

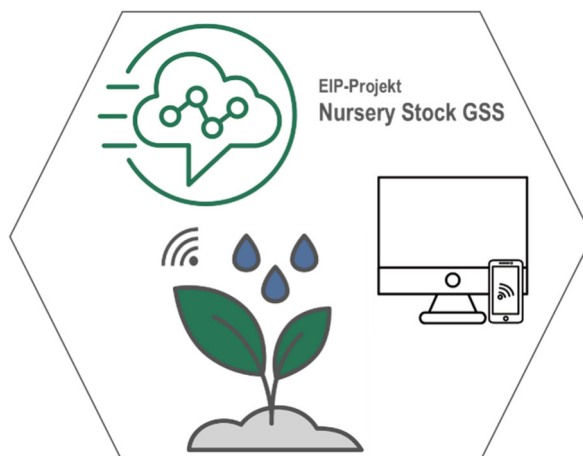
Abschlussbericht

der Operationellen Gruppe zum EIP-Projekt

Nursery Stock Growing Support System

Bewilligungszeitraum: 05.05.2020 – 30.06.2023
Durchführungszeitraum: 20.12.2019 – 31.12.2022

Förderkennzeichen 17-02. 12.01 – 7/19 – EIP-009950002-19-001



Projektleiter:
Peter Tiede-Art

Mitwirkende:
Nele Marx
Jos Balendonck

Warner Venstra, Mischa Griffioen, Gerben van den Berg, Gabriel Secreve, Paul Kengen

Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums:
Hier investiert Europa in die ländlichen Gebiete unter Beteiligung des Landes Nordrhein-Westfalen



Ministerium für Landwirtschaft
und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen



Inhaltsverzeichnis

A Kurzdarstellung (in Alltagssprache)		
I.	Ausgangssituation und Bedarf	7
II.	Projektziel und konkrete Aufgabenstellung	8
III.	Mitglieder der OG	9
IV.	Projektgebiet	10
V.	Projektlaufzeit und –dauer	10
VI.	Budget	11
VII.	Ablauf des Vorhabens	11
VIII.	Zusammenfassung der Ergebnisse	12
B Eingehende Darstellung		
I.	Verwendung der Zuwendung	13
II.	Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn	14
III.	Ergebnisse der OG	18
IV.	Ergebnisse des Innovationsprojektes	31
V.	Nutzen der Ergebnisse für die Praxis	38
VI.	(Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse	42
VII.	Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit	43
VIII.	Wo relevant: Nutzung Innovationsdienstleister (IDL)	45
IX.	Kommunikations- und Disseminationskonzept	45
Anhang		50

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht über die Betriebstypen der gartenbaulichen Produktion in Deutschland je Bundesland. Quelle: BMEL 2021 (ASE 2016).	14
Abbildung 2 BMEL (2021): Beitrag des Produktionsgartenbaus zu den Verkaufserlösen der deutschen Landwirtschaft in 2020	14
Abbildung 3: Meistens werden in der Zierpflanzenproduktion Gießwagen (links) oder Mikrosprinkler zur Bewässerung eingesetzt.....	15
Abbildung 4: Ehrung des Projektkonsortiums im Rahmen der TASPO Award Gala: 2. Platz in der Kategorie „Kooperation des Jahres“. Personen v.l.n.r: Andrew Gallik, Manfred Kohl, Dieter Boland, Anke Boland, Nele Marx, Heiner Bons, Peter Tiede-Art, Jos Balendonck, Mischa Griffioen.	18
Abbildung 5: Wasser als Dipol als physikalisches Grundprinzip für die Bodenfeuchtemessungen basierend auf der Dielektrizitätskonstante (Jones, 2022).....	20
Abbildung 6: Übersicht über das im EIP-Projekt Nursery Stock Growing Support System entwickelte Sensorsystem	21
Abbildung 7: Übersicht über die technischen Spezifikationen des Funksensorknotens ‚Firefly‘ und dem Bodenfeuchtesensor ‚Poseidon‘	21
Abbildung 8: Schematischer Überblick über das gesamte Bodenfeuchtesensorsystem des EIP-Projekts Nursey Stock GSS.....	22
Abbildung 9: Evolution des Elektronikgehäuses	23
Abbildung 10: Einführung des Multi Poseidons im Frühjahr 2022 zur Kostenreduktion des Sensorsystems.....	24
Abbildung 11: Der Firefly und somit die Gortex-Membran ist in der Praxis multiplen Einflüssen ausgesetzt.....	24
Abbildung 12: Screenshot aus der Software Insight: Eine Gruppierung von verschiedenen Sensoren verbessert die Übersichtlichkeit.....	25
Abbildung 13: Beispielhafter Screenshot wie eine Benachrichtigungs-E-Mail aussehen kann. Wird der Alarmstatus quittiert, z.B. da eine trockene Pflanze inzwischen gegossen wurde, erhält der Nutzer ebenfalls eine E-Mail, dass der Status wieder „ok“ ist.	25
Abbildung 14: Tabellarische Statusübersicht hinsichtlich der Alarmfunktionen. Die Alarme können individuell eingestellt werden. User, die keine E-Mail-Benachrichtigungen wünschen, können sich über die Tabellarische Alarm-Übersicht informieren	25
Abbildung 15: Veranschaulichung des Pore Water ECs als Möglichkeit die Aussagekraft des durch die Sensortechnik ermittelten Bulk ECs hinsichtlich der üblichen gartenbaulichen Praxis anzupassen. Die Messdaten entstammen der Projektarbeit und sind beispielhaft ausgewählt worden.	27
Abbildung 16: Prinzip der RF-Bodensonde. Die HF-Quelle liefert eine Spannung mit Frequenzen zwischen 100 MHz und 6 GHz an die Bodensonde. Die Größe und Phase des	

von der Bodensonde reflektierten Signals wird erfasst und vom Mikrocontroller verarbeitet. Der Mikrocontroller überträgt das Signal dann über das serielle FlyWire-Protokoll an den FireFly-Funksensorknoten. Bei der Bodensonde handelt es sich um einen für das Projekt hergestellten Mikrostreifenringresonator, der unter dem zu testenden Topf angebracht wird.
.....28

Abbildung 17: Beispielhafte lineare Regression für den Versuch „2021-7-C“ für das Klamann-Deilmann Steckssubstrat. Es ergibt sich eine $a_0 = 8,6303$ und eine $a_1 = 10,074$. Die errechnete Kalibrierungsfunktion ist mit einem Bestimmtheitsmaß (R^2) von 0,9748 für das vorliegende Substrat sehr genau.....31

Abbildung 18 Verhältnis zwischen dem volumetrischen Wassergehalt (errechnet durch gravimetrische Bestimmung) und den Rohwerten der relativen Permittivität.....32

Abbildung 19: Allgemeines 1-parameter model, das auf Grundlage der Laborversuche versucht eine substratunabhängige Kalibrierung zu definieren. Dazu wurden die Kalibrierungsergebnisse aus model 1 verglichen mit dem gravimetrisch bestimmten VWC. .33

Abbildung 20: VWC model 2 – Eine VWC Kalibrierung, die einen substrat-spezifischen Parameter b_0^{**} enthält, um die Präzision des Modells zu erhöhen.....34

Abbildung 21: Korrelation zwischen b_0 und dem Topfvolumen.....35

Abbildung 22: Grafische Darstellung des präferierten Kalibrierungsmodells model 3 auf Grundlage der verwendeten Topfgröße.....36

Abbildung 23: Experimentelle Kalibrierungsvorrichtung im Labor des KMUs Quantified B.V.
.....37

Abbildung 24: Vergleich der Bewässerungsanzahl je KW zwischen Sensorgestützter Kulturführung und der Kontrolle in Abhängigkeit des Niederschlags. Die Niederschläge entstammen der Datenbank meteostat.....39

Abbildung 25: Was für eine praktikable Handhabung für den Umgang mit Bodenfeuchtesensoren und deren Installation zu beachten ist, hat das Projektteam via Video zusammengestellt: <https://www.youtube.com/watch?v=sPHCBf0TkGQ>39

Abbildung 26: Labortests für die Ermittlung der besten Messqualität resultierend aus den Grundsätzen Precision, Accuracy & Repeatability. Die diagonale Position zeigte den besten Kompromiss aus Praxistauglichkeit und Messqualität.....40

Abbildung 27: Es empfiehlt sich eine Initialisierungsphase einzuplanen, in der die Funktionalität des Sensorsystems überprüft werden kann. Hier sieht man die Annäherungen der Messwerte zweier Bodenfeuchte-Sensoren, die über durch die Sackung und Quellung des frisch getopften Substrats begründet werden kann.41

Abbildung 28: Geplante Verwertung der Arbeitsergebnisse seitens der SWR: Nutzung der realen Messdaten um eine künstliche Intelligenz basierend auf dem Neural Network Approach zu trainieren. Die Grafik wurde erstellt von Guido Jansen (SWR).....42

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die Praxispartner im EIP-Projekt Nursery Stock Growing Support System, deren hauptsächliche Pflanzenkulturen sowie vorherrschende Bewässerungstechnik im Freiland	10
Tabelle 2: Übersicht über das Budget im EIP-Projekt Nursery Stock Growing Support System.....	11
Tabelle 3: Übersicht der Verwendung der Zuwendung inkl. Ziel der Verwendung	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tabelle 4: Verkürzte Übersicht über die Arbeitspakete laut Punkt 3.8 des EIP-Wettbewerbsbeitrags als tabellarische Darstellung der Projektaufgabenstellung.....	17
Tabelle 5: Überblick über die substratspezifischen Funktionsparameter. Die Tabelle zeigt die getesteten Substrate samt derer Mixturen, die jeweilige Trockendichte (Dry Bulk Density) sowie die jeweilige Topfgröße. Auf der rechten Seite der Tabelle sind die Parameter aller nachfolgenden Kalibrierungsmodelle aufgeführt.	32
Tabelle 6: Unterscheidung in verschiedene Strategien zur Sensorinstallation im Feld	40
Tabelle 7: Tabelle über alle Vorträge und Publikationen	46

Abkürzungsverzeichnis

Abk.	Bedeutung
AI	artificial intelligence
ASE	Agrarstrukturhebung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DSS	Decision Support System – Entscheidungsunterstützungssystem
GUI	Graphical Use Interface – grafische Benutzeroberfläche
ϵ	Relative permittivity – relative Permittivität
EC	Electrical conductivity
EIP	Europäische Innovationspartnerschaft
IoT	Internet of things – Internet der Dinge (beschreibt die digitale Vernetzung über das Internet von Gegenständen untereinander).
LVG NRW	Landesverband Gartenbau NRW
NN	Neural Network
O ₂	Sauerstoff
OG	Operationelle Gruppe
RMSE	Root-mean-square error: Statistische Berechnung für die Standardabweichung der Residuen (Vorhersagefehler). Die Residuen sind ein Maß dafür, wie weit die Datenpunkte von der Regressionslinie entfernt sind. Der RMSE gibt folglich an, wie konzentriert die Daten um die Linie der besten Anpassung sind. Der RMSE wird häufig in der Regressionsanalyse verwendet, um experimentelle Ergebnisse zu überprüfen.
Sqrt	Square root, zu Deutsch Wurzelfunktion
SWR	Stichting Wageningen Research

A Kurzdarstellung (in Alltagssprache)

I. Ausgangssituation und Bedarf

Der Zierpflanzenbau ist ein bedeutender wirtschaftlicher Zweig in der gartenbaulichen Produktion besonders für das Land Nordrhein-Westfalen, in dem laut der Agrarstrukturerhebung (ASE) aus 2016 mit 28,2 % der größte Anteil der Zierpflanzenbetriebe liegt. (BMEL, 2021). Insbesondere die Topfpflanzenproduktion im Freiland ist für die Region bedeutsam und kulturtechnisch anspruchsvoll, denn es wirken eine Vielzahl von Umweltfaktoren auf die Produktion ein, die es durch ein gezieltes Kulturmanagement zu kompensieren gilt. Gleichzeitig wächst die Notwendigkeit zunehmend ressourcen- und umweltschonender zu produzieren. In heißen Sommern ist das Bewässerungsmanagement anspruchsvoll und bedarf viel Arbeitszeit, welche in den saisonalen Arbeitsspitzen ohnehin knapp ist. Hinzu kommt, dass auch der gartenbauliche Sektor zunehmend vom Fachkräftemangel betroffen ist, welches die Arbeitsbelastung umso mehr erhöht. Um die hohen Produktionswerte nicht zu gefährden, wird oftmals gemäß dem Vorsorgeprinzip bewässert, sodass sich ein relativ hohes Einsparungspotential der Ressource Wasser, aber auch anderer Produktionsfaktoren wie Dünger- und Pflanzenschutzmittel ergibt, welche mit dem Bewässerungsmanagement in Relation stehen.

Ein Sensorsystem als digitale Unterstützung in Bewässerungsentscheidungen könnte ein wertvolles Tool sein, um die Kultursicherheit zu gewährleisten und dabei Produktion nachhaltiger zu gestalten. Zwar gab es zum Zeitpunkt der Antragstellung unterschiedliche Hersteller, die Bodenfeuchtesensoren für die ackerbauliche Produktion anboten, jedoch sind die Ansprüche in der Topfpflanzenproduktion gänzlich divergent. Die zwei wesentlichen Faktoren sind dabei zum einen das durch die Topfgrößen bedingte kleine und begrenzte Messvolumen und zum anderen werden im Gartenbau Kultursubstrate verwendet, sodass sich auch das Messmedium unterscheidet. Darüber hinaus lässt sich die Qualität eines Sensorsystems nicht nur am Messfühler bestimmen, sondern es kommt ebenso auf die praktikable Handhabung an, die ein System praxistauglich macht. Ein weiterer, relevanter Punkt ist die Kostenstruktur eines Bodenfeuchtesensorsystems: Damit möglichst viele Produzenten Zugang zu digitalen Technologien haben, muss ein solches System für die Produktion finanzierbar sein.

Zusammengefasst: Für den Use Case des Zierpflanzenbaus war bis dato kein Sensorsystem marktverfügbar, das für die Produktion finanzierbar und verlässlich war. Diese Innovationslücke sowie der Bedarf die Ressourcennutzung der Zierpflanzenproduktion nachhaltiger zu gestalten haben zum Zusammenschluss der operationellen Gruppe (OG) und zur gemeinsamen Entwicklung eines funkgestützten Bodenfeuchte-Sensorsystems geführt. Das Besondere an dieser Kooperation ist, dass fünf Zierpflanzenproduzentinnen und Produzenten an der Entwicklung beteiligt waren, sodass entlang der praktischen Bedürfnisse geforscht und entwickelt wurde, um den praktischen Nutzen dieser digitalen Technologie zu maximieren.

II. Projektziel und konkrete Aufgabenstellung

Das Ziel des Projektes war ein marktnahes, praxistaugliches Bodenfeuchte-Sensorsystem zu entwickeln, das den Kultivateur in seinem Management unterstützt. Durch die Übermittlung von Messdaten in kurzen Zeitabständen sollte der Anwendende quasi einen Echtzeit-Überblick über seine Kulturen bekommen, indem er immer und von überall Zugriff auf seine Bestandsdaten hat, welche auch visuell aufbereitet werden sollten. Auf diese Weise sollte der Kulturführende imstande sein, faktenbasiert Entscheidungen treffen können, z.B. ob bewässert werden soll. Diese manuelle, sensorbasierte Entscheidungshilfe sollte den Produzenten erheblich in der exakten Kulturführung unterstützen und somit eine ressourcenschonendere Produktion ermöglichen.

Das Ziel war, dass das zu entwickelnde Bodenfeuchtesensorsystem zum Ende der Projektlaufzeit marktverfügbar ist. Die Verwendung des Sensorsystems sollte kurzfristig Arbeitskräfte entlasten und unnötige Fahrwege zu den jeweiligen Stellflächen einsparen. Mittelfristig sollte die sensorgestützte Kulturführung eine Einsparung von Ressourcen wie Wasser, Düngemitteln, Pflanzenschutzmitteln & Energie bewirken. Durch die Verwendung digitaler Technologien sollte langfristig eine nachhaltigere und weiterhin wettbewerbsfähige Zierpflanzenproduktion gesichert werden. Dabei galt das zu entwickelnde System in einem bestmöglichen Kompromiss zwischen Messgenauigkeit (je genauer, desto teurer) und Finanzierbarkeit (vertretbarer Kostenrahmen für den anwendenden Betrieb) zu entwickeln.

III. Mitglieder der OG

Die Operationelle Gruppe (OG) zeichnete sich durch die internationale und multidisziplinäre Zusammenarbeit aus. Die Projektleitung lag bei der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, welche als Bindeglied aller Projektpartner aus den Bereichen Wissenschaft, Wirtschaft und gartenbaulicher Praxis zu sehen ist. Personell seien Peter Tiede-Arlt als Projektleiter (IP) mit langjähriger Erfahrung im gartenbaulichen Versuchswesen sowie Nele Marx als Projektkoordinatorin zu erwähnen.

Die Stichting Wageningen Research (SWR) in Person von Jos Balendonck übernahm die Rolle der wissenschaftlichen Begleitung. Jos Balendonck verfügt über eine langjährige, internationale Projekterfahrung im Bereich der Sensortechnologie und Robotik im gartenbaulichen Kontext und war damit bestens qualifiziert das Projekt wissenschaftlich zu begleiten.

Der KMU Quantified BV, alternativ Quantified Sensor Technologies oder Quantified genannt, war für die technische Umsetzung der gemeinsamen Entwicklungsarbeit verantwortlich. Dieses niederländische Unternehmen mit Sitz in Leiden hatte vor Projektbeginn bereits erste Berührungspunkte zur landwirtschaftlichen Produktion und war sehr daran interessiert ein Sensorsystem zu entwickeln, das unmittelbar auf eine potentielle Konsumentengruppe zugeschnitten ist. Auf diese Weise möchte Quantified den gesellschaftlichen und ethischen Nutzen der Technologie sicherstellen. Quantified ist ein Unternehmen, das auf die Entwicklung elektrotechnischer Hardware spezialisiert ist. Das Unternehmen wird geführt von Paul Kengen und Warner Venstra. Warner Venstra ist promovierter Ingenieurwissenschaftler und hat Erfahrung als eigenverantwortlicher Leiter von Arbeitspaketen in nationalen und europäischen Forschungsprojekten zu Nanowissenschaften und Sensorik. Als Mitbegründer von Quantified B.V. leitet er die Technologieentwicklung im Unternehmen. Paul Kengen studierte Geoscience Engineering (M.Sc.) und verfügt über eine umfangreiche Erfolgsbilanz als Geschäftsentwickler, Firmengründer und Startup-Coach. Als Mitbegründer von Quantified leitet er die strategische Geschäftsentwicklung.

Ursprünglich war die Funktion des KMUs dem deutschen Unternehmen ISIS IC aus Wesel zugeordnet, welches im Zeitraum von Januar 2020 bis September 2020 im Projekt tätig waren. Aufgrund des nicht zufriedenstellenden Projektfortschritts wurde der Kooperationsvertrag im Einverständnis aller übrigen Projektpartner mit dem Unternehmen aufgekündigt. Dadurch ergab sich die Kooperation mit Quantified Sensor Technologies, welche in den folgenden Projektmonaten ermöglichte, dass das Projektziel, die Entwicklung eines marktverfügbaren, funkgestützten Bodenfeuchte-Sensorsystems, zu erreichen.

Den Kern der OG bildeten die fünf Praxisbetriebe Gartenbau Dieter Boland, Gärtnerei Heiner und Nils Bons GbR, Klemens & Lena Keyzers GbR, Jungpflanzen Küppers GbR und Pellens Hortensien, welche sowohl dafür verantwortlich waren die Bedürfnisse der gartenbaulichen Praxis zu formulieren, als auch die im Laufe des Projekts entwickelte Sensortechnik zu testen und zu evaluieren. Diese fünf Betriebe produzieren unterschiedliche gartenbauliche Kulturen (vgl. Tab. 1) und repräsentieren

daher die diverse Gärtnerschaft im nordrhein-westfälischen Intensivproduktionsgebiet Niederrhein.

Tabelle 1: Übersicht über die Praxispartner im EIP-Projekt Nursery Stock Growing Support System, deren hauptsächliche Pflanzenkulturen sowie vorherrschende Bewässerungstechnik im Freiland

<i>PRODUZENT</i>	<i>HAUPTSÄCHLICHE PFLANZENKULTUREN</i>	<i>VORHERRSCHENDE BEWÄSSERUNGSTECHNIK IM FREILAND</i>
GARTENBAU DIETER BOLAND BONS GBR	Calluna vulgaris, Endproduktion & Jungpflanzen Stauden in Endproduktion	Gießwagen- & Sprinkler-Bewässerung Sprinkler-Bewässerung
KEYSERS GBR	Heidepflanzen u. Topfgehölze in Endproduktion	Gießwagen-Bewässerung
JUNGPFLANZEN KÜPPERS	Heidepflanzen und Stauden, Schwerpunkt Jungpflanzen	Hauptsächlich Gießwagen-Bewässerung, z.T. Sprinkler-Bewässerung
PELLENS HORTENSIEN	Hortensien	Gießwagen-Bewässerung

IV. Projektgebiet

Im Rahmen der europäischen Innovationspartnerschaft „Produktivität und Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft“ (EIP agri) wurde drei Jahre lang (2020-2022) an einer technischen Lösung geforscht, um bedarfsgerechter zu bewässern und Wasser einzusparen.

Als geographisches Projektgebiet sei das ausgeprägte Gartenbauland Nordrhein-Westfalen zu nennen, welches Deutschlands größte Konzentration von Zierpflanzenbetrieben vorweist (LV Gartenbau NRW, 2022; BMEL, 2021b). Die nordrhein-westfälische Region des Niederrheins, welcher sich zusammensetzt aus den Kreisen Kleve, Viersen, Wesel, Rhein-Kreis Neuss, Mönchengladbach, Krefeld und Duisburg lag dabei im Fokus des Projektes. Das entwickelte Sensorsystem fand in der dortigen gartenbaulichen Praxis Anwendung und soll zukünftig über die Grenzen des Niederrheins hinaus Anwendung finden. Der Niederrhein ist das größte Anbaugebiet in Deutschland für den Zierpflanzenbau, denn 48 % der nordrhein-westfälischen Zierpflanzenbetriebe sind am Niederrhein angesiedelt. Dort wurden im Jahr 2020 auf 1377 ha Zierpflanzen produziert (Agrobusiness, 2022).

V. Projektlaufzeit und –dauer

Das EIP-Projekt *Nursery Stock Growing Support System* hatte eine dreijährige Projektlaufzeit (36 Monate) von 2020 bis 2022 und konnte mit der Zulassung des vorzeitigen Maßnahmenbeginns vom 20.12.2019 pünktlich zum 01.01.2020 beginnen. Das erste Projektjahr war geprägt von konzeptioneller Arbeit, gefolgt von zwei Jahren, 2021 und 2022, in denen der Fokus auf der praktischen Erprobung und Weiterentwicklung der Projektinnovation lag.

VI. Budget

Das Projekt wurde mit dem Zuwendungsbescheid vom 05.05.2020, verändert im Änderungsbescheid vom 23.03.2021 mit einem Gesamtbetrag von 456.255,22 Euro gefördert. Für die Zusammenarbeit, Einrichtung und Tätigkeit der Operationellen Gruppe standen 66.828,43 Euro zur Verfügung und für die Arbeit in der Innovationspartnerschaft 389.426,79 Euro.

Tabelle 2: Übersicht über das Budget im EIP-Projekt Nursery Stock Growing Support System

POSTEN	BEWILLIGTE FÖRDERUNG (NACH 3. ÄNDERUNGSBESCHIED VOM 23.03.2021)	ABGERUFENE FÖRDERUNG
FÖRDERVOLUMEN	456.255,22 €	436.593,19 €
DAVON OG	66.828,43 €	66.788,97 €
DAVON IP	389.426,79 €	369.804,22 €
PERSONALKOSTEN	449.737,93 €	432.910,81 €
ISIS IC	7.803,33 €	7.803,33 €
QUANTIFIED B.V.	76.962,60 €	76.962,60 €
SWR	123.868,80 €	111.800,70 €
LWK NRW	241.103,20 €	236.344,18 €
SACHKOSTEN	6.517,29 €	3.682,37 €
QUANTIFIED B.V.	2.808,00 €	0,00 €
LWK NRW	3.709,29 €	3.682,37 €

VII. Ablauf des Vorhabens

Die dreijährige Projektlaufzeit (2020-2022) konnte mit der Zulassung des vorzeitigen Maßnahmenbeginns vom 20.12.2019 pünktlich zum 01.01.2020 beginnen.

Das erste Projektjahr war geprägt von den Herausforderungen der Covid-19-Pandemie sowie einiger Änderungen im Projektkonsortium. Zu nennen sei insbesondere der KMU-Wechsel von der Firma ISIS IC GmbH zu der Firma Quantified B.V. (vgl. A III). Die Änderungen im Projektkonsortium resultierten in einen angepassten Projektzeitplan. Demnach war das erste Projektjahr sehr konzeptionell ausgerichtet inklusive der Sensorsystem-Entwicklung und der ersten Labortests der Sensortechnik. Das zweite Projektjahr war von Labortest der Sensortechnik und Kalibrierungsversuchen sowie der ersten Praxisphase geprägt und der daraus resultierenden Sensorsystem-Adaptionen sowie von labortechnischen Kalibrierungsarbeiten. Das finale Projektjahr 2022 war weiterhin geprägt von der praktischen Anwendung und der resultierenden Evaluation mit Hauptaugenmerk auf softwaretechnische Veränderungen. Darüber hinaus wurde das letzte Projektjahr vermehrt für den Wissenstransfer genutzt, um eine möglichst breite Öffentlichkeit an den Erkenntnissen rund um das Thema Bodenfeuchte-Sensorik im Gartenbau teilhaben zu lassen.

VIII. Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Ergebnisse des Innovationsprojektes können im Wesentlichen in zwei Bereiche unterteilt werden: Zum einen in die Innovationsentwicklung in Form eines an den Use Case des Freilandzierpflanzenbaus angepassten, funkgestützten Bodenfeuchte-Sensorsystems und zum anderen in den Erkenntnisgewinn bezüglich des Umgangs mit Bodenfeuchte-Sensorik.

Bezüglich der Sensorsystem-Entwicklung wurde im Projektzeitraum erfolgreich ein funkbasiertes Bodenfeuchte-Sensorsystem entwickelt (Details siehe B.III), das dem Gärtner einen Überblick über die Feuchtigkeitsversorgung seiner Kulturen verschafft. Durch den IoT-Charakter des Sensorsystems kann der Kultivateur immer und von überall nachvollziehen, ob seine Pflanzen bewässert werden müssen. Diese Art des Monitorings, also der digitalen Fernüberwachung, führt zu einer großen betrieblichen Arbeitsentlastung, welches in Zeiten von Fachkräftemangel sehr bedeutsam ist. Darüber hinaus ergeben sich durch die verbesserte Informationslage Einsparungspotentiale hinsichtlich des Wasserverbrauchs, aber auch potentielle Einsparungspotentiale von Düngemitteln, sodass das Sensorsystem eine faktenbasierte Entscheidung möglich macht. Folglich ermöglicht die Innovation einen wertvollen Schritt hinsichtlich einer ressourcenschonenderen und damit nachhaltigeren Pflanzenproduktion.

Der Umgang mit Bodenfeuchte-Sensortechnik ist für viele Produzenten Neuland, sodass die Projektaktivität bewirkte, dass wertvolle Erfahrungen hinsichtlich des korrekten Umgangs gesammelt wurden, sodass letztendlich gewisse Handlungsempfehlungen erarbeitet werden konnten (vgl. B.V). Diese Erkenntnisse umfassen sowohl die korrekte Installation des Sensorsystems, als auch den Umgang mit den generierten Messdaten, um der gärtnerischen Praxis zum größtmöglichen Nutzen resultierend aus der Verwendung des Bodenfeuchte-Sensorsystems zu verhelfen.

B Eingehende Darstellung

I. Verwendung der Zuwendung

Im Projekt wurden unterschiedliche Investitionen getätigt, die der Projektarbeit und letztendlich dem Projekterfolg dienlich waren. In erster Linie ging es um die Entwicklung und Validierung des Sensorsystems, um ein qualitativ hochwertiges System zu generieren. Die detaillierten Zuwendungen können dem offiziellen Verwendungsnachweis entnommen werden.

II. Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn

a) Ausgangssituation

Der Zierpflanzenbau ist ein bedeutender wirtschaftlicher Zweig in der gartenbaulichen Produktion, besonders für das Land Nordrhein-Westfalen (Abb.1), in dem laut der Agrarstrukturerhebung (ASE) aus 2016 mit 28,2 % der größte Anteil der Zierpflanzenbetriebe liegt (BMEL, 2021a).

Der prozentuale Anteil des Zierpflanzenbaus an den nationalen Verkaufserlösen aus dem Garten- und Obstbau liegt bei 20,8 %. Verglichen mit dem Flächenanteil der Zierpflanzenproduktion von lediglich 14,3 % (BMEL, 2021b) unterstreicht dies den großen Flächenwert der Zierpflanzenproduktion sowie die wirtschaftliche Bedeutung des deutschen Zierpflanzenbaus. (Abb. 2).

Die Region des Niederrheins ist das Anbaugebiet für Zierpflanzen in NRW (LV Gartenbau NRW, 2022). Insbesondere

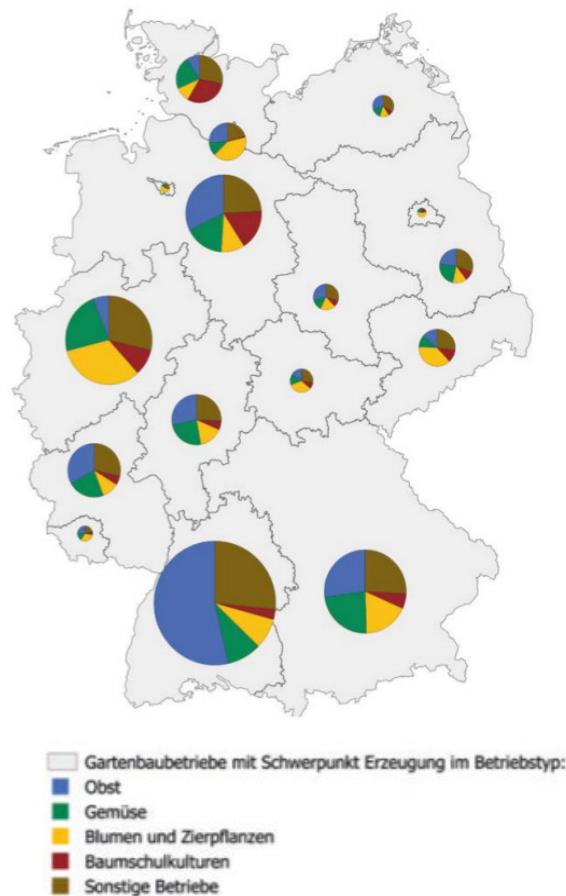


Abbildung 1: Übersicht über die Betriebstypen der gartenbaulichen Produktion in Deutschland je Bundesland. Quelle: BMEL 2021a (ASE 2016).

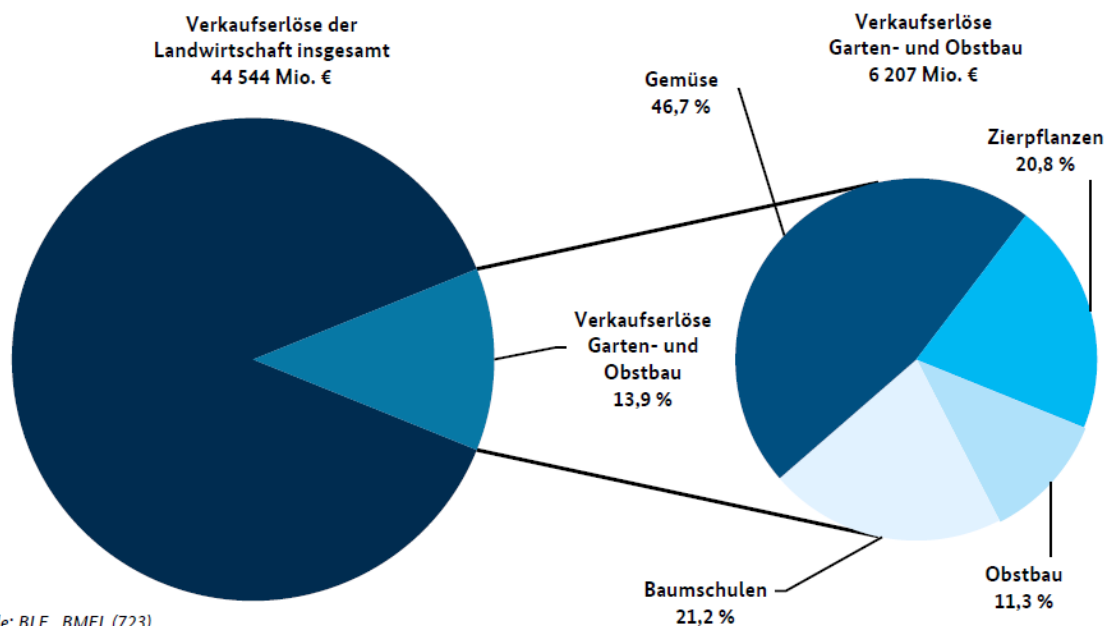


Abbildung 2 BMEL (2021b): Beitrag des Produktionsgartenbaus zu den Verkaufserlösen der deutschen Landwirtschaft in 2020

die Topfpflanzenproduktion im Freiland ist für die Region bedeutsam und kulturtechnisch anspruchsvoll, denn es wirken eine Vielzahl von (Umwelt-)faktoren auf die Produktion ein, die es bis zu einem gewissen Grad durch das Kulturmanagement zu kompensieren gilt. Ein wichtiger Faktor, der den Gartenbau ausmacht ist die Bewässerung: Besonders bei Topfkulturen und ergo einem kleinen Wurzelvolumen ist eine zusätzliche Wasserversorgung notwendig, um Zierpflanzen produzieren zu können. Die Bewässerungstechnik ist im Gartenbau sehr unterschiedlich, wobei in der Freilandproduktion Gießwagen und Bewässerungen über Mikrosprinkler dominieren (Abb. 3). Dazu kommt, dass die Kulturvielfalt im Zierpflanzenbau sehr groß ist, sodass die Pflanzen auf unterschiedlichste Art kultiviert werden müssen, weshalb von einem Zierpflanzengärtner viel Flexibilität im Hinblick auf seine Infrastruktur verlangt wird.



Abbildung 3: Meistens werden in der Zierpflanzenproduktion Gießwagen (links) oder Mikrosprinkler zur Bewässerung eingesetzt.

Gleichzeitig wächst die Notwendigkeit zunehmend ressourcen- und umweltschonender zu produzieren. Diese Notwendigkeit spiegelt sich im Hinblick auf den Einsatz von Produktionsmitteln wider, zu denen auch die Ressource Wasser gehört. In heißen Sommern muss regelmäßig und bedarfsgerecht bewässert werden, damit die Qualität der Kulturware sichergestellt werden kann. Anders als in der Produktion von Obst, Gemüse oder Getreide wird die gesamte Pflanze und nicht nur das Erntegut vermarktet. Das bedeutet, dass die Pflanze makellos aussehen muss, um erfolgreich über Erzeugerabsatzorganisationen und nachgelagerte Handelsketten vermarktet zu werden. Aus diesen Gründen ist es besonders wichtig Kulturfehler, wie zum Beispiel Trocken- oder Hitzestress, zu vermeiden. Durch die Kultur in kleinen (in der Regel 400-1000 ml Volumen) Töpfen sind die Pflanzen sehr sensitiv, was stark wechselnde Feuchtigkeitsverhältnisse angeht und reagieren je nach Kultur innerhalb von kürzester Zeit nach einer erheblichen Stresseinwirkung mit dem Ausprägen von Schadsymptomen. Die großen Stückzahlen der produzierten Pflanzen werden häufig auf Termin und dabei mit der Erfüllung vom Handel festgelegter Eigenschaften (Höhe, Triebzahl, Knospen- und Blütenstadium) produziert. Das verdeutlicht die Sensibilität der Produzenten, möglichst optimal auf wechselnde Kulturbedingungen reagieren zu können und alle Faktoren unter Kontrolle zu behalten, um das Produktionsergebnis nicht zu gefährden. Das Bewässerungsmanagement ist anspruchsvoll und bedarf viel Arbeitszeit, welche in den saisonalen Arbeitsspitzen ohnehin knapp ist. Hinzu kommt,

dass auch der gartenbauliche Sektor zunehmend vom Fachkräftemangel betroffen ist, welches die Arbeitsbelastung der Kultivateure umso mehr erhöht. Daher ist die bedarfsgerechte Bewässerung – also eine Bewässerung zum optimalen Zeitpunkt – sehr schwierig. Um die hohen Produktionswerte auf den zum Teil mehrere Kilometer vom Stammbetrieb entfernten Stellflächen nicht zu gefährden, wird daher oftmals gemäß dem Vorsorgeprinzip bewässert. Demnach ergibt sich ein relativ hohes Einsparungspotential der Ressource Wasser, aber auch von anderen Produktionsfaktoren wie Dünger- und Pflanzenschutzmittel, welche mit dem Bewässerungsmangement in Relation stehen.

Zu Projektbeginn war die die Situation so, dass die Feuchtigkeitsversorgung der Pflanzen hauptsächlich manuell kontrolliert wurde und daraus resultierend wurden Bewässerungsentscheidungen getroffen. Zwar war es bereits üblich, Tensiometer im Gewächshaus am Klimacomputer anzuschließen und darüber die Feuchtigkeitsversorgung der Kulturen zu kontrollieren, allerdings war der Einsatz von Tensiometern im Freiland u.a. aufgrund des hohen Energieverbrauchs und der Kabelgebundenheit nicht praktikabel. Die zum Zeitpunkt des Projektbeginns marktverfügbaren Sensorsysteme waren entweder zu kostspielig für einen rentablen Einsatz im Gartenbau, oder sie waren an die landwirtschaftliche Produktion angepasst, welches gänzlich divergente Anforderungen mit sich bringt. Die zwei wesentlichen Faktoren, die die Anforderungen an einen Bodenfeuchtsensor im Bereich des Zierpflanzenbaus ausmachen sind dabei zum einen das durch die Topfgrößen bedingte kleine Messvolumen und zum anderen die Kultivierung in Substrat anstelle von gewachsenem Boden.

Aus diesen Gründen war zu Projektbeginn eine sensorbasierte Echtzeit-Überwachung des Pflanzenbestandes nicht etabliert und gleichzeitig wuchs seitens der Gärtner das Bedürfnis nach einer immer besseren Informationsversorgung, um die hohe Arbeitsbelastung der Kultivateure zu reduzieren sowie wertvolle Ressourcen durch eine bedarfsgerechtere Produktionsweise zu schonen. Daher schloss sich die internationale operationelle Gruppe (OG) des EIP-Projektes *Nursery Stock Growing Support System* zusammen, um interdisziplinär ein digitales, sensorgestütztes Bodenfeuchtemanagementsystem zu entwickeln. Das Besondere an dieser Kooperation ist, dass fünf Zierpflanzenproduzentinnen und Produzenten an der Entwicklung beteiligt sind, sodass das Bodenfeuchte-Sensorsystem entlang der praktischen Bedürfnisse des Gartenbaus entwickelt wurde, um den unmittelbaren Nutzen dieser digitalen Technologie zu maximieren.

b) Projektaufgabenstellung

Im Projekt sollte ein marktnahes Bodenfeuchte-Sensorsystem entwickelt werden, das mit der Kombination der Mess- und Funktechnik, visuell dargestellt, den Produzenten in der exakten Kulturführung und Verbesserung seiner Produktqualität unterstützen sollte. Diese Entwicklungsarbeit wurde in fünf verschiedene Arbeitspakete unterteilt, die diese Arbeit über den Projektzeitraum strukturierte (Tabelle 4).

Tabelle 3: Verkürzte Übersicht über die Arbeitspakete laut Punkt 3.8 des EIP-Wettbewerbsbeitrags als tabellarische Darstellung der Projektaufgabenstellung

AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 5
Sensor- beschaffenheit / Fühler-Auswahl	Sensor- platzierung	Praxisorientierte Verarbeitung u. Visualisierung	Entwicklung einer Anwendungs-App	System- optimierung
Auswahl geeigneter Bodenfeuchte- sonde mit Kompromiss aus Messqualität und robuster Bau- weise, um Eignung für Freiland- produktion sicherzustellen	Konzeption des IoT-Systems & Ermittlung der benötigen Sensoranzahl je Einheit	Praxisorientierte Interpretierbarkeit der Messdaten; Visuelle Datenaufbe- reitung, um die Messwerte für den Gärtner nutzbar zu machen	AP 4 findet überlappend mit AP 3 statt; Mit der Entwicklung Software, welche die erfassten Daten in einer intuitiven, übersichtlichen und Weise darstellt	Analyse und Optimierung der bisherigen Ergebnisse mit besonderem Fokus auf die Praxistauglichkeit

Im Anforderungsprofil der im Konsortium beteiligten Praktiker lag die höchste Priorität in der Entwicklung eines zuverlässigen, validen Monitoringsystems, das funkbasiert arbeitet, Daten in Echtzeit generiert und auch über größere Entfernungen zum Stammbetrieb hinweg funktioniert. Die Steuerung, welche definiert wird als Plan, nachdem variable Größen (automatisch) geschaltet werden, war auf Wunsch der Praktiker kein Bestandteil des Projekts. Im Fokus waren die Messungen selbst, die durch den modernen IoT-Charakter nahezu in Echtzeit einsehbar sind und auf Grundlage derer kulturführungsrelevante Entscheidungen getroffen werden können. Das interdisziplinäre Konsortium stellte eine gute Basis für die Lösung dieser komplexen Aufgabe dar. Die unterschiedlichen Expertisen der Projektpartner und der stete und direkte Austausch mit den Praktikern sorgten für eine erhebliche Beschleunigung der Entwicklungsarbeit.

III. Ergebnisse der OG in Bezug auf

a) Wie wurde die Zusammenarbeit im Einzelnen gestaltet?

Die Kommunikation im Projekt erfolgte multimedial und agil. Prinzipiell standen die Projektpartner im engen Austausch miteinander. Je nach Bedarf wurde persönlich, telefonisch oder per E-Mail kommuniziert. Neben den flexiblen Kommunikationsformen gab es feste Strukturen, die den fachlichen Austausch stützten. Zum einen gab es im internen Konsortium die wöchentliche Videokonferenz, den *Jour fixe*, in der sich über aktuelle Themen ausgetauscht und die nächsten Handlungsschritte festgelegt wurden. Zum anderen gab es das halbjährige Projekttreffen im großen Rahmen, inklusiver aller assoziierter Projektpartner. Dadurch ergab sich über Ländergrenzen hinweg eine eng verzahnte, multidisziplinäre Zusammenarbeit.

Das Projektkonsortium konnte zudem die Qualität der Zusammenarbeit unter Beweis stellen, da es den zweiten Platz des TASPO Awards in der Kategorie „Kooperation des Jahres“ belegte (Abb. 4). Die TASPO Awards sind renommierte Auszeichnungen im gartenbaulichen Sektor.



Abbildung 4: Ehrung des Projektkonsortiums im Rahmen der TASPO Award Gala: 2. Platz in der Kategorie „Kooperation des Jahres“. Personen v.l.n.r.: Andrew Gallik, Manfred Kohl, Dieter Boland, Anke Boland, Nele Marx, Heiner Bons, Peter Tiede-Arli, Jos Balendonck, Mischa Griffioen.

b) Was war der besondere Mehrwert des Formates einer OG für die Durchführung des Projekts?

Das Format einer OG für die Durchführung des Projekts war deshalb einzigartig, da das internationale Konsortium wissenschaftliche Forschung, unternehmerische Innovation, praxisorientierte Versuchsarbeit und gärtnerisches Know-how vereinte und auf diese Weise dafür sorgte, dass die Forschung und Entwicklung nicht nur Theorie blieben, sondern ihren Weg in die Praxis fanden.

Das Besondere am Projekt war, dass das Sensorsystem entlang der praktischen Bedürfnisse der Topfpflanzenproduktion entwickelt wurde und somit praxistauglicher ist als andere Systeme. Die 5 Praxisbetriebe (Gartenbau Dieter Boland, Gärtnerei Heiner und Nils Bons GbR, Klemens & Lena Keyzers GbR, Jungpflanzen Küppers GbR und Pellens Hortensien), vertraten jeweils die Interessen verschiedener Produktionsgruppen innerhalb der Zierpflanzengärtnerschaft im Intensivproduktionsgebiet Niederrhein. Auf diese Weise wurde darauf Acht gegeben,

dass das Sensorsystem an möglichst viele verschiedene Produktionsweisen und somit auch Zielgruppen angepasst ist und dadurch sowohl praktische Relevanz hat, als auch einem breiten Markt zur Verfügung steht. Denn, je mehr potentielle Nutzer eine Technologie hat, desto größer ist deren Nutzen sowie letztendlich deren positiver Effekt auf die Umwelt. Diese lösungsorientierte, interdisziplinäre Zusammenarbeit war ein wichtiger Schritt in Richtung einer ressourcenschonenderen und gleichzeitig wettbewerbsfähigen gartenbaulichen Produktion.

c) Ist eine weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des geförderten Projekts vorgesehen?

Aufgrund des Projekterfolges ist die Fortführung der Zusammenarbeit geplant, um die gemeinsam erarbeiteten weiteren Entwicklungsschritte praktisch umzusetzen. Insbesondere der KMU Quantified Sensor Technologies schätzt die Nähe zu Praxis sehr, um die Praxistauglichkeit der Produkte immer weiter zu erhöhen, um somit nicht nur eine Marktnische einnehmen zu können, sondern auch durch die Bereitstellung innovativer Technologien zu einer Einsparung von wertvollen Ressourcen, wie z.B. Wasser, beizutragen.

IV. Ergebnisse des Innovationsprojektes

a) Zielerreichung

Das Projektziel, ein an die besonderen Bedürfnisse des Freiland-Zierpflanzenbaus angepasstes Bodenfeuchte-Sensorsystem zu entwickeln und marktverfügbar zu machen, konnte innerhalb der Projektlaufzeit erreicht werden.

Das Projektkonsortium hatte sich im Rahmen der *Fast-Track*-Entwicklung (vgl. Meilensteinplan im Anhang) entschieden eine Bodenfeuchte-Sonde mit elektromagnetischen Messprinzip auszuwählen. Dieses Messprinzip hat den Vorteil relativ wenig Energie zu verbrauchen, weshalb der drahtlose Sensor nicht oft aufgeladen werden muss (bei Temperaturen $> 0^{\circ}\text{C}$ konnten im Projekt Akku-Laufzeiten von mindestens 4 Monaten aufgezeichnet werden), was die Praxistauglichkeit erhöht. Darüber hinaus eignen sich elektromagnetische Sensoren für die Einbettung in ein modernes IoT-Sensorsystem. IoT steht für das „Internet der Dinge“ und beschreibt „die Vernetzung von Gegenständen mit dem Internet, damit diese Gegenstände selbstständig über das Internet kommunizieren und so verschiedene Aufgaben für den Besitzer erledigen können.“ (Lackes, 2018). Im Falle des Bodenfeuchte-Sensorsystems sollen die Sensoren selbstständig in einem festgelegten Zeitintervall die jeweilige Bodenfeuchte messen. Anhand der grafischen Datenvisualisierung erhält der Anwender einen Überblick über die Feuchtigkeitsversorgung seiner Kultur und kann faktenbasiert nach Echtzeitdaten entscheiden, ob bewässert werden muss.

Elektromagnetische Messverfahren basieren darauf, dass sich die dielektrische Leitfähigkeit, auch Dielektrizitätskonstante genannt, je nach Wasseranteil relativ ändert. Sie sagt aus, inwiefern ein Material imstande ist durch elektrische Felder polarisiert zu werden. Aufgrund der Dipol-Eigenschaften von Wassermolekülen (H_2O) rotieren diese, wenn ein Sensor ein elektromagnetisches Feld induziert (Abb. 5). Dies befähigt Wasser ganz besonders Energie zu speichern. Wasser hat demzufolge eine hohe relative Permittivität mit etwa 80, was bedeutet, dass es a) hoch polarisiert wird und b) eine geringe Durchlässigkeit (Permittivität) des elektrischen Feldes zulässt. Im Gegensatz dazu liegt die relative Permittivität von Luft bei circa 1 (Jones, 2022). In dem relativen Permittivitäts-Spektrum von 1 bis 80 bewegen sich folglich die Messwerte, mithilfe derer man sich an den Feuchtigkeitsgehalt eines Mediums annähern kann. Dabei gilt: Je geringer der Wasseranteil eines Mediums ist, desto geringer ist die relative Permittivität.

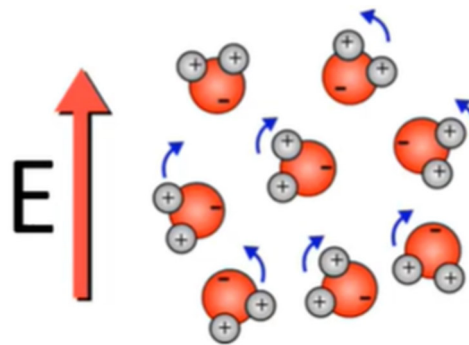


Abbildung 5: Wasser als Dipol als physikalisches Grundprinzip für die Bodenfeuchtemessungen basierend auf der Dielektrizitätskonstante (Jones, 2022).

Die Bodenfeuchtesonde mit dem Namen ‚Poseidon‘ (Abb. 6 rechts) wurde im ersten Projektjahr ob der guten Performance in laboratorischen Tests ausgewählt nachdem andere Sensoren (z.B. 5TE und ECH₂O von Meter) nicht überzeugen konnten. Die Herausforderung bestand darin, einen Bodenfeuchtesensor auszuwählen, der die passenden technischen Voraussetzungen (low voltage, SD-12, IP67) erfüllt, sodass zum einen die Messqualität und zum anderen die Kompatibilität mit dem Funksensorknoten der Firma Quantified, nachfolgend ‚Firefly‘ genannt, gegeben ist. Der Funksensorknoten (Abb. 6 links) wird benötigt, um die gemessenen Bodenfeuchte-Messwerte drahtlos zu übertragen. Das Projekt konnte davon profitieren, dass Quantified diesen Firefly zum Zeitpunkt des Projektzusammenschlusses schon recht weit entwickelt hatte, sodass das Bodenfeuchte-Sensorsystem um wertvolle Messdaten der umgebenden Umwelt ergänzt werden konnte (Abb. 7).

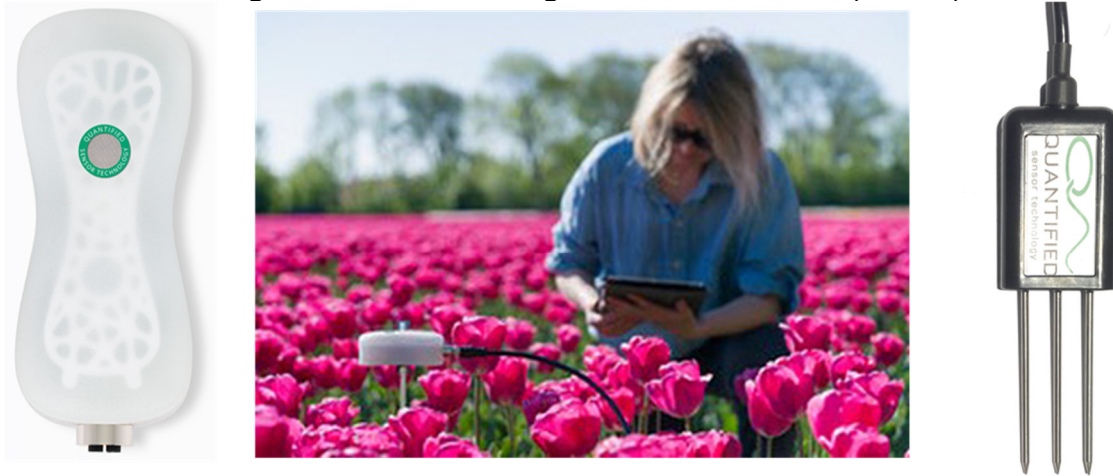


Abbildung 6: Übersicht über das im EIP-Projekt Nursery Stock Growing Support System entwickelte Sensorsystem

	air temperature	relative air humidity	PAR
	range: -40 ... + 70 °C	range: 0 ... 100% RH	± 5% (Apogee SQ 500SS calibrated)
	accuracy: ± 0,5 °C	accuracy: ± 3% RH	calibrated for sunlight
			calibration for artificial light available on request
	barometric pressure	GPS	ingress Protection
	range: 300 ... 1100 hPa	accuracy: 3 meters	IP 68 (with connector cap)
	accuracy: ± 1 hPa		
dimensions & weight	sampling interval	battery charge interval	
l x w x h = 35 mm x 40mm x 110 mm	one measurement per 5 minutes	+/- 6 months (5 min. sample rate)	
weight: 127 g	longer intervals on request	+/- 3 years (1 hour sample rate)	
wireless connectivity	wired connectivity	included accessories	
LoRa 868 MHz	M12 X-coded female with protective cap	protective cap	
Soil moisture content	EC	Temperature	
Range: 0 ... 100 %	Range: 0 ... 10 000 µs/cm	Range: -40 ... +80 °C	
Accuracy: Up to 3% *	Accuracy: ± 3%	Accuracy: ±0,5°C	
Resolution: 1%	Resolution: 10 µs/cm	Resolution: 0,1°C	
Probe pins	Cable	ingress protection	
Length: 7cm	Length: >2 m	IP 67	

Abbildung 7: Übersicht über die technischen Spezifikationen des Funksensorknotens ‚Firefly‘ und dem Bodenfeuchtesensor ‚Poseidon‘.

Das Bodenfeuchte-Sensorsystem (Abb. 8) besteht folglich aus Sensoren, die jeweils aus ‚Firefly‘ und ‚Poseidon‘ zusammengesetzt werden, einem Gateway, der Cloud als Datenspeicherort und dem Dashboard, das die Messdaten visuell aufbereitet und dadurch den Gärtner in der Entscheidungsfindung unterstützt. Das System basiert auf der Funktechnologie LoRa. Das bedeutet, dass drahtlose Signale unter geringem Energieverbrauch und über relativ große Entfernungen hinweg übermittelt werden. Die Verwendung dieser Art der Datenübertragung passt daher gut zu den Ansprüchen im Freilandbau.

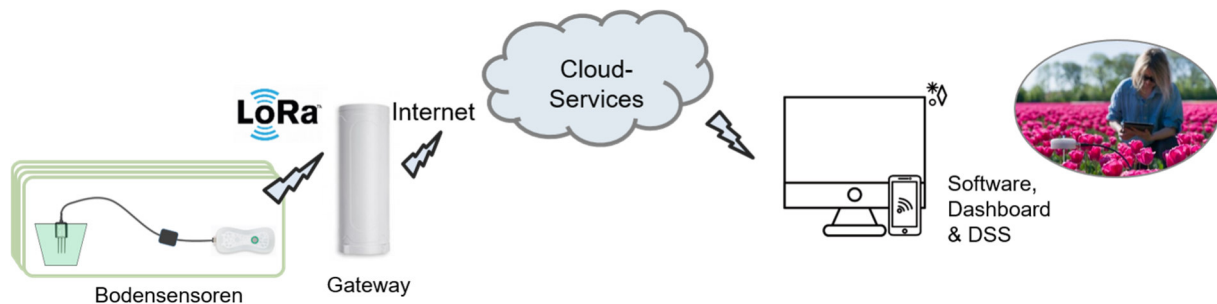


Abbildung 8: Schematischer Überblick über das gesamte Bodenfeuchtesensorsystem des EIP-Projekts Nursey Stock GSS.

Zur Inbetriebnahme des Sensorsystems wird zuerst das Gateway installiert, das dazu dient, die via Funk (LoRaWan) übermittelten Messdaten in den Cloudspeicher zu übertragen. Dafür wird das Gateway auf dem jeweiligen Betrieb möglichst hoch aufgehängt, damit es eine möglichst große Reichweite hat. Je mehr Stahlkonstruktionen oder Pflanzenbestände im Weg sind, desto geringer ist dabei die Signalreichweite. Unter guten Voraussetzungen sind in der gärtnerischen Praxis in der Regel Reichweiten von 2 km realisierbar. Nachdem das Gateway erfolgreich in Betrieb genommen wurde, werden die Bodenfeuchtesensoren an repräsentativen Messstellen installiert. Durch einen Kontakt mit einem Magneten werden die Fireflies aktiviert und wählen sich automatisch in das durch das Gateway bereitgestellte LoRa-Netz ein. Nun messen sie alle fünf Minuten den Ist-Zustand und die Messdaten werden in der webbasierten Software mit dem Namen ‚Insight‘ dargestellt. Auf diese Weise erhält der Gärtner quasi einen Echtzeit-Überblick über seine Kultur, z.B. über die Bodenfeuchtigkeitsentwicklung. Diese Art des Sensorsystems wird als Monitoring-System bezeichnet, da der Gärtner manuell entscheidet, ob z.B. bewässert werden soll. Durch verschiedene Softwarefunktionen wird die Entscheidungsfindung zusätzlich erleichtert (siehe Punkt IV.c).

b) Abweichungen zwischen Projektplan und Ergebnissen

Durch den KMU-Partnerwechsel zum November 2022 wurde der Projektplan angepasst (vgl. Meilensteinplan im Anhang). Um die Sicherstellung des Projektziels zu gewährleisten, entschied sich das Projektkonsortium die Entwicklung in einen *Fast Track* und in einen *Long Term Track* aufzuteilen. Der *Fast Track* ermöglichte eine zügige Sensorsystem-Entwicklung und letztendlich auch das Erreichen des Projektziels, der Entwicklung eines funkbasierten Bodenfeuchte-Sensorsystems (siehe Punkt IV). Darüber hinaus ermöglichte der sogenannte *Long Term Track* weiterführende technische Entwicklungsarbeiten rund um das Thema der Bodenfeuchtesensorik. Diese Struktur des Projekts war im Ursprung nicht vorgesehen und kann daher als Abweichung vom Projektplan gesehen werden, welche dem Projektziel dienlich war. Auch über das Projektende hinaus wird der KMU die Entwicklungsarbeit innerhalb des *Long Term Tracks* weiterverfolgen. Dadurch, dass das eigentliche Projektziel durch den *Fast Track* erreicht wurde, können die Ergebnisse des *Long Term Tracks* als Nebenergebnisse angesehen werden (siehe Punkt IV.e).

Darüber hinaus stellte sich im Projektverlauf heraus, dass die Entwicklung einer eigenen App zum einen wesentlich arbeits- und kostenintensiver war, als ursprünglich angenommen. Zum anderen erübrigte sich der Bedarf einer App, da die webbasierte Software ‚Insight‘ auch Smartphone- bzw. Tablet-kompatibel ist.

c) Projektverlauf (ggf. mit Fotodokumentation)

Das erste Projektjahr war sehr konzeptionell und technisch ausgerichtet inklusive der Sensorsystem-Entwicklung und der ersten Labortests der Sensortechnik.

Ab dem zweiten Projektjahr wurde das in Punkt IV.a beschriebene Sensorsystem sowohl am VZG Straelen als auch bei den Praxispartnern getestet, wodurch es im Laufe des Projektes stetig weiterentwickelt und optimiert werden konnte, sowohl bezüglich der Hardware als auch bezüglich der Software. Im Folgenden werden einige der Optimierungen dargelegt:

Hardware-Optimierung:

- **Elektronikgehäuse-Optimierung:** Die Bauweise (Abb. 9) der Schnittstelle zwischen Poseidon und Firefly wurde bautechnisch optimiert, um den Sensor resistenter gegenüber Umwelteinflüssen zu machen sowie die Kostenstruktur weiter zu verbessern.
- **Batterie-Laufzeit-Optimierung:** Je weniger oft ein ‚Firefly‘ geladen werden muss, desto weniger Arbeit und desto weniger Messdatenausfälle ergeben sich für den Anwender. Insbesondere in der ersten Praxisphase war daher das



Abbildung 9: Evolution des Elektronikgehäuses

Feedback durch die Versuchsstation und durch die Praxispartner sehr wertvoll. Auf diese Weise konnten technische Hardwareeinstellungen so optimiert werden, dass der Firefly nur alle fünf Minuten, entsprechend des Messintervalls, aktiviert wird und in der restlichen Zeit im Standby-Modus läuft. Auf diese Weise wurde der Akku geschont und insgesamt weniger Energie verbraucht.

- **Entwicklung von Multi-Poseidons:**

Die kostenintensive Sensorkomponente ist das Funkelement, ergo der ‚Firefly‘. Unter der Annahme, dass die meisten Gärtner drei Sensoren je Bewässerungseinheit installieren wollen, wurde der ‚Multi Poseidon‘ entwickelt, der es ermöglicht bis zu drei Bodenfeuchtesonden (‚Poseidon‘) je Funksensorknoten (‚Firefly‘) anzuschließen (Abb. 10). Dies reduziert die Sensorkosten deutlich.



Abbildung 10: Einführung des Multi Poseidons im Frühjahr 2022 zur Kostenreduktion des

- Weiterentwicklung der ‚Firefly-Membran‘: Der ‚Firefly‘ verfügt über eine Gortex-Membran, die den sensitiven Luftfeuchtigkeitssensor (rH) vor äußeren Einflüssen schützt. Die optimalen Produktions- und somit Wachstumsbedingungen der Pflanze sehen eine gute Versorgung von Wasser, Licht und Nährstoffen vor. All diese Umwelteinflüsse beanspruchen allerdings die empfindliche Membran. Im Projekt konnte anhand von Praxiserfahrungen und gezielten Membranversuchen im Gewächshaus herausgefunden werden, dass insbesondere der Kontakt mit hochkonzentrierten Düngelösungen die Durchlässigkeit der Membran erhöht, wodurch die darunterliegende Sensorelektronik beansprucht wird.



Abbildung 11: Der Firefly und somit die Gortex-Membran ist in der Praxis multiplen Einflüssen ausgesetzt.

- Der **Schraubverschluss** zwischen ‚Firefly‘ und ‚Poseidon‘ ist wichtig für die Verbindung der beiden Sensoren und letztendlich für die Funktionalität des Systems. Es gilt die Verschraubung vernünftig zu verschließen, damit kein Wasser und keine anderen äußeren Faktoren eindringen können. Der Verschluss dient folglich auch dem Schutz und damit der Langlebigkeit der Elektronik. Dieser Schutz soll zukünftig noch verbessert und somit an die Bedingungen in der Praxis angepasst werden. Aktuell werden verschiedene Materialien erprobt, die den Verschluss vor äußeren Einflüssen schützen sollen, so zum Beispiel ein Gummiüberzug.

Software-Optimierungen:

- Erstellung von **Bewässerungs-**zonen anhand von ‚Grouping Widgets‘ im ‚Insight‘-Dashboard: Durch die grafische Veranschaulichung mehrerer Sensoren wurde die Übersichtlichkeit verbessert und dadurch die Handhabung erleichtert (Abb. 12).

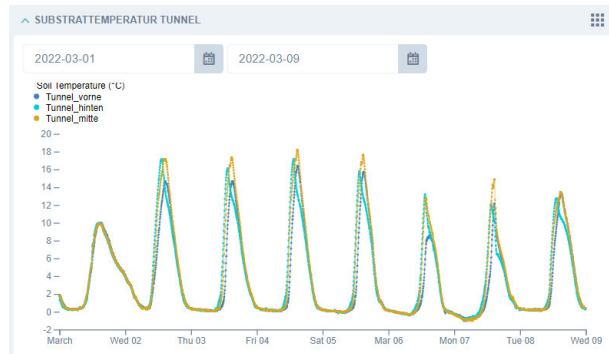


Abbildung 12: Screenshot aus der Software Insight: Eine Gruppierung von verschiedenen Sensoren verbessert die Übersichtlichkeit.

- Einrichtung von **Alarm-**Funktionen: Basierend auf der Einstellung von individuellen kritischen Schwellenwerten konnten ab dem letzten Projektjahr Alarmfunktionen inklusive E-Mail-Benachrichtigungen (Abb. 13) erstellt werden. So konnte ermöglicht werden, dass z.B. je Sonde ein minimaler Bodenfeuchtwert eingestellt werden kann, den sich der Gärtner im Laufe der anfänglichen Initialisierungsphase erarbeitet hat. Wird dieser kritische Schwellenwert erreicht, wird ein Alarm ausgelöst und der Gärtner wird per E-Mail benachrichtigt, dass in einer bestimmten Bewässerungszone bewässert werden muss. Diese Funktion verbesserte maßgeblich den Nutzen sowie den Absicherungsfaktor.

So 29.05.2022 16:00

Quantified Insight <noreply@quantified.eu>

Insight alarm: Alarm G4_vorne_HF_Multi_FF36_3 - ALARM

An Lang, Nele

The insight alarm Alarm G4_vorne_HF_Multi_FF36_3 triggered on 2022-05-29 14:00:01 UTC.

Abbildung 13: Beispielhafter Screenshot wie eine Benachrichtigungs-E-Mail aussehen kann. Wird der Alarmstatus quittiert, z.B. da eine trockene Pflanze inzwischen gegossen wurde, erhält der Nutzer ebenfalls eine E-Mail, dass der Status wieder „ok“ ist.

NAME	STATE	LAST STATE CHANGE
G1 Skyline	ok	10-08-2022 19:30
C8 Triple - Probe 3	alarm	09-09-2022 09:00
C8 Triple - Probe 2	alarm	09-09-2022 09:00
C8 Triple - Probe 1	alarm	09-09-2022 09:00
Twisteden T1	ok	08-09-2022 07:00
Twisteden T2	ok	09-09-2022 01:30
Twisteden T5	alarm	05-08-2022 16:30
Twisteden T4	ok	02-08-2022 10:30
C 7 Triple - Probe 3	alarm	09-09-2022 09:00
C 7 Triple - Probe 2	alarm	09-09-2022 09:00
C 7 Triple - Probe 1	alarm	09-09-2022 09:00

Abbildung 14: Tabellarische Statusübersicht hinsichtlich der Alarmfunktionen. Die Alarme können individuell eingestellt werden. User, die keine E-Mail-Benachrichtigungen wünschen, können sich über die Tabellarische Alarm-Übersicht informieren

- **Color Lable Charts:** Im Zuge der Softwareentwicklung ergab sich die Notwendigkeit, dass die Datendarstellung der miteinander kombinierten Sensoren unterschiedlich und individuell eingefärbt werden kann. Diese Funktion wurde im Spätsommer 2022 der Software ‚Insight‘ hinzugefügt.

Zusätzlich wurde eine auf dem wertvollen Feedback der Praxispartner basierende Entwicklungsliste erarbeitet, die auch über das Projektende hinaus von der Firma Quantified Stück für Stück abgearbeitet werden soll, um so das Innovationsprodukt stetig zu optimieren und dessen Praxisnutzen weiter auszubauen.

Durch die stetige Weiterentwicklung des Sensorsystems konnte die Praxistauglichkeit sukzessive erhöht werden. Dabei veränderten sich mit zunehmenden Projektfortschritt die Fragestellungen. Anfangs, in der ersten Projektphase, dominierten die Untersuchungen hinsichtlich der Funktionalität, Messqualität, Verlässlichkeit und Interpretierbarkeit der Daten. Zum Projektende hin wurde sich vermehrt mit den Einsparungspotentialen von Arbeitszeit und anderen Ressourcen, wie z.B. Wasser, auseinandergesetzt.

Das finale Projektjahr 2022 war weiterhin vom Wissenstransfer geprägt, um eine möglichst breite Öffentlichkeit an den Erkenntnissen rund um das Thema Bodenfeuchte-Sensorik im Gartenbau teilhaben zu lassen (vgl. Punkt 2.IX).

d) Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP Zielen

Das durch die Projektarbeit entwickelte Innovationsprodukt steht im Einklang mit den förderpolitischen EIP-Zielen, da das Sensorsystem den Kultivateur unterstützt faktenbasiert zu entscheiden, ob bewässert werden muss. Dadurch kann bedarfsgerechter kultiviert werden, die Arbeitsbelastung des Gärtners kann reduziert werden und wertvolle Ressourcen wie Wasser und Agrochemikalien können potentiell eingespart werden. Diese technologische Innovation hilft den zunehmenden Herausforderungen bezüglich der Verfügbarkeit jeglicher Ressourcen zu begegnen und letztendlich dadurch die Wettbewerbsfähigkeit des deutschen Gartenbaus zu stärken. Neben dem Sensorsystem als greifbare Innovation hilft das im Rahmen der Projektarbeit generierte Wissen rund um das Thema Sensortechnik künftigen Herausforderungen adäquat zu begegnen.

e) Nebenergebnisse

Der Bodenfeuchte-Sensor ‚Poseidon‘ misst drei Parameter im Kultursubstrat: Die Bodenfeuchte als relative Permittivität (ϵ), die Temperatur [°C] sowie den EC-Wert [dS/m]. Das Projekt hat gezeigt, dass die Online-Verfügbarkeit eines EC-Wertes für die Gärtner von zusätzlichem Wert ist, denn dieser kann einen Hinweis auf die (verbleibende) Menge des verfügbaren Düngers im Substrat geben. Dies kann zu einer genaueren Dosierung von Düngemitteln und letztendlich zur Verhinderungen von Nährstoffemissionen führen. Der gemessene EC ist jedoch der "Bulk EC", der Gesamtwert für das Substrat, der sich zusammensetzt aus dem Substrat selbst, dem

Wassergehalt, und den gelösten Nährstoffen, welche eigentlich von Interesse sind. Dieser EC-Wert stimmt nicht mit dem EC-Wert überein, den die Gärtner normalerweise mit einem manuellen Handmessgerät oder einer so genannten 1:5-Extraktionsmethode messen, die als "Porenwasser-EC" bezeichnet wird. Dieser EC-Wert wird im extrahierten Wasser aus dem Substrat gemessen. Aus der Literatur wissen wir, dass die Daten des vorhandenen Sensors im Prinzip in einen Porenwasser-EC-Wert umgewandelt werden können. Das dafür verwendete Modell muss jedoch von den Gärtnern auf die verwendeten Substrate abgestimmt werden. Diese Arbeit war im Projekt nicht vorgesehen, doch die Notwendigkeit ergab sich im Projektverlauf, weshalb das Team die Umrechnungen in den Porenwasser-EC berücksichtigte. Diese Arbeit könnte in einem Folgeprojekt aufgegriffen werden.

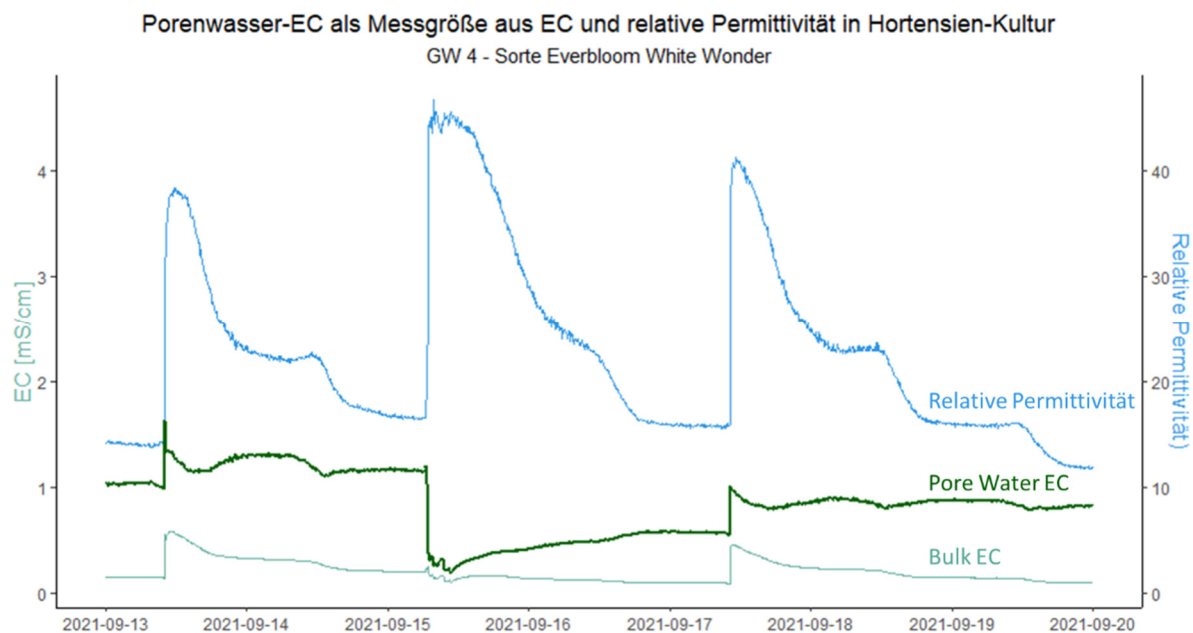


Abbildung 15: Veranschaulichung des Pore Water ECs als Möglichkeit die Aussagekraft des durch die Sensortechnik ermittelten Bulk ECs hinsichtlich der üblichen gartenbaulichen Praxis anzupassen. Die Messdaten entstammen der Projektarbeit und sind beispielhaft ausgewählt worden.

Ein weiteres Nebenergebnis der Projektarbeit kann die Nutzung der Sensortechnik als Feedback für die Effektivität der Bewässerung sein, denn wenn es zu Defekten hinsichtlich der Bewässerungstechnik kommt, kann die Bodenfeuchte-Alarmfunktion auf eine ausgebliebene Bewässerung hinweisen. Auf diese Weise trägt das Sensorsystem im besonderen Maße zur Kultursicherheit bei.

Bezüglich der ‚Poseidon‘-Bodenfeuchtesonde wurde während des Projekts deutlich, dass dieser Sensor eine angemessene Lösung für die Bedürfnisse vieler Gärtner darstellt. Um Unterschiede der Substratzusammensetzung auszugleichen, führen die Landwirte eine relative Messung durch, bei der in den ersten ein bis zwei Wochen ein Basiswert der ϵ für die Bewässerung ermittelt wird und in den folgenden Monaten die Bewässerung auf der Grundlage dieses Wertes erfolgt. Dieser Wert ist sehr individuell und hängt von mehreren Faktoren ab (z.B. Substratzusammensetzung, Kultur, Kulturphase, Witterung, u.v.m.). Der Gärtner kalibriert seinen Sensor also gewissermaßen auf Grundlage seiner Erfahrungen in der Initialisierungsphase.

Obwohl diese Messweise gut funktioniert, besteht weiterhin Interesse an einem kalibrierungsfreien Sensor. Aus diesem Grunde hat sich Quantified im Rahmen des *Long Term Tracks* mit der Entwicklung einer neuartigen Hochfrequenzsonde, auch HF-Sonde genannt, beschäftigt. Dafür wurde eine neuartige Bodenfeuchtesonde mit dem Namen ‚Neptun‘ modelliert und erprobt, die Messungen in einem Bereich von mehreren Frequenzen umfasst, um eine Frequenzgangkurve zu erhalten, die mehr Informationen über die Substratart liefert. Diese Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen und werden auch über das Projektende hinaus weitergeführt. In diesem Zuge wird Quantified auch an einer potentiellen Verkleinerung der Messsonde arbeiten, um den Anwendungsbereich auf noch kleinere Topfgrößen auszudehnen. Daher können diese Arbeiten zwar streng genommen nicht als abgeschlossenes Nebenergebnis geführt werden, dienen aber als wertvolle Zwischenergebnisse.

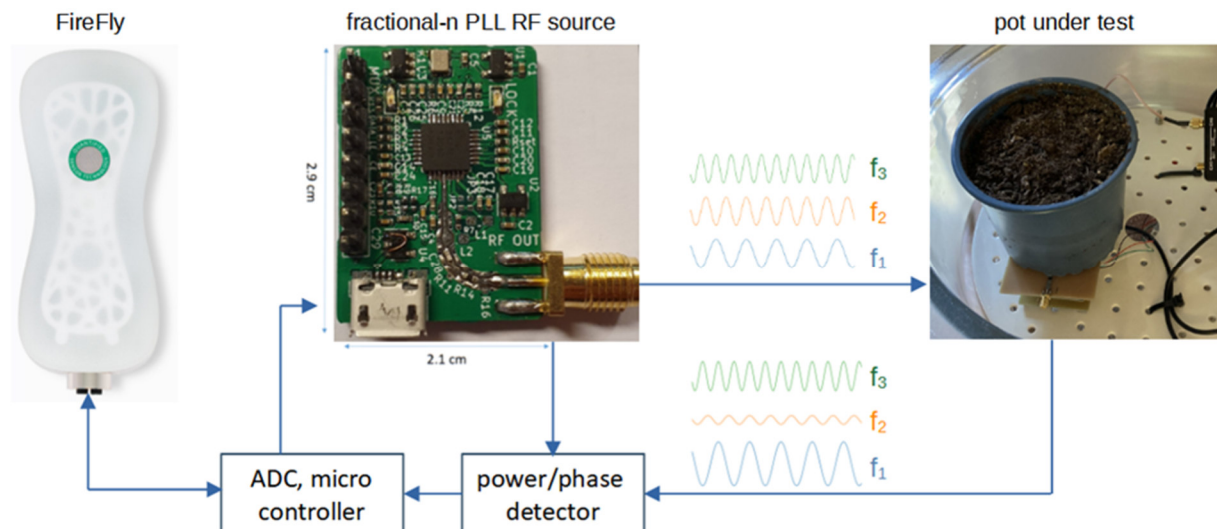


Abbildung 16: Prinzip der RF-Bodensonde. Die HF-Quelle liefert eine Spannung mit Frequenzen zwischen 100 MHz und 6 GHz an die Bodensonde. Die Größe und Phase des von der Bodensonde reflektierten Signals wird erfasst und vom Mikrocontroller verarbeitet. Der Mikrocontroller überträgt das Signal dann über das serielle FlyWire-Protokoll an den FireFly-Funksensorknoten. Bei der Bodensonde handelt es sich um einen für das Projekt hergestellten Mikrostreifenringresonator, der unter dem zu testenden Topf angebracht wird.

f) Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Im Team wurde an dem Thema der spezifischen Substratfeuchte-Kalibrierung gearbeitet, also einer Umrechnung des Rohwertes der relativen Permittivität (ϵ) in einen volumetrischen Wassergehalt [%]. Dieses Thema ist deshalb relevant, weil es allgemein üblich ist die Substratfeuchte in Prozent anzugeben. Es ist bekannt, dass die Art des Substrates einen großen Einfluss auf die Korrelationskurve hat, denn die Partikelgröße, das Gesamtporenvolumen, die Porengröße, die Wasserkapazität und die Luftkapazität der jeweiligen Substratausgangstoffe sind sehr different (Schmilewski, 2018). All diese Parameter beeinflussen die Bodenfeuchte-Messwerte und folglich auch die Kalibrierungsfunktionen. Innerhalb des Projektes wurde sich immer wieder mit dieser Thematik beschäftigt. Sowohl von der praktischen Forschungsseite (seitens der SWR und der LWK NRW) als auch von der technischen Forschungsseite Seite (SWR und Quantified). Die Arbeiten waren sehr umfangreich und sind perspektivisch sehr vielversprechend, weshalb diese nachfolgend detailliert beschrieben werden. Das Thema der Kalibrierung ist deshalb im Kapitel „Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben“ platziert, da sie bisher keine Beteiligung in der technischen Entwicklung eines praxisreifen Bodenfeuchte-Sensorsystems gefunden haben.

Entwicklung einer Substratkalibrierungsfunktion

Um den Informationsgehalt der sensorbasierten Feuchtigkeitsmessungen zu erhöhen, wurde daran gearbeitet die Messgröße der relativen Permittivität (ϵ) durch eine substratspezifische Kalibrierung in den volumetrischen Wassergehalt (VWC) zu übertragen. Eine Darstellung der Feuchtigkeit als VWC ist interessant, da bekannt ist, dass die Rohgröße ϵ im trockenen Messbereich, und somit in dem besonders interessanten Messbereich für den Gärtner, weniger sensitiv gegenüber Feuchtigkeitsänderungen ist als der VWC. Vor diesem Hintergrund hat das Projektteam an entsprechenden Kalibrierungsfunktionen gearbeitet, welche den Informationsgehalt und somit den praktischen Nutzen für den Gärtner verbessern sollen, indem die Substratfeuchte insbesondere in den für die Pflanzenproduktion kritischen Bereichen so präzise und wahrheitsgemäß wie möglich angegeben wird.

Im Folgenden wird die diesbezügliche Forschungsarbeit beschrieben. Die Arbeiten haben sich im Zeitverlauf stetig weiterentwickelt, da sich mit jedem technischen Teilerfolg die Frage nach der Praxistauglichkeit stellte, welche nach und nach zu Adaptionen in der Vorgehensweise führte.

1. Der erste Ansatz war ein Kalibrierungsmodell zu entwickeln, das auf zwei Parametern beruht, einer sogenannten *2-point-calibration*. Der gesuchte volumetrische Wassergehalt (VWC) wurde anhand des gravimetrischen Wassergehaltes bestimmt und dann mit der relativen Permittivität [ϵ] in Relation gesetzt. Dafür stand zuerst substratspezifische Labormessungen an.

Dies ist die Anleitung für den sogenannten *Calibration Trial*, welcher durch die LWK NRW durchgeführt wurde.

- a) Produktinformationen Topf (Größe, Volumen) notieren
- b) Leergewicht Pot bestimmen sowie Maße aufschreiben.
- c) Produktinformationen / Zusammensetzung Substrat notieren.
- d) 1 L Substrat abfüllen und wiegen. Dabei darauf achten, dass Fraktionen und somit Sackung ähnlich sind. Das Gewicht notieren.
- e) Substrat per Gewicht gleichmäßig auf Töpfe verteilen (diese Gewicht ist abhängig vom Substrat und der verwendeten Topfgröße). Substrat leicht andrücken, ggf. Substrat nachfüllen. Darauf achten, dass beide Töpfe gleichbehandelt werden, also gleich viel wiegen.
- f) Hinüber gehen ins Labor. Dort jeweils 500 ml Wasser in kreisenden Bewegungen und langsam in den Topf laufen lassen. Darauf achten, dass der Topf nicht überläuft und somit Substrat verloren geht. Dieser Vorgang kann etwas Zeit benötigen.
- g) Nun die Töpfe in eine schwarze Auffangschale stellen und drainieren lassen für ca. 2 h.
- h) Nun Schritt 6 wiederholen, wieder ca. 2 h warten.
- i) Gewicht Topf nach Abtropfen bestimmen.
- j) Sensorinstallation: Notieren welcher Sensor in welchem Topf, Fotos machen.
- k) Topfgewichte mit Sensor bestimmen. Von nun an regelmäßig Gewichte messen und Uhrzeiten notieren, damit die durch das Sensorsystem bestimmte Substratfeuchte (ϵ) anschließend in Insight nachgeschaut und notiert werden kann.

Dieses Versuchsprotokoll wurde für verschiedenste Substrate durchgeführt, da aus der Fachliteratur bekannt ist (Gardner, 1998), dass die Art und Zusammensetzung der jeweiligen Substratbestandteile einen großen Einfluss auf die Wasserhaltekapazitäten und ergo auf die zu messende Substratfeuchte haben.

Nachdem das Versuchsprotokoll entsprechend eingehalten wurde, konnte die rechnerische Bestimmung des gravimetrischen Wassergehalts erfolgen, welcher nachfolgend auch als volumetrischen Wassergehalts (VWC) bezeichnet wird. Der VWC ist definiert als durchschnittlicher Wassergehalt je Topfvolumen, welcher berechnet wird, indem das Gewicht des Wassers mit dem entsprechenden Volumen in ein Verhältnis gesetzt wird:

$$VWC [\%] = \frac{((W - W_z) / 1000)}{997} * 1000 / V_p * 100$$

W = Pot Weight [g]

W_z = Zero Point Pot Weight

V_p = Pot Volume [L]

Aus der Literatur (Gardner, 1998) ist bekannt, dass der VWC und die relative Permittivität miteinander in ein Verhältnis gesetzt werden kann, indem eine Korrelation zwischen $\sqrt{\epsilon}$ und VWC [%] errechnet wird (Abb.17). Dabei konnte die lineare Regressionsformel (Kalibrierungsformel) je Substrat abgelesen werden und auf die substratspezifischen Funktionsparameter a_0 und a_1 geschlossen werden, wobei a_0 die Verschiebung der Geraden angibt und a_1 die Steigung der Geraden. Das Bestimmtheitsmaß R^2 gibt die Güte der linearen Regression an. Je größer R^2 , desto

brauchbarer ist das Modell. Die Parameter, für dieses *model 1* sind in Tabelle 5 nachzuvollziehen.

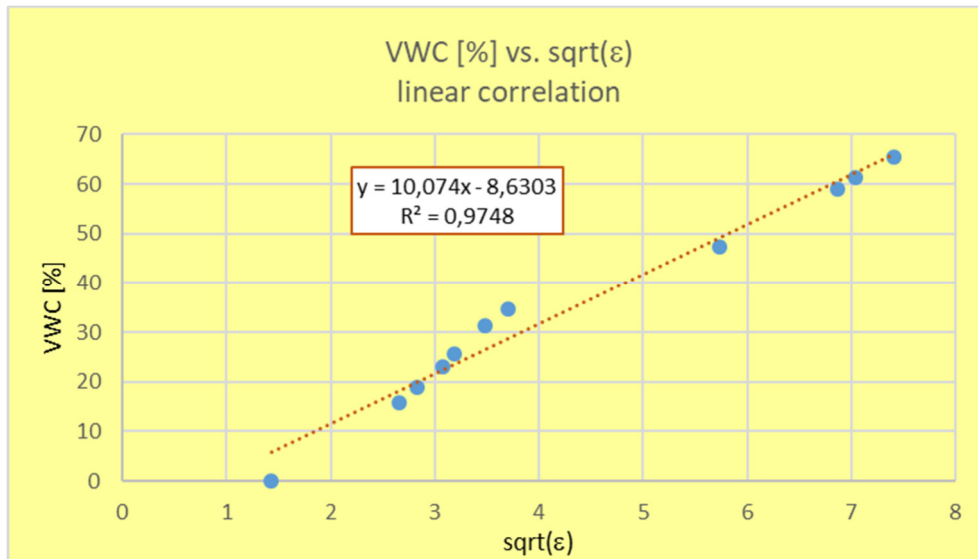


Abbildung 17: Beispielhafte lineare Regression für den Versuch „2021-7-C“ für das Klasmann-Deilmann Stecks substrat. Es ergibt sich eine $a_0 = 8,6303$ und eine $a_1 = 10,074$. Die errechnete Kalibrierungsfunktion ist mit einem Bestimmtheitsmaß (R^2) von 0,9748 für das vorliegende Substrat sehr genau.

Dieser Ansatz verspricht eine verlässliche, substratspezifische Kalibrierung, die den Informationsgehalt der Feuchtigkeitsmessungen erhöht, da bekannt ist, dass die Rohgröße der relativen Permittivität (ϵ) im trockenen Messbereich, und somit in dem besonders interessanten Messbereich für den Gärtner, weniger sensitiv gegenüber Feuchtigkeitsänderungen ist als der volumetrische Wassergehalt. Deshalb kann der VWC die Informationsgüte verbessern. Das technische Ziel eine präzise, substratspezifische Kalibrierungsfunktion zu erstellen, ist folglich erreicht worden.

Allerdings ist die Erstellung einer solchen Kalibrierungsfunktion wenig praxisnah, da die Arbeiten für eine substratspezifische Kalibrierung relativ zeit- und somit arbeitsintensiv sind. Dadurch, dass ein Betrieb oftmals verschiedene Substrate verwendet und diese jedes Jahr in der Zusammensetzung und ergo auch in ihrer Wasserhaltekapazität variieren können, wird dieses Unterfangen der substratspezifischen Kalibrierung zunehmend weniger realistisch für Produktionsbetriebe. Aus diesem Grund resultiert die Fragestellung von Punkt 2:

2. Forschungsfrage: Ist es möglich eine allgemeingültige Kalibrierungsfunktion auf Grundlage der im Rahmen des Projektes durchgeführten Kalibrierungsversuche durchzuführen?

Um sich dieser Frage anzunähern, wurden alle substratspezifischen Funktionsparameter verglichen.

Tabelle 4: Überblick über die substratspezifischen Funktionsparameter. Die Tabelle zeigt die getesteten Substrate samt derer Mixturen, die jeweilige Trockendichte (Dry Bulk Density) sowie die jeweilige Topfgröße. Auf der rechten Seite der Tabelle sind die Parameter aller nachfolgenden Kalibrierungsmodelle aufgeführt.

No.	Trial	Substrate	White Peat	Other Peat (Torf)	Clay (Ton)	Wood Fibre (HF)	Perlite	Compost	Spaghnum	Coir (Coco peat)	Bark (rinde)	Total Peat	Other Mixtures	Dry Bulk density ρ (kg/m ³)	Pot size (L)	a0	a1	R ²	bo** ($\epsilon_0=4.1$)	bo*** ($\epsilon_0=4.1$)
D	2021-16	Hortensiensubstrat Einheitserde Typ I		70	30							70	30	254,0	0,89	5,7473	7,146	0,87	6,9017	8,34
I	2022-04	Klasmann-Deilmann Container Substrat Kd.-Msch. Pellens 17		80		20						80	20		0,89	11,562	8,579	0,98	7,1383	8,34
E	2021-12	"Hortensien 2021 - Standard" (KPN917)	85		15							85	15	168,9	1,1	8,0579	7,207	0,96	6,1981	6,57
C	2021-16	K&D BP-Substrat	30	20		30		20				50	50	324,6	0,89	4,7492	8,28	0,79	8,2132	8,34
A	2021-16	Torffreies Substrat			0	15	15	10	40	12	8	0	100	303,9	0,89	14,55	10,45	0,93	8,3052	8,34
G	2021-09	Klasmann-Deilmann Bio Substrate	50	30				20				80	20	165,2	1,452	7,9571	6,164	0,95	5,2134	4,75
F	2021-11	Calluna vulgaris substrate	80			20						80	20	142,0	0,75	14,129	9,461	0,97	10,664	10,08
H	2021-07-C	Klasmann-Deilmann Cutting Substrate	75			25						75	25	211,0	0,89	8,6303	10,07	0,97	9,3084	8,34
B	2021-16	Primelsubstrat	40			60						40	60	285,4	0,89	10,095	10,51	0,77	9,5122	8,34

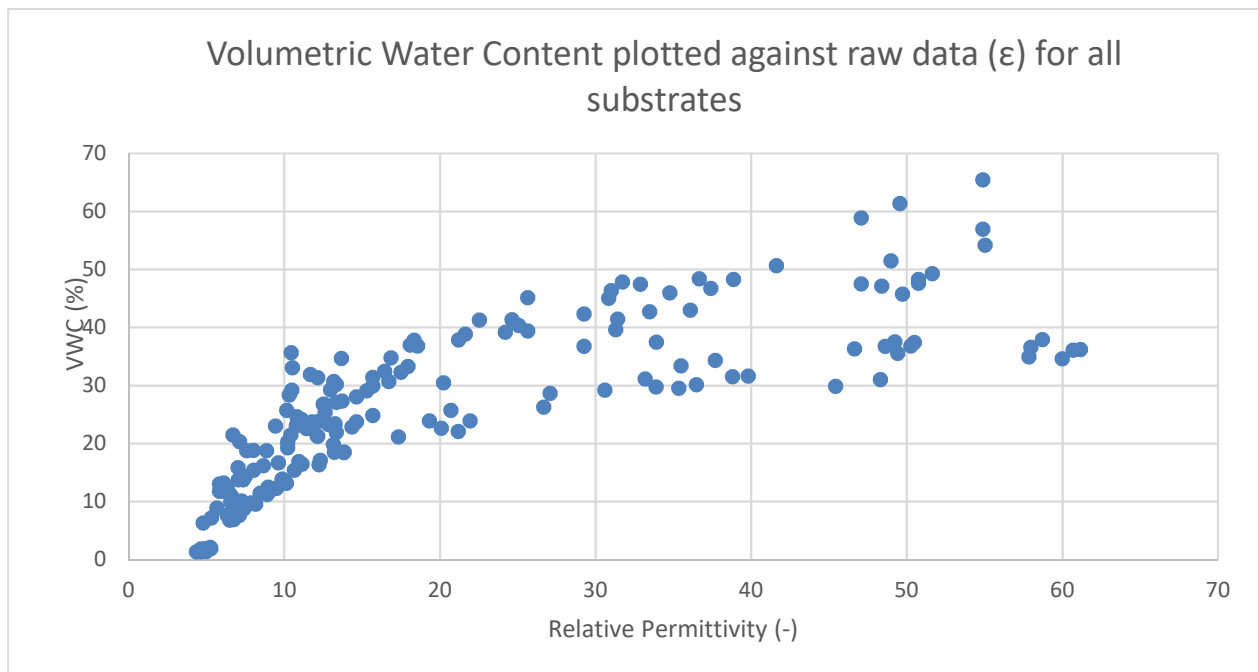


Abbildung 18 Verhältnis zwischen dem volumetrischen Wassergehalt (errechnet durch gravimetrische Bestimmung) und den Rohwerten der relativen Permittivität.

Aus Abbildung 19 geht hervor, dass die Ergebnisse für jedes einzelne Substrat weit auseinanderliegen. Ferner ist zu erkennen, dass es eine allgemeine Beziehung zwischen VWC und $\sqrt{\epsilon}$ gibt. Sehr auffällig ist, dass alle Diagramme für die niedrigen Wassergehalte in Abb. 19 in einen einzigen Punkt auf der x-Achse übergehen. Für VWC = 0 wird ein Wert zwischen 3 und 5 gefunden. Dieses Phänomen ist auch aus der Literatur bekannt. Tatsächlich verwendet Hilhorst (2000, siehe Tabelle 1) einen festen Wert für diesen Punkt, indem er $\epsilon_{(VWC=0)} = 4,1$ verwendet. Dieser Wert scheint von den Materialeigenschaften der verwendeten Kultursubstrate abhängig zu sein.

Ausgehend von der Tatsache, dass dieser Punkt fix zu sein scheint und für die von uns kalibrierten Substrate nicht so variabel ist, haben wir versucht, das 2-Parameter-Modell (a_0 , a_1) zu einem Ein-Parameter-Modell zu vereinfachen, und zwar gemäß:

$$\text{VWC} = b_0^{**} \sqrt{(\varepsilon - 4.1)}$$

Nach der Prüfung einer Reihe von Werten zwischen 3 und 5 für den festen Parameter stellte sich $b_0 = 4,1$ als beste Anpassung heraus. Das auf dieser Anpassung basierende Kalibrierungsdiagramm (*model 1*) ist in Abbildung 20 dargestellt.

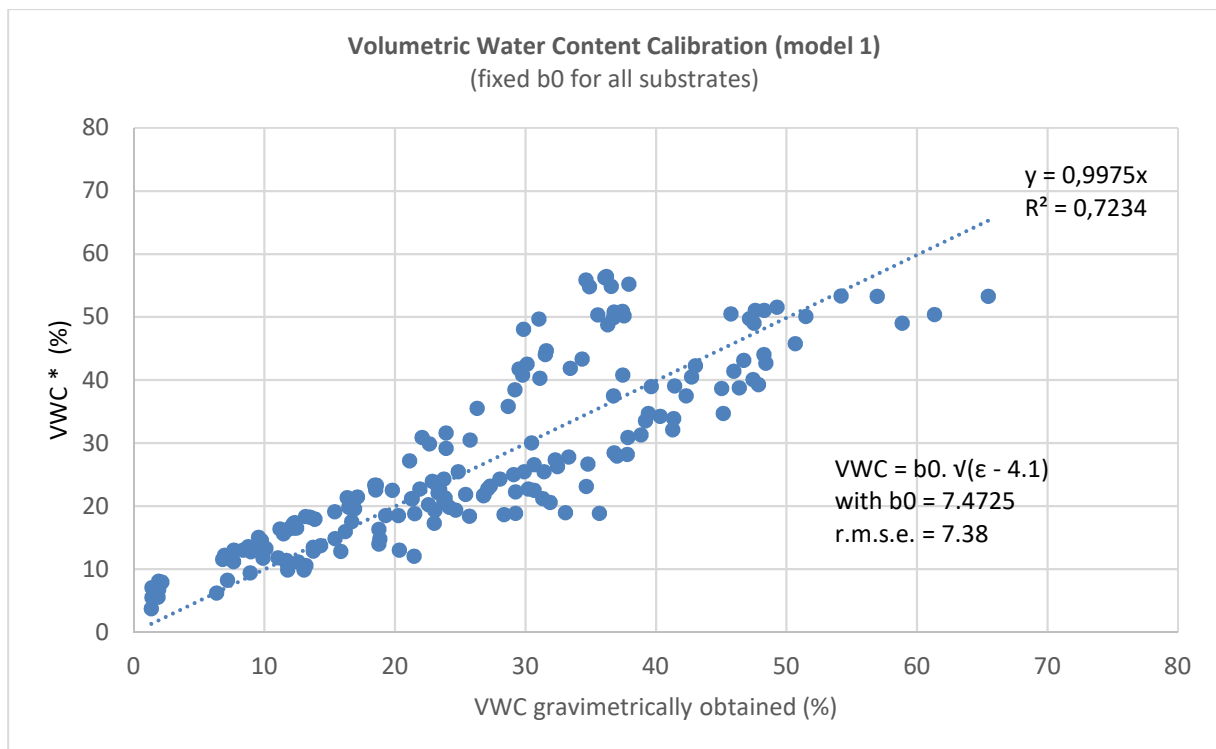


Abbildung 19: Allgemeines 1-parameter model, das auf Grundlage der Laborversuche versucht eine substratunabhängige Kalibrierung zu definieren. Dazu wurden die Kalibrierungsergebnisse aus model 1 verglichen mit dem gravimetrisch bestimmten VWC.

Abbildung 20 zeigt, dass dieses 1-Parameter-Modell eine vernünftige Anpassung mit einem r.m.s.-Fehler von 7,38% vorweist. Im Bereich von $20 < \text{VWC} < 40$ % können die individuellen Fehler jedoch bis zu 20 % betragen, welches wiederum nicht akzeptabel ist, um dieses Modell verlässlich für die praktische Nutzung zu verwenden.

3. Forschungsfrage: Ist es möglich die Genauigkeit (R^2) der Kalibrierungsfunktion zu verbessern und somit die Fehlerquote von ca. 7,4 % zu reduzieren?

Es hat sich in Punkt 2 gezeigt, dass die Verwendung eines allgemeinen Faktors b_0^{**} für die Kalibrierungsfunktion zu einem vergleichsweise großen Fehler führt. Um die Aussagekraft und somit den praktischen Nutzen der Kalibrierungsfunktion zu erhöhen, wurde ein Modell errechnet, das ein substratspezifisches b_0 annimmt (Abb. 21).

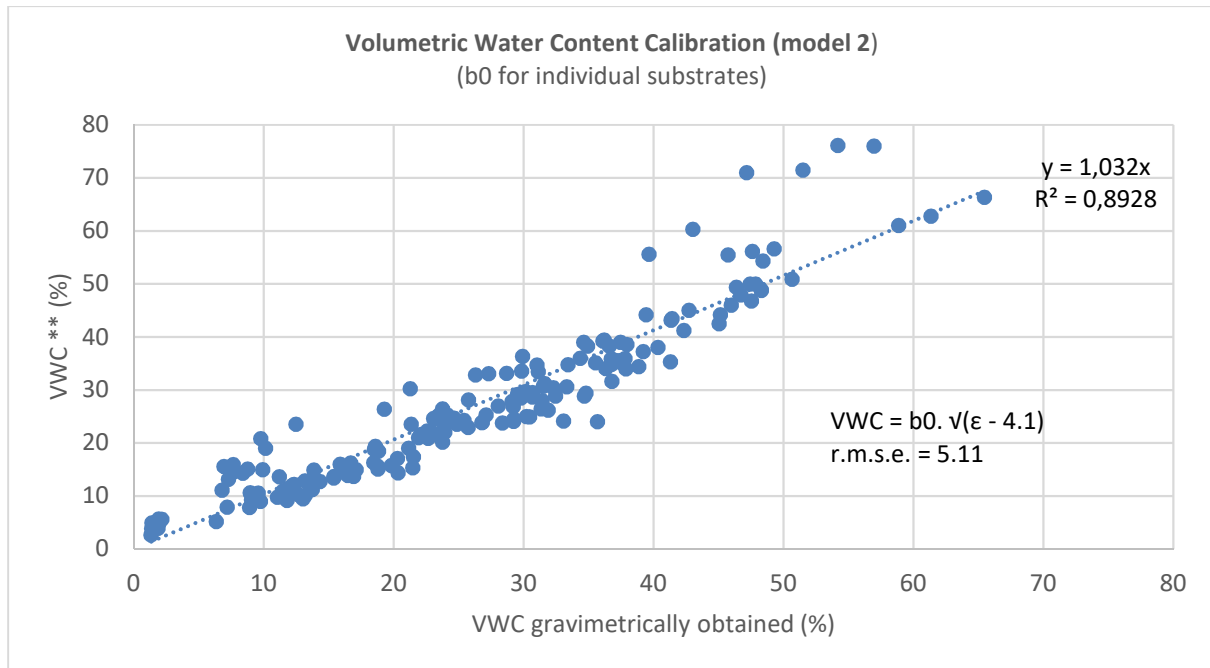


Abbildung 20: VWC model 2 – Eine VWC Kalibrierung, die einen substrat-spezifischen Parameter $b0^{**}$ enthält, um die Präzision des Modells zu erhöhen.

Zwar ist die resultierende Fehlerwahrscheinlichkeit von ca. 5,1 % reduziert worden, welches zu einer größeren Präzision führte, allerdings berücksichtigt das *model 2* die jeweilige Substratdichte nicht. Diese Dichte (Dry Bulk density $\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$, vgl. Tabelle 5) gibt einen weiteren Anhaltspunkt für den tatsächlichen Wassergehalt im Topf.

Wir haben daher versucht, die verbleibenden Fehler im Modell mit den Trockendichten (Dry Bulk Densities) zu korrelieren. Dieser Prozess führte jedoch bisher nicht zu einem zufriedenstellenden Ergebnis mit höheren Genauigkeiten. Ein weiteres Problem des *model 2* ist, dass immer noch eine substratspezifische Kalibrierung erforderlich wäre, was für die Gärtner kein praktischer Ansatz ist. Solche Kalibrierungen müssten dann als Dienstleistung von einem Forschungsinstitut oder einer Firma durchgeführt werden und verursachen dadurch unerwünschte Kosten.

Daher wurde untersucht, warum die $b0$ -Parameter für die einzelnen Substrate so unterschiedlich sind. Bei der Betrachtung der Daten und der Berücksichtigung des Topfvolumens stellten wir fest, dass es eine lineare Korrelation zwischen $1/\text{Topfvolumen}$ und $b0$ zu geben scheint (siehe Abb. 22). Bei kleineren Töpfen wird der Faktor $b0$ größer und umgekehrt, bei großen Töpfen ist der Faktor kleiner. Dies war eine hilfreiche Erkenntnis. Auf Grundlage der Literatur (Ruediger, 2013) konnten drei Faktoren benannt werden, welche dieses Phänomen potentiell physikalisch erklären könnte:

1. Das Wasser neigt dazu, sich nicht gleichmäßig in den Töpfen zu verteilen. Im Allgemeinen sickert das Wasser nach unten (wenn es nicht durch einige Substratkomponenten in der Mischung zurückgehalten wird). Daher ist der Wassergehalt in den unteren Teilen des Topfes höher als in den oberen Teilen.

2. Auch das Messfeld des Sensors ist nicht homogen. Er misst näher an den Metallsonden, etwa 1-2 cm um sie herum. Je weiter vom Messpunkt entfernt, desto weniger empfindlich ist der Sensor für die Detektion von Wasser. Das bedeutet, dass der Sensor möglichst in den für die Pflanze kritischen Wurzelraum platziert werden sollte, um möglichst repräsentativ zu messen. Für die Errechnung der Kalibrierungsmodelle erklärt dieses Phänomen aber einige der Schwankungen.
3. Da die Töpfe manchmal sehr klein sind und die Sensoren relativ dicht an den Seitenwänden der Töpfe angebracht sind, messen die Sensoren möglicherweise nicht vollständig im Inneren des Substrats. Dies führt zu niedrigeren Messwerten, da Luft eine wesentlich geringere relative Permittivität vorweist als ein nasses Substrat (vgl Kapitel B.IV). All diese Faktoren wirken sich auf den b_0 -Wert der einzelnen Topfgrößen aus.

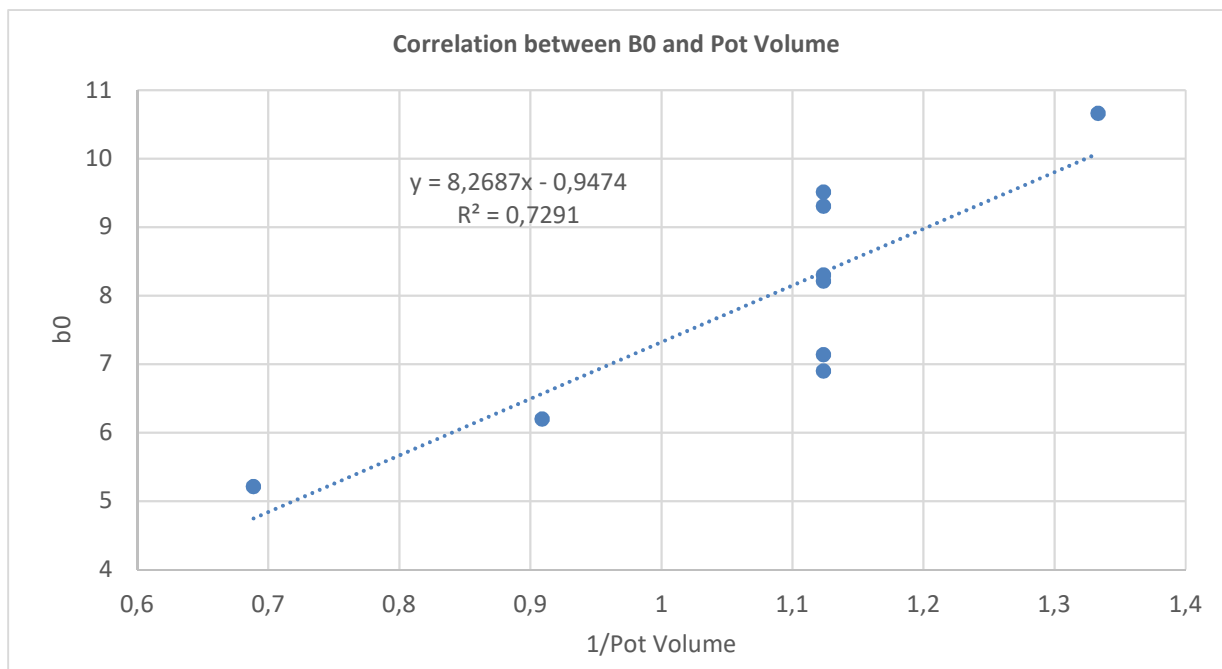


Abbildung 21: Korrelation zwischen b_0 und dem Topfvolumen.

Wenn das Topfvolumen berücksichtigt wird, dann ergibt sich das *model 3* bezüglich der Berechnung des volumetrischen Wassergehalts (Abb. 23). In diesem Fall ist es ratsam das *model 3* für alle verwendeten Substrate:

$$\text{VWC} = (8.2687/\text{pot volume} - 0.9474) \cdot \sqrt{\epsilon - 4.1}.$$

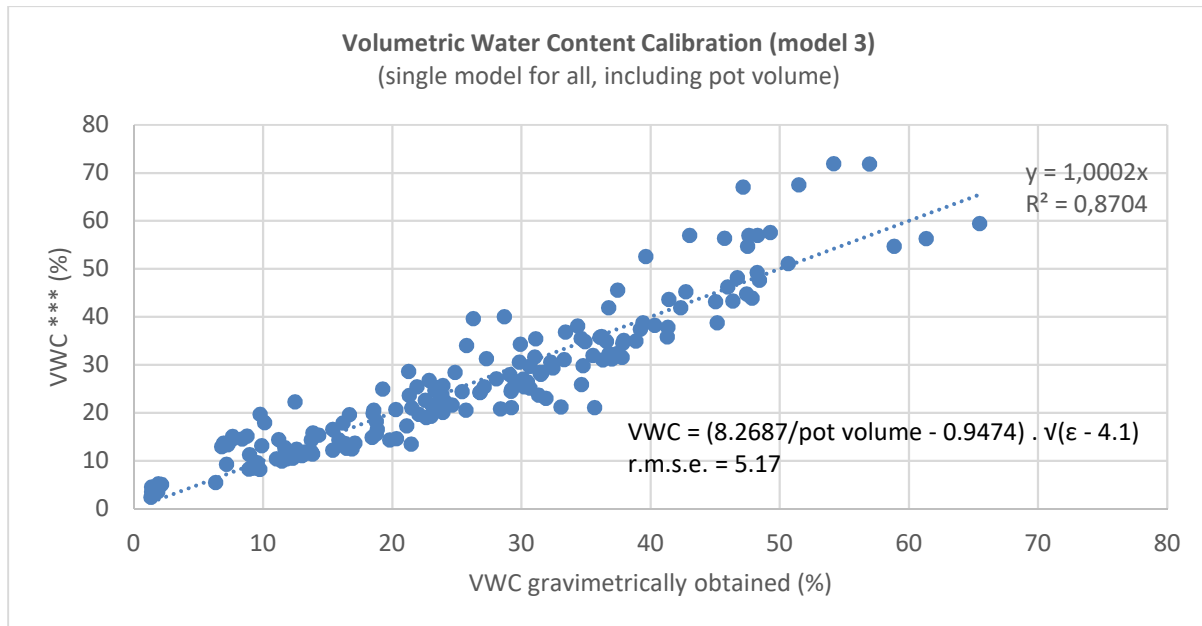


Abbildung 22: Grafische Darstellung des präferierten Kalibrierungsmodells model 3 auf Grundlage der verwendeten Topfgröße

Dadurch, dass dieses Modell nur auf einer Variable beruht, nämlich der des Topfvolumens, ist diese Art der Kalibrierung vehement einfacher durchzuführen und ergo praxistauglicher. Die Fehlerwahrscheinlichkeit des *model 3*, steigt zwar, aber nur sehr wenig mit 0,06 %, welche in Anbetracht der deutlich erleichterten Kalibrierungs-Prozedur für den Gärtner zu tolerieren ist. In Zukunft könnte ein Gärtner also bevor er seine Sensoren in seinen Pflanzen installiert, das Topfvolumen berechnen und es in der Software hinterlegen. Hierzu würde seitens der Software-Entwicklung ein sogenanntes „Calculation-Widget“ benötigt werden, welches es ermöglicht in der Software eigene Verrechnungsformeln zu hinterlegen. Die Bedingung dafür, dass das *model 3* anwendbar ist, ist dass der Gärtner den identischen Sensor verwendet (Poseidon). Dadurch, dass dieser letzte Entwicklungsschritt erst gegen Projektende erfolgt ist, konnte das Kalibrierungsmodell 3 noch nicht in der Praxis überprüft werden. Es bietet allerdings vielversprechende Anknüpfungspunkte für die Zukunft.

Ebenfalls für die Zukunft relevant ist die Forschungsfrage, ob es möglich ist von der Art der Substratzusammensetzung (z.B. vom Torfanteil) Rückschlüsse auf den Parameter b_0 und den Faktor $\varepsilon_{(VWC=0)} = 4.1$ zu ziehen und somit die Aussagekraft der Bodenfeuchte-Messung noch weiter zu verbessern. Eine weitere Frage ist, ob dieser Ansatz für alle Substraten gilt, die die Gärtner verwenden oder in Zukunft verwenden werden. Hierfür könnte eine Studie über eine größere Vielfalt an Substratartenmischungen sowie Topfgrößen von Nutzen sein. Im Hinblick auf die von der Bundesregierung angestrebten Reduzierungen des Torfanteils im Kultursubstrat (vgl. Klimaschutzplan 2050 und Klimaschutzprogramm 2030) sind diverse Änderungen in der Zusammensetzung von Kultursubstraten und damit einhergehend veränderten Wasserhaltekapazitäten zu erwarten. Ein modernes Bodenfeuchte-Sensorsystem mit zunehmend smarten, mathematischen Verrechnungen könnte helfen mehr über die Eigenschaften des jeweiligen Substratbestandteils zu lernen und dadurch letztendlich

eine Torfreduktion im Erwerbsgartenbau unter Berücksichtigung der lokalen Wettbewerbsfähigkeit begünstigen.

Auch Quantified arbeitete an dem Thema der Substratkalibrierung und im speziellen an einer technischen Lösung, die die Entwicklung des Kalibrierungsprozesses und den damit einhergehenden Erkenntnisgewinn beschleunigen sollte. Ein kompletter Trocknungszyklus, welcher für die Erarbeitung von gravimetrischen Wassergehalten von Nöten ist, kann sechs Wochen dauern und erfordert manuelle Arbeit, um die Proben zu wiegen. Basierend auf den physikalischen Erfahrungen des KMUs war klar, dass die Trocknungszeit durch das Herabsetzen des Umgebungsdrucks erheblich verkürzt werden kann, weshalb Quantified eine spezielle Kalibrierungsvorrichtung entwickelte. Diese Vorrichtung ermöglichte eine konstante Gewichtsmessung bei gleichzeitiger Messung der relativen Permittivität. Durch die Unterdruck-Vorrichtung wurde dabei der Trocknungsprozess beschleunigt. Wichtig war dabei die



Abbildung 23: Experimentelle Kalibrierungsvorrichtung im Labor des KMUs Quantified B.V.

Temperaturkontrolle der Apparatur, denn während der Verdunstung des Wassers sinkt die Temperatur des Substrats. Da die Dielektrizitätskonstante ϵ von der Temperatur abhängt, ist es nicht möglich, eine Kalibrierkurve zu erstellen, ohne die Probe auf einer konstanten Temperatur zu halten. Dieser Temperaturregler wurde durch einen Widerstandsheizler in den Topf eingebaut, sodass die Temperatur stabil gehalten werden konnte. Zukünftig kann diese experimentelle Kalibrierungsvorrichtung helfen zusätzliche Laboruntersuchungen zu unternehmen, welche das mathematische *model* 3 weiter füttern und letztendlich validieren kann (siehe S. 34/35).

Die beschriebenen Arbeiten haben bisher keine Beteiligung in der technischen Entwicklung eines praxisreifen Bodenfeuchte-Sensorsystems gefunden, weshalb sie unter „Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben“ gelistet sind. Nichtsdestotrotz haben diese Arbeiten perspektivisch einen wichtigen Beitrag geleistet. Zum einen kann durch das Sensorsystem durch sie auch nach Projektende weiterentwickelt werden (z.B. durch die Implementierung einer VWC-Kalibrierung) und zum anderen konnten im wissenschaftlichen Sinne wertvolle Erkenntnisse zum Thema Bodenfeuchte-Sensorik sowie der zugrundeliegenden Physik gesammelt werden.

V. Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

Es kann unterschieden werden in den primären, unmittelbaren Nutzen, der aus der Entwicklung des funkgestützten Bodenfeuchte-Sensorsystems als Projektergebnis resultiert, und in den sekundären Nutzen, der aus den Erkenntnissen im Umgang mit Bodenfeuchte-Sensorik im Allgemeinen resultiert.

Der primäre Nutzen des Projektergebnisses resultiert aus der Arbeitsentlastung durch das Sensorsystem und die damit einhergehenden Einsparungspotentiale wertvoller Ressourcen, wie z.B. Wasser. Dadurch, dass sich der Gärtner innerhalb weniger Tage selbstständig einen kritischen Bewässerungszeitpunkt in Form einer Bodenfeuchte (ε) erarbeiten kann, kann er sich in seinem Kulturmanagement in digitaler Weise unterstützen lassen. Insbesondere in Zeiten einer hohen Arbeitsbelastung und einer schnellen Austrocknungsdynamik im Hochsommer entlastet ihn das Sensorsystem mit dem Monitoring der wertvollen Pflanzenbestände. Der Kultivateur wird unterstützt faktenbasiert zu entscheiden, ob bewässert werden muss. Eben diese faktenbasierte Entscheidungshilfe hilft die Kultur optimal zu versorgen.

In einem Projektbetrieb wurde im Jahr 2022 ein Experiment angelegt, das zeigt wie diese optimale Versorgung aussehen kann: Es wurden zwei Gießwagen hinsichtlich der Bewässerung untersucht. Bei beiden Managementzonen waren die Grundvoraussetzungen identisch: Die gleiche Kultur (*Abelia x grandiflora*; Sorten ‚Little Lady‘ / ‚Postrata‘) in identischer Topfgröße, identischem Substrat und identischer Bewässerung mit moderner Gießwagen-Bewässerung. Die Zone „Kontrolle“ wurde von einem Gärtner mittels des „gärtnerischen grünen Daumens“ bewässert und die Zone „Sensorgestützt“ wurde von einem anderen Gärtner auf Grundlage der Sensorsystemdaten bewässert. Es zeigte sich, dass unter moderaten Bedingungen - mit geringen, aber vorhandenen Niederschlägen - die Nutzung des Sensorsystems eine Reduktion in der Anzahl der Gießvorgänge und damit eine Einsparung der gesamten Wassermenge bewirkte (Abb. 24). Unter anspruchsvollen klimatischen Bedingungen mit hohen Temperaturen und ohne Niederschlag (KW 32) verhielt sich das Bewässerungsverhalten gänzlich divergent. Unter diesen Bedingungen bewirkte die sensorgestützte Bewässerung eine Erhöhung der Bewässerungshäufigkeit im Vergleich zur Kontrolle und auch zu den vorherigen Wochen (Abb. 18). Zwar begründen sich diese Ergebnisse auf nur einem Versuch, aber auch außerhalb des abgesteckten Versuchsrahmens berichteten die Gärtner ähnliches. Demzufolge hilft das Sensorsystem nicht nur Wasser einzusparen, es bietet auch eine gewisse Absicherungsfunktion für Situationen, in denen die Situation und damit der Wasserbedarf der Pflanze nicht korrekt eingeschätzt wird. Durch den gezielten Einsatz der Bodenfeuchte-Sensortechnik lassen sich abiotische Stressbedingungen für die Pflanze umgehen, welches letztendlich der Pflanzenqualität zugutekommt. Insgesamt lässt sich anmerken, dass sich die Gärtner mit der Unterstützung des Bodenfeuchte-Sensorsystems eher an die kritischen Bodenfeuchten herantrauen und sich folglich mehr vom Vorsorgeprinzip lösten, was perspektivisch einen nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser fördert.

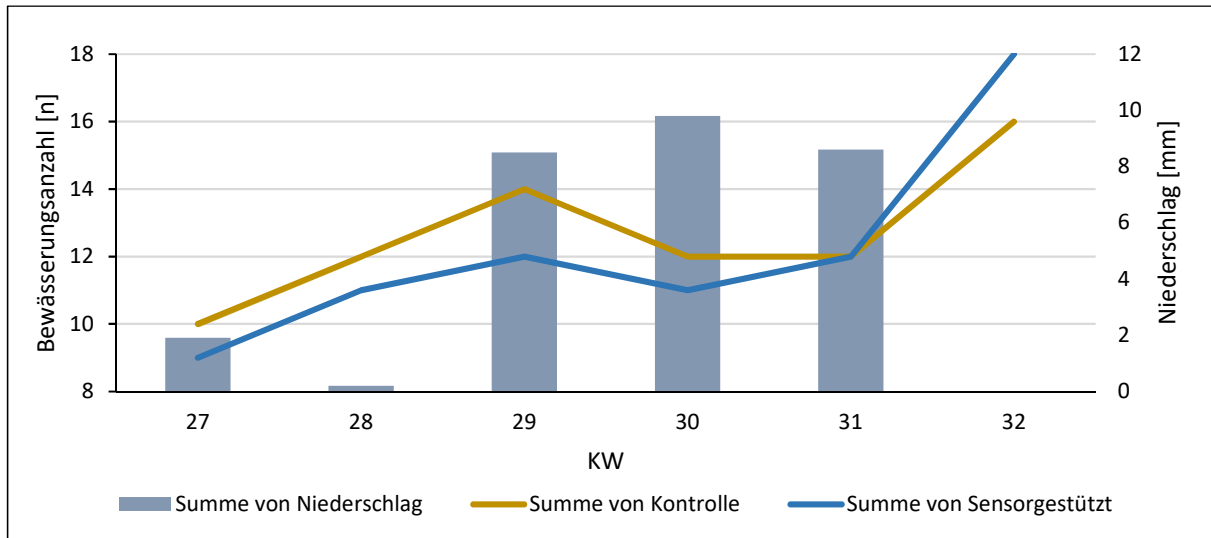


Abbildung 24: Vergleich der Bewässerungsanzahl je KW zwischen Sensorgestützter Kulturführung und der Kontrolle in Abhängigkeit des Niederschlags. Die Niederschläge entstammen der Datenbank meteostat

Der sekundäre Nutzen besteht darin, dass diverse Erfahrungen hinsichtlich der Verwendung von Bodenfeuchte-Sensortechnik gesammelt werden konnten, welche in wertvolle Handlungsempfehlungen resultierten. In enger Zusammenarbeit mit den Praxisbetrieben wurden Teile dieser Handlungsempfehlungen in einem Video zusammengetragen (Abb. 25), in dem die wichtigsten Eckpunkte für eine gelungene Sensorsystem-Installation demonstriert werden.



Abbildung 25: Was für eine praktikable Handhabung für den Umgang mit Bodenfeuchtesensoren und deren Installation zu beachten ist, hat das Projektteam via Video zusammengestellt: <https://www.youtube.com/watch?v=sPHCBj0TkGQ>

Im Folgenden werden einige Erkenntnisse dargelegt, deren Beachtung der Messqualität zugutekommen können:

- **Gateway-Installation:** Um einen möglichst guten Empfang und somit eine große Reichweite des Funknetzes zu generieren, empfiehlt es sich das Gateway bzw. dessen Antenne möglichst hoch aufzuhängen (vgl. Punkt B.IV.a).
- **Sensorinstallation im Topf:** Die optimale Sensorinstallation ist sehr betriebsspezifisch, aber insgesamt wurden die besten, praxistauglichsten Erfahrungen mit der diagonalen Sensorposition gemacht. Physikalisch gesehen wäre eine mittige Sensorposition optimal, da der Sensor zylindrisch misst.

Allerdings ist dies genau der Platz, an dem die Pflanze wachsen soll. Daher kann die diagonale Position helfen die Feuchte im Wurzelraum der Pflanze zu messen und dadurch möglichst repräsentative Messungen durchzuführen. In jedem Fall gilt es „immer den gleichen Fehler“ zu machen, das heißt, dass der Anwender seine individuelle Methode entwickeln kann, aber dieser Methode treu bleiben sollte, um die Streuungen zwischen den einzelnen Pflanzen zu minimieren. Darüber hinaus hat es sich als sehr sinnvoll gezeigt das Substrat nach der Installation der Bodenfeuchte-Sonde kurz anzudrücken, damit Messfehler durch unerwünschte Luftporen direkt am Sensor vermieden werden (vgl. Punkt B.IV.a).



Abbildung 26: Labortests für die Ermittlung der besten Messqualität resultierend aus den Grundsätzen Precision, Accuracy & Repeatability. Die diagonale Position zeigte den besten Kompromiss aus Praktikabilität und Messqualität.

- Sensorposition im Feld:** Zwar hängt die optimale Sensorposition ebenfalls von der individuellen Kulturfrage ab, jedoch kann hinsichtlich der Installation im Feld in zwei Strategien unterschieden werden (Tab. 6): Der ‚feste Orientierungspunkt‘ eignet sich besonders für homogene Pflanzenbestände oder in der alternativen Strategie ‚Standort-Extreme‘, die sich besonders für Kulturen bei denen mehr Parameter für die Entscheidungsfindung relevant sind, als nur die minimale Bodenfeuchte sinnvoll erscheint. Letztere eignet sich z.B. für wurzelsensitive Kulturen, die nicht nur nicht zu trockenfallen sollen, bei denen zu nasse Wurzel auch zu Schäden führen.

Tabelle 5: Unterscheidung in verschiedene Strategien zur Sensorinstallation im Feld

Strategie	Merkmal	Ziel	Erforderliche Sensoranzahl
Fester Orientierungspunkt	Homogene Sensorinstallation	Sensorposition basierend auf einem repräsentativen Mittelwert	r = Risikominimierungsfaktor 2-3 Sensoren
Standort-Extreme	Gezielte Sensorinstallation in extremen Lokalstandorten (Mikrostandorte).	Entscheidungsfindung auf Basis von Extremen (maximierte Informationsgrundlage)	n = Anzahl der Mikrostandorte r = Risikominimierungsfaktor → mind. 3

- **Initialisierungsphase einräumen:** Aufgrund der Substratquellung und Sackung bedarf es etwas Zeit, bis das Sensorsystem repräsentative Messwerte liefert. Es empfiehlt sich gut eine Woche zu warten, bis der Gärtner das Sensorsystem in seine Entscheidungsfindung einbeziehen kann. In dieser ersten Zeit kann die Entwicklung der Messdaten in der visuellen Ansicht nachverfolgt werden. Es kann überprüft werden, ob die Sensorposition im Feld richtig gewählt wurde, ob die Installation im Topf erfolgreich war und es kann erarbeitet werden wann der richtige Bewässerungszeitpunkt in Form der minimalen relativen Permittivität ist.



Abbildung 27: Es empfiehlt sich eine Initialisierungsphase einzuplanen, in der die Funktionalität des Sensorsystems überprüft werden kann. Hier sieht man die Annäherungen der Messwerte zweier Bodenfeuchte-Sensoren, die über durch die Sackung und Quellung des frisch getopften Substrats begründet werden kann.

- Im Laufe der Projektzeit haben sich **vier Entscheidungs-Möglichkeiten** bezüglich der Bewässerung herausgestellt:
 - 1) Routinemäßiges Gießen
 - 2) Gießen aufgrund der visuellen / manuellen Kontrolle („grüner Daumen“)
 - 3) Gießen aufgrund des Bodenfeuchte-Monitorings: Verfolgung der Feuchtigkeitsentwicklung über Insight
 - 4) Gießen aufgrund eines Bodenfeuchte-Alarms

Diese vier Stufen sind gewissermaßen als Evolution in der bedarfsgerechten Bewässerung zu sehen, da mit zunehmender Stufe mehr Acht auf den Ist-Zustand gegeben wird. Dabei ist anzumerken, dass Schritt 2, die manuelle Kontrolle, nie vollständig ersetzt werden sollte, da jegliche Sensorsysteme grundsätzlich als Unterstützung, nicht aber als Ersatz für eine Fachkraft zu sehen sind. Nichtsdestotrotz führt die Stufe 3 zu einer greifbaren Zeitersparnis in der Kulturüberwachung. Bezüglich Schritt 4 ist anzumerken, dass eine gewisse Erfahrung im Umgang mit Bodenfeuchte-Sensorik nötig ist, um sich auf einen Alarm zu verlassen zu können, schließlich befinden sich hohe ökonomische Werte auf den Stellflächen. Im Projekt zeigte sich zum einen, dass das System verlässlich ist und zum anderen, dass die Anwendung relativ niedrigschwellig ist, sodass auch unerfahrene Nutzer schnell und intuitiv den richtigen Umgang mit der Technik erlernen.

VI. (Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse

Als gemeinsame Arbeitsergebnisse sind neben der Entwicklung des funkbasierten Sensorsystems die im Rahmen des Projektes generierten Sensordaten zu sehen. Diese Sensordaten wurden archiviert und liefern eine wertvolle Grundlage für die wissenschaftliche Verarbeitung seitens der Universität Wageningen (SWR). Auf Grundlage dieser realen Daten kann eine künstliche Intelligenz bespielt werden, sodass ein maschinelles Lernen basierend auf dem Neural Networks – Ansatz aufgebaut wird. Diese künstliche Intelligenz, auch artificial intelligence (AI) genannt, soll voraussagen können, ob in einem definierten Zeitintervall, z.B. 30 Minuten, ein kritischer Schwellenwert, z.B. eine kritische Substratfeuchte, erreicht wird. Sollte ein solches Decision Support System (DSS) erfolgreich entwickelt werden, kann es zukünftig in eine Software eingearbeitet werden und somit den Gärtner z.B. durch einen E-Mail-Alarm warnen, bevor die Bodenfeuchte seiner Kultur zu trocken ist. Dieser Ansatz ist sehr komplex, weshalb diese Arbeit nach dem Projektende seitens des qualifizierten Wissenschaftsteams rund um Jos Balendonck erarbeitet werden soll. Diese Forschung kann darüber als Grundlage für eine neue projektgebundene Forschungskoooperation dienen.

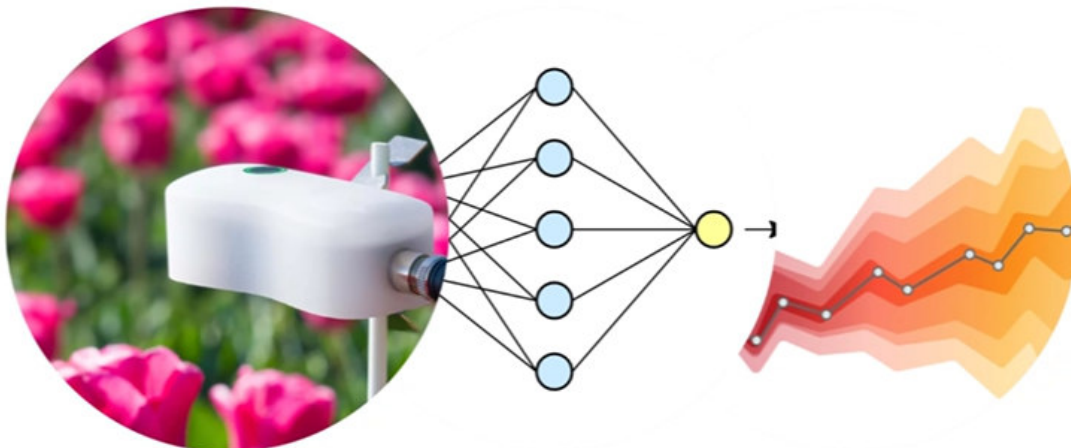


Abbildung 28: Geplante Verwertung der Arbeitsergebnisse seitens der SWR: Nutzung der realen Messdaten um eine künstliche Intelligenz basierend auf dem Neural Network Approach zu trainieren. Die Grafik wurde erstellt von Guido Jansen (SWR).

Des Weiteren können die Erkenntnisse bezüglich des Umgangs mit Bodenfeuchte-Sensortechnik als Projektergebnisse gewertet werden. Diese wurden durch diverse Formen der Öffentlichkeitsarbeit, ob per interaktivem Workshop, Erklärungsvideo oder Fachartikel, einem breiten Publikum zuteil. Auch in Zukunft wird dieses Wissen seitens der LWK NRW proaktiv genutzt, um möglichst fehlerfrei die Bodenfeuchte von Topfpflanzen zu messen und letztendlich den Gärtnern eine digitale Unterstützung in der Kulturführung zu ermöglichen. Damit einhergehend ist die LWK NRW imstande, bei potentiellen Problemen in der Anwendung von Bodenfeuchte-Sensorsystemen zu unterstützen. In diesem Geschäftsfeld kann sich in der LWK ein neuer Beratungszweig entwickeln, der die Produzenten im Prozess der Digitalisierung proaktiv begleitet. Seitens des KMU Quantified ist ebenfalls eine weitere Verwertung der Projektergebnisse geplant. In enger Zusammenarbeit mit den Praxispartnern wurde

eine Art „to-do-Liste“ erstellt, die insbesondere die Softwareentwicklung betrifft. Diese Ideen basierend auf den Notwendigkeiten aus der Produktion ermöglichen es dem KMU auch über das Projektende hinaus das Sensorsystem weiter anzupassen.

VII. Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Wie in Punkt B.VI beschrieben, ergibt sich aus der geplanten Verwertung der Projektergebnisse auch eine wirtschaftliche bzw. wissenschaftliche Anschlussfähigkeit. Zu nennen wären hier folgende Punkte:

- (A) Die Weiterentwicklung der Software basierend auf den innerhalb des Projektes erarbeiteten Konzepten,
- (B) Wissenschaftliche Forschung bezüglich Künstlicher Intelligenz und damit einhergehend Prognosen als DSS,
- (C) Entwicklung einer Bodenfeuchte-Sonde, die in noch kleineren Messvolumina, z.B. Vermehrungsplatten, einsetzbar ist und somit zu einer Erweiterung des Anwendungsgebiets beiträgt,
- (D) Vertiefende praxisorientierte Forschung hinsichtlich der EC-Messungen als Indikator für die Nährstoffversorgung der Pflanzen.

Insbesondere der Punkt d) wird vom Projektkonsortium als besonders bedeutsam erachtet, da das Thema des Nährstoffmanagements in Zukunft ebenfalls eine große Rolle spielen wird. Nährstoffe werden der Pflanze in Form von Düngemitteln zur Verfügung gestellt und sind für das Pflanzenwachstum unentbehrlich. Insbesondere mineralische Nährstoffquellen sind in ihrer (natürlichen) Verfügbarkeit begrenzt und gelten dadurch als kostenintensive Produktionsfaktoren. Folglich ist mit dieser Ressource möglichst sparsam umzugehen und unnötige Nährstoffauswaschungen, z.B. durch Überwässerung, sind zu vermeiden. Dies birgt neben dem individuellen betriebswirtschaftlichen Vorteil auch einen Vorteil für die umgebende Umwelt und den Schutz des Grundwasserkörpers. Daher gilt es auch bezüglich der Pflanzenernährung, eben wie in der Bewässerung, bedarfsgerecht zu handeln. Zu einem großen Teil wird dies in der Praxis bereits getan, z.B. durch regelmäßige Substratproben, welche Aufschluss über die Nährstoffverfügbarkeit und letztendlich über den Düngbedarf geben. Allerdings sind diese Proben invasiv und stichprobenartig, was zu einem zeitlichen Informationsverzug führt. Darüber hinaus sind die Laboruntersuchungen, trotz größter Bemühungen des Fachpersonals, bis zu einem gewissen Grad störanfällig, insbesondere bei der Verwendung von Langzeitdüngern. Zwar ist es üblich, dass Gärtner zusätzlich digitale Messtechnik verwenden, um den EC-Gehalt zu beobachten, allerdings sind auch diese Messungen stichprobenartig und punktuell. Es besteht seitens der Gärtnerschaft eine große Nachfrage nach einer stetigen Informationsversorgung bezüglich des ECs und letztendlich des Nährstoffgehalts.

Der im Rahmen des EIP-Projekts *Nursery Stock Growing Support System* verwendete Sensor namens ‚Poseidon‘ misst auch den EC-Wert, was als eine große Chance gesehen werden kann. Im Projekt konnten bereits erste Erfahrungen mit Dauermessungen, also Messungen über mehrere Monate hinweg, gesammelt

werden. Über einen großen Zeitraum hinweg waren die Messwerte bereits hilfreich, um die Nährstoffversorgung einordnen zu können. Allerdings waren diese Messwerte insbesondere in der Retroperspektive und letztendlich als Erklärung für bestimmte Entwicklungen hilfreich, und weniger für die Ist-Situation, da die erhobenen Messwerte bisher nicht um den Einfluss der Bodenfeuchte bereinigt werden konnten. Dieser Einfluss ist relativ groß, da die EC-Messungen auf der Leitfähigkeit des Mediums basieren und Wassergaben die Leitfähigkeit erheblich erhöhen. Daraus resultierend ergeben sich im Wesentlichen drei zukünftige Forschungsaspekte im Hinblick auf die Nährstoffsensoren:

- 1) Erhöhung der Aussagekraft des EC-Werts durch rechnerische, softwaretechnische Bereinigungen;
- 2) Entwicklung neuartiger, weniger störanfälliger Messtechnik im Bereich der EC-Wert-Messungen oder anderer vergleichbarer Methoden, die einen qualifizierten Rückschluss auf die Nährstoffversorgung der Kulturpflanzen beinhalten;
- 3) Praktische Erprobung der neuen Ansätze.

Neben den notwendigen technischen Entwicklungen (Punkt 1 und 2) ist insbesondere Punkt 3 als elementar anzusehen, da die Pflanzen die wichtigsten Produktionsgüter im Gartenbau darstellen, die es zu schützen gilt. Ferner ist es unabdingbar neue technische Innovationen in einem geschützten Rahmen zu testen und zu evaluieren, um somit das individuelle unternehmerische Risiko zu minimieren. Dafür würde sich ein Projektrahmen wie der einer EIP agri Innovationpartnerschaft bestens eignen, um in einem interdisziplinären Team praxisorientiert zu forschen und zu entwickeln.

Neben der vertiefenden praxisorientierten Forschung hinsichtlich der EC-Messungen (D), sind die Weiterentwicklung der Software (A), Wissenschaftliche Forschung bezüglich der Entwicklung von sensorbasierten Prognosen als DSS (B) – auch in Bezug auf Düngegaben denkbar – sowie die Entwicklung einer besonders kleinen Bodenfeuchte-Sonde (C) in einem Projekt *follow up* denkbar und sehr sinnvoll, um die erarbeiteten Ansätze und Ergebnisse bestmöglich zu verwerten. Auch bezogen auf anstehende Substratumstellungen ist der Einsatz von moderner Bodenfeuchte-Sensortechnik sehr vielversprechend, denn im Zuge des Klimaschutzprogramms der Bundesregierung soll in den Kultursubstraten des Erwerbsgartenbaus bis 2030 eine weitgehende Torfreduzierung durchgeführt werden. Die geforderte Umstellung auf torfreduzierte oder torffreie Substrate stellt für die deutschen Gartenbauunternehmen eine Herausforderung dar, denn gelernte und gewohnte Kulturführungen im Hinblick auf die Bewässerung und Düngung müssen bis zu einem gewissen Grade neu erlernt werden, wobei digitale Sensorik helfen kann.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich mehrere und unterschiedliche wirtschaftliche sowie wissenschaftliche Anschlussmöglichkeiten ergeben, die auf den wertvollen Erkenntnissen des Projektes *Nursery Stock Growing Support System* fußen. Alle Ansätze haben gemein, dass sie den Schutz wertvoller Ressourcen und dadurch eine nachhaltigere Landwirtschaft als Ziel haben sowie den Digitalisierungsprozess der grünen Branche weiterführen.

VIII. Nutzung Innovationsdienstleister (IDL)

Die Begleitung des Projektes durch die Innovationsdienstleisterin (IDL) war für das Projekt konstruktiv und nützlich. Bei Fragen zur Vorgehensweise in noch unbekanntem Prozessen, z.B. der Umwidmung von Finanzmitteln oder dem Partnerwechsel, wurde die OG mit Empfehlungen und Erfahrungen aus anderen Projekten beraten. Veranstaltungen, die von der IDL organisiert und durchgeführt wurden, gaben der OG die Möglichkeit, die Arbeit auf verschiedenen Ebenen zu präsentieren und sich mit anderen OGs auszutauschen. Dabei entwickelte sich zum Teil eine wertvolle Vernetzung, die schlussendlich dem eigenen Projekt zugutekam.

IX. Kommunikations- und Disseminationskonzept

Das Kommunikations- bzw. das Disseminationskonzept im Zuge des Wissenstransfers konnte im Groben aufgeteilt werden in Vorträge und Publikationen.

Die Vorträge wurden in unterschiedlichster Form gehalten: Ob als Online-Vortrag, Präsenzvortrag oder interaktiven Workshop – die Vortragsweisen waren divers und an den jeweiligen Anlass angepasst. Sie alle hatten gemein, dass sie mit Rückbezug auf den jeweiligen Projektstand über die bisherigen und aktuellen Erkenntnisse in Bezug auf Bodenfeuchte-Sensortechnik informierten. Dabei waren die Vortragsinhalte auf die Fragestellungen des jeweiligen Auditoriums zugeschnitten. So gab es zum Beispiel einen Vortrag im Rahmen der Erfa-Gruppe „Digitalisierung im Gartenbau“, in der im Allgemeinen über die Möglichkeiten zum Datentransfer im ländlichen Raum referiert wurde, welches als elementare Grundvoraussetzung für den Einsatz von Bodenfeuchte-Sensortechnik zu sehen ist. Ein anderes Beispiel wäre ein Informationsvortrag im Rahmen einer Sitzung des lokalen Kreisverbandes Erwerbsgartenbau Kleve Nord e.V., in dem über die Projektergebnisse sowie über die Erkenntnisse bezüglich des Umgangs mit Bodenfeuchte-Sensortechnik referiert wurde. Um den Wissenstransfer für die Praxis möglichst gewinnbringend zu gestalten, wurde neben den diversen Vortragsweisen grundsätzlich Wert auf eine fachliche Diskussion im Anschluss an den jeweiligen Vortrag gewählt. Dies war sehr hilfreich, denn die Vorkenntnisse des Publikums waren sehr divers, welches dem dynamischen Transformationsprozess im Bereich der Digitalisierung zuzuschreiben ist. Somit konnten das Publikum anhand der Diskussion überprüfen, ob es die Inhalte verstanden hatte und die Redner*in konnte individuell auf Bedürfnisse und Interessen des Publikums eingehen. Auf diese Weise wurde ein niedrigschwelliges Informationsangebot geschaffen, das oftmals über die jeweilige Veranstaltung hinaus weitergeführt und durch entsprechende Publikationen unterstützt wurde.

Neben den interaktiven Veranstaltungen wurde auch auf klassische schriftliche Publikationen Wert gelegt, um die Projektergebnisse sowie die aus der Projektstätigkeit resultierenden Erkenntnisse einem möglichst breiten Publikum zugänglich zu machen. Die Medien waren dabei ebenfalls divers: Von Publikationen in angesehenen Fachzeitschriften, über Projektberichte auf den Webseiten der Projektpartner*innen bis hin zu anschaulichen Videos wurden die Projekterkenntnisse konserviert. In der

nachfolgenden Tabelle (Tab. 7) ist eine Übersicht über die Öffentlichkeitsarbeit zu sehen, in dem die Art der Veröffentlichung je Datum und Abrechnungszeitraum dargestellt wird.

Tabelle 6: Tabelle über alle Vorträge und Publikationen

Datum	Art des Veröffentlichung
2020-01	
2020-02	
25.08.2020	Vortrag im Rahmen des Fachausschusses Topfpflanzen
01.09.2020	Vortrag im Rahmen der LWK NRW internen gartenbaulichen Versuchsanstellertagung
01.10.2020	Projektvortrag im Rahmen der Digitalkonferenz „Innovationen in der Landwirtschaft“
09.10.2020	Verfassung einer offiziellen, englischsprachigen Projektbeschreibung
2021-01	
13.04.2021	Projektvorstellung im Rahmen der Dienstbesprechung des Pflanzenschutzdienstes NRW
06.05.2021	Projektpräsentationen für LWK NRW interne Fachbereichsleiter-Besprechung
27.05.2021	Artikel im landaktuell-Newsletter (3.2021) der Deutschen Vernetzungsstelle Ländliche Räume: „Digitalisierung im Gartenbau“
28.05.2021	Vorstellung des Projektes durch Claudia Leibrock innerhalb des Vortrags „Innovationsförderung durch das EIP-Agri“ im Rahmen der Online-Veranstaltung „Es macht KLICK – für eine Landwirtschaft der Zukunft“
2021-02	
09.07.2021	Fachartikel „Smarte Bewässerung – EIP-Projekt entwickelt praxisgeeignetes Bodenfeuchte-Sensorsystem“ in der TASPO Nr. 27
27.07 - 30.07.2021	Online-Teilnahme an „The International Conference on Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances (ISEMA2021)“ organisiert von der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Präsentation: „Performance evaluation of the AquaTag, a prototype near-field RF-based soil moisture sensor“ (Jos Balendonck, SWR).
09.2021	Fachartikel in der gartenbaunrw Zeitschrift: „Forschungsprojekt zum Wassermanagement in der Zierpflanzenproduktion“
07.09.2021	Vortrag im Rahmen der MULNV Digitalkonferenz: Klimawandel und Landwirtschaft – Innovative Entwicklungen
14.09.2021	Vortrag im Rahmen der Tagung Versuchsansteller LWK NRW über das Projekt
27.09.2021	Pressemitteilung auf LWK NRW Website: „Forschungsprojekt zum Wassermanagement in der Zierpflanzenproduktion“ unter https://www.landwirtschaftskammer.de/gartenbau/versuche/artikel/straelen-eip-nsgss.htm
28.09.2021	Vortrag im Rahmen des KTBL-Arbeitskreis "Berater und Wissenschaftler für Technik im Gartenbau" über die Projektaktivität
08.11.2021	Vortrag im Rahmen der der LWK-internen Tagung der gartenbaulichen Berater mit Vorstellung des Projektes und Bericht über erste Ergebnisse
18.11.2021	Teilnahme an der „innovate! Convention“ 2021 inklusive EIP-Videowettbewerb (https://www.youtube.com/watch?v=Xhh5zfq8DEE)
12.2021	Fachartikel in Straelener Gärtner 2021: „EIP-Projekt Nursery Stock Growing Support System: Sensorgestützte Kulturführung im Zierpflanzenbau“
2022-01	

01-2022	Fachartikel in HORTIVISION TRENDS 2022: „Digitalisierung im Gartenbau: Funkgestütztes Bodenfeuchte-Sensorsystem zur ressourcenschonenderen Produktion“
01-2022	Projektinformation in Magazin Onder Glas mit dem Titel: „Digitalisering: draadloos meet- en beregeningsadviesstelsysteem“
18.01.2022	Vortrag im Rahmen des Agrobusiness Online-Talk: „Digitalisierung und Sensortechnik in Landwirtschaft und Gartenbau“
15.03.2022	Fachausschuss Topfpflanzen: Fachvortrag zum aktuellen Projektstand.
17.03.2022	Zukunfts-Symposium Agropole: Vorstellung des Projektes
25.03.2022	Fachartikel in der TASPO Spezial Sonderveröffentlichung NACHHALTIGKEIT: „Sensorgestützte Kulturführung zur Bewässerung im Freiland: Management verbessern“.
28.03.2022	Vortrag im Rahmen der Erfahrungsaustauschgruppe Digitalisierung im Gartenbau
30.03.2022	Agrobusiness Workshop Sensortechnik im Green Fab Lab der Hochschule Rhein-Waal
12.04.2022	Stichting Wageningen Resarch Team-Meeting: Projekt-Update
17.05- 19.05.2022	Vortrag im Rahmen der Bundesberatertagung Zierpflanzenbau
11.06.2022	Projektvorstellung beim Netzwerktreffen „Zusammen wachsen“ für Garden Girls Lizenznehmer
15.06.2022	Projektvernetzung auf der GreenTech Amsterdam
22.06.2022	Projekt- und Sensortechnikvorstellung im Rahmen der Wasserkooperation Kevelaer Keylaer
29.06.2022	Projektvorstellung und internationale Vernetzung mit PLANTAR Projekt am VZG Straelen
2022-02	
04.07.2022	Projektupdates auf WUR-Website: „Nieuws: Sensoren waarschuwen potplantenkweker bij watertkort“
15.07.2022	Veröffentlichung des Projektvideos „Nursery Stock Growing Support System – sensorbasierte Kulturführung im Zierpflanzenbau“ unter https://www.youtube.com/watch?v=sPHCBf0TkGQ
13.09.2022	Vortrag im Rahmen der Teamsitzung gartenbaulicher Versuchsansteller: Updates aus dem EIP-Projekt Nursery Stock Growing Support System
29.09.2022	Vortrag im Rahmen der „Fachtagung Technik für kleine Gartenbaubetriebe“ am LfULG Dresden-Pillnitz
13.10.2022	Veröffentlichung des Praxisblatts NRW auf DVS Website über das Projekt
25.10.2022	Projektabschlusspräsentation mit Vortrag und Stationslauf am VZG Straelen
11.2022	Projekt-Publikation in Fachzeitschrift gartenbau profi (11/2022)
10.11.2022	Projektpitch vor dem Staatssekretär Dr. Berges des Ministeriums für Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW im Rahmen der ZeIE-Tagung Tagung „Zukunftslandwirtschaft“
11.11.2022	TASPO Award Gala und 2. Platzierung des Projektkonsortiums in der Kategorie „Kooperation des Jahres“
17.11- 18.11.2022	Veranstaltung der „Fachtagung zur Bewässerung im Gartenbau – Fokus Topf- und Containerkulturen“ in Kooperation mit dem LLH Hessen
28.11.2022	Offizielle Bekanntmachung der 2. Platzierung des Projektkonsortiums in der Kategorie „Kooperation des Jahres“ in TASPO Nr. 46.
23.11.2022	Vortrag „Sensorgestützte Kulturführung im Zierpflanzenbau – Erkenntnisse aus dem EIP-Projekt Nursery Stock Growing Support System“ im Rahmen des Fachausschusses Topfpflanzen

25.11.2022	Fachartikel in der TASPO Nr. 47 über die Projekt-Abschlussveranstaltung mit dem Titel: „Neue Chance - Faktenbasiert entscheiden“
28.11.2022	Vortrag in Jahreshauptversammlung des Kreisverbandes Erwerbsgartenbau Kleve Nord e.V.: „Bodenfeuchte Sensorsysteme zur Kulturführung in der Freiland-Topfpflanzenproduktion - Erkenntnisse aus dem EIP-Projekt Nursery Stock Growing Support System“
14.12.2022	Vortrag im Rahmen des KSI Meinsberg Kolloquiums: „Verwendung von Bodenfeuchte-Sensortechnik – Ein Überblick über die Chancen und Herausforderungen in der gartenbaulichen Praxis“
12-2022	Fachartikel in der gartenbaunrw-Zeitschrift: „Praxisnahes Forschungsprojekt entwickelt Bodenfeuchte-Sensorsystem für den Zierpflanzenbau“
12-2022	Projektbericht in Jahresband der LWK NRW
2023-01 (über das Projektende hinaus)	
01-2023	Fachartikel in Fachzeitschrift dega: „EIP-Projekt Nursery Stock Growing Support System – smarte Bewässerung im Zierpflanzenbau“
12.01.2023	Vortrag und Demonstration des Sensorsystems während des Straelener Topfpflanzentags 2023 „Ressourcen im Fokus: Energie und Wasser für den Freilandtopfpflanzenanbau“
24.01 – 27.01.2023	Ausstellungsbeitrag zum Sensorsystem innerhalb der Lehrschau auf der Internationalen Pflanzenmesse 2023 in Essen

Grundsätzlich sah das Projektkonsortium die EIP-Förderung als sehr gewinnbringend für alle Akteure an, denn die internationale und interdisziplinäre Zusammenarbeit, die durch die EIP agri-Förderung möglich wurde, half das Projektziel, ein funkbasiertes Bodenfeuchtesensorsystem für den Freiland-Zierpflanzenbau zu entwickeln, zu erreichen. Durch diese konstruktive Zusammenarbeit konnte die Lücke zwischen Theorie und Praxis erheblich verkleinert werden, sodass auch über das Projektende hinaus eine Fortführung der Zusammenarbeit angestrebt ist.

Quellen

- Agrobusiness Niederrhein e.V. (2022): Zahlen und Statements zum Agrobusiness am Niederrhein
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hg.) (2021a): Der Gartenbau in Deutschland. Auswertung des Gartenbaumoduls der Agrarstrukturerhebung 2016.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (Hg.) (2021b): Ertragslage Garten- und Weinbau 2021. Daten und Analysen. Berlin.
- Gaertig, Thorsten. (2015). Geht unseren Bäumen die Luft aus? Möglichkeiten und Grenzen der Diagnose von Belüftungsstörungen städtischer Baumstandorte.
- Gardner, C. M. K., Dean, T. J., & Cooper, J. D. (1998). Soil Water Content Measurement with a High-Frequency Capacitance Sensor. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 71(4), 395–403. <http://doi.org/10.1006/jaer.1998.0338>
- Hilhorst, M.A. (2000). A Pore Water Conductivity Sensor, *Soil Science Society of America Journal*, Volume 64, Issue 6, November 2000, Pages 1922-1925 <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2136/sssaj2000.6461922x>
- Jones, Scott B. (2022): Soil Water (Moisture) Content: Measurement Principles, State of the Art and Future Opportunities. Utah State University, Logan, USA, 17.05.2022. Online verfügbar unter <https://www.ipan.lublin.pl/wp-content/uploads/2022/05/video1438144466.mp4>, zuletzt geprüft am 23.05.2022.
- Lackes; Prof. Dr. Richard (2018): Internet der Dinge. Ausführliche Definition im Online-Lexikon. Hg. v. Wirtschaftslexikon Gabler. Online verfügbar unter <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/internet-der-dinge-53187/version-276282>, zuletzt geprüft am 19.02.2018.
- Ruediger Anlauf, Peter Rehrmann (2013). Simulation of water and air distribution in growing media, Conference: HYDRUSSoftware Applications to Subsurface Flow and Contaminant Transport Problems. At: Prague, Czech Republic
- Schmilewski, Gerald K.: Kultursubstrate und Blumenerden. Eigenschaften, Ausgangsstoffe, Verwendung. Online verfügbar unter <https://substratbuch.ivg.org/static/flipbook/flipbook.html#p=2>.
- Troidl, Tobias; Beck, Michael; Dümig, Alexander; Peisl, Sebastian (2022): Glossar: Die wichtigsten Begriffe zur Bewässerung im Überblick. In: *Gemüse* 58 (3), S. 32–33.

Webadressen

ALB Bayern (2022): www.alb-bayern.de/bef/glossar Stand: 14.04.2022 12:08 Uhr

Landesverband Gartenbau Nordrhein-Westfalen (LV Gartenbau NRW) e. V. (2022): <https://www.gartenbaunrw.de/index.php/gartenbau/zierpflanzenbau> Stand: 21.12.2022 15:09 Uhr

Anhang

Milestone Plan EIP-Projekt *Nursery Stock Growing Support System*

Year	Month	Deadline	Mile Stone
2020	Nov	01.11.2020	Project Start with Quantified
	Dez	15.12.2020	Fast-Track: Technical Realization
2021	Jan		
	Feb		
	Mrz	15.03.2021	Fast-Track: Pre-Tests at VZG Straelen
	Apr	01.04.2021	Fast-Track: Feedback I
	Mai		
	Jun		
	Jul		
	Aug		
	Sep	30.09.2021	Development of Quantified-Soil Moisture Sensors
	Okt	15.10.2021	Fast-Track: Field Trials I
	Nov	15.11.2021	Fast-Track: Feedback II
	Dez		
	2022	Jan	
Feb		15.02.2022	Longterm-Track: Pre-Tests at VZG Straelen
		15.02.2022	Fast-Track: Testing in Propagation
Mrz		15.03.2022	Feedback III (Fast-Track Propagation & Longterm-Track)
		31.03.2022	Data Interpretation Field Trials I
Apr		01.04.2022	App Development
		30.04.2022	Longterm-Track: Field Trial I
Mai		31.05.2022	Longterm-Track: Feedback IV
Jun			
Jul			
Aug		01.08.2022	Final App Feedback
Sep			
Okt		15.10.2022	Field Trials II (Fast-Track & Longterm-Track)
Nov	15.11.2022	Final Data Interpretation (Short-Term II & Longterm I)	
	01.12.2022	Final Feedback V	
Dez	15.12.2022	Project End: Final Report & Calculations	