu Stangensellerie im Jahr 2017

Die zeitliche Entwicklung der Frisch- und Trockenmasse sowie der Anzahl Stiele zeigt Tabelle 11. Die Daten verdeutlichen, dass Stangensellerie auch nach Erreichen des erntefähigen Gewichts sein Wachstum nicht vermindert, weil fortlaufend neue Seitentriebe gebildet werden. Ein Plateau in der Wachstumsfunktion wurde deshalb nicht erreicht.

Tabelle 11: Frisch- und Trockenmasse in g/Pflanze und Anzahl Stiele in St/Pflanze von Stangensellerie des ersten Satzes des Parametrisierungsversuchs im Jahr 2017

| Datum | Frischmasse (g/Pflanze) | Trockenmasse (g/Pflanze) | Stiele (St/Pflanze) |
|------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|
| 25.07.2017 | 16,2 | 1,9 | 6,4 |
| 02.08.2017 | 32,4 | 4,1 | 7,2 |
| 09.08.2017 | 65,1 | 7,8 | 11,5 |
| 16.08.2017 | 131,3 | 11,6 | 13,6 |
| 23.08.2017 | 276,0 | 25,6 | 17,2 |
| 30.08.2017 | 510,4 | 38,5 | 18,6 |
| 06.09.2017 | 699,4 | 46,9 | 19,5 |
| 13.09.2017 | 930,6 | 63,2 | 21,4 |
| 20.09.2017 | 1174,0 | 76,4 | 21,3 |
| 27.09.2017 | 1308,6 | 83,6 | 22,1 |

2.4.2.2 Stangensellerie Satz 2 2017

Zur Bestimmung der Pflanzenentwicklung erfolgte der dritte Parametrisierungsversuch mit Stangensellerie im Jahr 2017. Die Kulturdaten sind der Tabelle 12 zu entnehmen.

Tabelle 12: Kulturdaten des zweiten Satzes des Parametrisierungsversuchs zu Stangensellerie im Jahr 2017

| | |
|---------------|--|
| Sorte | 'Tango' (Bejo) |
| Pflanzung: | KW 15, 06.07.2017 29 cm x 30 cm = 10,95 Pfl. /m ² |
| Kulturfläche: | Bruttofläche: 1.038 m ² |
| Düngung: | Sollwert zur Pflanzung: 90 kg N/ha 0-30 vor Pflanzung Sollwert Kopfdüngung: 230 kg N/ha 0-60 drei Wochen nach Pflanzung |
| Ernte | 27.09.2017 |

Die Bewässerungsvorgänge während der Kulturdauer des Stangenselleries Satz 2 werden in Abbildung 21 dargestellt. Der Anbausatz 2 benötigte weniger Zusatzwasser im Vergleich zu wie Satz 1, natürliche Niederschläge glichen das Defizit aus. Insgesamt wurden in Satz 2 140 mm beregnet. Das erntefähige Gewicht erreichte der Sellerie im Satz 2 um den 6.9.2017 (vgl. Tabelle 13). Bis zur Erntereife wurde 68 mm beregnet.

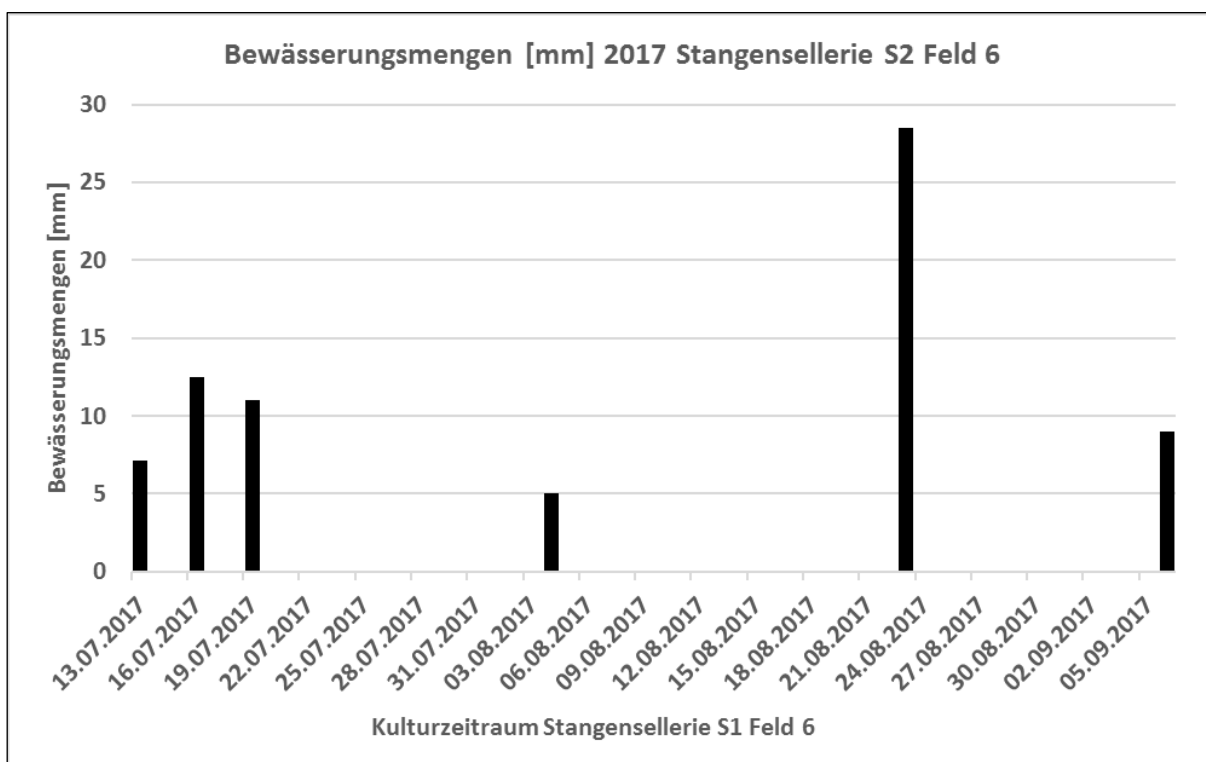


Abbildung 21: Bewässerungsvorgänge und -mengen [mm] für den zweiten Satzes des Parametrisierungsversuchs zu Stangensellerie im Jahr 2017

Abgesenkte Saugspannungswerte in 20 cm Tiefe ab Mitte August Juni spiegeln den steigenden Wasserbedarf des Stangenselleries wider. Dass die Saugspannungswerte in 60 cm Tiefe nicht wesentlich stärker als -200 hPa abgesenkt waren, deuten auf ausreichende Wasserversorgung des Stangenselleries hin (Abbildung 22).

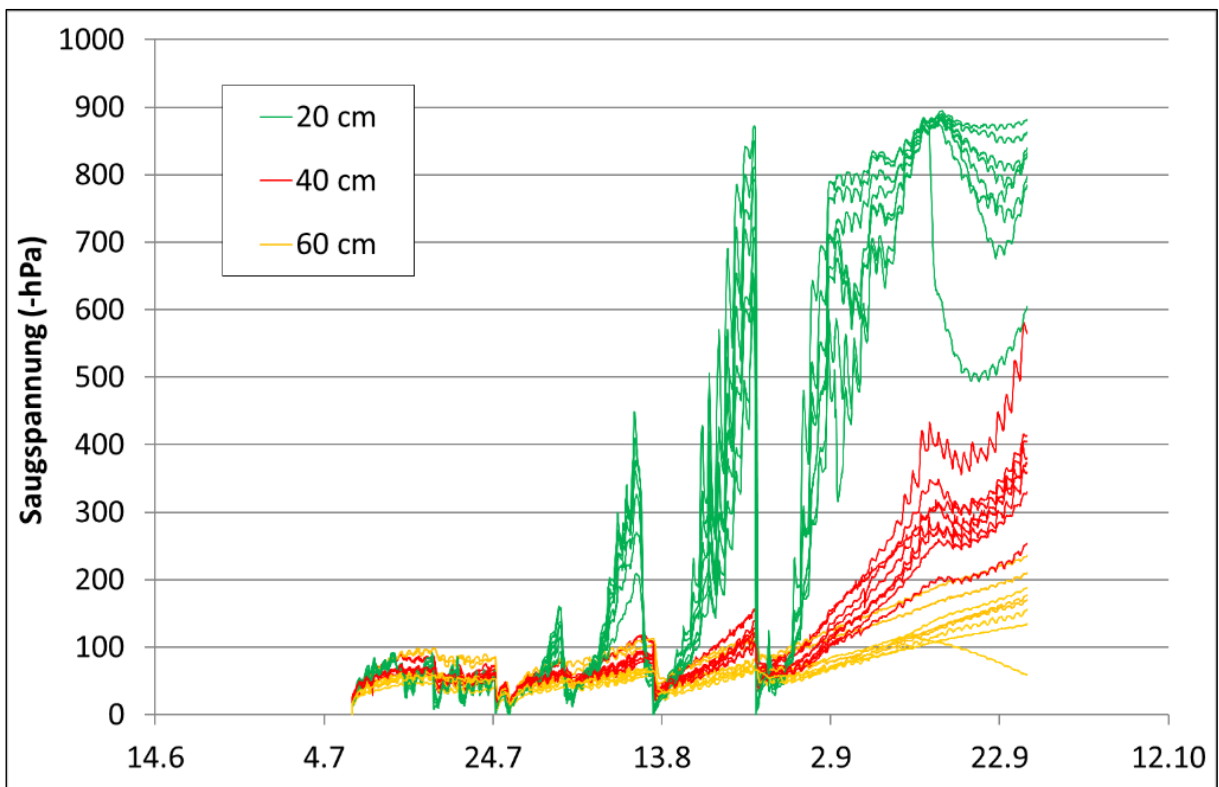


Abbildung 22: Saugspannungswerte in 20, 40 und 60 cm Bodentiefe während des zweiten Satzes des Parametrisierungsversuchs zu Stangensellerie im Jahr 2017

Tabelle 13 stellt die zeitliche Entwicklung von Frisch- und Trockenmasse sowie der Anzahl Stiele dar.

Tabelle 13: Frisch- und Trockenmasse in g/Pflanze und Anzahl Stiele in St/Pflanze von Stangensellerie des zweiten Satzes des Parametrisierungsversuchs im Jahr 2017

| Datum | Frischmasse (g/Pflanze) | Trockenmasse (g/Pflanze) | Stiele (St/Pflanze) |
|---------|-------------------------|--------------------------|---------------------|
| 25.7.17 | 16,2 | 1,9 | 6,4 |
| 2.8.17 | 32,4 | 4,1 | 7,2 |
| 9.8.17 | 65,1 | 7,8 | 11,5 |
| 16.8.17 | 131,3 | 11,6 | 13,6 |
| 23.8.17 | 276,0 | 25,6 | 17,2 |
| 30.8.17 | 510,4 | 38,5 | 18,6 |
| 6.9.17 | 699,4 | 46,9 | 19,5 |
| 13.9.17 | 930,6 | 63,2 | 21,4 |
| 20.9.17 | 1174,0 | 76,4 | 21,3 |
| 27.9.17 | 1308,6 | 83,6 | 22,1 |

Aus den erhobenen Daten der Jahre 2016 und 2017, insbesondere aus den Frischmasse, konnte unter Berücksichtigung der Temperatursumme der jeweiligen Kulturzeiträume über einer Basistemperatur von 0 °C eine Wachstumsfunktion errechnet werden (Abbildung 23). Diese bildet die Grundlage für das Temperatursummenmodell des Stangenselleriees. Der erste lineare Funktionsabschnitt ohne Steigung spiegelt nicht den zunehmenden Wasserbedarf zu Beginn der Kultur wider. Der zweite, exponentielle Kurvenabschnitt verdeutlicht zwar den mit zunehmender Biomasse steigenden Wasserbedarf, setzt aber viel zu spät ein. Das Fehlen eines dritten

Funktionsabschnitts in Form einer Sättigungskurve bedeutet, dass das Niveau von $k_{c_{max}}$ nicht erreicht wird. Die ermittelte Wachstumskurve weist bis ca. 500 °Cd nur eine geringe Steigung auf (Abbildung 23). Dies führte dazu, dass der Wasserverbrauch zu lange mit dem minimalen k_c -Wert kalkuliert und der Wasserbedarf von Stangensellerie dadurch deutlich unterschätzt wird. Im Weiteren zeigt die Wachstumskurve des Stangensellerie stark exponentiellen Verlauf, eine Sättigung wird nie erreicht. Deshalb wird auch der maximale k_c -Wert nicht in der Kalkulation wirksam. Auch dieser Effekt begrenzt den kalkulierten Wasserbedarf.

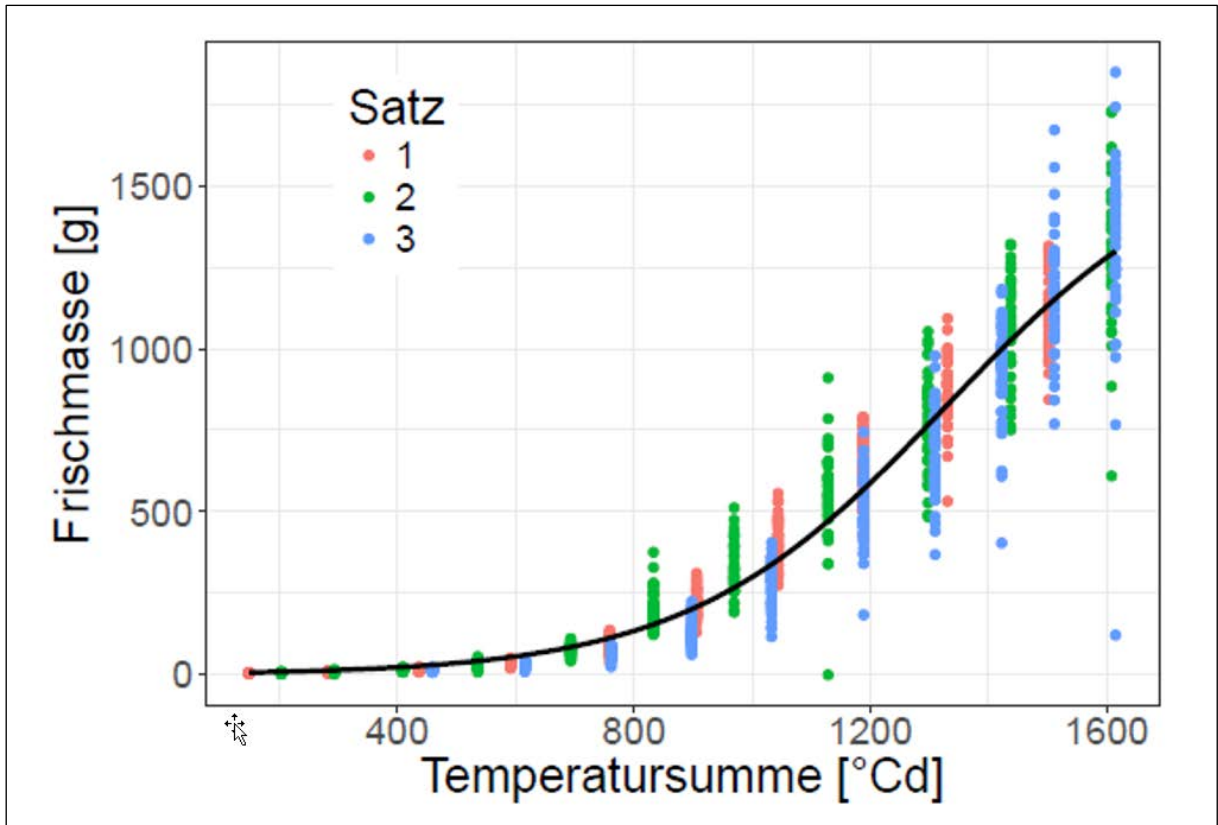


Abbildung 23: Frischmasseentwicklung (g/Pflanze) von Stangensellerie in Abhängigkeit der Temperatursumme[°Cd] der Jahr 2016 bis 2017

2.4.2.3 Zwiebel 2017

Das aus dem Parametrisierungsversuchen erstellte k_c -Temperatursummen-Modell für Zwiebel wurde im Jahr 2017 evaluiert. In der Abbildung 25 rechts sind die differenziert bewässerten Parzellen des Evaluierungsversuchs zu erkennen. Zum Zeitpunkt der Aufnahme waren gerade die Parzellen des k_c -Temperatursummenmodells bewässert worden.



Abbildung 24: Satz zwei des Parametrisierungsversuchs zu Stangensellerie (l) und Evaluierungsversuch zu Zwiebel (r) im Jahr 2017. Luftbildaufnahme mittels Drohne: Winfried Schönbach, Hochschule Geisenheim University

Der Versuch fand im Zeitraum zwischen dem 15.03.2017 und dem 21.08.2017 statt. Tabelle 14 zeigt die Versuchsbedingungen, Abbildung 25 stellt den Verlauf der Pflanzenentwicklung dar.

Tabelle 14: Kulturdaten des Evaluierungsversuchs zu Zwiebel im Jahr 2017

| | |
|--------------|---|
| Sorte | 'Summit' (Bejo) |
| Aussaat: | KW 11, 15.03.2017 25cm x 2,8cm = 143 auf 130 Pflanzen/m ² |
| Varianten | Bewässerung nach 1. GS-Stufenmodell 2. GS-Mobil-Temperatursummenmodell |
| Flächengröße | Parzellengröße: 100 m ² , vier Wiederholungen gesamt 900 m ² |
| Düngung: | Sollwert zur Saat: 40 kg N/ha in 0-30 cm Sollwert sechs Wochen nach Saat: 165 kg N/ha in 0-60 cm |
| Ernte | 21.08.2017 |

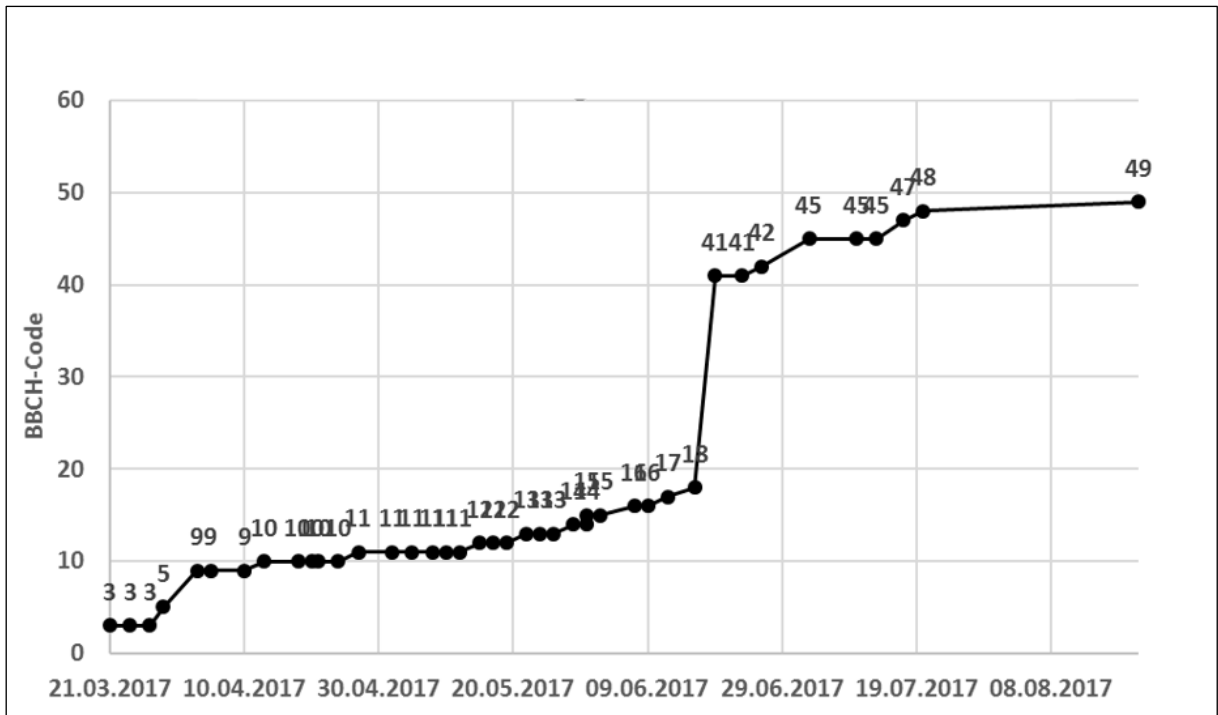


Abbildung 25: Zeitlicher Verlauf der Pflanzenentwicklung des Evaluierungsversuchs zu Zwiebel im Jahr 2017, dargestellt als BBCH-Code

Die Bewässerungsvorgänge während der Kulturdauer der Zwiebel werden in Abbildung 26 dargestellt. Mit dem GS-Stufenmodell ("GS alt") wurde insgesamt 288 mm bewässert. Mit dem GS-Mobil-Temperatursummenmodell ("GS mobil") wurden 290 mm bewässert. Die nahezu identische Bewässerungsmenge, wenn nach dem GS-Stufenmodell oder dem GS-Mobil-Temperatursummenmodell bewässert wurde, sowie die gleichartigen Verläufe der Saugspannung (Abbildung 27) unterstreichen, dass mit GS-Mobil-Temperatursummenmodell ein gleichwertiges Wasserangebot realisiert werden konnte wie bei Kalkulation mit dem GS-Stufenmodell.

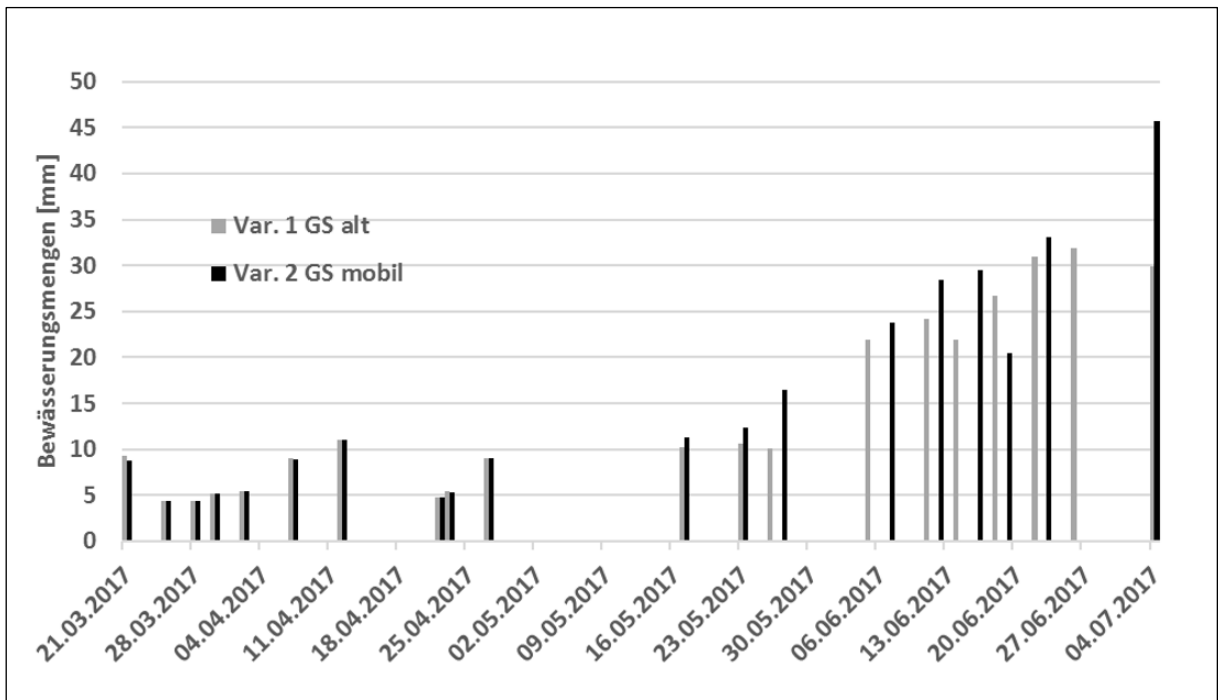


Abbildung 26: Bewässerungsvorgänge und -mengen [mm] für den Evaluierungsversuch zu Zwiebeln im Jahr 2017, wenn nach GS-Stufenmodell ("GS alt") oder nach GS-Mobil-Temperatursummenmodell ("GS mobil")bewässert wurde

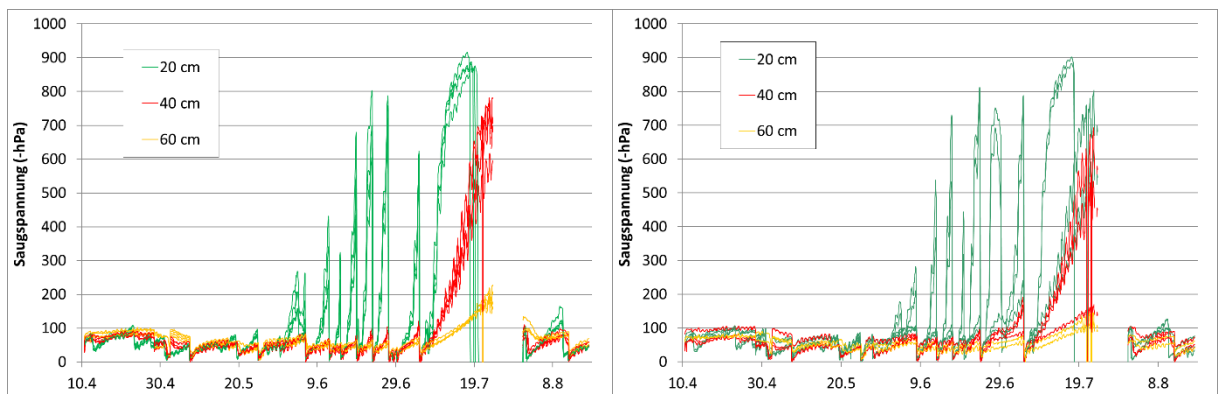


Abbildung 27: Saugspannungswerte in 20, 40 und 60 cm Bodentiefe während des Evaluierungsversuchs zu Zwiebeln im Jahr 2017, wenn nach GS-Stufenmodell (links) oder nach GS-Mobil-Temperatursummenmodell (rechts) bewässert wurde

Um die jeweiligen Bewässerungsvarianten miteinander vergleichen zu können, wurden zum Zeitpunkt der Ernte je Variante 40 Zwiebelpflanzen entnommen. Frisch- und Trockenmasse sowie die Zwiebeldurchmesser wurden bestimmt. Die Ergebnisse zeigt Abbildung 28. Ob nach GS-Stufenmodell oder nach GS-Mobil-Temperatursummenmodell bewässert wurde, hatte keinen Einfluss auf die Pflanzenentwicklung.

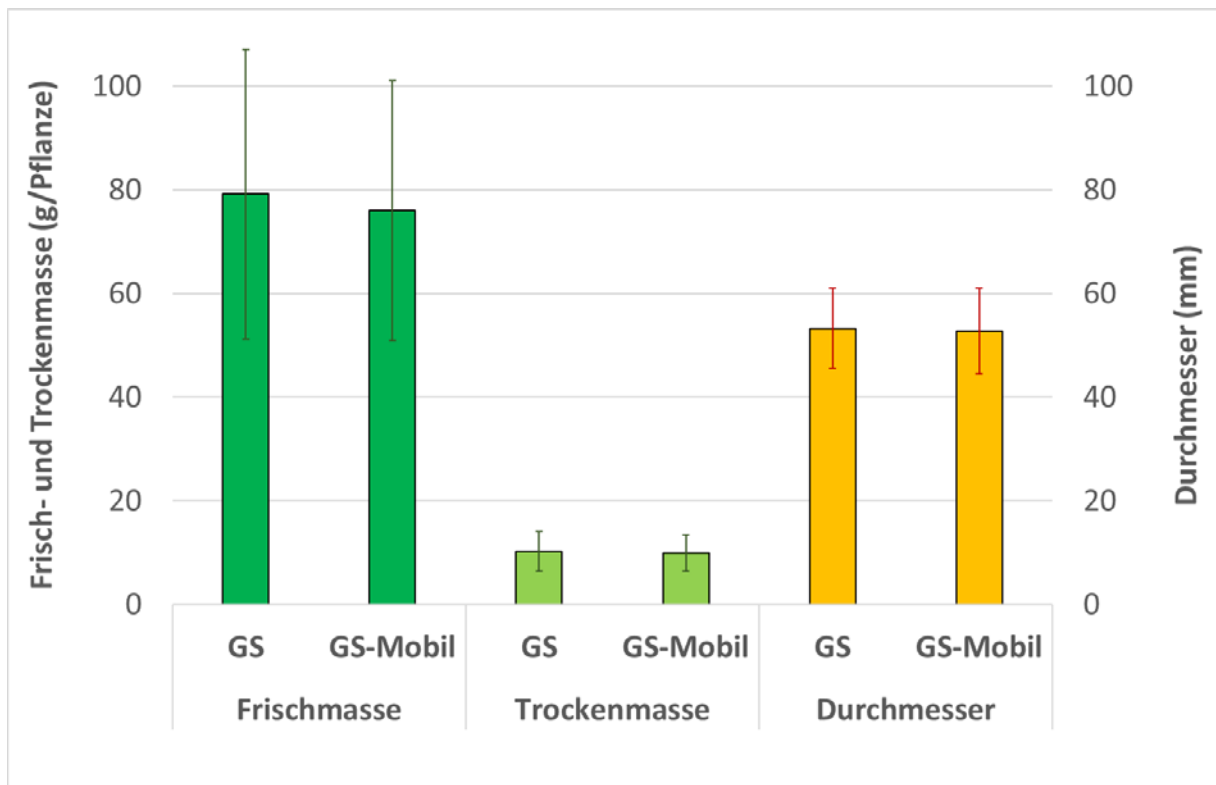


Abbildung 28: Frischmasse (FM), Trockenmasse (TM) und Durchmesser (DM) von Zwiebel 2017, wenn nach GS-Stufenmodell (GS) oder nach GS-Mobil-Temperatursummenmodell (GS-Mobil) bewässert wurde. Varianten sind nicht signifikant unterschiedlich (F-Test, $\alpha=0,05$)

2.4.3 Versuche und Ergebnisse 2018

2.4.3.1 Stangensellerie 2018

Auch die für Stangensellerie erstellte Wachstumsfunktion aus dem vorangegangenen Parametrisierungsversuchen ist im Jahr 2018 durch einen Evaluierungsversuch überprüft worden. Dazu wurde das Wasserangebot und die Pflanzenentwicklung verglichen, wenn die Bewässerung entweder nach dem GS-Stufenmodell (Tabelle 15) oder mit dem temperatursummenbasierten kc-Modell gesteuert wurde. Die Kulturdaten zeigt Tabelle 16.

Tabelle 15: Entwicklungsstadien von Stangensellerie

| | | | |
|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Stadium ab Pflanzung | 2. Stadium ab 6. Blatt | 3. Stadium ab 9. Blatt | 4. Stadium Bestandesschluss |
|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|

Tabelle 16: Kulturdaten des Evaluierungsversuchs zu Stangensellerie im Jahr 2018

| | |
|--------------|---|
| Sorte | 'Tango' (Bejo) |
| Pflanzung: | KW 24, 18.06.2018 29 cm x 30 cm = 10,95 Pfl. /m ² |
| Varianten | Bewässerung nach 1. GS-Stufenmodell 2. GS-Mobil-Temperatursummenmodell |
| Flächengröße | Parzellengröße: 100 m ² , vier Wiederholungen gesamt 900 m ² |
| Düngung: | Sollwert zur Pflanzung: 90 kg N/ha in 0-30 cm Sollwert Kopfdüngung: 230 kg N/ha in 0-60 cm, drei Wochen nach Pflanzung |
| Ernte | 14.08.2018 |

Abbildung 29 stellt die Pflanzenentwicklung anhand des BBCH-Codes dar

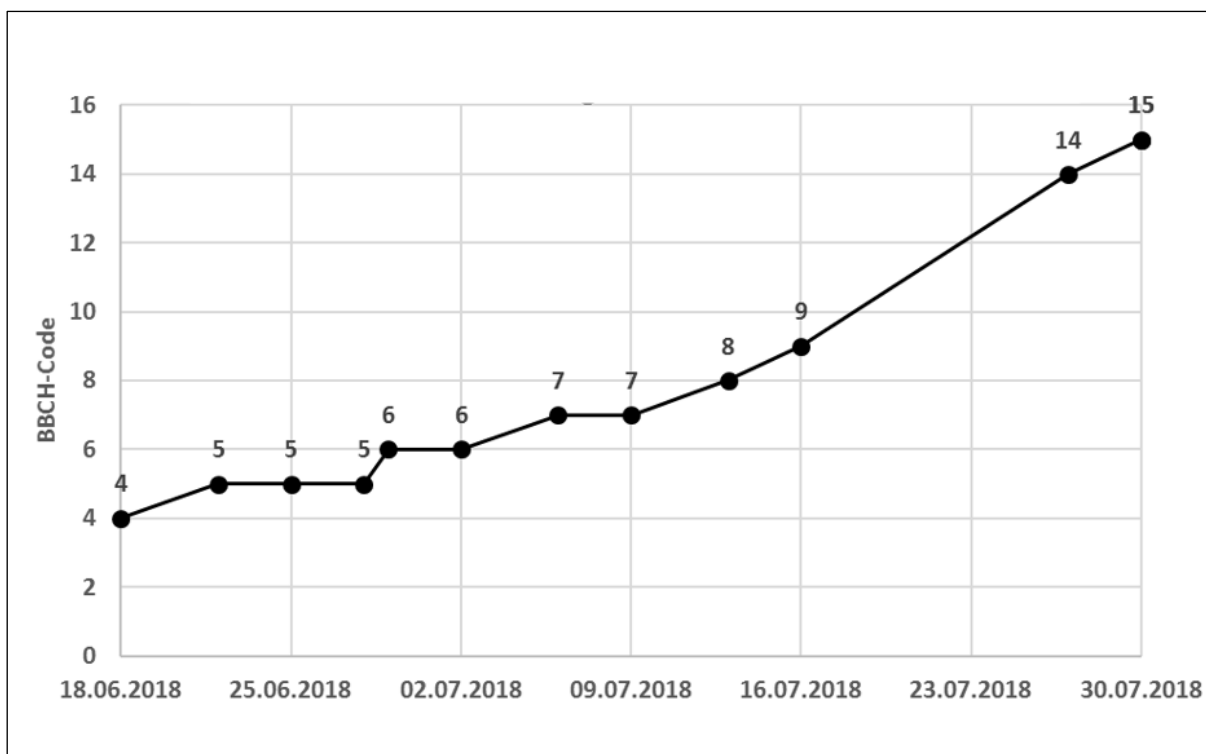


Abbildung 29: BBCH-Codes der Pflanzenentwicklung von Stangensellerie im Jahr 2018

Die Bewässerungsvorgänge während der Kulturdauer des Stangensellerie werden in Abbildung 30 dargestellt. Kalkuliert mit dem GS-Stufenmodell wurden 420 mm bewässert. Bei Kalkulation mit dem GS-Mobil-Temperatursummenmodell wurden jedoch nur 307 mm bewässert.

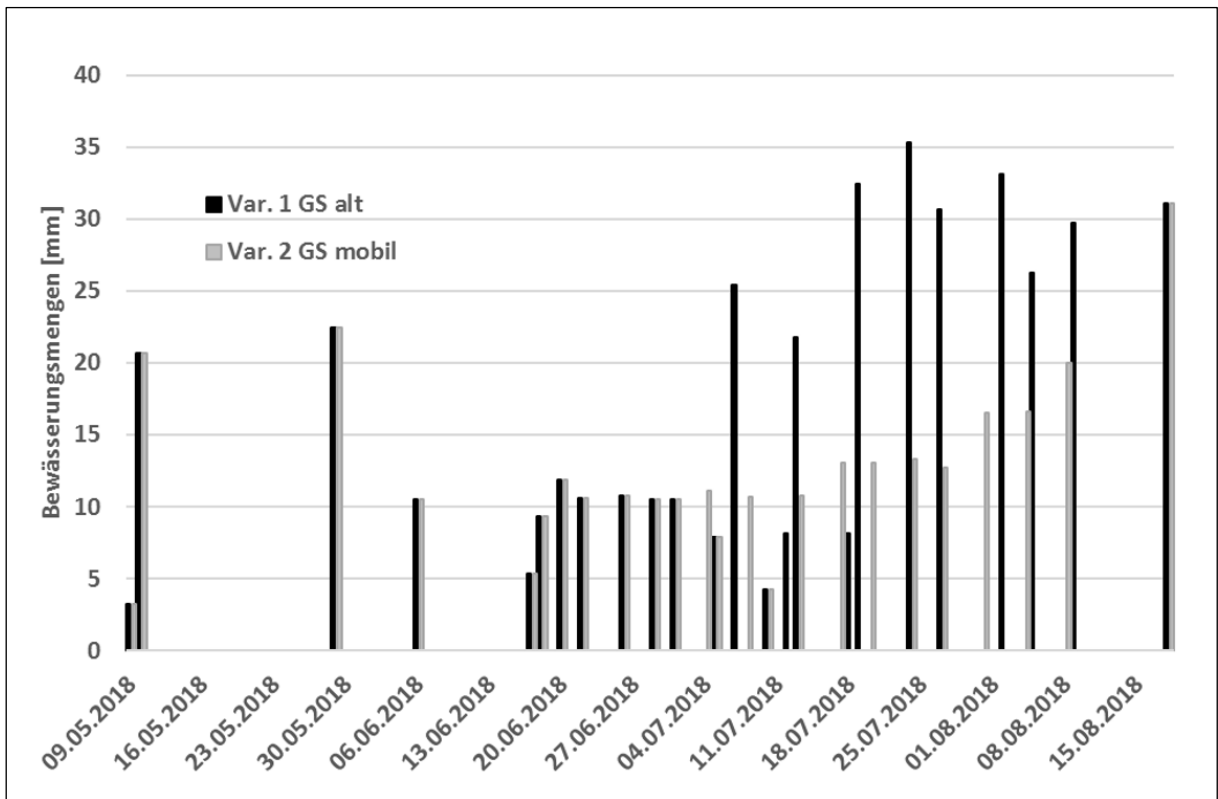


Abbildung 30: Bewässerungsvorgänge und -mengen [mm] für den Evaluierungsversuch zu Stangensellerie im Jahr 2018, wenn nach GS-Stufenmodell ("GS alt") oder nach GS-Mobil-Temperatursummenmodell ("GS mobil") bewässert wurde

Wurde nach dem GS-Stufenmodell bewässert, war lediglich die Saugspannung in 20 cm stark abgesenkt. Die Saugspannung in 40 und 60 cm Tiefe sank nicht unter -200 hPa und näherte sich nach jeder Bewässerung Null. Dies deutet daraufhin, dass mit dem GS-Stufenmodell reichlich bewässert wurde (Abbildung 31, rechts). Die starke Absenkung der Saugspannung in allen drei Tiefen bei Bewässerung nach dem GS-Mobil-Temperatursummenmodell verdeutlicht das erheblich zu niedrige Wasserangebot bei dieser Methode (Abbildung 31, links).

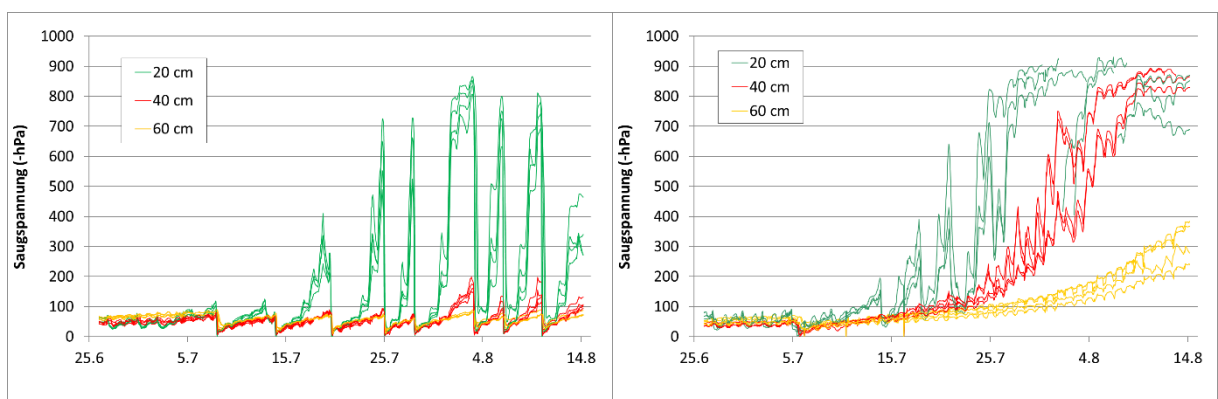


Abbildung 31: Saugspannungswerte in 20, 40 und 60 cm Bodentiefe während des Evaluierungsversuchs zu Stangensellerie im Jahr 2018, wenn nach GS-Stufenmodell (links) oder nach GS-Mobil-Temperatursummenmodell (rechts) bewässert wurde

Wenn nach kc-Temperatursummenmodell bewässert wurde, konnte kein marktfähiger Stangensellerie erzeugt werden (Abbildung 32).

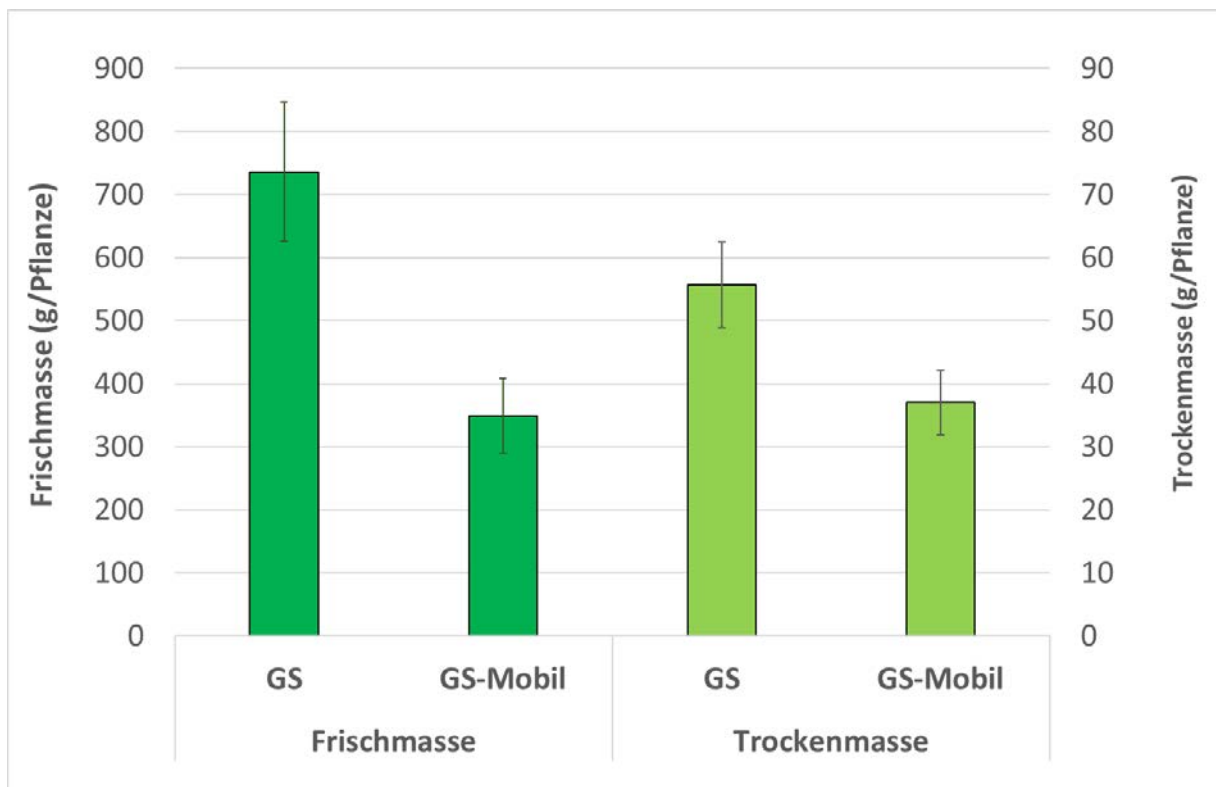


Abbildung 32: Frischmasse (FM) und Trockenmasse (TM) von Stangensellerie 2018, wenn nach GS-Stufenmodell (GS) oder nach GS-Mobil-Temperatursummenmodell (GSM) bewässert wurde.

2.5 Ergebnisse Arbeitspaket 2 „Weiterentwicklung der App“

Ziel des Arbeitspaketes 2 war das Testen der App durch die Praktiker. Ihre Erfahrungen und Anregungen sollten in die benutzerfreundliche Gestaltung der App einfließen.

2.5.1 Aktivitäten 2016

Am 16.08.2016 fand das OG-Treffen auf dem Betrieb Ohmer statt. Hier gab es einen regen Erfahrungsaustausch über die ersten Testwochen. Leider teilte uns Herr Ohmer mit, dass er nur kleine Teilflächen Salat anbaut und die App nicht testen konnte. Zu diesem Zeitpunkt stand schon fest, dass die nicht erfolgreich evaluierte Kultur Spinat durch Stangensellerie ersetzt wird. Es war klar, dass wir bis 2018 Daten für Stangensellerie erfassen müssen, um eine Wachstumsfunktion zu generieren. Stangensellerie ist Herrn Ohmers Hauptkultur, sodass wir schon hier leichte Änderungen vornehmen mussten und die Test und Evaluierungsphase bis 2018 ausdehnten. Damit wurde von einer Testphase der App auf dem Betrieb Ohmer für 2017 abgesehen. Um diese Lücke zu schließen, galt es weitere Praktiker suchen.

Bei diesem Gespräch wurden folgende Ansprüche und Wünsche an die App formuliert. Zum besseren Verständnis der Diskussion ist in Abbildung 33 bis Abbildung 36 die Benutzeroberfläche der App dargestellt.

Es wurde kritisiert, dass die empfohlenen Einzelwassergaben zu hoch seien. Es wurden teilweise 25 mm Einzelgabe empfohlen, was als viel zu hoch eingeschätzt wurde. Im Schnitt sei in der Praxis mit einer geringeren Einzelgabe drei bis vier Tage früher beregnet worden, als von der App empfohlen. Die Kultur Salat sei eine besondere Herausforderung für Bewässerungs-App, da hier auch - zusätzlich zum Wasserbedarf - eine Qualitätsberechnung üblich ist.

Der Datenabruf vom DWD dauert zulange und sollte automatisiert werden. Bei der Empfehlungs-Ampel sollte das Datum ersichtlich sein. Außerdem wäre es hilfreich, wenn auch in den grünen Feldern das aktuelle Defizit hinterlegt wäre oder ein drittes Farbfeld für Defizite eingefügt wird. Für den Praktiker wäre es hilfreich, wenn die Schläge nicht nur mit roten (Abbildung 33 mittleres Bild) und grünen Nadeln markiert sind, sondern in der Reihenfolge der erforderlichen Berechnungen sortiert wären. Bei den von DWD gelieferten Daten war zum damaligen Zeitpunkt nicht erkennbar, welche Niederschlagsmengen eingerechnet wurden. Daher war für den Praktiker ein Vergleich mit den Ist-Werten vor Ort nicht möglich.

Eine weitere Anforderung an den DWD war der Umgang mit Starkniederschlägen, ein Verfahren mit solchen Niederschlagsereignissen umzugehen, wurde diskutiert und Herr Jansen versprach, eine Lösung zum nächsten OG-Treffen vorzustellen. Herr Ewald erwartet von der App, dass sie nach dem Starten selbsttätig und sofort informiert über:

- Wieviel Wasserdefizit hat der Schlag?
- Auf welcher Fläche muss zuerst bewässert werden?
- Wird ausreichend bewässert? Dazu wäre ein ins System eingebundene Wassermengenerfassung vor Ort notwendig.
- Optimal wäre noch eine N-Düngungsempfehlung im System!

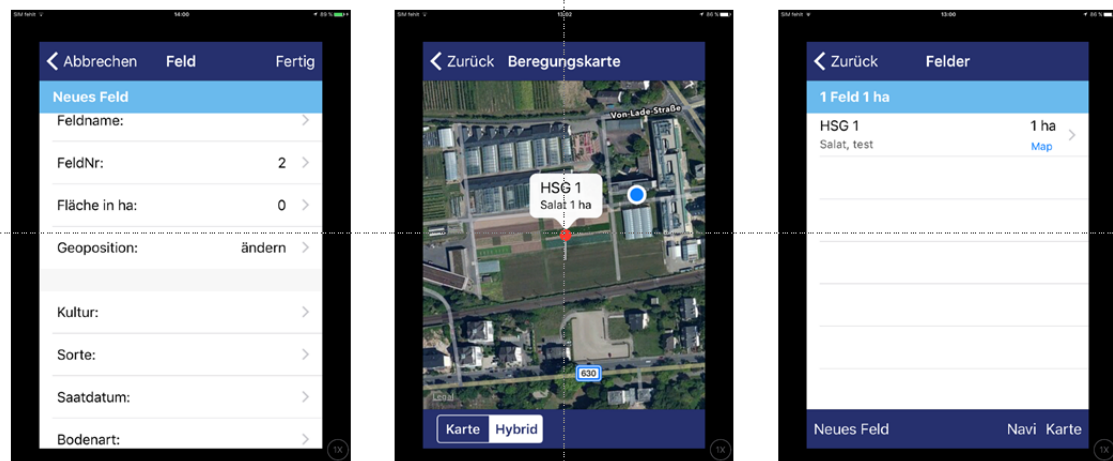


Abbildung 33: Anlegen eines Schlages in der Bewässerungs-App

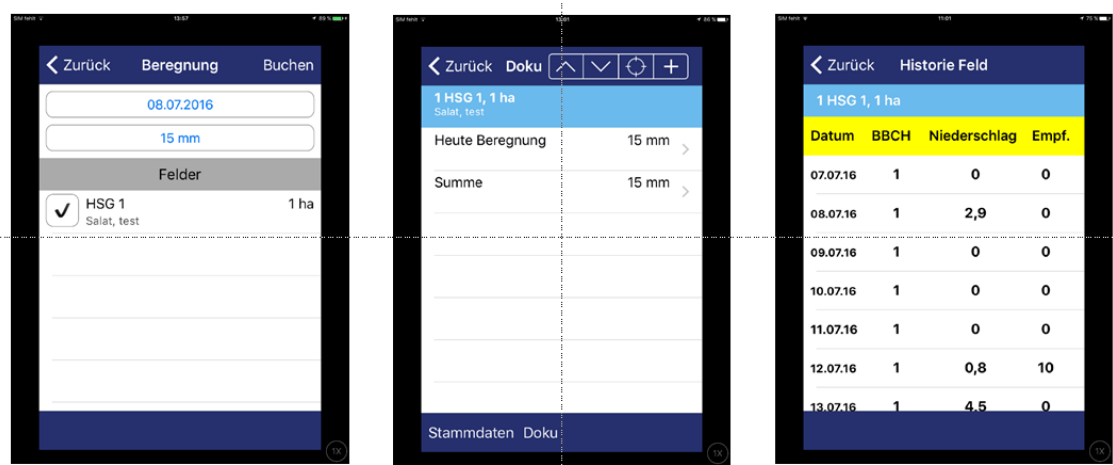


Abbildung 34: Eingabe erfolgte Bewässerung und Auslesen Historie

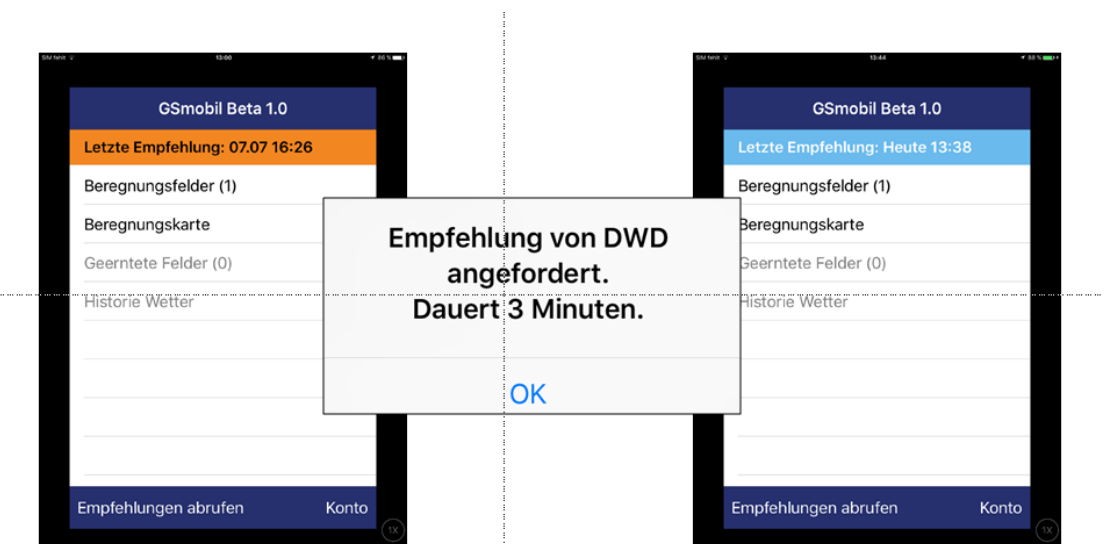


Abbildung 35: Aktualisierung Wetterdaten

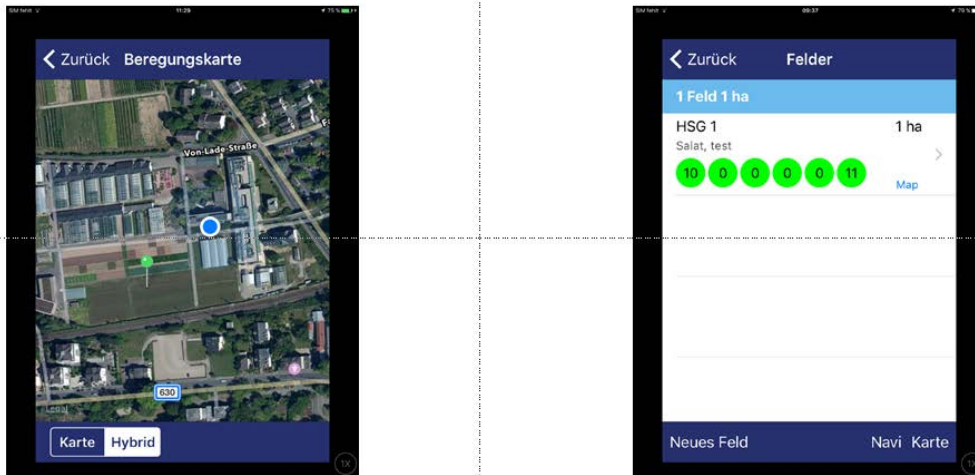


Abbildung 36: Oberfläche Berechnungsempfehlung

2.5.2 Aktivitäten 2017

Im Jahr 2017 wurde für den Betrieb Guthmann ein neues I-Pad mit Vertrag und App angemietet; Herr Schumacher war schon Kunde von Helm-Software und besitzt ein passendes Gerät. Herr Guthmanns Endgerät wurde im April 2017 ausgeliefert und stand für den Praxistest zur Verfügung. Nach einigen Wochen Praxistest und Rücksprachen mit Herrn Sandmann fielen Differenzen zwischen den Bewässerungsempfehlungen per App und den am Standort errechneten Bewässerungsmengen im Vergleich von GS-Mobil zu GS auf. Der Fehler lag in einer aus dem Salat übernommenen zu kleinen Einzelwassergabe und konnte behoben werden. Um dieses und weitere Missverständnisse auszuräumen, trafen sich am 1.8.2017 Herr Sandmann, Frau Artelt und Herr Olberz (Betreuer des Projekts GS-Mobil) beim DWD in Offenbach, um mit Herrn Janssen die Umsetzung der Skripte beim DWD zu klären (vgl. Protokoll im Anhang).

Eine der Hauptkulturen von Herrn Ohmers ist Stangensellerie. Aus diesem Grund nahm er im Jahr 2017 nicht am Testen der App teil. Vorgesehen war zu diesem Zeitpunkt, dass er im Jahr 2018 an der Kultur Stangensellerie im Praxistest ausprobiert.

Im Betrieb Tannenhof wurden im Erfahrungsaustausch Einschätzungen und Wünsche kommuniziert, die die erste Testphase ergaben. Herr Schumacher, Filderstadt, konnte wegen der Entfernung und aktuelle Arbeitsauslastung nicht persönlich erscheinen. Er gab zu seinem Test in der Kultur Salat ein telefonisches Feedback ab.

Herr Schumacher, persönlich verhindert, teilte telefonisch seine Einschätzung mit, dass die App für Salat grundsätzlich eine Unterstützung bei der Bewässerungsentscheidung darstellt, dennoch äußerte er folgende Kritikpunkte und Anregungen:

- Für seine betriebliche Bedingung sind die empfohlenen Einzelwassergaben zu niedrig. Er schlägt vor, dass der Nutzer die Höhe der Einzelwassergabe nach seinen betrieblichen Anforderungen selbst einstellen können soll.
- Es besteht die Notwendigkeit, die vom DWD bereitgestellten Niederschläge zu korrigieren.

- Als Benutzer einer Schlagkartei von Helm-Software wünscht er sich diese App als Zusatzmodul, damit er die Schläge nicht doppelt einpflegen muss.

Herr Ewald testet die App im zweiten Jahr in Salat. Die Anforderung der kleinen Wassergaben war auf seine Anregung hin wegen eingepflegt worden, weil in seinem Betrieb im Gegensatz zum Betrieb Schumacher eine Qualitätsberechnung bei Salat erforderlich ist. Nach seiner Einschätzung ist die App für Salat für seinen Betrieb nicht geeignet, seine Einschätzung zu Berechnungsmengen, um einen qualitativ guten Salat produzieren zu können, decken sich nicht mit den Empfehlungen der App. Er formuliert folgende Anforderungen an die App:

- Automatisches Update über Nacht. Bisher dauert es morgens bis zu einer halben Stunde und also zu lange, bis die Daten zur Verfügung stehen.
- Am Anfang der Kultur, etwa bis zum 10., 12. Kulturtag, waren die Bewässerungsempfehlungen zu niedrig. Weil die Pflanzen noch nicht richtig ausgewurzelt waren, bestand die Gefahr, dass die Erdpresstöpfe zu stark austrockneten. Ungefähr ab dem 32. Kulturtag ist nach seiner Erfahrung bei Temperaturen über 30°C und starker Windeinwirkung eine Qualitätsberechnung erforderlich, um ein Austrocknen der Blattränder zu verhindern. Das Erfordernis für eine Qualitätsberechnung berücksichtigt die App nicht. Nach seiner Einschätzung ist Salat zu empfindlich, um die Bewässerungsentscheidung nach den Empfehlungen der App vorzunehmen.
- Die Notwendigkeit wird unterstrichen, vom DWD bereit gestellte Niederschlagsmengen mit Vorort-Werten korrigieren zu können. Deine händische Niederschlagskorrektur wird als zu aufwändig betrachtet. Vielmehr sollte die Niederschlagserfassung vor Ort mittels betriebseigenen Regenmesser automatisierbar sein

Herr Guthmann testete 2017 die App im Zwiebelanbau und zog insgesamt ein positives Resümee, obwohl auch für seine betrieblichen Bedingungen die sehr niedrigen Einzelwassergaben ungeeignet waren. Er fand die App für die Zwiebel wichtig und sinnvoll, weil ein Wassermangel bei Zwiebel im Gegensatz zu Salat oder Rüben optisch nicht zu erkennen ist. Folgende Anforderungen an die App sieht Herr Guthmann:

- Automatisches Update über Nacht ist notwendig. Der bisherige Datenabruf dauert zu lange.
- Die Notwendigkeit einer automatisierten Niederschlagserfassung vor Ort wird betont.
- Die Anzeige des BBCH Codes in der Tabelle Wetterhistorie ist irritierend, da es sich hierbei um Trockenmasseentwicklung handelt
- Die App spricht auch noch Bewässerungsempfehlungen aus, wenn der Schlottenknick der Zwiebel eintritt. Ab beginnendem Schlottenknick sollte für eine gute Abreife nicht mehr bewässert werden.

Aufgaben und Ziele, die sich aus Diskussion ergaben

Die App nicht immer selbsterklärend ist. Ein Manual ist zu erstellen.

Helm-Software schätzt die Bedeutung der Kultur Zwiebel für Ihren Kundenkreis hoch ein und könnte sich dort eine Vermarktungsmöglichkeit vorstellen.

Herr Helm sollte bis Januar 2018 das nächtliche Datenupdate und Niederschlagskorrektur in die App einbauen. Es wurde außerdem angeregt, speziell bei Zwiebel, einen Hinweis auf Schlottenknick/abgestorbenes Laub und damit verbundene Möglichkeit zum Bewässerungsstopp zu integrieren.

Herr Jansen vom DWD informierte darüber, dass das Netz der Wetterstationen sich vergrößert, da im nächsten Jahr 600 Stationen des DLR mit eingebunden werden. Somit wird die Chance auf Standortnahes Wetter erhöht. Problematisch bleibt nach wie vor die Berücksichtigung der Niederschläge, die regional sehr unterschiedlich ausfallen.

Daraufhin brachte die Hochschule Geisenheim die Änderungswünsche zu Papier und sendete diese am 27.10.2017 an Helm Software (siehe Anhang).

Das sechste OG-Treffen fand bereits im Dezember statt. Ein Termin im Frühjahr 2018 erschien zu spät im Anbetracht der Tatsache, dass die dritte Kultur Stangensellerie noch zu testen und zu evaluieren ist.

Im Jahr 2017 wurde die App in drei Betrieben getestet. Die Hinweise und Kritiken führten zu wichtigen Änderungen im Empfehlungsskript des DWD. Die Firma Helm-Software nahm Kritikpunkte und Hinweise der Praktiker zum Anlass die App bis Frühjahr 2018 zu überarbeiten. Dabei wurden wichtige Zusatzmodule wie Schnittstelle zu Regenmesser Firma Pessl vor Ort eingearbeitet. Für das letzte Projektjahr stand somit eine verbesserte und effizienter nutzbare App für den Praxistest zur Verfügung.

2.6 Ergebnisse Arbeitspaket 3 „Praxistest“

Für den Praxistest standen uns im letzten Projektjahr insgesamt drei Betriebe zur Verfügung. Der Betrieb Ohmer konnte sich aus betrieblichen und privaten Gründen nicht mehr am Praxistest im Jahr 2018 beteiligen. Der Betrieb Ewald mit seinen Ansprüchen für eine Qualitätsberechnung von Salat zeigte sich mit der App nicht zufrieden. Die nach seinen Erfahrungen ausgebrachten Wassermengen stimmten nicht mit den Bewässerungsempfehlungen der App überein. Herr Ewald erwartet, dass die App für länger stehende Kulturen sinnvoller sein könnte.

Die neue Version der App war am 26.4.2018 fertiggestellt und für die Betriebe im Mai verfügbar. Für die Frühjahrssätze Salat in den Betrieben Ewald und Schumacher war die App damit nicht mehr nutzbar. Für den Betrieb Gutmann waren die bereits seit Aussaat der Zwiebel ab März ausgebrachten Bewässerungsmengen in der App nachzupflegen. Danach ließ sich die App für die Zwiebelkultur einsetzen. Im Betrieb Schumacher war das Feedback durchaus positiv. Für die seine betrieblichen Bedingungen waren die Einzelwassergaben für Salat zu niedrig. Wenn er das Defizit jedoch auf einen höheren Wert auslaufen lies, ließen sich die entsprechenden Bewässerungsempfehlungen nutzen.

2.6.1 Fragebogen zum Praxistest der GS-Mobil-App

Die beteiligten Praktiker haben die Bedingungen für den Test sowie ihre Einschätzung der GS-Mobil-App in Antworten auf einen Fragebogen festgehalten (Tabelle 17 bis

Tabelle 19).

Tabelle 17: Antworten vom Betrieb Schumacher GmbH, Rüter Str. 10, 70794 Filderstadt

| | |
|--|---|
| Betriebsgröße | 75 ha |
| Kulturen | Kopfkohle, Salate |
| Bodenverhältnisse | Löss, 70 bis 90 Bodenpunkte |
| Welche Apps benutzen Sie schon in Ihren Betrieb? | Herakles, Heradoc, Farmface, WeatherPro, PSInfo Mobil, Bayer Agrar Wetter, Regen Radar |
| Was waren Ihre Beweggründe „GS-Mobil“ zu nutzen, bzw. nicht zu nutzen? | Entscheidungshilfe: Wo muss ich wieviel zuerst berechnen? |
| Welche Bewässerungstechnik kommt in Ihren Betrieb zum Einsatz? | Trommelregenmaschinen mit Auslegerstativ, Rohrberegnung |
| Wer koordiniert die Berechnung im Betrieb? | Betriebsleiter Klaus Schumacher |
| Wie hoch ist die Genauigkeit der ausgebrachten Bewässerungsmengen? | noch nicht ermittelt |
| Wie schätzen Sie die Notwendigkeit einer Bewässerungs-App in Ihren Betrieb ein? 1: unwichtig - 5: sehr wichtig. | 4 |
| Welche Vorteile hat Ihnen die Zusammenarbeit in der OG gebracht? | Ich habe mich gedanklich mehr mit dem Thema beschäftigt und suche weiter nach guten Lösungen. |
| Haben sie Wünsche für weitere Kulturen in der App? | Kohl |

Tabelle 18: Antworten vom Betrieb Ewald GbR, Birkenhof, 65468 Trebur

| | |
|--|--|
| Betriebsgröße | 93 ha |
| Kulturen | Salate, Kohlarten, Zucchini, Sellerie, Kürbis, Lauch, Karotten, Gurken, Tomaten und vieles mehr |
| Bodenverhältnisse | Sandiger Lehm |
| Welche Apps benutzen Sie schon in Ihren Betrieb? | Hortigate, Wetter-Apps, Pflanzenschutz-Apps |
| Was waren Ihre Beweggründe „GS-Mobil“ zu nutzen, bzw. nicht zu nutzen? | Pro: <ul style="list-style-type: none"> Kontrolle des Betriebes, der internen Berechnungszeit bzw. des internen Berechnungsmanagements Wasserbedarfsdarstellung/-vergleich in Abhängigkeit von Entwicklung, Temperatur, Niederschlag, usw. Kontra <ul style="list-style-type: none"> nicht praxisreife Technik mit zu hohem Betreuungsaufwand |
| Welche Bewässerungstechnik kommt in Ihren Betrieb zum Einsatz? | Tropfberegnung, Kreisregner, Großflächenregner |
| Wer koordiniert die Berechnung im Betrieb? | Betriebsleiter, Vorarbeiter des Berechnungsteams |
| Wie hoch ist die Genauigkeit der ausgebrachten Bewässerungsmengen? | mittel bis hoch |
| Wie schätzen Sie die Notwendigkeit einer Bewässerungs-App in Ihren Betrieb ein? 1: unwichtig - 5: sehr wichtig. | Für Kulturen mit einer Standzeit von mehr als 12-15 Wochen macht es Sinn, wenn der Betreuungsaufwand praxisfreundlicher wird. |
| Welche Vorteile hat Ihnen die Zusammenarbeit in der OG gebracht? | Interessanter Wissensaustausch was die Beregnung angeht. Eigenkontrolle des Berechnungsmanagements. Die Erkenntnis, dass die Digitalisierung doch Mehraufwand ist und eine hohe Fehlerquote aufweist. Wenn es funktioniert ist es zwar eine Arbeitshilfe, jedoch kein Selbstläufer. |
| Haben sie Wünsche für weitere Kulturen in der App? | Kulturen mit einer Standzeit von mehr als 12-15 Wochen, Lauch, Sellerie, Möhren, Kohl |

Tabelle 19: Antworten vom Betrieb Guthmann Söhne Gbr Tannenhof 47, 65474 Bischhofsheim

| | |
|--|--|
| Betriebsgröße | 150 ha |
| Kulturen | Kartoffeln, Zwiebel, Spargel, Erdbeeren, Zuckerrüben, Getreide |
| Bodenverhältnisse | S, sL, L, T |
| Welche Apps benutzen Sie schon in Ihren Betrieb? | zur Zeit nur Wetter-App und ähnliche |
| Was waren Ihre Beweggründe „GS-Mobil“ zu nutzen, bzw. nicht zu nutzen? | Nutzung und Entwicklung waren interessant, jedoch noch fehlerhaft |
| Welche Bewässerungstechnik kommt in Ihren Betrieb zum Einsatz? | Tropfbewässerung, Regnerverband 18 x 21 m, Großregner |
| Wer koordiniert die Berechnung im Betrieb? | Betriebsleiter |
| Wie hoch ist die Genauigkeit der ausgebrachten Bewässerungsmengen? | Tropfbewässerung hoch andere Systeme bis 50% Abweichung |
| Wie schätzen Sie die Notwendigkeit einer Bewässerungs-App in Ihren Betrieb ein? 1: unwichtig - 5: sehr wichtig. | Wichtig, Funktion allerdings noch nicht praxistauglich |
| Welche Vorteile hat Ihnen die Zusammenarbeit in der OG gebracht? | Gedankenaustausch, Austausch von Informationen mit anderen Beteiligten |
| Haben sie Wünsche für weitere Kulturen in der App? | - |

2.7 Resümee Projektablauf

2.7.1 Zielerreichung

Das Ziel, eine fertige, nutzbare App für die Bewässerungssteuerung für Salat- und Zwiebel zu generieren, ist gelungen. Die Qualitätsberechnung Salt war und kann nicht Aufgabe einer App sein, da diese Ansprüche sehr betriebsspezifisch sind. Für Spinat und Stangensellerie ist die App nicht zufriedenstellend einsatzfähig. Eine Modell-Bildung für Spinat scheiterte an der zu großen Einzelpflanzenvariabilität. Zukünftig gilt einerseits zu prüfen, ob die Pflanzenentwicklung von Spinat durch geeignete Anbaumaßnahmen vereinheitlicht werden kann. Andererseits könnten höhere Stichprobenumfänge und angepasste Beprobungsverfahren eine Modellverbesserung bewirken.

Für die Kultur Stangensellerie konnte ein kc-Temperatursummenmodell generiert werden. Es erwies sich allerdings als ungeeignet, den Bewässerungsbedarf von Stangensellerie abzubilden.

Ein Kernstück des Projektes war das Thema Zusammenarbeit. Erst durch die spezielle Zusammensetzung der OG, Praktiker, Programmierer, Deutscher Wetterdienst, Beratung Gemüsebau und Hochschule kam ein das Thema Bewässerung betreffend allumfassender Gedankenaustausch zu Stande. Für uns als Leadpartner und Vertreter der Wissenschaft war dieser ehrliche, offene und zielorientierte Gedankenaustausch wichtig. Eine wichtige Erkenntnis war, dass unsere hochgesteckten Ziele, nicht immer kongruent mit den Zielen der Praxis sind. Unser Anspruch den Praktiker eine Blackbox anzubieten und er übernimmt einfach unsere Empfehlungen ist nicht umsetzbar. Der Anbauer möchte seine jahrelangen Erfahrungen mit einbringen und somit wird er auch nur ein transparentes System nutzen an welchem er selbst Einfluss nehmen kann.

Eine erste wichtige Lehre für uns ist das die Berechnungsmenge nicht nur von Klima und Bodenart abhängt, sondern auch von sehr betriebsspezifischen Anforderungen wie Qualitätsansprüche und

Gewichtskaliber des Endprodukts. Der Handelspartner möchte am Ende meist bestimmte preislich bevorzugte Sortierungen von seinen Lieferanten.

Eine zweite wichtige Erkenntnis der Anbauer kann aus verschiedenen Gründen früher oder später Bewässern(zum Beispiel auf Grund der Verfügbarkeit des Beregnungsequipments). Ein Verbesserungswunsch ist die Schläge in einer Sortierung nach Bewässerungsbedarf anzuzeigen. Diese Priorisierung der Beregnungsmaßnahme wäre dann idealerweise mit einer automatischen Rückkopplung ausgebrachter Wassermengen gekoppelt. Nur so kann die im Betrieb vorhandene Beregnungstechnik optimal eingesetzt werden.

Zusammenfassend ist das Projektziel erreicht, eine anwenderfreundliche App zur Verfügung zu stellen. Für Salat und Zwiebel sind kc-Temperatursummenmodelle parametrisiert und evaluiert. Das Modell für Stangensellerie ist noch nicht zur Bewässerungssteuerung geeignet. Eine Weiterführung der Modellentwicklung für andere Gemüsekulturen zum Einsatz für die Bewässerungs-App wird als sinnvoll erachtet. Es wird empfohlen, dass das gartenbauliche Versuchswesen dieses Forschungsfeld aufgreift, um die Palette an Kulturen zur digitalen Bewässerungssteuerung zu erweitern

2.7.2 Innovationsgehalt

Aus dem Projekt ergaben sich für die Entwicklung von digitalen Entscheidungshilfesystemen, insbesondere zur Bewässerungssteuerung, wichtige neue Erkenntnisse. Die Ergebnisse aus der laufenden Zusammenarbeit eröffnen der Forschung und Entwicklung im Bereich der landwirtschaftlichen Software erfolgversprechende Ansätze durch das Aufzeigen von Anforderungen an die Entscheidungshilfesysteme durch potenzielle Anwender. Innovativ ist es, dass der Nutzer für seine Entscheidung nicht nur eine klare, einfache und deutliche Empfehlung - Stichwort Ampelsystem - erhält. Es zeigte sich in der OG, dass der Anwender seine individuellen, auf eigener Kompetenz beruhenden Entscheidungen im Algorithmus integriert haben möchte. Die Erfahrungen aus GS-Netz verdeutlichen die Bedeutung folgenden Punkts für die Akzeptanz von Entscheidungshilfesystemen: Zu jedem Zeitpunkt müssen alle Daten dokumentiert und einsehbar sein, die die Algorithmen als Entscheidungsgrundlage nutzen. Diese Erkenntnis sowie die Ergebnisse aus den Arbeitspaketen, flossen in die Weiterentwicklung einer Bewässerungs-App ein, welche zum gegenwärtigen Stand im deutschsprachigen Raum nicht existent war. Nach unserem Kenntnisstand gibt es keine App im Gartenbau, welche mit den Nutzern entwickelt und in den Markt implementiert wurde.

2.7.3 Abweichungen zwischen Projektplan und Ergebnis

Alle im Projekt veranschlagten Meilensteine wurden abgearbeitet. Bei dem Meilenstein Programmierung und Programmanpassung kam es im Frühjahr 2018 zu Verzögerungen. Einer der Praktiker nahm beim Praxistest nicht teil. Der Hoftag wurde nicht bei einen der Anbauer durchgeführt. Die App wurde vielmehr im Rahmen eines Bewässerungstages des LLH einem breiten Publikum vorgestellt.

2.7.4 Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP Zielen

Die OG GS-Netz beförderte einen besseren Austausch zwischen gemüsebaulicher Praxis, Forschung und Beratung im Bereich der Bewässerung und darüber hinaus. Die Zusammenarbeit der OG ermöglichte die Entstehung einer Innovation im Bereich der digitalen Entscheidungshilfe für den Freilandgemüsebau mit Übertragungspotenzial für die Landwirtschaft. Dem Anspruch von EIP Agri, Nutzungsmöglichkeiten der Innovation in der Praxis zu schaffen, wurde somit gerecht. Die Ergebnisse

der OG GS-Netz stehen unmittelbar der wichtigen Gemüseregion „Hessisches Ried“ zur Verfügung und stellen damit eine Maßnahme zur Entwicklung dem ländlichen Raum des Landes Hessen dar. Mit dem Ziel, die Bewässerungssteuerung effizienter zu gestalten, wird das sozioökonomischen und – ökologischen Ziel unterstützt, einen Beitrag zur nachhaltigen und produktiven Land- und Ernährungswirtschaft in Hessen zu leisten. Durch die praxisorientierte Weiterentwicklung und Marktimplementierung der GS-Mobil-App lässt sich der Anbauprozess in der Landwirtschaft optimieren, die Produktivität verbessern und somit eine nachhaltige Ressourcennutzung vereinfachen. Die Bewässerungssteuerung auf objektiver Grundlage von Verdunstungsmodellen liefert nicht zuletzt einen wichtigen Beitrag zur klimafreundlichen Landbewirtschaftung.

2.7.5 Nebenergebnisse

Ein im Projekt nicht angestrebter Zusatznutzen ist die Verknüpfung der App mit Regenmessern der Firma Pessl. So kann der Praktiker vor Ort einen Regenmesser aufstellen und der App zuordnen. Der Praktiker Herr Ewald ging mit seiner Idee sogar ein Stück weiter er stellte den Regenmesser im Bestand auf, um die Bewässerungsvorgänge zu erfassen. Aber letztendlich war für seinen Standort mit der App nicht zufrieden, er nutzt die Bewässerung auch als Qualitätsberechnung gegen das Randen bei Salat. Obwohl die Einzelwassergabe in der App angepasst wurde, konnte dieser Aspekte oft kleine Wassermengen damit Blattränder nicht verbrennen nicht zufriedenstellend erfüllt werden. Am anderen Standort Herr Schumacher waren genau diese angepassten kleinen Wassermengen verkehrt, er ließ die Wassermengen zwei bis drei Tage aufsummieren und kam damit gut zu Recht.

2.8 Verwertung und Nutzen der Ergebnisse

Alle an der Hochschule generierten Daten zu den Wachstumskurven und Kc-Kurven sind öffentlich zugänglich <https://www.hs-geisenheim.de/forschung/institute/gemuesebau/ueberblick-institut-fuer-gemuesebau/bewaesserung/geisenheimer-bewaesserungssteuerung/> . Die fertig entwickelte App der Firma Helm Software „GS-Mobil“ ist im Play Store und Apple App-Store angeboten. Natürlich sind für eine breite Nutzung noch Wachstumskurven weiterer Kulturen notwendig. Für Praktiker, die bereits Kunde der Firma Helm Software sind und eine entsprechende Firmen ID haben, ist die App kostenlos nutzbar.

Die Ergebnisse von GS-Netz werden dank der heterogenen Zusammensetzung der OG werden in alle Sparten des Gemüsebaus transportiert. Beispielsweise integrieren die Beratungsdienste des LLH und des DLR-Rheinpfalz diese Innovationen in ihre gemüsebauliche Beratung. Auf Erzeugerebene werden die Erkenntnisse mit der DSS-Anwendung unter Kollegen disseminiert. Insbesondere die beteiligten Praktiker, welche auch über das Projekt hinaus diese App in Kombination mit der Schlagkartei-Software des IT-Herstellers nutzen, werden konkrete Anwendungsbeispiele demonstrieren können. Es ist geplant, in einschlägigen Zeitschriften der gemüsebaulichen Praxis und über Vorträge auf Veranstaltungen für die gemüsebauliche Praxis die Ergebnisse zu veröffentlichen. So wird gegenwärtig ein Manuskript erstellt, um die Erkenntnisse aus der OG über einen Beitrag in einem deutschsprachigen Fachjournal der breiten Fachaudienz zu Verfügung zu stellen. Ein Interview zu GS-Netz wurde bereits mit „Landinform“ geführt. Die Veröffentlichung der Ergebnisse über Vorträge wird nachhaltig über die Hochschule Geisenheim, in Personen Dipl. Ing. Bettina Artelt und Prof. Dr. Jana Zinkernagel, gewährleistet. Denn der Forschungsschwerpunkt Bewässerungssteuerung ist wichtiger Auftrag der Professur für Gemüsebau. Die Hochschule Geisenheim wird zudem die gewonnenen Erkenntnisse in ihre weiterführende praxisorientierte Forschung und Lehre integrieren. Folgeprojekte im Kontext Digitalisierung der Bewässerungssteuerung sind in Planung.

2.8.1 Vortragsveranstaltungen zu GS-Netz

- 27.01.2016 Hessischer Gemüsebautag, Gernsheim
„Förderung von Innovation und Zusammenarbeit in der gemüsebaulichen Praxis in Hessen“
- 12.07.2016 Bildungsseminar Rauischholzhausen (LLH)
„Europäische Innovations Partnerschaft EIP „GS-NETZ““
- 20.04.2017 Besuch einer lettische Delegation des LLH, Geisenheim
„Europäische Innovations Partnerschaft EIP „GS-NETZ““
- 01.06.2017 Vorlesung für Gartenbaustudierende, Geisenheim
„Europäische Innovations Partnerschaft EIP „GS-NETZ““
- 20.07.2017 Zwiebel-Infotag, LLH Griesheim
„Europäische Innovations Partnerschaft EIP „GS-NETZ““
- 16.11.2017 Agritechnica, DLG Forum Pflanzenbau Live
„Digitales Entscheidungshilfe-System für Bewässerung im Freilandgemüsebau - GS-Mobil“
- 05.09.2018 Vernetzungsworkshop „Nachhaltige Bewässerung“, Suderburg
„Implementierung und Weiterentwicklung einer online -basierten Entscheidungshilfe zur effizienten Bewässerungssteuerung für und mit dem hessischen Freilandgemüsebau - GS-Netz“
- 25.09.2018 Bewässerungstag, LLH Griesheim
„Entscheidungshilfe zur Bewässerungssteuerung im Freilandgemüsebau - GS-Mobil“

2.8.2 Posterausstellungen und Demonstrationen der App


- 22.-23.11.2016 Bonn Bad Godesberg Workshop Operationelle Gruppen
Poster „GS-Netz“
- 23.01.2017 IPM 2017, Stand Hochschule Geisenheim University
Poster und App
- 14.09.2017 DLR Gemüsebautag 2017, Queckbrunnerhof, Schifferstadt
Poster und App
- 03.-05.03.2018 Weimar Workshop Operationelle Gruppen
Poster „GS-Netz“
- 04.-05.09.2018 Vernetzungsworkshop „Nachhaltige Bewässerung“ 2018, Suderburg
Poster und App
- 13.09.2018 DLR-Gemüsebautag 2018, Queckbrunnerhof, Schifferstadt
Poster und App

In Bearbeitung ist der Beitrag „Digitale Bewässerungssteuerung im Freilandgemüsebau“ in der Zeitschrift Landtechnik.

3 Anhang

3.1 Die Geisenheimer Steuerung - Kurzanleitung

Geisenheimer Bewässerungssteuerung 2018 - für FAO56-Grasverdunstung -




Die Geisenheimer Steuerung umfasst vier Schritte:

- 1. Bodenwasservorräte durch Vorwegberechnung auffüllen**
Ausgangspunkt ist ein durch Winterfeuchte, Niederschlag oder Beregnung auf ca. 90% nutzbarer Feldkapazität aufgefüllter Boden. Für die Kalkulation ergibt sich dadurch ein definierter Startwert.
- 2. Beregnungsmenge je Gabe festlegen**
Die Wassergabe muss so hoch sein, dass in jedem Stadium die durchwurzelte Bodentiefe durchfeuchtet wird. Anhaltswerte für die Beregnungsmenge je Gabe in Abhängigkeit von Wurzeltiefe und Entwicklungsstadium der Kultur:
Beispiel: Blumenkohl auf Sandboden

| Stadium 1 Bodenschicht 0-30 cm | Stadium 2 Bodenschicht 0-60 cm | Stadium 3 Bodenschicht 0-60 cm |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 10 mm | 20 mm | 30 mm |


- 3. Tagesbilanz berechnen: (Verdunstung_{FAO-GRAS} x kc) - Regen = Tagesbilanz**
Der **kc-Wert** richtet sich nach der Gemüseart und deren Entwicklungsstadium. Die **FAO-Grasverdunstung** wird z. B. mit einer eigenen Wetterstation ermittelt.

Stadium 1




ab Pflanzung **kc 0,7**

Stadium 2



ab 8. Blatt **kc 1,1**

Stadium 3



70 % des Pflanzendurchmessers **kc 1,6**

Beispiel: Blumenkohl Stadium 2:

| FAO-Grasverdunstung [mm] | kc | Regen [mm] | Tagesbilanz [mm] |
|--------------------------|----|------------|------------------|
| (4,2 x 1,1) | | - 2 | = 2,6 |

- 4. Gesamtbilanz berechnen**
Die Tagesbilanzen werden so lange aufsummiert bis die vorgegebenen Beregnungsmengen erreicht sind. Die jeweilige Beregnungsmenge wird von der Bilanzsumme abgezogen und die Bilanzierung fortgesetzt. Bei Niederschlägen, die größer als die Gesamtbilanz sind, wird diese auf Null gesetzt.
Bsp.: Blumenkohl Stadium 2 ab 26.7. Stadium 3


| Datum | FAO-Grasverdunstung [mm] | kc | Regen [mm] | Tagesbilanz [mm] | Beregnungsmenge [mm] | Gesamtbilanz [mm] |
|-------|--------------------------|-----|------------|------------------|----------------------|-------------------|
| 21.7. | 4,2 | 1,1 | - 2 | 2,6 | | 2,6 |
| 22.7. | 5,0 | 1,1 | | + 5,5 | | = 8,1 |
| 23.7. | 5,7 | 1,1 | | + 6,3 | | = 14,4 |
| 24.7. | 5,2 | 1,1 | | + 5,7 | | = 20,1 |
| 25.7. | 3,6 | 1,1 | | + 4,0 | - 20 | = 4,1 |
| 26.7. | 2,8 | 1,7 | | + 4,8 | | = 8,9 |
| 27.7. | 4,3 | 1,7 | - 35 | - 27,7 | | 0,0 |

FAO56-Grasverdunstung

Aktuelle kc-Werte für Gemüsekulturen finden Sie auf <https://www.hs-geisenheim.de/forschung/institute/gemuesebau/ueberblick-institut-fuer-gemuesebau/bewaesserung/geisenheimer-bewaesserungssteuerung/>

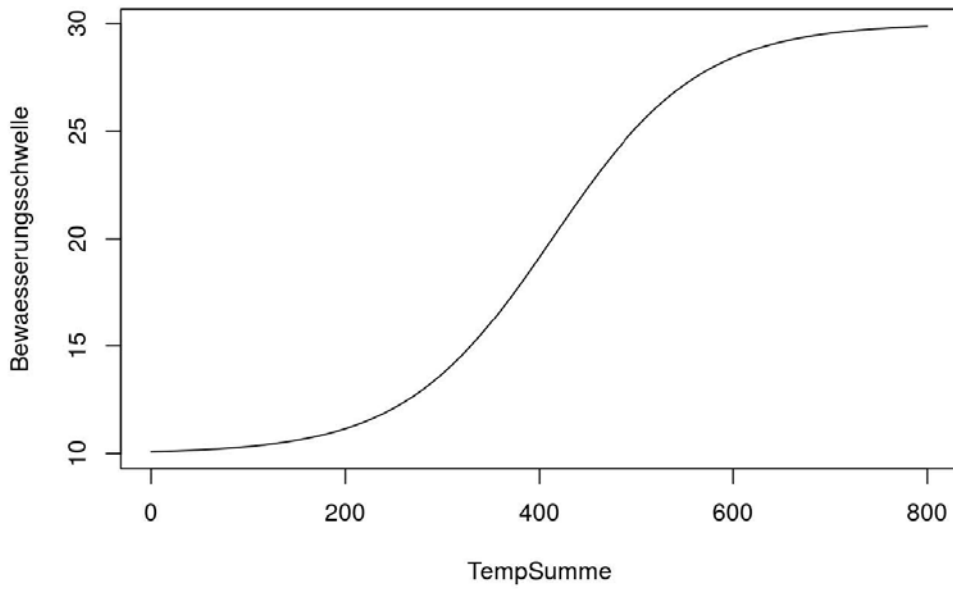
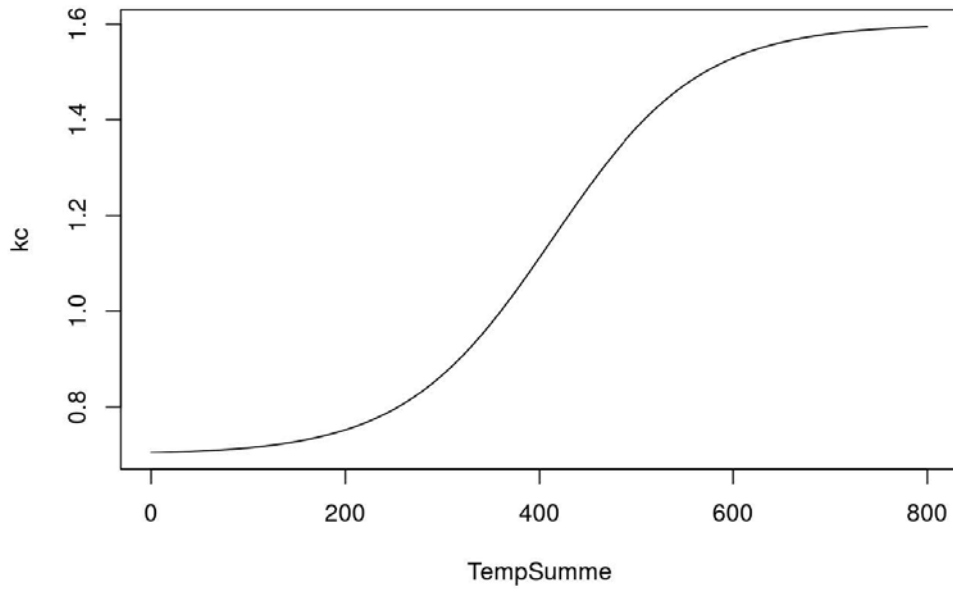
Hochschule Geisenheim – Institut für Gemüsebau, von-Lade-Straße 1, D- 65366 Geisenheim
Tel. +49 (0)6722 502 - 511 Fax - 510

Seite 1
01.08.2018



Die aktuelle Version und aktuell gültige kc-Werte für 23 Gemüsekulturen sind zu finden unter:

<https://www.hs-geisenheim.de/forschung/institute/gemuesebau/ueberblick-institut-fuer-gemuesebau/bewaesserung/geisenheimer-bewaesserungssteuerung/>



Temperatursummen-Funktion

Die Temperatursummen-Funktion orientiert sich an der klassischen Berechnung: Es geht ein Temperatur Tages Mittelwert ein (24h Mittel) sowie eine Basistemperatur. Der Tageswert kann nicht unter 0 sinken.

$$\text{Temperatursumme} = \sum_{\text{Start}}^{\text{Jetzt}} \max(\text{Temperatur}_{24h} - \text{Basistemperatur}, 0)$$

Da R Vektor-Berechnungen beherrscht sieht die Funktion wie folgt aus:

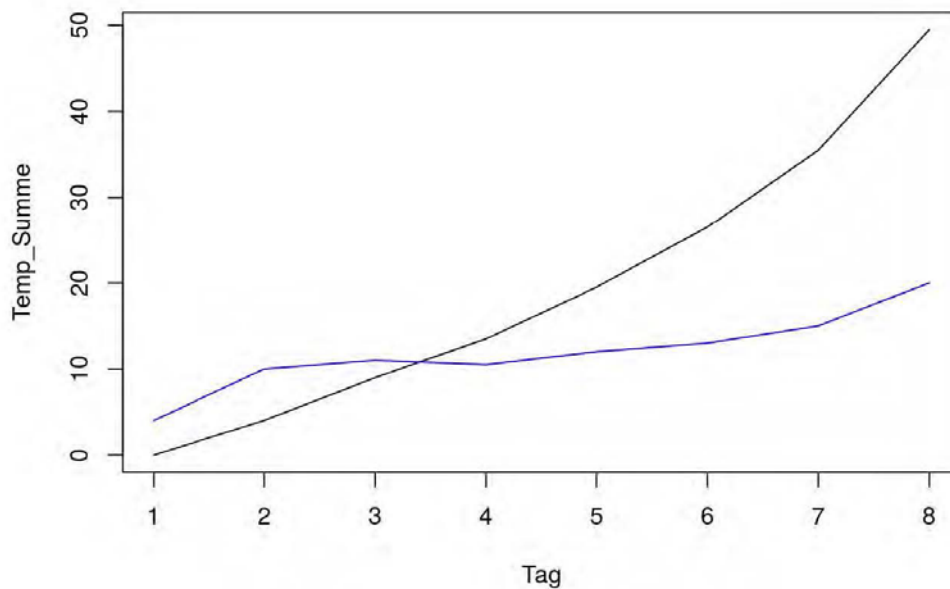
R-Funktion

```
Tempsummen_Funktion <- function(Temperaturmittelwert, Basistemperatur=6) {
  cumsum(pmax(Temperaturmittelwert-Basistemperatur, 0))
}
```

Rechenbeispiel

```
Temperatur <- c(4,10,11,10.5,12,13,15,20)
Temp_Summe <- Tempsummen_Funktion(Temperaturmittelwert = Temperatur)
print(Temp_Summe)
```

```
## [1] 0.0 4.0 9.0 13.5 19.5 26.5 35.5 49.5
```



4 Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Meilensteine des Projektes GS-Netz | 10 |
| Abbildung 2: kc-Werte für unterschiedliche Entwicklungsstadien von Sommerzwiebel für die Geisenheimer Steuerung | 12 |
| Abbildung 3: Schematische Darstellung des GS-Stufenmodells im Vergleich zur GS-Mobil-Temperatursummenfunktion am Beispiel von Sommerzwiebel | 13 |
| Abbildung 4: Computergesteuerter Gießwagen zur Bewässerung der Parametrisierungs- und Evaluierungsversuche am Standort Geisenheim, hier mit Stangensellerie (Quelle Foto HGU) | 16 |
| Abbildung 5: Bewässerungsvorgänge und -mengen [mm] für den Satz 1 des Parametrisierungsversuchs zu Spinat im Jahr 2016 | 17 |
| Abbildung 6: Saugspannungswerte in 20, 40 und 60 cm Bodentiefe während des Satzes 1 des Parametrisierungsversuchs zu Spinat im Jahr 2016 | 18 |
| Abbildung 7: Bewässerungsvorgänge und -mengen [mm] für den Satz 2 des Parametrisierungsversuchs zu Spinat im Jahr 2016 | 19 |
| Abbildung 8: Saugspannungswerte in 20, 40 und 60 cm Bodentiefe während des Satzes 2 des Parametrisierungsversuchs zu Spinat im Jahr 2016 | 20 |
| Abbildung 9: Starke Variabilität der Einzelpflanzen-Frischmassen von Spinat in Abhängigkeit der Temperatursumme verhindert, Parameter eines temperatursummen-basierten kc-Modells zu bilden. Daten aus vier Anbausätzen der Jahre 2015 und 2016 | 21 |
| Abbildung 10: Parametrisierungsversuch zu Stangensellerie im Jahr 2016 (Quelle Foto HGU) | 21 |
| Abbildung 11: Bewässerungsvorgänge und -mengen [mm] für den Parametrisierungsversuch zu Stangensellerie im Jahr 2016 | 22 |
| Abbildung 12: Saugspannungswerte in 20, 40 und 60 cm Bodentiefe während des Parametrisierungsversuchs zu Stangensellerie im Jahr 2016 | 23 |
| Abbildung 13: Parametrisierungsversuch zu Zwiebel im Jahr 2016 (Quelle Foto HGU) | 24 |
| Abbildung 14: Bewässerungsvorgänge und -mengen [mm] für den Parametrisierungsversuch zu Zwiebel im Jahr 2016 | 25 |
| Abbildung 15: Saugspannungswerte in 20, 40 und 60 cm Bodentiefe während des Parametrisierungsversuchs zu Zwiebel im Jahr 2016 | 26 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 16: Blattfläche in m ² /Pflanze von Zwiebel des Parametrisierungsversuchs im Jahr 2016 | 27 |
| Abbildung 17: Frischmasseentwicklung (g Laub/Pflanze) von Zwiebel in Abhängigkeit der Temperatursumme [°Cd]. Daten aus Versuchen der Jahr 2014 bis 2016 | 28 |
| Abbildung 18: Parametrisierungsversuch Satz 1 zu Stangensellerie im Jahr 2017 (Quelle Foto HGU) | 29 |
| Abbildung 19: Bewässerungsvorgänge und -mengen [mm] für den ersten Satz des Parametrisierungsversuch zu Stangensellerie im Jahr 2017 | 30 |
| Abbildung 20: Saugspannungswerte in 20, 40 und 60 cm Bodentiefe während des ersten Satzes des Parametrisierungsversuchs zu Stangensellerie im Jahr 2017 | 31 |
| Abbildung 21: Bewässerungsvorgänge und -mengen [mm] für den zweiten Satzes des Parametrisierungsversuchs zu Stangensellerie im Jahr 2017 | 32 |
| Abbildung 22: Saugspannungswerte in 20, 40 und 60 cm Bodentiefe während des zweiten Satzes des Parametrisierungsversuchs zu Stangensellerie im Jahr 2017 | 33 |
| Abbildung 23: Frischmasseentwicklung (g/Pflanze) von Stangensellerie in Abhängigkeit der Temperatursumme[°Cd] der Jahr 2016 bis 2017 | 34 |
| Abbildung 24: Satz zwei des Parametrisierungsversuchs zu Stangensellerie (l) und Evaluierungsversuch zu Zwiebel (r) im Jahr 2017. Luftbildaufnahme mittels Drohne: Winfried Schönbach, Hochschule Geisenheim University | 35 |
| Abbildung 25: Zeitlicher Verlauf der Pflanzenentwicklung des Evaluierungsversuchs zu Zwiebel im Jahr 2017, dargestellt als BBCH-Code | 36 |
| Abbildung 26: Bewässerungsvorgänge und -mengen [mm] für den Evaluierungsversuch zu Zwiebeln im Jahr 2017, wenn nach GS-Stufenmodell ("GS alt") oder nach GS-Mobil-Temperatursummenmodell ("GS mobil")bewässert wurde | 37 |
| Abbildung 27: Saugspannungswerte in 20, 40 und 60 cm Bodentiefe während des Evaluierungsversuchs zu Zwiebeln im Jahr 2017, wenn nach GS-Stufenmodell (links) oder nach GS-Mobil-Temperatursummenmodell (rechts) bewässert wurde | 37 |
| Abbildung 28: Frischmasse (FM), Trockenmasse (TM) und Durchmessers (DM) von Zwiebel 2017, wenn nach GS-Stufenmodell (GS) oder nach GS-Mobil-Temperatursummenmodell (GS-Mobil) bewässert wurde. Varianten sind nicht signifikant unterschiedlich (F-Test, $\alpha=0,05$) | 38 |
| Abbildung 29: BBCH-Codes der Pflanzenentwicklung von Stangensellerie im Jahr 2018 | 39 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 30: Bewässerungsvorgänge und -mengen [mm] für den Evaluierungsversuch zu Stangensellerie im Jahr 2018, wenn nach GS-Stufenmodell ("GS alt") oder nach GS-Mobil-Temperatursummenmodell ("GS mobil") bewässert wurde | 40 |
| Abbildung 31: Saugspannungswerte in 20, 40 und 60 cm Bodentiefe während des Evaluierungsversuchs zu Stangensellerie im Jahr 2018, wenn nach GS-Stufenmodell (links) oder nach GS-Mobil-Temperatursummenmodell (rechts) bewässert wurde | 40 |
| Abbildung 32: Frischmasse (FM) und Trockenmasse (TM) von Stangensellerie 2018, wenn nach GS-Stufenmodell (GS) oder nach GS-Mobil-Temperatursummenmodell (GSM) bewässert wurde. | 41 |
| Abbildung 33: Anlegen eines Schlages in der Bewässerungs-App | 43 |
| Abbildung 34: Eingabe erfolgte Bewässerung und Auslesen Historie | 43 |
| Abbildung 35: Aktualisierung Wetterdaten | 43 |
| Abbildung 36: Oberfläche Berechnungsempfehlung | 44 |

5 Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Mitgliederliste der OG GS-Netz | 8 |
| Tabelle 2: Ausgaben brutto und zuwendungsfähige Ausgaben netto zum Stand des abschließenden Verwendungsnachweises | 12 |
| Tabelle 3: Kulturdaten des 1. Satzes des Parametrisierungsversuch zu Spinat im Jahr 2016 | 16 |
| Tabelle 4: Kulturdaten des 2. Satzes des Parametrisierungsversuch zu Spinat im Jahr 2016 | 18 |
| Tabelle 5: Frisch- und Trockenmasse in g/Pflanze von Spinat im Satz 2 des Parametrisierungsversuchs im Jahr 2016 | 20 |
| Tabelle 6: Kulturdaten des Parametrisierungsversuchs zu Stangensellerie im Jahr 2016 | 22 |
| Tabelle 7: Frischmasse in g/Pflanze von Stangensellerie des Parametrisierungsversuchs im Jahr 2016 | 23 |
| Tabelle 8: Kulturdaten des Parametrisierungsversuch zu Zwiebel im Jahr 2016 | 24 |
| Tabelle 9: Frischmasse und Trockenmasse von Zwiebel des Parametrisierungsversuchs im Jahr 2016 | 26 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Tabelle 10: | Kulturdaten des Parametrisierungsversuch Satz 1 zu Stangensellerie im Jahr 2017 | 29 |
| Tabelle 11: | Frisch-und Trockenmasse in g/Pflanze und Anzahl Stiele in St/Pflanze von Stangensellerie des ersten Satzes des Parametrisierungsversuchs im Jahr 2017 | 31 |
| Tabelle 12: | Kulturdaten des zweiten Satzes des Parametrisierungsversuchs zu Stangensellerie im Jahr 2017 | 32 |
| Tabelle 13: | Frisch-und Trockenmasse in g/Pflanze und Anzahl Stiele in St/Pflanze von Stangensellerie des zweiten Satzes des Parametrisierungsversuchs im Jahr 2017 | 33 |
| Tabelle 14: | Kulturdaten des Evaluierungsversuchs zu Zwiebel im Jahr 2017 | 35 |
| Tabelle 15: | Entwicklungsstadien von Stangensellerie | 38 |
| Tabelle 16: | Kulturdaten des Evaluierungsversuchs zu Stangensellerie im Jahr 2018 | 39 |
| Tabelle 17: | Antworten vom Betrieb Schumacher GmbH, Rüter Str. 10, 70794 Filderstadt | 48 |
| Tabelle 18: | Antworten vom Betrieb Ewald GbR, Birkenhof, 65468 Trebur | 48 |
| Tabelle 19: | Antworten vom Betrieb Guthmann Söhne Gbr Tannenhof 47, 65474 Bischhofsheim | 49 |

6 Quellen

- Allen, R. G.; Pereira, L.; Raes, D.; Smith, M. 1998:
FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements FAO, Rome
- Olberz, M.; Zinkernagel, J. 2014:
GPS- und servergestütztes Beratungssystem zur Bewässerungssteuerung nach Klimatischer Wasserbilanz von Gemüse (GS-Mobil). Tagungsband der Innovationstage 2014 der BLE am 14.10.2014 in Bonn.
https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Projektfoerderung/Innovationen/Innovationstage/Tagungsband2014.pdf?__blob=publicationFile&v=1, Zugriff am 20.3.2019
- Olberz, M.; Kahlen, K.; Zinkernagel, J. 2018:
Assessing the impact of reference evapotranspiration models on decision support systems for irrigation. Horticulturae, 4, 49.
- Zinkernagel, J., Kleber, J., Mayer, N. 2012:
Bewässerungssteuerung für gemüsebauliche Kulturen in Praxis und Forschung. In: Management der Ressource Wasser. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), 98-106.
- Zinkernagel, J. et al. 2018:
Geisenheimer Bewässerungssteuerung. <https://www.hs-geisenheim.de/forschung/institute/gemuesebau/ueberblick-institut-fuer-gemuesebau/bewaesserung/geisenheimer-bewaesserungssteuerung/>, Zugriff am 20.3.2019
- Schaller, J., Paschold, P.-J. 2009:
Stomata-characteristics and Responses to Soil Drought Indicating a Cultivar Specific Drought Stress Susceptibility in Asparagus. European Journal of Horticultural Science, 74, 145-151
- Zinkernagel, J., Mayer, N. Paschold, P.-J. 2011:
Methodical Approach for Identifying Changes in Xylem Vulnerability of Asparagus officinalis L. during the Vegetation Period. Euro-pean Journal of Horticultural Science, 76 (4), 136-141
- Gallardo, M.; Thompson, R.; Valdez, L., Fernández, M. 2006:
Use of stem diameter variations to detect plant water stress in tomato Irrigation Science, 2006, 24, 241-255.
- Thompson, R.B., Martínez-Gaitan, C., Gallardo, M., Giménez, C., Fernández, M.D. 2007:
Identification of irrigation and N management practices that contribute to nitrate leaching loss from an intensive vegetable production system by use of a comprehensive survey. Agricultural Water Management 89, 261–274.
- Bryla, D. R., Trout, T. J., Ayars, J. E. 2010:
Weighing Lysimeters for Developing Crop Coefficients and Efficient Irrigation Practices for Vegetable Crops Hort Science, 2010, 45
- Hartmann, H. D., Pfülb, E., Zengerle, K. H. 2000:
Wasserverbrauch und Bewässerung von Gemüse. Geisenheimer Berichte der Forschungsanstalt Geisenheim. 44, S.194.
- Paschold, P.J., Kleber, J., Mayer, N. 2002:
Geisenheimer Bewässerungssteuerung 2002. Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft 37. 1, 5-15.
- Paschold, P.J., Frühauf, C., Schaller, J., Kleber, J., Mayer, N. 2011:
Geisenheimer Bewässerungssteuerung und FAO-Grasverdunstung. DGG-Proceedings. 1, 2011, Nr. 5.
- Zinkernagel et al., 2019: Geisenheimer Bewässerungssteuerung. <https://www.hs-geisenheim.de/forschung/institute/gemuesebau/ueberblick-institut-fuer-gemuesebau/bewaesserung/geisenheimer-bewaesserungssteuerung/> (abgerufen am 11.04.2019)
-