

Verbundprojekt: Predictive Plant Production (PPP)

Abschlussbericht

Zeitraum: 04. März 2021 – 30. Juni 2024



Verbundpartner:



Sachbericht zum Abschlussnachweis

Zuwendungsempfänger:
OFFIS e.V.

Registriernummer:
276034030000985

OG: Predictive Plant Production (PPP)
Laufzeit des Vorhabens: 04.03.2021 – 31.08.2024 (ursprünglich 31.03.2024)
Berichtszeitraum: 04.03.2021 – 31.08.2024 (Monate 1 – 40)

Verbundprojekt: **Predictive Plant Production (PPP)**

1 Kurzdarstellung (in Alltagssprache)

1.1 Ausgangssituation und Bedarf

Aufgrund der zunehmend trockenen Sommer und abnehmender Wasserverfügbarkeit suchen Baumschulen nach präzisen, wassersparenden Bewässerungsmethoden. Derzeit basieren Bewässerungsentscheidungen meist auf der Erfahrung der Betriebsleiter und werden oft manuell oder über Zeitschaltuhren gesteuert. Technisch ist die automatische Kontrolle der Wachstumsbedingungen durch Sensoren und Aktoren möglich, doch fehlt es an sicherer Steuerungstechnik und praktischen Erfahrungen. Viele Betriebe vertrauen auf ihre langjährige Erfahrung und öffentlich zugängliche Informationen, sehen jedoch die Vorteile einer automatisierten Unterstützung. Eine solche Technologie könnte schneller auf Extremwetter reagieren, Ressourcen effizienter nutzen und eine bessere mittel- und langfristige Planung ermöglichen, was ökonomische und ökologische Vorteile sowie optimierte Lieferketten und Kooperationen bieten würde.

1.2 Projektziel und konkrete Aufgabenstellung (Titel des Projekts max. 150 Zeichen)

Entwicklung eines KI-gestützten Systems zur Überwachung und Optimierung der Pflege von Thuja und Rhododendron für ressourceneffizientes Wachstum.

1.3 Mitglieder der OG

Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LVG): Obgleich die endgültige Methode nur anhand von Sensordaten lernen soll, waren für die Entwicklung der Methodik hochwertige Daten über das Pflanzenwachstum sowie Erfahrungen in der Anwendung und Anpassung der Wachstumsmodelle erforderlich. Mit der LVG in Bad Zwischenahn verfügt die Landwirtschaftskammer Niedersachsen über eine Forschungseinrichtung, die seit über 30 Jahren Versuche zur Düngung und Bewässerung von Gehölzen in Containerkulturen durchführt. Einem in der Versuchsarbeit mit Gehölzen erfahrenen Team stand eine Auswahl an unterschiedlich aufgebauten Kulturflächen mit verschiedenen Bewässerungsmethoden zur Verfügung. Dadurch, dass Praxisbetriebe und Beratung an der Planung der Versuche maßgeblich beteiligt waren, war eine enge Verzahnung der Versuchsarbeit der LVG mit Beratung und Praxis gewährleistet.

Verbundprojekt: **Predictive Plant Production (PPP)**

Communicate2Integrate GmbH (C2I): Es wurde im Projekt ein Partner benötigt, der die zur Verarbeitung der Sensordaten, zur Kontrolle der Aktoren und zur Kommunikation mit dem Nutzer notwendige Software zur Verfügung hat und an die Projektbedürfnisse anpassen kann. Zudem konnte C2I im Sinne eines Produktmanagers wichtige Entscheidungen bei der Entwicklung in Richtung Anwenderbedürfnis steuern, um die Entwicklung in Richtung einer pragmatischen, nutzbaren Lösung zu beeinflussen. Die Münchner C2I hatte bereits eine Cloudplattform, die sowohl als Pflanzenmanagement Plattform als auch als Bewässerungssteuerung eingesetzt werden kann. Messungen von Sensoren, Einbeziehung externer Daten und Zwei-Wege Kommunikation mit Bewässerungsventilen können kombiniert und sinnvoll genutzt werden. Im Projekt konnte diese Plattform genutzt werden, die Daten der Sensoren zu sammeln und der KI zur Verfügung zu stellen und den Nutzern zu visualisieren. Zum andern konnte die Plattform angepasst und ausgebaut werden, damit am Ende des Projektes auch wirklich ein anwendbares und erschwingliches Produkt für die mittelständischen Gartenbauer entsteht.

Oldenburger OFFIS Institut für Informatik (OFF): Die vorgeschlagenen Systeme im Feld lernenden KI und Vorhersagemethoden waren grundlegend neuartig und können nicht von einem Software Dienstleister implementiert, sondern musn zunächst von einem Forschungsinstitut mit starkem Anwendungsbezug erforscht und entwickelt werden. Das OFF ist eines der größten deutschen Forschungsinstitute, das in allen Bereichen stets mit hohem Anwendungsbezug forscht und entwickelt. Die im Projekt beteiligten Forschungsgruppen haben hierbei einen großen Erfahrungsschatz in der Entwicklung aufwändiger und neuartiger KI Systeme und deren Umsetzung in Hardwaresysteme.

Baumschulberatungsring Weser-Ems e.V. (BBR): Eines der größten Hemmnisse bei der Überführung der Methoden in die Praxis lag in der Vielzahl der kleinen und mittleren Unternehmen, sowie in der Skepsis alteingesessener Gärtner hinsichtlich der Einführung neuer Technologien. Hier wurde ein Multiplikator benötigt, der bereits über ein eigenes großes Netzwerk verfügt und bei den Baumschulen großes Vertrauen genießt. Der bereits 1956 gegründete BBR steht seinen über 200 regionalen und 100 überregionalen Mitgliedern beratend zur Seite. Die Dienstleistung für die Mitglieder umfasst die Düngungs-, Pflanzenschutz- und Gartenbautechnikberatung wie die Berechnungstechnik, EDV-Anwendungen, Planung von Betriebserweiterungen, Umstellungen, Neuanlagen und Versuchskonzepten. Zudem führt der BBR regelmäßig Fortbildungsveranstaltungen durch und bietet Studienreisen an.

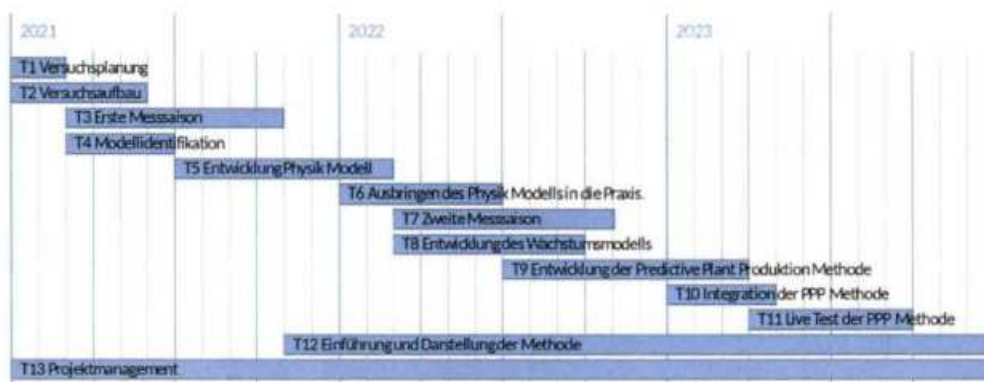
Abschließend wurde zum Test von Genauigkeit und Nutzerfreundlichkeit der Methode sowie zur Erhebung weiterer praxisnaher Sensordaten zwei Baumschulen benötigt mit unterschiedlicher Ausrichtung um die Vielzahl verschiedener Betriebe besser darzustellen (Freiland- oder Containerkultur, Gewächshaus, Berechnungsmethode, etc.).

Hellwig Pflanzenhandel GbR (HEL): Die Westersteder HEL verfügte bereits über eine digitalisierte Steuerung die die Bewässerung, Düngung und Lüftung in einer System-Programmierbaren Steuerung (SPS) regelt. Die SPS-Steuerung ist eine Verbundprojekt: **Predictive Plant Production (PPP)**

Eigenentwicklung, die für das Projekt leicht angepasst werden konnte. Daher konnten die Steuerungsmethoden hier sehr kostengünstig realisiert und getestet werden. Ebenso verfügte die Baumschule schon über Wetter- und Windsensoren sowie eine Sensor-Grundausstattung (LoRa Gateway, Software, erste Sensoren). Die Kernidee für das Projekt kam ursprünglich von Hellwig Pflanzenhandel: Der Geschäftsführer selbst ist ein sehr erfahrener Gärtnermeister mit viel Technikverständnis, der die Versuche auch selbst betreuen wird.

Baumschule Johann Bruns GmbH & Co KG (BRU): BRU ist eine der größten und führenden Baumschulunternehmen in Europa. Das in dritter Generation geführte Unternehmen blickt auf eine über hundert jährige Geschichte zurück. Der Betrieb gilt als Vorreiter und Aushängeschild der gesamten Baumschulbranche im norddeutschen Raum. Der sparsame Umgang mit den natürlichen Ressourcen wie Boden, Wasser und Luft als Wachstumsgrundlage spielen schon immer eine zentrale Bedeutung bei den Produktionsprozessen der Baumschule. Der Betrieb legt Wert auf eine klimafreundliche und nachhaltige Pflanzenproduktion. Durch seinen Bekanntheitsgrad und seine Marktführerschaft ist der Betrieb sehr gut geeignet, wenn es darum geht neue Technologien in die Branche einzuführen. Der Betrieb ist gut strukturiert, fokussiert sich auf Freilandkulturen und verfügt in allen Zweigbetrieben über engagierte, technisch versierte und gut ausgebildete Betriebsleiter und Stellvertreter, wodurch auch gewährleistet war, dass angelegte Versuche stets gut betreut werden konnten.

1.4 Projektgebiet



In der obigen Abbildung ist das GANTT-Chart nach Projektplanung dargestellt. Entgegen der ursprünglichen Planung erfolgte der offizielle Projektstart im März 2021 statt im Januar 2021, wodurch sich alle Tasks um zwei Monate verschoben haben. Das Projekt wurde zudem bis einschließlich Juni 2024 (Projektarbeit) verlängert, um zusätzliche Tests in der diesjährigen Messsaison durchführen zu können. Ab dem 01.07.2024 hat lediglich OFFIS Stunden zum ordnungsgemäßen Abschluss des Projektes angesetzt. Offizielles Ende des Projektes ist der 31.08.2024.

1.5 Budget (Gesamtvolumen und Fördervolumen)

| OG-Mitglied | Geplante Ausgaben | Tatsächliche Ausgaben | Differenz |
|---|--------------------|-----------------------|-------------------|
| OFFIS (Koordination) | 27.455,85€ | 18.816,17 € | 8.639,68€ |
| OFFIS (Projektarbeit) | 179.332,15€ | 181.871,97 € | -2.539,82€ |
| Johann Bruns Baumschulen GmbH & Co KG | 24.764,00€ | 29.845,31 € | -5.081,31€ |
| Baumschule Hellwig | 21.334,00€ | 21.877,95 € | -543,95€ |
| BBR Baumschul-Beratungsring Weser-Ems e.V. | 27.764,00€ | 29.291,36 € | -1.527,36€ |
| Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau der Landwirtschaftskammer Niedersachsen | 149.288,71€ | 144.128,88 € | 5.159,83€ |
| Communicate2Integrate GmbH | 54.098,00€ | 40.144,29 € | 13953,71 |
| Gesamt | 484.036,71€ | 465.975,93 € | 18.060,78€ |

1.6 Ablauf des Verfahrens

OFFIS Koordination: Für die koordinativen Aufgaben des Gesamtverbundes wurden gegenüber der ursprünglichen Planung 8.639,68€ weniger verausgabt. Dies liegt im wesentlichen an nicht benötigtem Material, das so wie geplant für Demonstratoren oder Ähnliches nicht benötigt wurde. Im Laufe des Projektes wurden die entsprechende Demonstratoren bedingt durch den Projektverlauf anders gestaltet als ursprünglich vorgesehen. Es wurden beispielsweise keine eigenen Sensoren benötigt, da die im Demonstrator angezeigten Sensorwerte in Echtzeit von den Baumschulen abgefragt werden konnten. Die KI-Steuerung wurde aufgrund der unerwartet guten Netzabdeckung in den Baumschulbetrieben durch eine bei OFFIS betriebene VM durchgeführt. Die dazu benötigte Infrastruktur war bereits vorhanden. Dies hat zu der Ersparnis geführt. Gleichzeitig sind einige Ressourcen in die Projektarbeit geschoben worden, da hier die Unterstützung benötigt wurde, um die fachlichen Aufgaben rechtzeitig fertigzustellen. Siehe unten.

OFFIS Projektarbeit: Für die eigentliche Projektarbeit wurden 2.539,82€ mehr benötigt, als ursprünglich geplant. Dies sind im wesentlichen Mitarbeiterkosten. Einige Aufgaben wurden im Projekt noch tiefgreifender betrachtet, als ursprünglich vorgesehen. So konnten die Ergebnisse signifikant verbessert werden

Johann Bruns Baumschulen: Die Kosten der Baumschule Bruns liegen 5.081,31€ über der ursprünglichen Planung. Im wesentlichen entsteht diese Abweichung durch Materialien, die auf den Feldern für die notwendigen Testaufgaben nötig wurden.

Verbundprojekt: Predictive Plant Production (PPP)

Baumschule Hellwig: Die Baumschule Hellwig ist bis auf 543,95€ im ursprünglichen Plan verblieben

BBR Baumschul-Beratungsring Weser-Ems e.V.: Der Baumschulberatungsring hatte mit 1.527,36€ geringfügig höhere Beratungskosten durch die Unterstützung der Baumschulen, als ursprünglich geplant.

Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau der Landwirtschaftskammer Niedersachsen: Auf Grund von Personalproblemen, konnte die LVG 5.159,83€ im Projekt nicht wie geplant in Arbeitszeit umsetzen. Alle geplanten Aufgaben und Ziele konnten dennoch erreicht werden.

Communicate2Integrate: Die wesentlichen Abweichungen in den Kosten von C2I gegenüber der Planung liegt darin begründet, dass einige Anschaffungen vom C2I in die Budgets der Baumschulen verschoben wurden. Die zeigt sich insbesondere bei der Baumschule Bruns. Die Mittelverschiebung war notwendig, um die notwendigen Anschaffungen bei den richtigen OGs durchzuführen.

1.7 Zusammenfassung der (erwarteten) Ergebnisse (in Deutsch und Englisch max. 200 Wörter, 1200 Zeichen)

Deutsch:

- Testung verschiedener Sensorsysteme zur Messung von Substratfeuchte und Salzgehalten in der Praxis
- Systematische Datenerfassung und Auswertung der Pflanzenparameter über mehrere Messsaisons
- Erstellung eines physikalischen Modells zur Beschreibung der Substratfeuchte basierend auf Umweltparametern
- Erstellung eines Wachstumsmodells zur Beschreibung des Pflanzenwachstums basierend auf Umweltparametern
- Erforschung der PPP-Methode zur Produktionsplanung in Baumschulbetrieben

English:

- Testing of various sensor systems for measuring substrate moisture and salt content in practice
- Systematic data acquisition and evaluation of plant parameters over several measurement seasons
- Creation of a physical model to describe substrate moisture based on environmental parameters
- Creation of a growth model to describe plant growth based on environmental parameters
- Research into the PPP method for production planning in tree nurseries

2 Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung

2.1.1 Gegenüberstellung der Planung im Geschäftsplan und der tatsächlich durchgeführten und abgeschlossenen Teilschritte jeweils für ein OG-Mitglied und die Aufgaben im Rahmen der laufenden Zusammenarbeit einer OG

OFF:

- T5 Entwicklung Physik Modell: Es wurde gemäß Planung ein Modell des Bodenleitwertes gebildet, dieses konnte jedoch nicht zuverlässig für Vorhersagen verwendet werden, da die aktuell verfügbaren Sensoren noch keine genauen Werte liefern. Es ließen sich lediglich Tendenzen ablesen, die jedoch den Gärtnern in der Praxis bereits helfen könnten.
- T10 Integration der PPP-Methode: Die Schnittstelle zur Steuerung der Bewässerung musste individuell an die Anlage der jeweiligen Baumschule angepasst werden. Gemeinsam mit dem Start-Up Thorakas geschah dies exemplarisch bei der Gastbaumschule, für die Baumschule Hellwig musste jedoch eine eigene Lösung entwickelt werden, um die dort bereits installierte Hardware weiterhin verwenden zu können. In Verbindung mit Thorakas konnten allerdings Versuche gefahren werden, die in den Gastbaumschulen ursprünglich nicht vorgesehen waren. Das Projekt hat sehr davon profitiert.
- T11 Live Test der PPP-Methode: Mit Monrovia hat sich eine weitere Baumschule am Projekt interessiert gezeigt. Daher wurde ein bereits mit Sensorik ausgestattetes und in der C2I-Plattform integriertes Feld über mehrere Monate KI-gesteuert bewässert. Dieser zusätzliche Versuch war in diesem Umfang nicht geplant und hat sich erst zur Laufzeit ergeben. Auch hiervon hat das Projekt sehr profitiert. Die Daten sind ebenfalls in der Open Source Veröffentlichung verfügbar.

LVG:

- T5 Entwicklung Physik Modell: Entgegen der Erwartungen waren die Sensorwerte (insbesondere Bodenfeuchte) verschiedener Hersteller nicht direkt vergleichbar. Basierend auf den in der ersten Messsaison aufgezeichneten Werten wurden Kalibrierungen für die Bodenfeuchte sowie den Salzgehalt einiger Sensortypen durchgeführt. Aufgrund des Messprinzips der Sensoren korrelierte der Salzgehalt stark mit der Bodenfeuchte. Durch Messreihen konnte dieser Einfluss größtenteils herausgerechnet werden.
- Im Rahmen der kostenneutralen Projektverlängerung konnte in einem zusätzlichen Task die im Projekt erforschte Methode in torffreien Substraten getestet werden.

BBR:

- Die Erkenntnisse und Verwendungsmöglichkeiten der verschiedenen Systeme und Sensoren haben für die Beratung wichtige Impulse gegeben. So konnten bereits in der letzten Projektphase weitere Baumschulen für die Technik interessiert werden. Seit Mitte des letzten Jahres wurden in diesen Betrieben erste, sensorgesteuerte Bewässerungseinheiten eingesetzt.

Im Projekt gab es mehr Kontrollarbeiten in den Betrieben als erwartet, die nicht immer direkt mit der Sensorsteuerung direkt zu tun hatten. Eine Herausforderung war zum Beispiel die Wasseraufbereitung (Filtration usw.), damit die Zuleitungen (Tropfer) nicht verstopften. Dies hat auch zu Mehrarbeiten bei den betreuenden Mitarbeitern in den Betrieben geführt.

Ein weiteres Problem stellte die nicht kontinuierliche Datenübertragung an dem Außenstandort da. Hier wurde offensichtlich von den Telefonanbietern die Schaltung an den Funkmasten geändert.

Hellwig:

- Die Übertragungstechnik und Sensorik war relativ einfach zu installieren, da der Betrieb recht arrondiert aufgebaut ist. Zudem waren bereits Funkmasten, sowie eine PC- unterstützte Bewässerungssteuerung vorhanden.

Für die Versuchskulturen Rhododendron und Thuja gelang die Steuerung, vor allem in der letzten Saison gut. Eine Herausforderung bleibt die Übertragung der Erkenntnisse auf die anderen Kulturen in dem Betrieb. Der Betrieb ist aber nach dem Projektende so gut technisch aufgestellt, dass hier mit Unterstützung der Beratung das Bewässerungssystem in den folgenden Jahren weiter automatisiert wird.

Bruns:

- Im Freiland (Kultur Taxus) zeigten sich anfangs Probleme beim Aufbau der Bewässerungsanlage. Schnell zeigte sich, dass das organisch belastete Wasser aus dem Vorratsteich intensiver aufbereitet werden musste. Auch der hohe Eisen-Gehalt des Wasser stellte zwischendurch ein Problem dar. Während des gesamten Projektes war ein erhöhter Kontrollaufwand vom Baumschulbetrieb wie auch seitens des BBR notwendig.

Trotz dieser Schwierigkeiten funktionierte die sensorgesteuerte Bewässerung zufriedenstellend. Herausfordernd war auch die unterschiedliche Bodenbeschaffenheit, und damit einhergehend, der unterschiedliche Wasserbedarf. Auch die nicht immer zufriedenstellende Übertragung der Funksignale ins Telefonnetz war zwischendurch ein Problem, da es zu Datenverlusten kam. Diese Problem kann nicht der aufgebauten Steuerungstechnik angelastet werden.

Abschließend waren die Ergebnisse positiv. Der Betrieb Bruns baut zur Zeit die sensorüberwachte Bewässerungsteuerung in mehreren Zweigbetrieben aus.

C2I:

- T11 (siehe OFFIS) Live Test der PPP-Methode: Mit Monrovia hat sich eine weitere Baumschule am Projekt interessiert gezeigt. Daher wurde ein bereits mit Sensorik ausgestattetes und in der C2I-Plattform integriertes Feld über mehrere Monate KI-gesteuert bewässert. Dieser zusätzliche Versuch war in diesem Umfang nicht geplant und hat sich erst zur Laufzeit ergeben. Auch hiervon hat das Projekt sehr profitiert. Die Daten sind ebenfalls in der Open Source Veröffentlichung verfügbar.

2.1.2 Darstellung der wichtigsten finanziellen Positionen

Nachfolgend werden die wichtigsten finanziellen Positionen je Partner aufgelistet und erklärt.

OFF: OFFIS hatte im Projekt fast ausschließlich personelle Kosten abzurechnen. Größere Anschaffungen für das Projekt wurden nicht getätigt. Die Kosten fielen größtenteils bei dem Mitarbeiter Matthias Maszuhn und in kleinen Teilen bei Dr.-Ing. Frerk Müller-von Aschwege an. Die Kosten fielen sowohl im koordinativen als auch im inhaltlichen Bereich an. Weitere kleinere Kostenpunkte kamen für die Teilnahme an der A2IA-Konferenz zustande, auf der ein Paper zum Projekt vorgestellt wurde sowie zum Betrieb der Projektwebsite und der virtuellen Maschine, auf der die Bewässerungs-KI installiert wurde.

LVG: Die LVG hatte als hauptsächlichen Ausgabenpunkt Personalkosten und Aufwandszahlungen. Danach folgten die Ausgaben für den Kauf oder Leasing von Instrumenten und Ausrüstungsgegenständen. Dazu zählen Versuchsmittel, Versuchspflanzen und Zubehör sowie die für die Versuche benötigte Sensorausstattung. Ein weiterer Kostenpunkt waren Untersuchungen, Analysen und Tests einschließlich des dafür notwendigen Materials. Abschließend fielen Reisekosten aufgrund von Dienstreisen sowie projektbezogenen Workshops in geringem Ausmaß an.

BBR: Der BBR hatte in diesem Projekt fast ausschließlich Personalkosten und einige Reisekosten, bedingt durch Reisen zu Vorträgen und Seminaren im Rahmen des Projektes, sowie zur Betreuung der Versuchsanlagen in den beiden Versuchsbetrieben Bruns und Hellwig. Durch einige Veröffentlichungen im Laufe des Projektes wurde bundesweit starkes Interesse an der Technik geweckt. Anfragen dazu halten bis heute an.

Bruns und Hellwig: Neben den Kosten für die Sensorik und Anlagenmaterial, fielen bei beiden Betrieben für die Betreuung der Anlagen vor Ort, wie erwartet, einiges an Personalkosten an.

C2I: C2I hatte im Projekt fast ausschließlich Personalkosten abzurechnen, die für die Entwicklungsarbeit und die Integration der Sensoren in die Plattform angefallen sind. Ein weiterer Kostenpunkt sind die Entwicklungs- und Schulungskosten als auch zusätzliche Hardware, die für die Gastbaumschule Monrovia angefallen waren.

2.2 Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn

2.2.1 Ausgangssituation

Aufgrund zunehmend trockener Sommer in Folge des Klimawandels und gleichzeitig abnehmender Wasserverfügbarkeit (schwierigere Genehmigungen für neue Brunnen durch die Landkreise) häufen sich die Fragen der Baumschulen nach präziser und effektiver (wassersparender) Bewässerung. Bewässerungs- und Düngungsentscheidungen werden in der Praxis größtenteils auf Grundlage der Erfahrung des Betriebsleiters getroffen. Dazu werden die Bewässerungssysteme sowohl für Container- als auch für Freilandkulturen entweder von Hand nach Augenmaß an- und abgeschaltet oder über Zeitschaltuhren gesteuert. Die Bestimmung des Wasser-, Dünger- und Temperaturniveaus sowie eine automatische Kontrolle der Wachstumsbedingungen sind über entsprechende Sensoren und Aktoren schon heute technisch möglich, haben aber in der Praxis noch keine Bedeutung erlangt. Das liegt an der noch zu unsicheren Steuerungstechnik sowie an mangelnden Erfahrungen und Entwicklungen auf diesem Gebiet. Da viele der Betriebe inhabergeführt sind und zum Teil bereits Generationen überspannen, sind die meisten Verantwortlichen im Gegenteil überzeugt, dass ihre Erfahrung und Know-How ausreichend ist, Bewässerung zu steuern – ausschließlich Wetterberichte und sonstige öffentlich zugängliche Informationsquellen werden bei der Entscheidungsfindung herangezogen. Eine automatisierte Unterstützung der Gärtner bei der Kontrolle der Wachstumsbedingungen würde viele ökonomische und ökologische Vorteile bieten, die heute noch ungenutzt sind. Es besteht großer Bedarf an einer automatisierten Steuerung, die in der Lage ist, sehr viel schneller auf Ausnahmeereignisse (z.B: Extremwetterlagen) zu reagieren und somit Ernteauffälle zu vermeiden. Zudem sollte eine solche Steuerung die vorhandenen Ressourcen optimal und damit sparsamer einsetzen und auch eine mittel- und langfristige Planung des Pflanzenwachstums ermöglichen. Auf diese Weise können dann (aufbauend auf eine derartige Automatisierung) Lieferketten und Zusagen optimiert und perspektivisch sogar die Zusammenarbeit mit anderen Anbietern – vor allem bei akuten Problemen – und in Absatzsteuerung ermöglicht werden.

2.2.2 Projektaufgabenstellung

Ziel des Projektes ist es, für zunächst zwei Modellpflanzen, dem Lebensbaum (Thuja) und dem Rhododendron ein System zu entwickeln, welches die Umweltbedingungen

Verbundprojekt: **Predictive Plant Production (PPP)**

dieser Pflanzen mit Sensoren überwacht und daraus die Pflegemaßnahmen für ein möglichst schnelles, ressourcenschonendes oder zeitlich planbares Pflanzenwachstum bestimmt. Dazu werden die Substratfeuchte, der Bodenleitwert (=Düngerkonzentration), die Bodentemperatur, die lokalen Wetterbedingungen, die Zugabe von Wasser und Dünger und die Schattierung und Lüftung von Gewächshäusern in einer Baumschule mit Sensoren überwacht und somit lokale Gegebenheiten und Einflussgrößen für jeden Einsatzort individuell mit Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) erlernt. Mit dem erlernten Wissen werden genaue Vorhersagemodelle des Wasser- Dünger- und Temperaturhaushaltes und darauf aufbauend des Pflanzenwachstums konfiguriert und dann genutzt, um bei der Steuerung von Bewässerung, Düngung und Temperaturregulierung zu unterstützen und diese sogar zu automatisieren.

2.3 Ergebnisse der OG in Bezug auf

2.3.1 Wie wurde die Zusammenarbeit im Einzelnen gestaltet (ggf. Beispiele wie die Zusammenarbeit sowohl organisatorisch als auch praktisch erfolgt ist)?

- OFFIS hat ein Nextcloud-System bereitgestellt über das alle Dokumente, Rechnungen etc. ausgetauscht und archiviert werden konnten. Die Projektarbeit wurde ebenfalls über dieses Tool abgewickelt.
- Kanban-Boards wurden etabliert, um Informationen zu sammeln und Deadlines im Blick zu behalten
- Eine wöchentliche Telefonkonferenz (jeden Mittwoch 16:30-17:30 Uhr) sicherte den regelmäßigen Austausch und förderte die projektbezogenen Diskussionen. Die relevanten Informationen wurden in den Kanban-Boards protokolliert
- Ein weiterer Austausch wurde über die projekteigene Mailing-Liste ermöglicht.
- Das Kick-Off-Treffen des PPP-Konsortiums wurde durch OFFIS koordiniert und konnte auf Grund der 2021 vorliegenden Situation nur virtuell stattfinden. OFFIS hat ein entsprechendes Konferenzsystem zur Verfügung gestellt.

2.3.2 Was war der besondere Mehrwert bei der Durchführung des Projekts als OG?

Die Zusammenarbeit als OG im Projekt erwies sich als überaus nützlich und es konnte vom Wissen der jeweiligen Projektpartner profitiert werden. Durch die weitgehende Erfahrung von OFFIS als Projektkoordinator konnten ein stetiger Austausch zwischen den Projektpartnern und eine stets positive Zusammenarbeit gewährleistet werden. Bei der Erforschung der KI konnte auf einen großen Erfahrungsschatz aus anderen Projekten zurückgegriffen werden. Durch die Expertise und Reichweite des BBR konnte die Projektidee vielen Baumschulen in

ganz Deutschland vorgestellt werden, sodass das Thema sensorgesteuerte Bewässerung deutlich an Bedeutung gewinnen konnte. Die ausgewählten Baumschulen sowie die im Projekt ausgewählten Gastbaumschulen konnten dabei als Vorreiter von der erforschten KI profitieren und ihren Betrieb nachhaltig effizienter gestalten. Die LVG war durch die durchgeführten Testreihen und Laborversuche maßgeblich an der Erstellung und Verifizierung der benötigten Modelle beteiligt. Diese wären in der Art in einem laufenden Baumschulbetrieb nicht möglich gewesen.

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

Bereits während der Projektlaufzeit gab es einen engen Austausch mit dem EIP-Agri Projekt NuTree. Gegen Ende 2023 wurde dann zwischen den Teilnehmern beider Projekte ein Folgeprojekt (FloraGPT) geplant, welches am 01.07.2024 gestartet ist und welches direkt auf den Ergebnissen beider Projekte aufbauen wird.

2.4 Ergebnisse des Innovationsprojektes

Nachstehend werden die Ergebnisse des Projektes zusammengefasst. Schwerpunkte hierbei sind die Zielerreichung, Abweichung hinsichtlich der ursprünglichen Planung und der erwarteten Ergebnisse. Abschließend werden der Projektverlauf je Partner sowie weitere Ergebnisse zusammengefasst.

2.4.1 Zielerreichung

Die nachfolgenden Teilziele des Projektes konnten erreicht werden:

- Verschiedene Sensorsysteme zur Messung der Substratfeuchte und des Salzgehaltes wurden getestet und miteinander verglichen. Dabei wurden ihre Messgenauigkeit und die verwendeten Messverfahren gründlich evaluiert
- Über mehrere Messsaisons hinweg wurden systematisch Daten von Sensoren und Wetterstationen gesammelt. Diese umfangreiche Datensammlung bildet die Grundlage für die weiteren Analysen und Modellentwicklungen
- Die unterschiedlichen Messsysteme wurden kalibriert, um eine einheitliche Skala zu schaffen. Dies ermöglicht eine konsistente und vergleichbare Datenauswertung über verschiedene Geräte hinweg
- Ein physikalisches Modell wurde entwickelt, das die Substratfeuchte unter Berücksichtigung verschiedener Umweltparameter beschreibt. Dieses Modell ermöglicht eine präzise Vorhersage der Feuchteverhältnisse im Substrat

- Ein Wachstumsmodell wurde erstellt, das das Pflanzenwachstum in Abhängigkeit von der Sonneneinstrahlung und der Bewässerung vorhersagt. Dieses Modell hilft dabei, die optimalen Bedingungen für das Pflanzenwachstum zu bestimmen
- Die PPP-Methode (Predictive Plant Production) wurde intensiv erforscht, um ihre Anwendungsmöglichkeiten in der Produktionsplanung von Baumschulbetrieben zu untersuchen. Diese Methode zielt darauf ab, die Produktion in Baumschulbetrieben durch Vorgaben planbarer zu machen
- Die entwickelten Methoden und Modelle wurden in Praxistests bei verschiedenen Baumschulpartnern und Gastbaumschulen erprobt. Diese Tests dienten der Validierung der theoretischen Ansätze und der Anpassung an die praktischen Anforderungen der Baumschulbetriebe

Insgesamt wurden alle zu Beginn des Projektes gesetzten Ziele erreicht.

2.4.2 Abweichungen zwischen Planung und Ergebnis

Entgegen der ursprünglichen Planung konnte die PPP-Methode bei einer weiteren Gastbaumschule in Kalifornien getestet werden, wodurch die Tasks 10 und 11 verlängert wurden. Die Kosten für den Versuchsaufbau trug die Baumschule selbst. Durch die Verlängerung war es außerdem möglich, die Modelle mit Daten einer weiteren Messsaison zu verbessern.

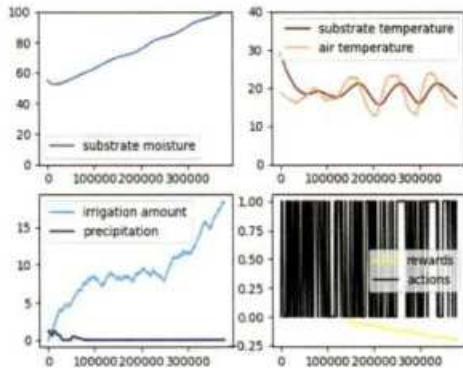
Ursprünglich wurde ein System geplant, bei dem die KI lokal auf einem Rechner bei den Baumschulen installiert würde und OFFIS über LoRa Wetterdaten an diesen schickt. Da die Baumschulen jedoch auch großflächig besser mit LTE versorgt waren als zu Projektbeginn vermutet wurde, wurden die Steuerbefehle von einer virtuellen Maschine bei OFFIS an die Bewässerungsanlagen der Baumschulbetriebe übertragen.

2.4.3 Projektverlauf (evtl. Fotos)

OFF

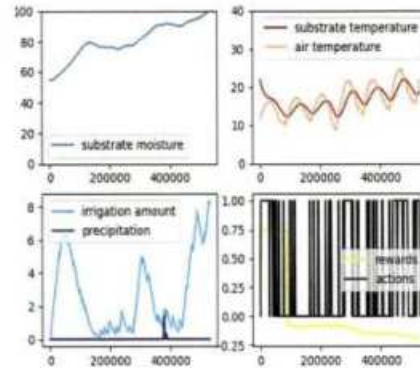
Zu Beginn des Projektes wurde im Sommer 2021 ein stark vereinfachtes Modell zur Beschreibung der für das Pflanzenwachstum relevanten Parameter erstellt. Dabei wurden die Substratfeuchte und -temperatur in Abhängigkeit vom Niederschlag, der Lufttemperatur und der künstlichen Bewässerung über einen Zeitraum von einer Woche modelliert. Da zu diesem Zeitpunkt noch keine Realdaten aus den Baumschulbetrieben vorlagen, wurde auf öffentlich verfügbare Wetterdaten aus Oldenburg zurückgegriffen. Auf Basis dieses Modells wurde prototypisch eine KI mit „Reinforcement Learning“ trainiert, die die Bewässerung so steuern sollte, dass die Pflanze möglichst in einem Idealbereich zwischen 50 % und 70 % Substratfeuchte

lag. Dadurch konnte „Reinforcement Learning“ als erfolgversprechende Methode für die Bewässerung verifiziert werden (siehe Abbildung 2.1).



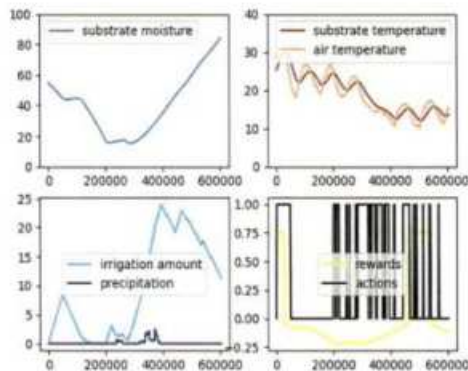
nach 10 Trainingsepisoden:

Die KI schaltet zufällig die Bewässerung an und aus, wodurch die Pflanze nach etwa drei Tagen zu viel Wasser hat.



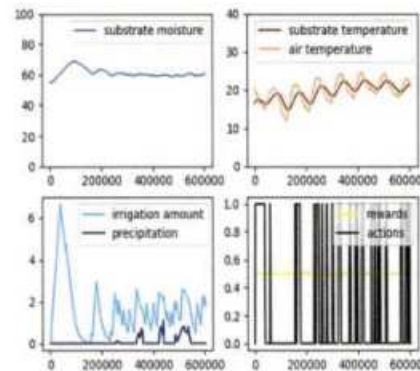
nach 100 Trainingsepisoden:

Die KI hat bereits gelernt, die Bewässerung seltener und kürzer anzuschalten, wodurch die Pflanze hier schon etwa fünf Tage überlebt.



nach 250 Trainingsepisoden:

Die KI hat bereits gelernt, die Bewässerung nur dann anzuschalten, wenn die Substratfeuchte gering ist. Die Pflanze überlebt hier die ganze Woche.

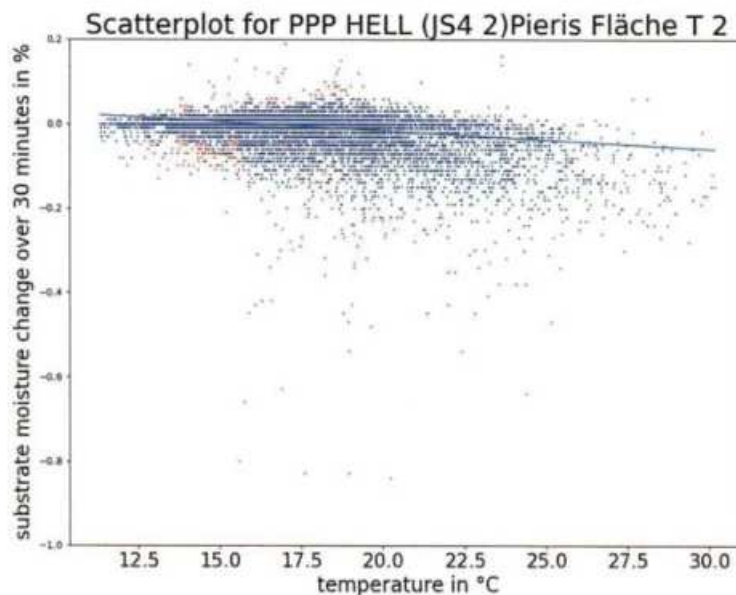


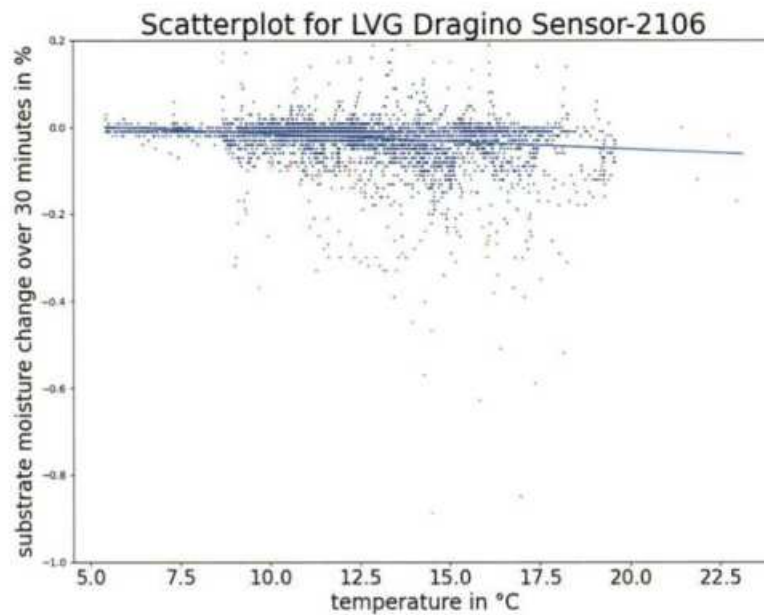
nach 400 Trainingsepisoden:

Die KI hat gelernt, die Bewässerung so zu steuern, dass die Substratfeuchte nahezu immer bei 60% gehalten wird. Inwiefern der Einfluss des Wetters aus der Vorhersage hier bereits gelernt wurde, ist noch zu erörtern.

Abbildung 2.1: Basierend auf angenommenen Werten zum Anstieg der Substratfeuchte bei Bewässerung und Niederschlag wurde ein Modell mit dem Ziel erstellt, die Bewässerung durch eine KI erlernen zu lassen. Nach etwa 400 Trainingsepisoden zeigte sich ein klarer Fortschritt, sodass die KI die Substratfeuchte trotz Regenphasen und schwankender Temperaturen in einem Bereich um 70% halten konnte.

Im folgenden Berichtszeitraum wurden die erfassten Daten der ersten Messsaison ausgewertet. Basierend auf diesen Daten wurde ein physikalisches Modell erstellt, das die Zusammenhänge zwischen der zugeführten Wassermenge durch Bewässerung und Niederschlag sowie dem beobachteten Feuchtigkeitsanstieg in der Pflanze beschreibt. Dadurch konnte das zuvor auf Annahmen basierende Modell deutlich verbessert werden. Zudem wurde der Zusammenhang zwischen der Substrattemperatur und der Feuchtigkeitsabnahme quantitativ beschrieben. Durch den Vergleich der Werte unterschiedlicher Sensortypen, die auf dem gleichen Feld untergebracht waren, konnte außerdem ein besseres Verständnis für die Verlässlichkeit der Sensorwerte gewonnen werden. Da die Sensoren unterschiedliche Messprinzipien verwenden und die Werte so teils stark voneinander abwichen, war zukünftig eine Kalibrierung basierend auf einem größeren Datensatz erforderlich.





Abhängigkeit der Substratfeuchteänderung zur Temperatur

Abbildung 2.2: In den Diagrammen sind für zwei Sensoren alle gemessenen Substratfeuchteänderungen dargestellt. Ein einzelner Messpunkt repräsentiert dabei einen Zeitraum über 30 Minuten und die über diesen Zeitraum gemessene Feuchtigkeitsänderung in Abhängigkeit von der Temperatur. Die 5% der Messwerte, die am weitesten außerhalb lagen, wurden als Ausreißer betrachtet (rote Punkte) und nicht bei der Bildung des Modells berücksichtigt. Aus den verbleibenden blauen Punkten wurde eine lineare Funktion approximiert, die die zu erwartende Änderung der Substratfeuchte in Abhängigkeit von der Temperatur widerspiegelt. Die Steigung sowie der Startpunkt der Funktion waren Parameter, die von Sensor zu Sensor teils sehr unterschiedlich ausfielen und von der KI im weiteren Verlauf gelernt werden sollten.

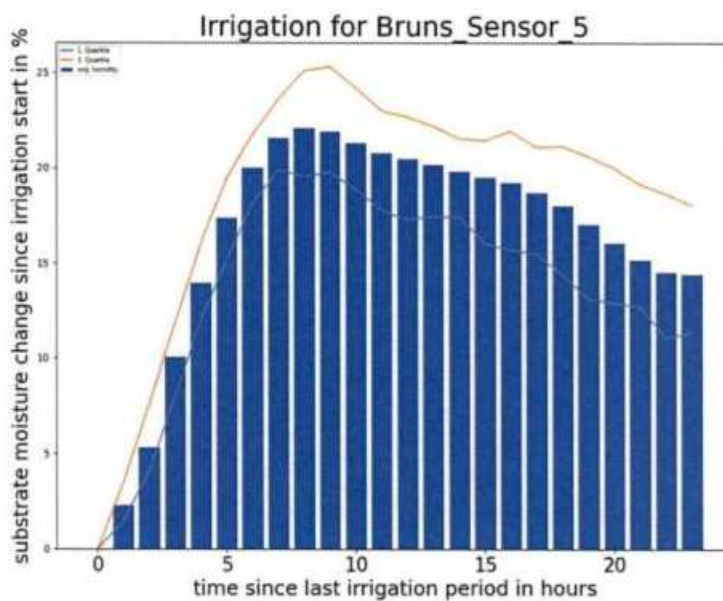
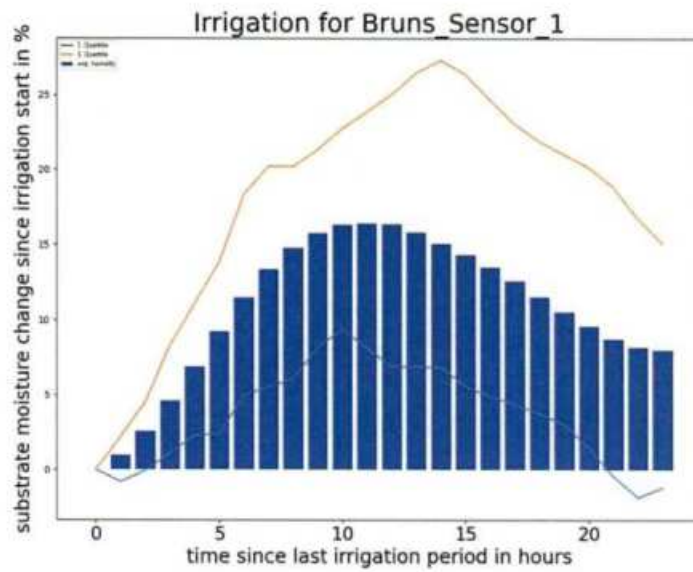


Abbildung : Substratfeuchteanstiege nach Bewässerung

Abbildung 2.3: Hier wurde jeweils der Substratfeuchteverlauf über 24 Stunden nach einem 30-minütigen Bewässerungsintervall betrachtet. Es zeigte sich, dass das Wasser einige Stunden benötigte, um den Sensor vollständig zu erreichen, was dann ein kurzes Übersteuern verursacht hat. Diese Verzögerung musste bei der Erstellung des Modells berücksichtigt werden und konnte von der KI je nach Sensor gelernt werden. Zusätzlich wurde die Verteilung der Quartile als Maß für die Abweichung vom Mittelwert betrachtet. Hier zeigten sich zum Teil noch starke Abweichungen, da zu diesem Zeitpunkt nur die Messwerte aus einer Saison zur Verfügung standen.

Da die bisherigen Modelle zu diesem Zeitpunkt stark von den Sensoren abhängig waren, wurden Kalibrierungsreihen aus den verfügbaren Daten erstellt. Ziel war es, Umrechnungsfaktoren für die Vergleichbarkeit der ausgegebenen Bodenfeuchte und des Salzgehaltes verschiedener Sensoren zu berechnen. Da der gemessene Salzgehalt aufgrund des Messprinzips in starker Korrelation zur Bodenfeuchte stand, konnte durch den Wert ohne eine Umrechnung praktisch keine Aussage zum tatsächlichen Salzgehalt im Boden getroffen werden. Dieser wurde jedoch beim Wachstumsmodell benötigt, um Rückschlüsse auf die Düngung ziehen zu können.

Mit den von der LVG durchgeführten Laboranalysen wurde für die Dragino und Aranet Sensoren bei jeweils 20 gemessenen Salzgehalt/Bodenfeuchte-Tupeln der dazugehörige tatsächliche Salzgehalt bestimmt. Anhand dieser Messwerte wurden Interpolationen durchgeführt, die für beliebige Werte innerhalb dieses Intervalls den Salzgehalt approximieren konnten. Die dabei beobachteten Abweichungen der Approximation betragen in den praxisrelevanten Bereichen zwischen 10% und 20% und waren somit geeignet, eine verlässliche Abschätzung der Nährstoffversorgung bei Pflanzen vorzunehmen.

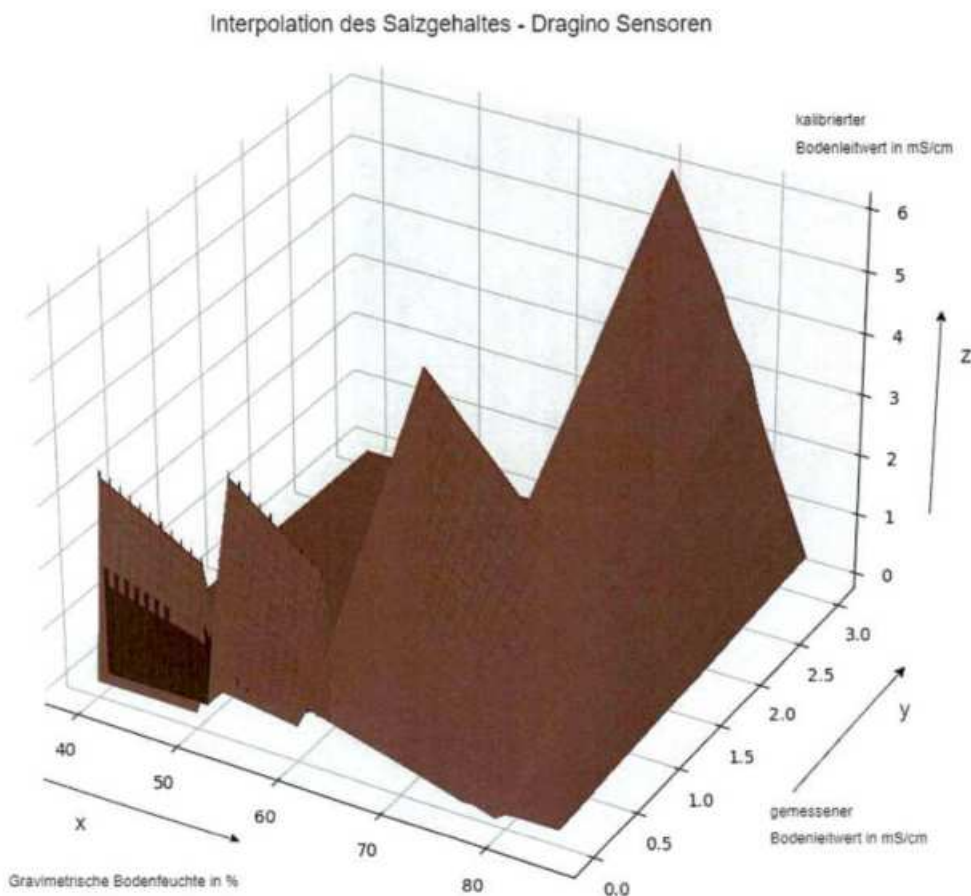


Abbildung 2.4: Interpolation des tatsächlichen Salzgehaltes bei Dragino-Sensoren. Der von den Sensoren gemessene Salzgehalt korreliert stark mit der vorliegenden Bodenfeuchte. Auf der x/y-Ebene sind die gemessenen

Bodenfeuchten und Salzgehalte aufgetragen. Auf der z-Achse können dann die jeweiligen tatsächlichen Salzgehalte abgelesen werden. Die Interpolation wurde nur für praxisrelevante Bereiche durchgeführt, daher kann im Falle der hier als Ebene dargestellten Werte von einem Messfehler ausgegangen werden.

Insbesondere bei geringer Bodenfeuchte sind die Abweichungen zwischen gemessenem und tatsächlichem Salzgehalt enorm. Die Sensoren liefern ohne einen Umrechnungsfaktor nur für einen kleinen Bereich um etwa 75% gravimetrischer Bodenfeuchte verlässliche Werte.

Im Rahmen der Speicherung und Verarbeitung der gesammelten Messdaten wurde mit einer „InfluxDB“ ein neuer Datenbanktyp integriert. Diese speziell auf die Speicherung von Zeitreihen ausgelegte Datenbank ermöglichte eine einfache Integration von Visualisierungstools wie Grafana und eine Anbindung an das Training der KI in Python. Trotz der großen Anzahl an verwendeten Sensoren blieb die Datenauswertung durch die InfluxDB übersichtlich, da verschiedene Filteroptionen bereits eingebaut waren.

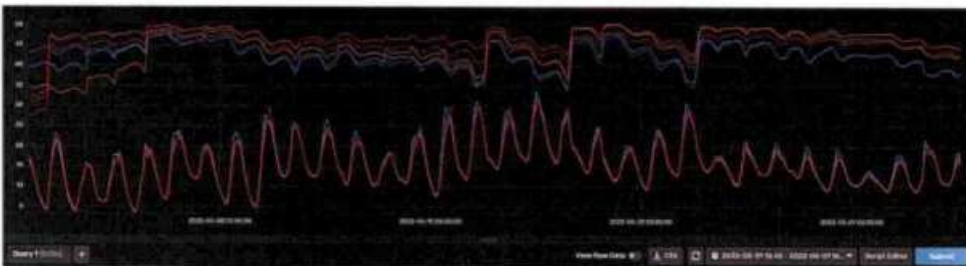


Abbildung 2.5: Visualisierung der gemessenen Temperatur und Bodenfeuchte von sechs Arnet Sensoren im Mai 2022. Die Bodenfeuchte variierte je nach Sensorplatzierung, jedoch waren in den Graphen jeweils ähnliche Ausschläge zu den Bewässerungszeiten zu erkennen.

Ein weiterer bedeutender Teil der Vorbereitung auf die zweite Messsaison umfasste die Planung eines Experiments in der Gastbaumschule. Hierbei hatte die KI die Möglichkeit, über einen längeren Zeitraum hinweg die Bewässerung vier verschiedener Pflanzenkulturen in einem realen Umfeld zu steuern. Eine eigens eingerichtete Schnittstelle ermöglichte zudem die Übermittlung von Sensordaten von diesem Feld zurück an die KI, um Feedback zu den erlernten Maßnahmen zu erhalten. Zur Sicherheit wurden vorläufig Grenzwerte festgelegt, bei deren Unterschreitung oder Überschreitung die Bewässerung manuell gesteuert werden kann. Dies diente als Absicherung gegen Fehler wie falsch erlernte Werte oder Serverausfälle.



Abbildung 2.6: Bilder vom Versuchsaufbau bei der Gastbaumschule. Zu sehen sind je 50 Pflanzen der Kulturen „Liguster“, „Rhododendron“, „Physocarpus“ und „Thuja“ auf Feldern mit installierten Tropfschläuchen.

Nach Abschluss der Messsaison konnte das vorhandene Physikmodell durch die neu hinzugewonnenen Daten verbessert werden. Dabei wurden insbesondere die Vorhersagen in den Grenzbereichen, wenn die Pflanze zu trocken oder zu nass ist, deutlich genauer. Durch die Versuche an drei zuvor nicht im Datensatz enthaltenen Kulturen konnte zudem die Anpassbarkeit der gelernten Modelle an neue Pflanzenarten nachgewiesen werden. Zudem wurde die Höhe der Pflanzen zweiwöchentlich gemessen und daraus ein Wachstumsmodell erstellt. Dieses beschreibt die Abhängigkeit des Pflanzenwachstums zu den physikalischen Einflüssen, wie der Umgebungs- und Pflanzentemperatur, den Sonnenstunden pro Tag, der Windstärke sowie der Substratfeuchte und der zugegebenen Wassermenge durch Bewässerung und Niederschlag.

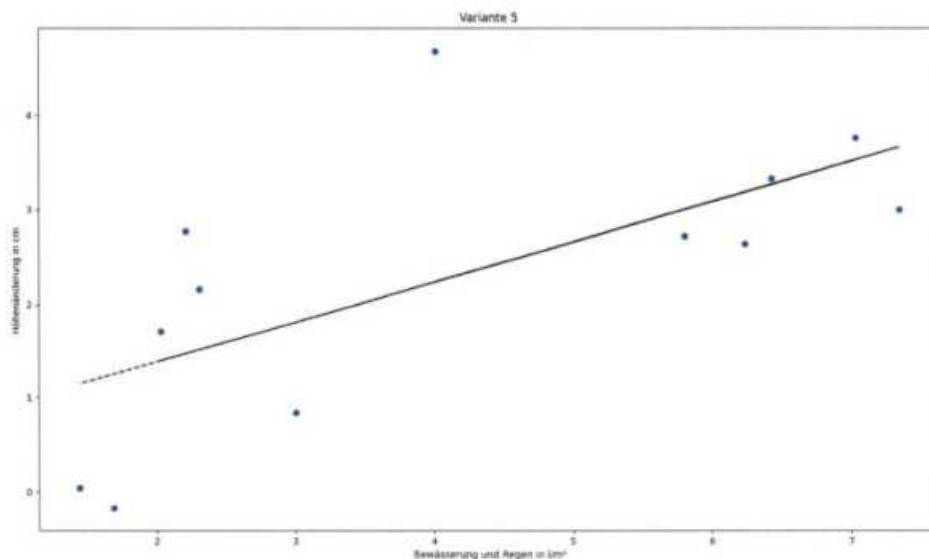


Abbildung 2.7: Zusammenhang zwischen zugeführter Gesamtwassermenge in l/m² (aus Regen und Bewässerung) und durchschnittlicher Höhenänderung der Pflanzen in cm. Die Messpunkte wurden in einem Intervall von zwei Wochen
Verbundprojekt: **Predictive Plant Production (PPP)**

für jeweils 100 Pflanzen aufgezeichnet. Hier ist zu beachten, dass die Thuja-Pflanzen je nach Düngewariante unterschiedlich in die Breite und die Höhe gewachsen sind, weshalb zusätzlich die Frischmasse der Pflanzen verglichen wurde.

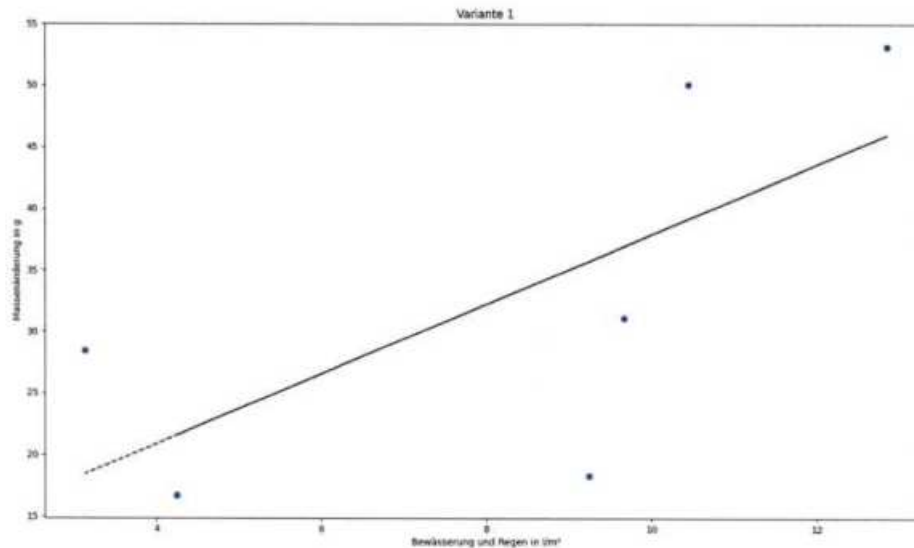


Abbildung 2.8: Zusammenhang zwischen zugeführter Gesamtwassermenge in l/m² (aus Regen und Bewässerung) und durchschnittlicher Massenänderung der Pflanzen in g. Die Messpunkte wurden in einem Intervall von vier Wochen aufgezeichnet.

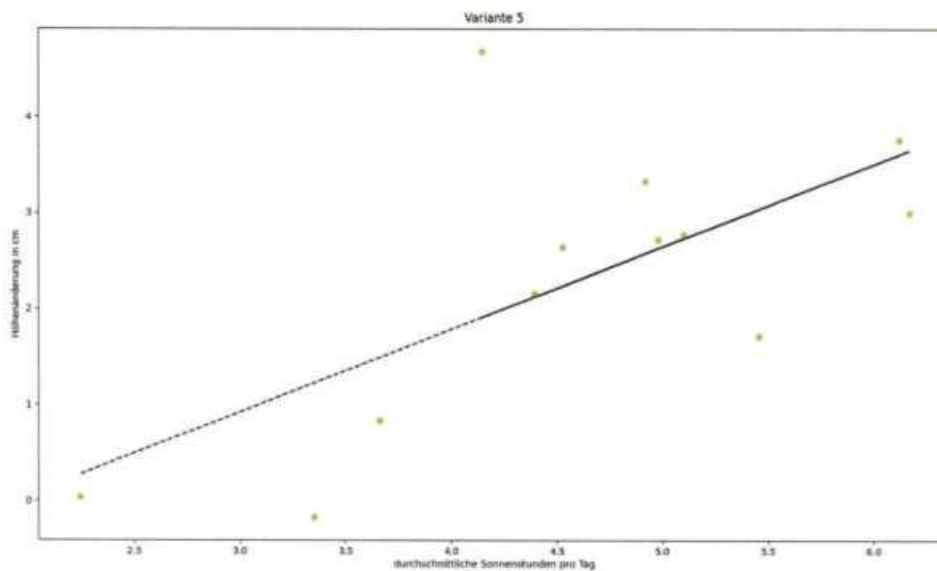


Abbildung 2.9: Zusammenhang zwischen den durchschnittlichen Sonnenstunden pro Tag und der durchschnittlichen Höhenänderung der Pflanzen in cm. Die Messpunkte wurden in einem Intervall von zwei Wochen aufgezeichnet.

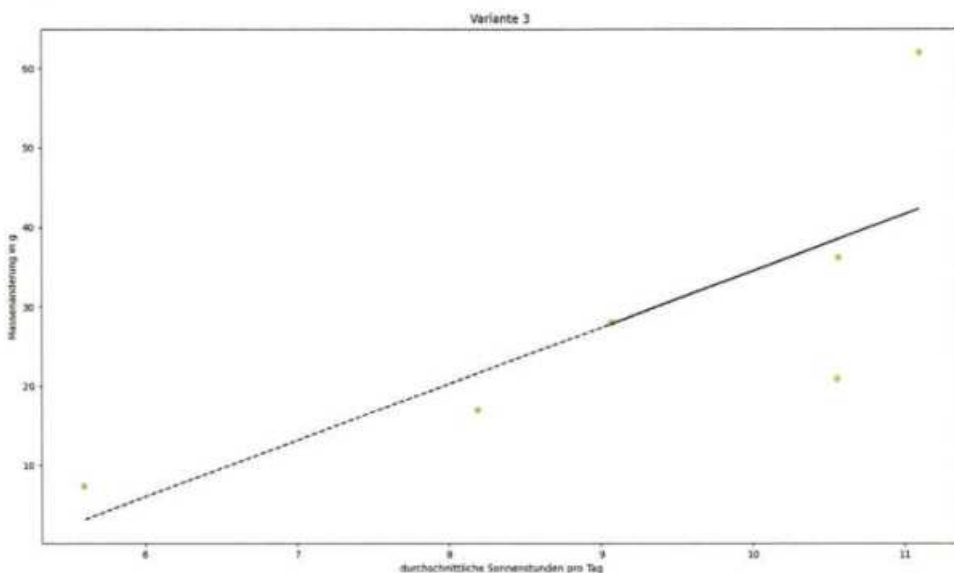


Abbildung 2.10: Zusammenhang zwischen durchschnittlichen Sonnenstunden pro Tag und der durchschnittlichen Massenänderung der Pflanzen in g. Die Messpunkte wurden in einem Intervall von vier Wochen aufgezeichnet.

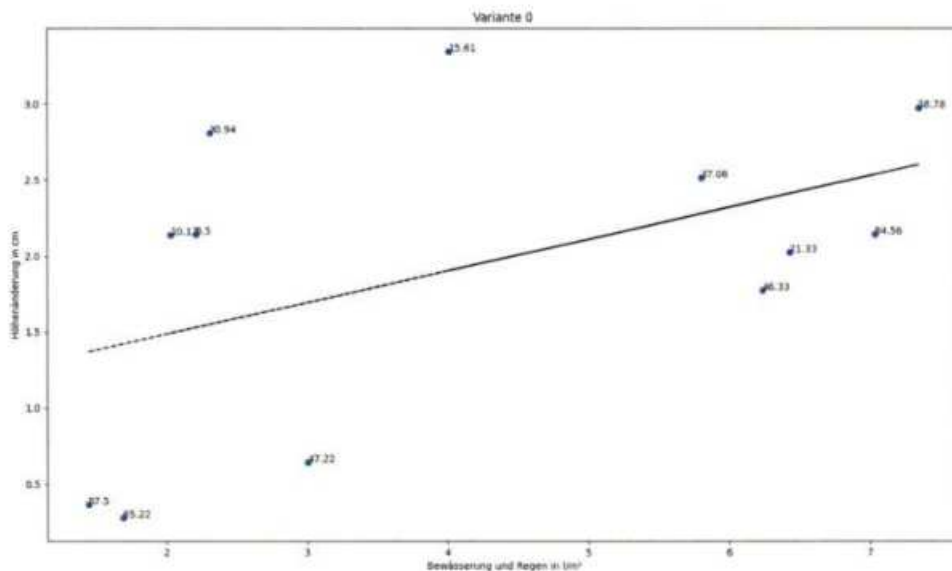


Abbildung 2.11: Zusätzlich zur zugeführten Wassermenge wurde die Dauer in Stunden festgehalten, die die Pflanze Wasserstress ausgesetzt war. Es ist zu erkennen, dass unterdurchschnittliches Wachstum häufig durch länger anhaltenden Wasserstress verursacht wurde, während Messwerte oberhalb des Mittelwertes kürzerem Wasserstress entsprechen. Das Pflanzenwachstum lässt sich also durch Wasserstressphasen gewissermaßen steuern bzw. durch das Vermeiden dieser optimieren.

Im Anschluss an die Messsaison konnte die „Predictive-Plant-Production“-Methode basierend auf den Physik- und Wachstumsmodellen erstellt werden. Dadurch war es möglich, Wachstumsvorgaben zu machen, die von der KI durch Anpassung des Feuchtigkeitslevels eingehalten wurden. Außerdem war es für die im Versuch verwendeten Pflanzen möglich, das voraussichtliche Wachstum basierend auf Wettereinflüssen und Bewässerung vorherzusagen.

Es wurden jeweils lineare Zusammenhänge für die Sonneneinstrahlung, Wasserzugabe sowie die Höhen- und Frischmasseänderungen angenommen und im Modell verwendet. Zur Bestätigung dieser Zusammenhänge wurden auch im kommenden Jahr weitere Messdaten erhoben und mit dem bestehenden Modell verglichen.

Die Existenz von Zusammenhängen zwischen der Bewässerung und dem Wachstum der Pflanzen war zwar bereits bekannt, die gemessenen Daten halfen jedoch dabei, das Wachstum zu quantifizieren und die Produktion in Baumschulbetrieben planbarer zu machen. Auch wenn auf die Sonneneinstrahlung im Freiland kein direkter Einfluss genommen werden kann, kann z.B. anhand der Klimadaten des Vorjahres der Wachstumsverlauf über die Saison geschätzt werden.

Die zuvor bereits zur Speicherung und Verarbeitung der Messdaten eingeführte „InfluxDB“ wurde erweitert und konnte nun auch Wetterdaten speichern sowie die aufgestellten Kalibrierfunktionen verwenden, um Daten verschiedener Sensorsysteme miteinander zu vergleichen. Da je nach Baumschulbetrieb unterschiedliche Wetterstationen verwendet wurden, ist auch eine Abschätzung der Sonneneinstrahlung in $W/m^2/h$ aus den gemessenen Sonnenstunden und der aktuellen Jahreszeit implementiert worden.

Im dritten Projektjahr wurde in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner C2I ein weiterer Versuch für zwei Standorte einer Gastbaumschule in Amerika geplant. Zum einen sollte so die zuvor erstellte „Predictive Plant Production“ Methode evaluiert werden, zum anderen konnten die erstellten Modelle durch die zusätzlichen Daten weiter angepasst werden. Der Versuch begann mit einer zweiwöchigen Trainingsphase, in denen die Daten der Baumschule aufgezeichnet wurden. Anschließend konnten die Bewässerungsanlagen größtenteils selbstständig durch die KI gesteuert werden. Die zuvor bereits implementierten Sicherheitsmechanismen aus der zweiten Messsaison wurden auch hier angewandt und erweitert, um Schäden an den Pflanzen zu vermeiden.

Des Weiteren wurde ein Demonstrator entwickelt, mit dem sich die Zusammenhänge des Wasserhaushaltsmodells darstellen lassen. So kann der Nutzer ein beliebiges Zeitfenster innerhalb der Wachstumssaison auswählen, woraufhin die tatsächlich gemessenen Sensor- und Wetterdaten sowie die Bewässerungszeiten angezeigt werden. Zum Vergleich wird dann ein weiterer Bodenfeuchtigkeitsverlauf durch die KI berechnet, bei der diese den Feuchtigkeitswert jeweils aus den aktuellen Daten vorhersagt und die Bewässerungszeiten daraufhin selbst bestimmt. Dadurch kann beispielsweise die voraussichtliche Wassereinsparung bei Verwendung der Methode berechnet werden.

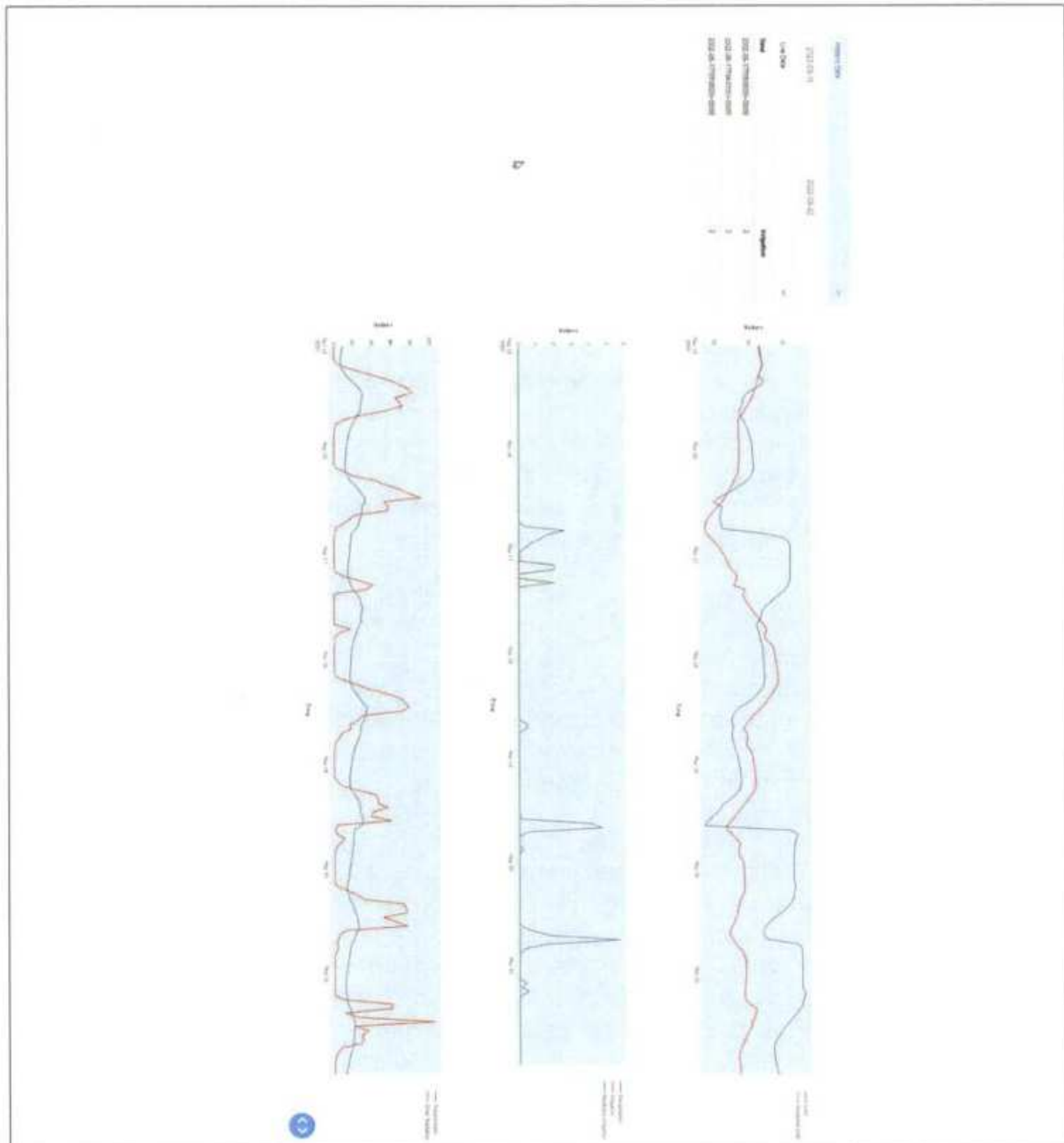


Abbildung 2.12: Einblick in den Demonstrator. Im linken Bereich kann ein Zeitfenster der historischen Daten oder die eingehenden Live-Daten eines Feldes ausgewählt werden. Auf der rechten Seite erscheinen daraufhin folgende Grafiken:

1. Tatsächlicher Verlauf der Bodenfeuchte (blau) und berechneter Verlauf der Bodenfeuchte, wenn nach KI bewässert würde (rot)
 2. Tatsächliche Bewässerungszeiten (rot), Regen (blau) und Bewässerung wenn KI diese steuern würde (grün).
 3. Temperaturverlauf (blau) und Sonneneinstrahlung (rot). Dies sind unsere Haupteinflussfaktoren auf die Bodenfeuchte.
- Zusätzlich wird auf der linken Seite eine Übersicht der Bewässerungszeiten nach KI angegeben.

LVG

Zu Beginn des Projektes wurde eine Recherche über Feuchte- und Salzgehaltssensoren auf dem Markt durchgeführt. Anschließend wurden je wenige Exemplare verschiedene Sensortypen bestellt und im Feld getestet, um ihre Messgenauigkeit festzustellen. Die nachstehende Abbildung 2.13 zeigt vier der anfangs im Versuch befindlichen Sensortypen:



Abbildung 2.13: Sensortypen

Anschließend wurde an den entwickelten Modellen in T4 und T5 mitgewirkt und die erste Messsaison durchgeführt. Die daraus gewonnenen Ergebnisse werden im Folgenden dargestellt:

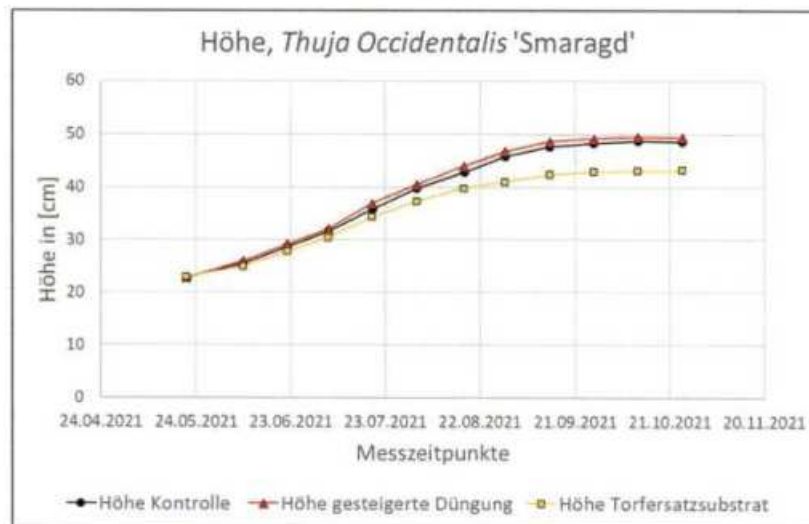


Abbildung 2.1: Höhe von *Thuja Occidentalis* 'Smaragd' in [cm] im Verlauf der ersten Messsaison. Aufgetragen sind die 3 Versuchsglieder - Weiß (hier schwarz) Kontrolle: Torfsubstrat mit Kultur-üblicher Düngung (3 g Osmocote/ L Substrat), rot: Torfsubstrat mit gesteigert, aber verträglicher Düngung (5 g Osmocote/ L Substrat), gelb: Torfersatz-Substrat mit organischer Düngung (6 g/L Hornspäne, 2 g/L Horngrieß). n = zu Beginn 150, zum Ende 60 (10 Pflanzen pro Monat für Messungen entnommen).

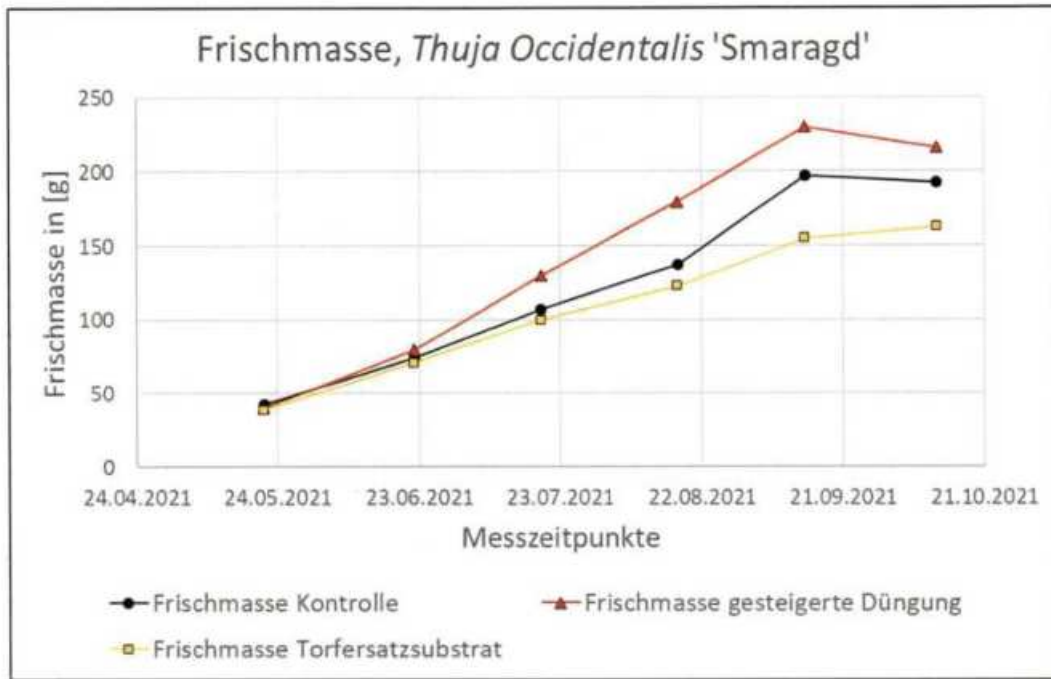


Abbildung : Frischmasse von *Thuja Occidentalis*'Smaragd' in [g] im Verlauf der ersten Messsaison. Aufgetragen sind die 3 Versuchsglieder - Weiß (hier schwarz) Kontrolle: Torfsubstrat mit Kultur-üblicher Düngung (3 g Osmocote/ L Substrat), rot: Torfsubstrat mit gesteigerter, aber verträglicher Düngung (5 g Osmocote/ L Substrat), gelb: Torfersatz-Substrat mit organischer Düngung (6 g/L Hornspäne, 2 g/L Horngrieß). n = 10.

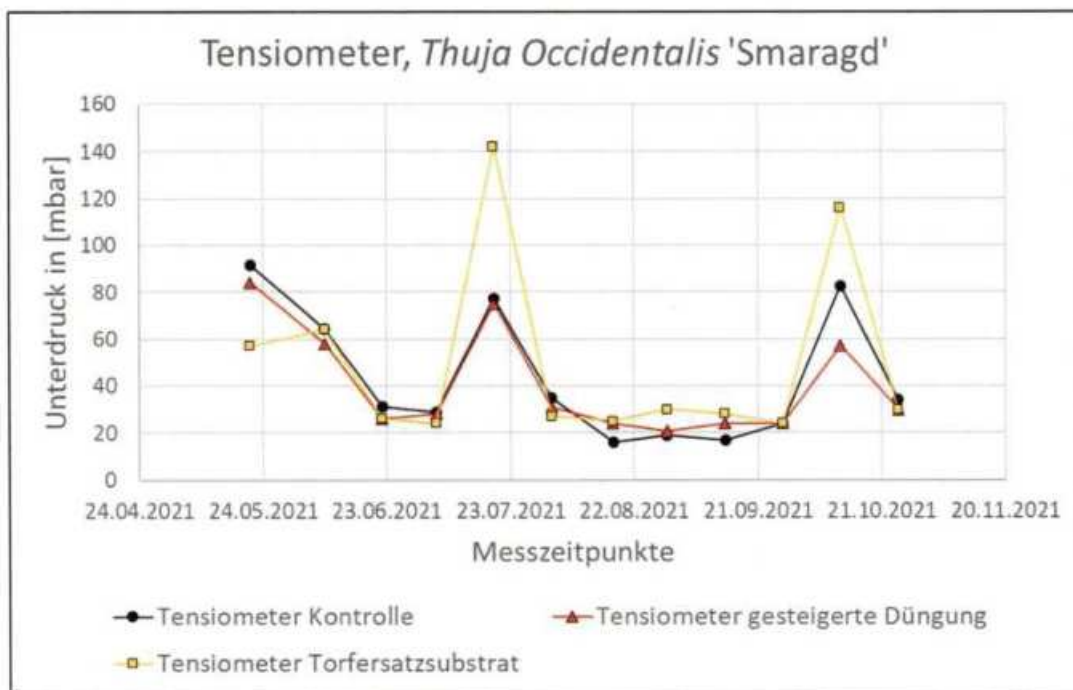


Abbildung : Substratfeuchte (per Tensiometer) von *Thuja Occidentalis*'Smaragd' in [mbar] im Verlauf der ersten Messsaison. Aufgetragen sind die 3 Versuchsglieder - Weiß (hier schwarz) Kontrolle: Torfsubstrat mit Kultur-üblicher Düngung (3 g Osmocote/ L Substrat), rot: Torfsubstrat mit gesteigerter, aber verträglicher Düngung (5 g Osmocote/ L Substrat), gelb: Torfersatz-Substrat mit organischer Düngung (6 g/L Hornspäne, 2 g/L Horngrieß). n = 1-4.

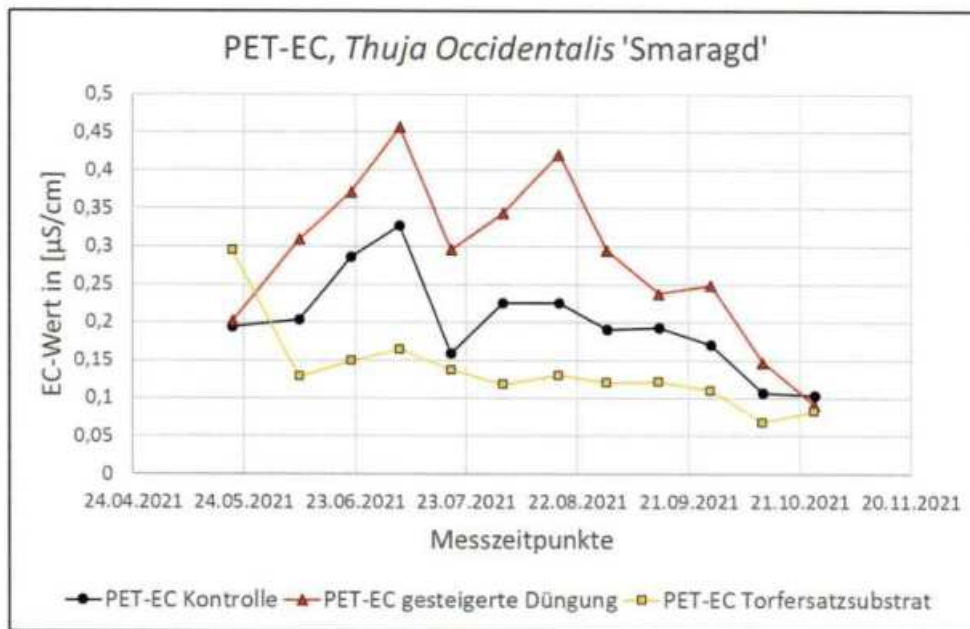


Abbildung : Elektrische Leitfähigkeit des Substrates (per Einstechmessgerät (PET)) von *Thuja Occidentalis* 'Smaragd' in [µS/cm] im Verlauf der ersten Messsaison. Aufgetragen sind die 3 Versuchsglieder - Weiß (hier schwarz) Kontrolle: Torfsubstrat mit Kultur-üblicher Düngung (3 g Osmocote/ L Substrat), rot: Torfsubstrat mit gesteigerter, aber verträglicher Düngung (5 g Osmocote/ L Substrat), gelb: Torfersatz-Substrat mit organischer Düngung (6 g/L Hornspäne, 2 g/L Horngrieß). n = 10.

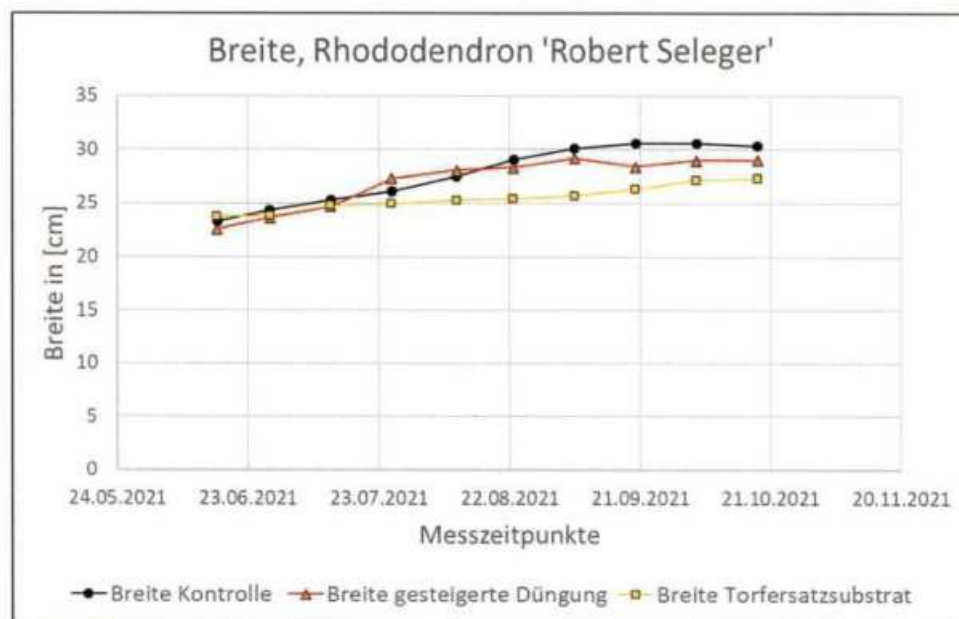


Abbildung : Breite von *Rhododendron* 'Robert Seleger' in [cm] im Verlauf der ersten Messsaison. Aufgetragen sind die 3 Versuchsglieder - Weiß (hier schwarz) Kontrolle: Torfsubstrat mit Kultur-üblicher Düngung (3 g Osmocote/ L Substrat), rot: Torfsubstrat mit gesteigerter, aber verträglicher Düngung (5 g Osmocote/ L Substrat) *Bei diesem Versuchsglied musste aufgrund eines Fehlers am 14.06.2021 nach gedüngt werden*, gelb: Torfersatz-Substrat mit organischer Düngung (6 g/L Hornspäne, 2 g/L Horngrieß). n = zu Beginn 150, zum Ende 60 (10 Pflanzen pro Monat für Messungen entnommen).

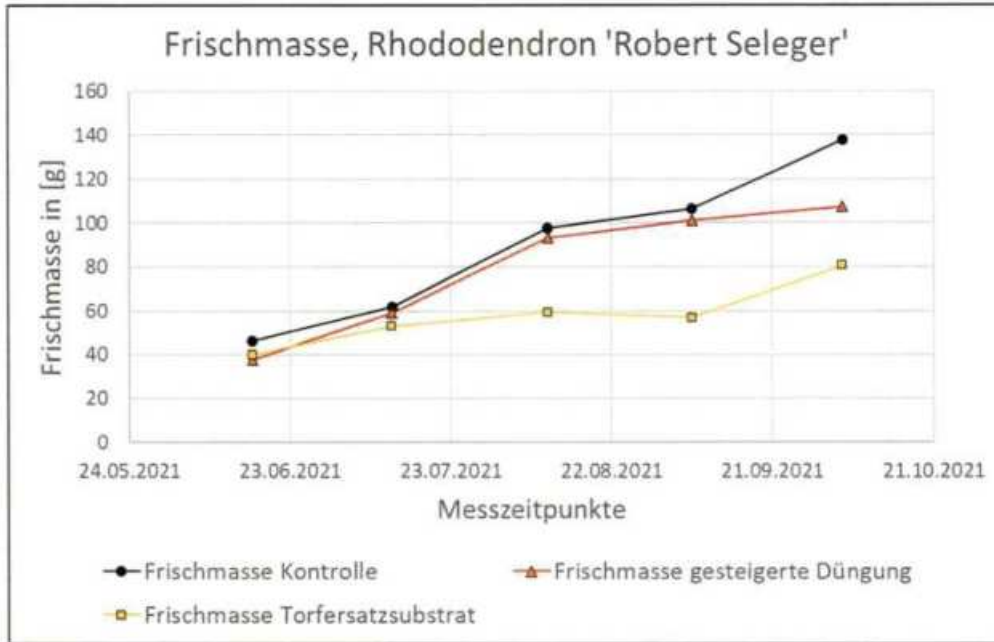


Abbildung 2.1: Frischmasse von Rhododendron 'Robert Seleger' in [g] im Verlauf der ersten Messsaison. Aufgetragen sind die 3 Versuchsglieder - Weiß (hier schwarz) Kontrolle: Torfsubstrat mit Kultur-üblicher Düngung (3 g Osmocote/ L Substrat), rot: Torfsubstrat mit gesteigerter, aber verträglicher Düngung (5 g Osmocote/ L Substrat) *Bei diesem Versuchsglied musste aufgrund eines Fehlers am 14.06.2021 nach gedüngt werden*, gelb: Torfersatz-Substrat mit organischer Düngung (6 g/L Hornspäne, 2 g/L Horngrieß). n = 10.

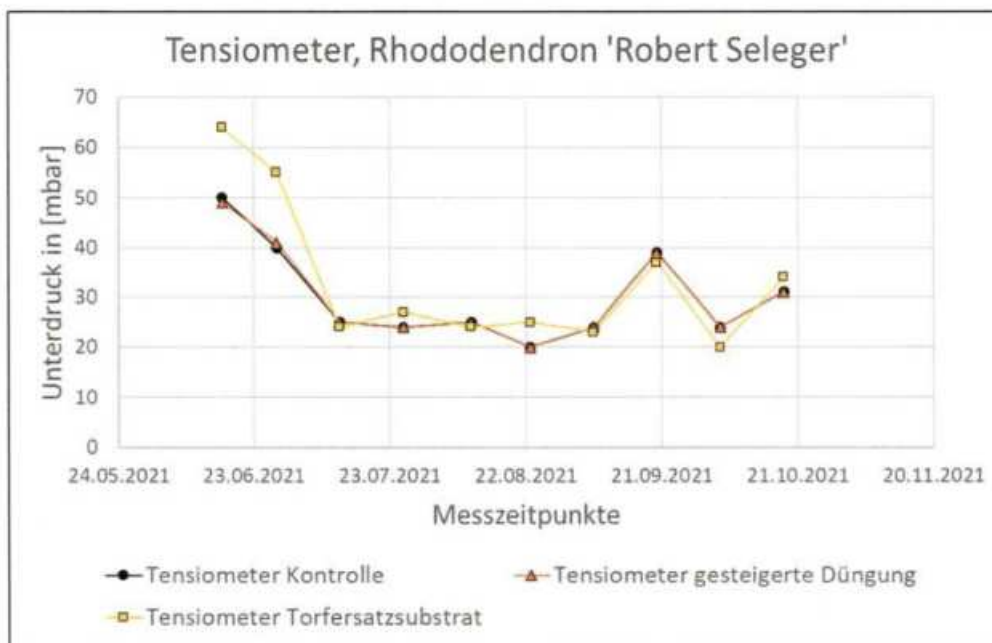


Abbildung : Substratfeuchte (per Tensiometer) von Rhododendron 'Robert Seleger' in [mbar] im Verlauf der ersten Messsaison. Aufgetragen sind die 3 Versuchsglieder - Weiß (hier schwarz) Kontrolle: Torfsubstrat mit Kultur-üblicher Düngung (3 g Osmocote/ L Substrat), rot: Torfsubstrat mit gesteigerter, aber verträglicher Düngung (5 g Osmocote/ L Substrat) *Bei diesem Versuchsglied musste aufgrund eines Fehlers am 14.06.2021 nach gedüngt werden*, gelb: Torfersatz-Substrat mit organischer Düngung (6 g/L Hornspäne, 2 g/L Horngrieß). n = 1.

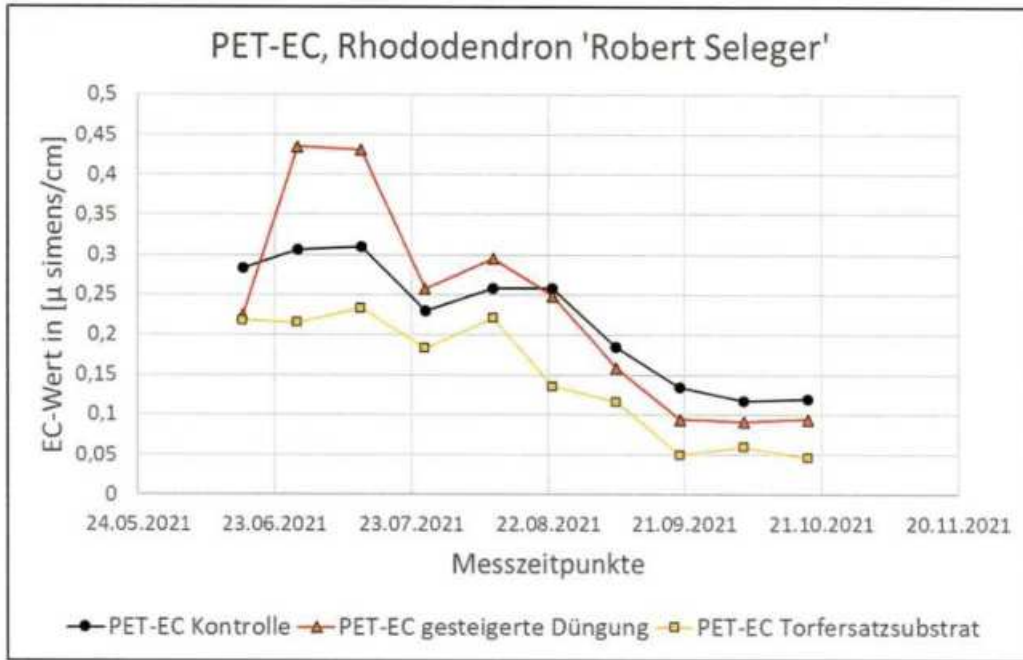


Abbildung : Elektrische Leitfähigkeit des Substrates (per Einstechmessgerät (PET)) von Rhododendron 'Robert Seleger' in [$\mu\text{S}/\text{cm}$] im Verlauf der ersten Messsaison. Aufgetragen sind die 3 Versuchsglieder - Weiß (hier schwarz) Kontrolle: Torfsubstrat mit Kultur-üblicher Düngung (3 g Osmocote/ L Substrat), rot: Torfsubstrat mit gesteigerter, aber verträglicher Düngung (5 g Osmocote/ L Substrat) *Bei diesem Versuchsglied musste aufgrund eines Fehlers am 14.06.2021 nach gedüngt werden*, gelb: Torfersatz-Substrat mit organischer Düngung (6 g/L Hornspäne, 2 g/L Horngrieß). n = 10.

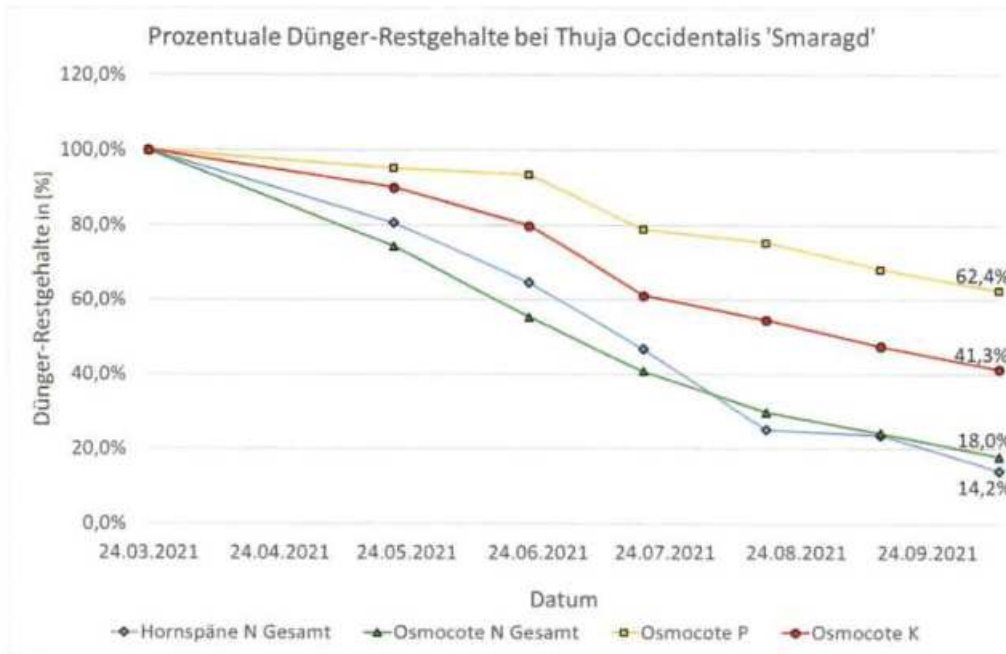


Abbildung 2.: Restgehalte des gegebenen Düngers in [%] bei Thuja Occidentalis 'Smaragd' über die erste Messsaison. Der Dünger wurde in Dünger-Säckchen gefüllt, um die Entnahme und Analyse zu ermöglichen. Osmocote mit 3 g/L und Hornspäne mit (6 g/L Hornspänen und 2 g/L Horngrieß) in 3 Liter Containern. N Gesamt entspricht N_{min} (NH_4^+ und NO_3^-) Stickstoff zusammengefasst, P Phosphor (P_2O_5) mineral-säurelöslich und K (K_2O) mineral-säurelöslich. n = 1.

Verbundprojekt: Predictive Plant Production (PPP)

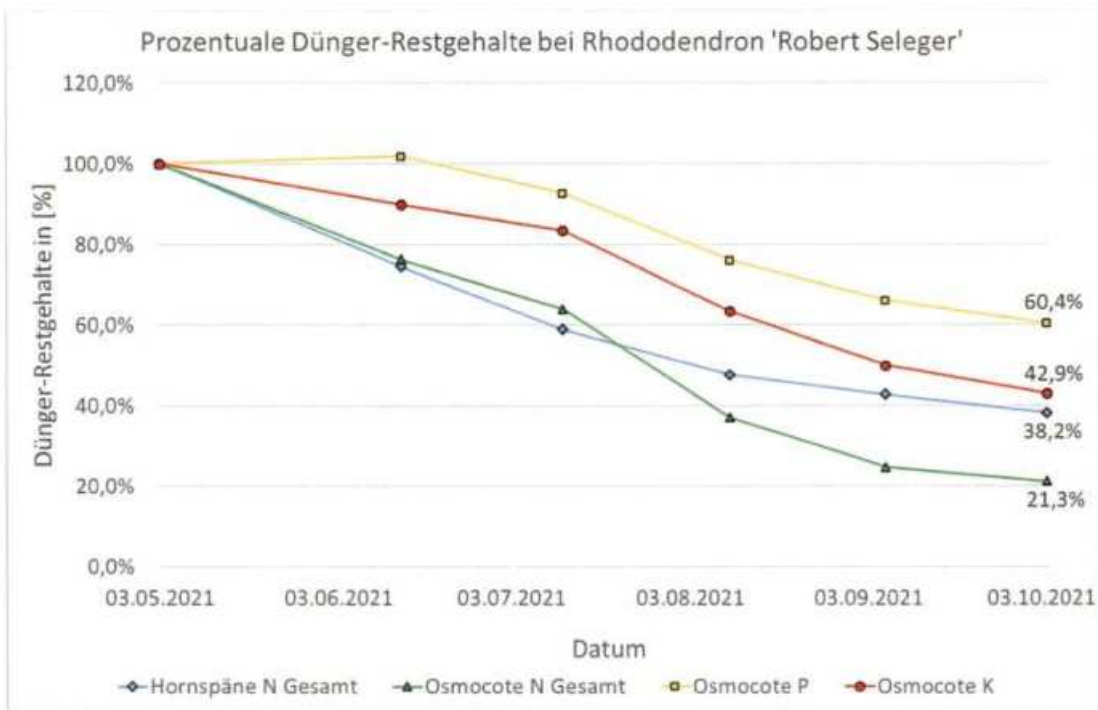


Abbildung : Restgehalte des gegebenen Düngers in [%] bei Rhododendron 'Robert Seleger' über die erste Messsaison. Der Dünger wurde in Dünger-Säckchen gefüllt, um die Entnahme und Analyse zu ermöglichen. Osmocote mit 3 g/L und Hornspäne mit (6 g/L Hornspänen und 2 g/L Horngrieß) in 3 Liter Containern. N Gesamt entspricht N_{min} (NH_4^+ und NO_3^-) Stickstoff zusammengefasst, P Phosphor (P_2O_5) mineral säurelöslich und K (K_2O) mineral säurelöslich. $n = 1$.

| Versuchsnummer B 1618 | | Datum | pH-Wert (CaCl ₂) | Leitf. µS/cm | Salz (dest.H ₂ O) mg/l | N Ges. (CaCl ₂) mg/l | P ₂ O ₅ (CAL) mg/l | K ₂ O (CAL) mg/l |
|--|------------------|------------|------------------------------|--------------|-----------------------------------|----------------------------------|--|-----------------------------|
| Pflanzenart: Thuja Occidentalis 'Smaragd' | | | | | | | | |
| Nr. | Variante/Etikett | | | | | | | |
| 1 | weiß | 11.10.2021 | 4,0 | 425,0 | 662,0 | 55,4 | 41,9 | 68,9 |
| 2 | rot | 11.10.2021 | 4,1 | 362,0 | 601,9 | 53,6 | 28,8 | 48,0 |
| 3 | gelb | 11.10.2021 | 5,9 | 212,0 | 478,8 | 19,0 | 112,9 | 56,5 |
| 1 | weiß | 13.09.2021 | 4,3 | 385,0 | 643,6 | 66,3 | 38,6 | 51,4 |
| 2 | rot | 13.09.2021 | 4,0 | 754,0 | 1082,1 | 59,2 | 71,8 | 35,9 |
| 3 | gelb | 13.09.2021 | 6,1 | 279,0 | 626,2 | 20,1 | 51,8 | 86,3 |
| 1 | weiß | 17.08.2021 | 4,2 | 384,0 | 650,8 | 111,1 | 42,4 | 55,4 |
| 2 | rot | 17.08.2021 | 4,1 | 624,0 | 1068,6 | 163,9 | 72,5 | 105,4 |

| | | | | | | | | |
|---|------|------------|-----|-------|--------|-------|-------|-------|
| 3 | gelb | 17.08.2021 | 6,2 | 265,0 | 646,3 | 49,6 | 117,3 | 84,4 |
| 1 | weiß | 19.07.2021 | 4,3 | 290,0 | 498,6 | 68,1 | 39,7 | 46,3 |
| 2 | rot | 19.07.2021 | 4,1 | 672,0 | 1223,3 | 231,9 | 73,5 | 119,0 |
| 3 | gelb | 19.07.2021 | 6,2 | 234,0 | 491,6 | 40,7 | 117,2 | 68,7 |
| 1 | weiß | 22.06.2021 | 4,4 | 542,0 | 886,9 | 110,0 | 34,6 | 59,8 |
| 2 | rot | 22.06.2021 | 4,3 | 612,0 | 1047,1 | 191,7 | 52,6 | 98,7 |
| 3 | gelb | 22.06.2021 | 6,5 | 221,0 | 521,4 | 36,2 | 136,1 | 104,4 |
| 1 | weiß | 21.05.2021 | 5,1 | 477,0 | 683,5 | 93,3 | 22,0 | 46,8 |
| 2 | rot | 21.05.2021 | 4,5 | 449,0 | 505,9 | 129,8 | 17,3 | 43,3 |
| 3 | gelb | 21.05.2021 | 6,3 | 423,0 | 658,4 | 103,7 | 116,7 | 158,6 |

Tabelle 2.: Substratanalysen bei *Thuja Occidentalis* 'Smaragd'. Weiß, Kontrolle: Torfsubstrat mit Kultur-üblicher Düngung (3 g Osmocote/ L Substrat), rot: Torfsubstrat mit gesteigerter, aber verträglicher Düngung (5 g Osmocote/ L Substrat), gelb: Torfersatz-Substrat mit organischer Düngung (6 g/L Hornspäne, 2 g/L Horngrieß).

| Versuchsnummer B 1618 | | Datum | pH-Wert (CaCl ₂) | Leitf. µS/cm | Salz (dest.H ₂ O) mg/l | N Ges. (CaCl ₂) mg/l | P ₂ O ₅ (CAL) mg/l | K ₂ O (CAL) mg/l |
|---|----------|------------|---------------------------------|-----------------|---|--|--|-----------------------------------|
| Pflanzenart <i>Rhododendron</i> 'Robert Seleger' | | | | | | | | |
| Nr. | Variante | | | | | | | |
| 1 | weiß | 10.10.2021 | 3,9 | 351 | 564 | 76 | 40 | 77 |
| 2 | rot | 10.10.2021 | 3,7 | 103 | 149 | 32 | 6 | 55 |
| 3 | gelb | 10.10.2021 | 3,4 | 215 | 264 | 22 | 19 | 21 |
| 1 | weiß | 06.09.2021 | 4,0 | 382 | 658 | 59 | 27 | 56 |
| 2 | rot | 06.09.2021 | 3,8 | 139 | 172 | 27 | 10 | 45 |
| 3 | gelb | 06.09.2021 | 3,6 | 239 | 278 | 19 | 20 | 18 |
| 1 | weiß | 10.08.2021 | 4,0 | 534 | 779 | 231 | 22 | 42 |
| 2 | rot | 10.08.2021 | 4,1 | 178 | 258 | 80 | 11 | 61 |
| 3 | gelb | 10.08.2021 | 3,6 | 315 | 378 | 51 | 16 | 16 |

| | | | | | | | | |
|---|------|------------|-----|-----|-----|-----|----|----|
| | | | | | | | | |
| 1 | weiß | 12.07.2021 | 4,1 | 282 | 392 | 61 | 21 | 37 |
| 2 | rot | 12.07.2021 | 4,0 | 271 | 370 | 116 | 13 | 68 |
| 3 | gelb | 12.07.2021 | 3,7 | 359 | 429 | 91 | 16 | 23 |
| | | | | | | | | |
| 1 | weiß | 14.06.2021 | 4,1 | 269 | 352 | 42 | 5 | 20 |
| 2 | rot | 14.06.2021 | 3,5 | 176 | 237 | 10 | 3 | 8 |
| 3 | gelb | 14.06.2021 | 3,5 | 631 | 708 | 85 | 13 | 52 |

Tabelle : Substratanalysen bei *Rhododendron 'Robert Seleger'*. Weiß, Kontrolle: Torfsubstrat mit Kultur-üblicher Düngung (3 g Osmocote/ L Substrat), rot: Torfsubstrat mit gesteigerter, aber verträglicher Düngung (5 g Osmocote/ L Substrat) *Bei diesem Versuchsglied musste aufgrund eines Fehlers am 14.06.2021 nach gedüngt werden*, gelb: Torfersatz-Substrat mit organischer Düngung (6 g/L Hornspäne, 2 g/L Horngrieß).

Anfang 2022 hat die LVG Kalibrierungsreihen für den Salzgehalt durchgeführt. Außerdem wurden Kalibrierungsreihen für die Messung der Bodenfeuchte angefertigt, damit die ausgegebenen Sensordaten auch korrekt interpretiert werden können. Beide bestanden aus Steigerungsreihen, in denen die Salzkonzentration bzw. der Wassergehalt stufenweise erhöht wurde. Erst dadurch werden die Messdaten interpretierbar und vergleichbar.

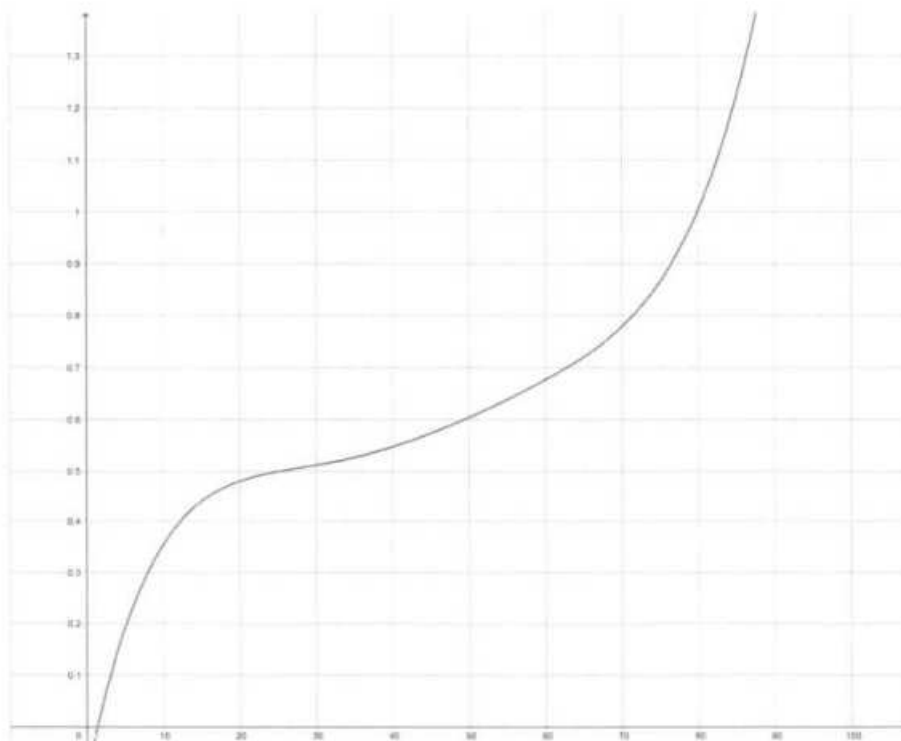


Abbildung 2.24: Kalibrierkurve für die Aranet-Sensoren. Auf der X-Achse ist die dielektrische Permittivität und auf der Y-Achse ist der Volumetrische Wassergehalt in %/100 angegeben.

Die Formel für die Kalibrierkurve lautet:

$$f(x) = 0,00000000425 \cdot x^5 - 0,0000009611 \cdot x^4 + 0,00008457 \cdot x^3 - 0,00352 \cdot x^2 + 0,07202 \cdot x - 0,08921$$

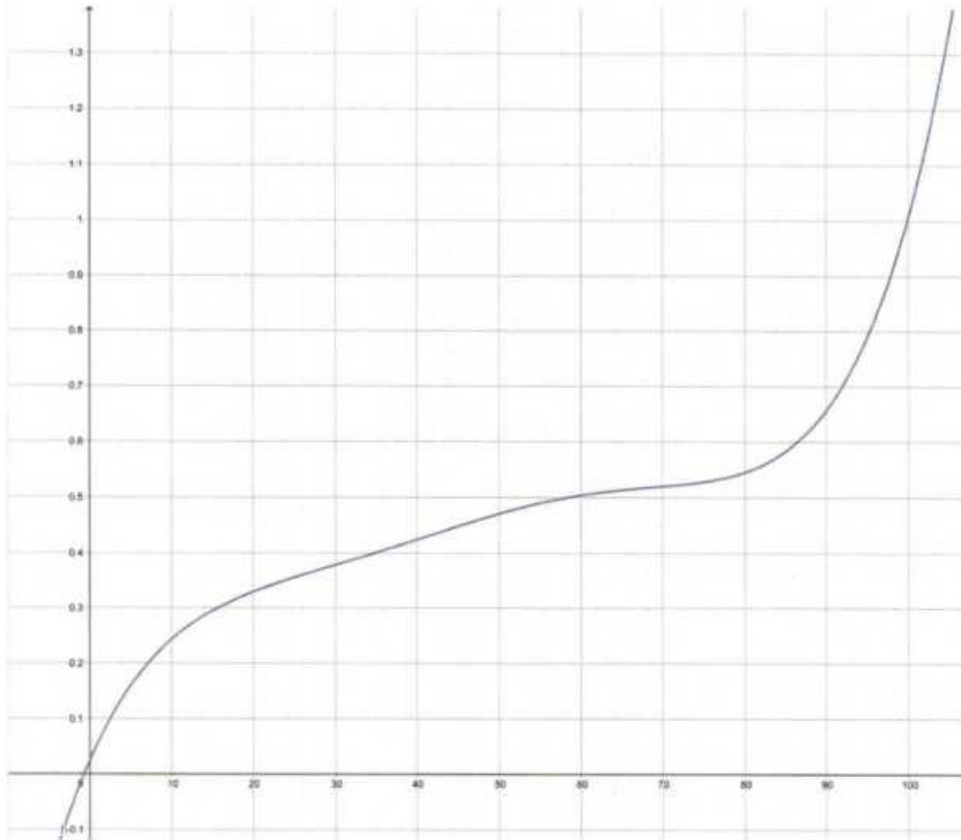


Abbildung 2.25: Kalibrierkurve für die Dragino-Sensoren. Auf der X-Achse ist der ursprüngliche Messwert des Sensor und auf der Y-Achse ist der Volumetrische Wassergehalt in %/100 angegeben.

Die Formel für die Kalibrierkurve lautet:

$$f(x) = 1.805 \cdot 10^{-9} \cdot x^5 - 4.17 \cdot 10^{-7} \cdot x^4 + 0.00003601 \cdot x^3 - 0.00147 \cdot x^2 + 0.03319 \cdot x + 0.02652$$

Des Weiteren wurde der Versuch für die Zweite Messsaison aufgebaut (siehe Abbildung 2.26). Dieser umfasste 6 Versuchsglieder je 140 Pflanzen, wobei *Thuja occidentalis* 'Smaragd' in 3 L Containern als Versuchskultur verwendet wurde. Die Pflanzen standen im Freiland und wurden mit einem Gießwagen bewässert. Im Kern wurde eine Salz-Steigerungsreihe durchgeführt, wobei die Salzkonzentration durch aufgelegten Dünger immer weiter erhöht wurde (siehe Tabelle 2.3). Außerdem wurde für eine Variante ein Torfersatz Substrat ausgewählt, welches unüblicher ist und eine geringere Wasserkapazität aufweist. Mit der Kombination aus einem kleineren Wasserreservoir und erhöhtem Salzstress sollten extremere Umweltbedingungen

geschaffen werden. Neben dem Erfassen von Daten für das KI Training, wurden die Sensoren auch weiterhin auf ihre Genauigkeit und Verlässlichkeit untersucht.



Abbildung 2.26: Versuchsaufbau in der LVG der zweiten Messsaison mit *Thuja occidentalis* 'Smaragd'.

| | | |
|----|---|------------|
| 1. | Normal gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 2 g/L Osmoform | Torf |
| 2. | Höher gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 4 g/L Osmoform | Torf |
| 3. | Zu hoch gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 8 g/L Osmoform | Torf |
| 4. | Leicht zu niedrig gedüngt 3,0 g/L Osmocote Pro +100 mg/L Radigen | Torf |
| 5. | Zu niedrig gedüngt 1,5 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen | Torf |
| 6. | Normal gedüngt 3,0 g/L Osmocote Pro (+100 mg/L Radigen) +2 g/L Osmoform | Torfersatz |

Tabelle 2.3: Versuchsglieder zweite Messsaison PPP-Projekt. „Osmocote“ = ummantelter Langzeitdünger (Depot), „Radigen“ = Spurenelement-Dünger, „Osmoform“ = kompaktierter mittelfristig wirkender Dünger.

Die durchgeführten Untersuchungen waren sehr ähnlich zu denen aus der 1. Messsaison um vergleichbare Daten zu erhalten: Bei allen Versuchsgliedern wurde in einem zweiwöchigen Rhythmus die Höhe aller Pflanzen gemessen, eine optische Bonitur durchgeführt und mithilfe eines Einstechgerätes der Salzgehalt von 10 Töpfen je Versuchsglied erfasst. Zusätzlich wurden alle 4 Wochen 10 Töpfe je Versuchsglied entnommen, um die Frischmasse der Pflanzen zu bestimmen, eine Substratanalyse durchzuführen sowie den Volumetrischen Wassergehalt des

Substrates zu messen. Die Laboranalyse des Substrates umfasst den Salzgehalt, die Nährstoffe „N, P und K“, und den pH-Wert.

An Sensoren wurden folgende Stückzahlen installiert: 18x Aranet (VWC, EC und T) Sensoren, 24x J4S/Draino Sensoren, 4x PlantCare, 2x Florja, 3x Quantified Posideon, 9x Tensiometer. Die Auswahl der Sensoren basierte auf den Untersuchungen des Sensorvergleiches, welcher zwischen den beiden Messsaisons durchgeführt wurde. Hauptsächlich untersucht wurden dabei J4S/Draino und Aranet. Die anderen Sensoren liefen für zusätzliche Tests parallel. Die Sensordaten wurden über die etablierte Funk-Infrastruktur versendet.

Zum Abschluss der Messsaison ließ sich festhalten, dass erfolgreich viele Daten für das Training der KI erfasst werden konnten. Die extremeren Umweltbedingungen haben ebenfalls interessante Effekte zum Vorschein gebracht

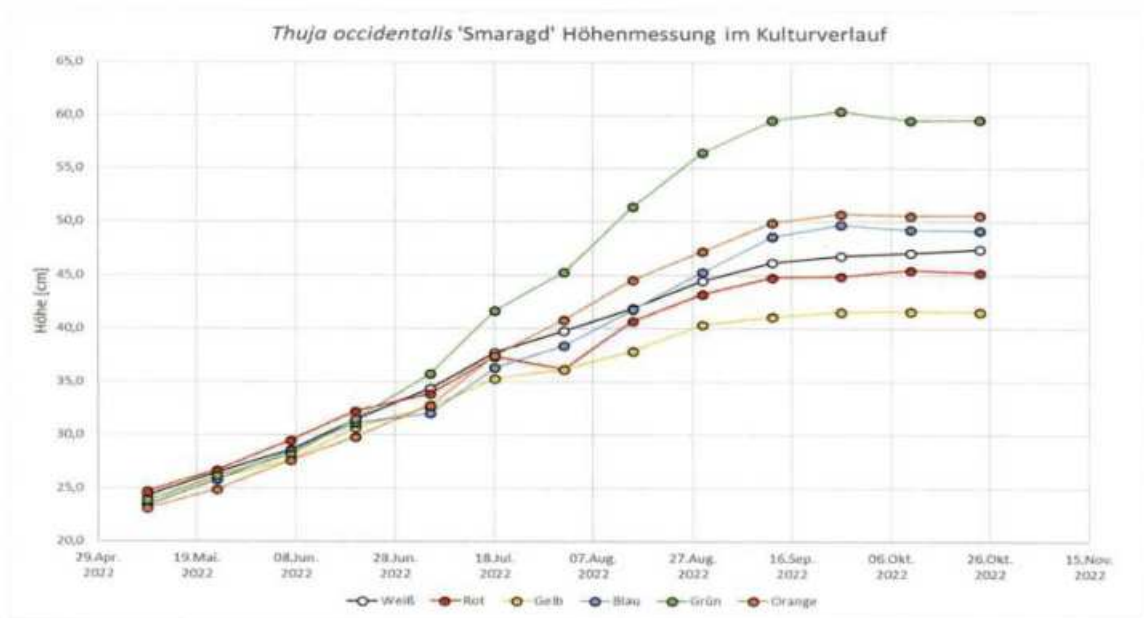


Abbildung 2.27: Thuja occidentalis 'Smaragd' Höhenmessung im Kulturverlauf.

- Weiß:** Torf, normal gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 2 g/L Osmoform (Ende Juni),
- Rot:** Torf, höher gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 4 g/L Osmoform (Ende Juni),
- Gelb:** Torf, zu hoch gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 8 g/L Osmoform (Ende Juni),
- Blau:** Torf, leicht zu niedrig gedüngt 3,0 g/L Osmocote Pro +100 mg/L Radigen,
- Grün:** Torf, zu niedrig gedüngt 1,5 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen,
- Orange:** Torffrei, normal gedüngt 3,0 g/L Osmocote Pro (+100 mg/L Radigen) +2 g/L Osmoform (Ende Juni)

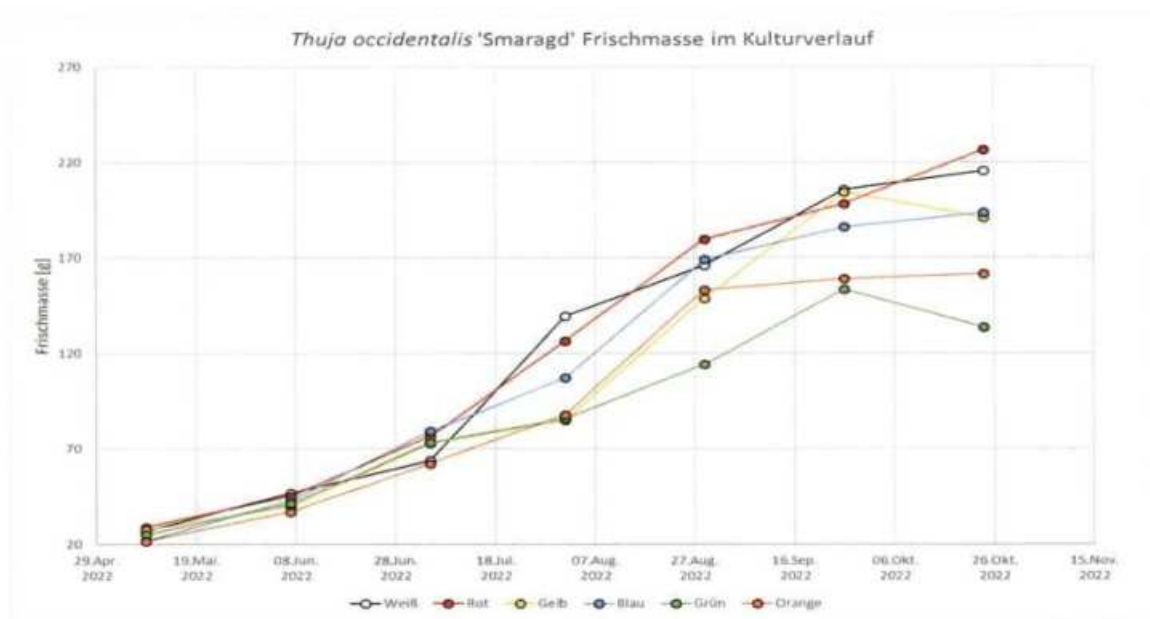


Abbildung 2.28: Thuja occidentalis 'Smaragd' Frischmasse im Kulturverlauf:

- Weiß:** Torf, normal gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 2 g/L Osmoform (Ende Juni),
- Rot:** Torf, höher gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 4 g/L Osmoform (Ende Juni),
- Gelb:** Torf, zu hoch gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 8 g/L Osmoform (Ende Juni),
- Blau:** Torf, leicht zu niedrig gedüngt 3,0 g/L Osmocote Pro +100 mg/L Radigen,
- Grün:** Torf, zu niedrig gedüngt 1,5 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen,
- Orange:** Torffrei, normal gedüngt 3,0 g/L Osmocote Pro (+100 mg/L Radigen) +2 g/L Osmoform (Ende Juni)

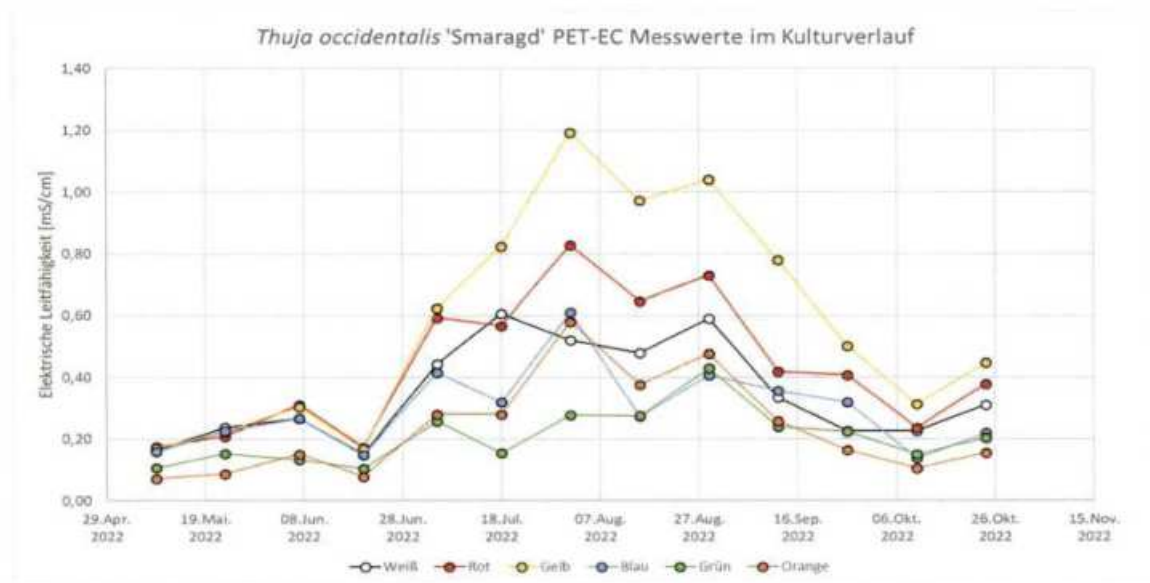


Abbildung 2.29: Thuja occidentalis 'Smaragd' PET-EC Messwerte im Kulturverlauf:

- Weiß:** Torf, normal gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 2 g/L Osmoform (Ende Juni),
- Rot:** Torf, höher gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 4 g/L Osmoform (Ende Juni),
- Gelb:** Torf, zu hoch gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 8 g/L Osmoform (Ende Juni),
- Blau:** Torf, leicht zu niedrig gedüngt 3,0 g/L Osmocote Pro +100 mg/L Radigen,
- Grün:** Torf, zu niedrig gedüngt 1,5 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen,
- Orange:** Torffrei, normal gedüngt 3,0 g/L Osmocote Pro (+100 mg/L Radigen) +2 g/L Osmoform (Ende Juni)

| Versuchsnummer B 1618-4 | | Variante/ Etikett | pH-Wert (CaCl ₂) | Salz (dest.H ₂ O) mg/l | Ges.N (CaCl ₂) mg/l | P2O ₅ (CAL) mg/l | K ₂ O (CAL) mg/l |
|-------------------------------------|------------|----------------------|---------------------------------|---|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Thuja Occidentalis 'Smaragd' | | | | | | | |
| Nr. | Datum | | | | | | |
| 1 | 10.05.2022 | weiß | 4,5 | 500 | 73 | 34 | 58 |
| 1 | 07.06.2022 | weiß | 4,5 | 861 | 207 | 44 | 72 |
| 1 | 05.07.2022 | weiß | 4,2 | 2611 | 393 | 72 | 126 |
| 1 | 01.08.2022 | weiß | 3,8 | 1465 | 219 | 34 | 79 |
| 1 | 01.09.2022 | weiß | 3,9 | 1523 | 261 | 49 | 101 |
| 1 | 28.09.2022 | weiß | 4,0 | 1439 | 205 | 121 | 166 |
| 1 | 24.10.2022 | weiß | 3,8 | 1132 | 90 | 48 | 75 |
| 2 | 10.05.2022 | rot | 4,7 | 999 | 73 | 48 | 87 |
| 2 | 07.06.2022 | rot | 4,3 | 581 | 99 | 37 | 51 |
| 2 | 05.07.2022 | rot | 4,4 | 1701 | 438 | 111 | 216 |
| 2 | 01.08.2022 | rot | 4,0 | 2424 | 349 | 54 | 174 |
| 2 | 01.09.2022 | rot | 4,0 | 2408 | 426 | 53 | 146 |
| 2 | 28.09.2022 | rot | 3,8 | 1457 | 165 | 52 | 105 |
| 2 | 24.10.2022 | rot | 3,6 | 1624 | 119 | 65 | 142 |
| 3 | 10.05.2022 | gelb | 4,7 | 329 | 144 | 14 | 35 |
| 3 | 07.06.2022 | gelb | 4,4 | 1078 | 61 | 95 | 39 |
| 3 | 05.07.2022 | gelb | 4,7 | 3553 | 737 | 141 | 299 |
| 3 | 01.08.2022 | gelb | 4,3 | 2366 | 610 | 68 | 311 |
| 3 | 01.09.2022 | gelb | 4,0 | 2631 | 577 | 69 | 251 |
| 3 | 28.09.2022 | gelb | 3,9 | 1652 | 233 | 66 | 186 |
| 3 | 24.10.2022 | gelb | 3,6 | 1748 | 178 | 76 | 212 |
| 4 | 10.05.2022 | blau | 4,7 | 566 | 130 | 22 | 45 |
| 4 | 07.06.2022 | blau | 4,6 | 1183 | 105 | 31 | 55 |
| 4 | 05.07.2022 | blau | 4,3 | 1210 | 315 | 65 | 93 |
| 4 | 01.08.2022 | blau | 4,2 | 1163 | 153 | 38 | 53 |
| 4 | 01.09.2022 | blau | 4,3 | 1727 | 245 | 55 | 65 |
| 4 | 28.09.2022 | blau | 4,3 | 742 | 114 | 46 | 62 |
| 4 | 24.10.2022 | blau | 4,1 | 1122 | 139 | 70 | 76 |
| 5 | 10.05.2022 | grün | 4,7 | 291 | 32 | 9 | 18 |
| 5 | 07.06.2022 | grün | 4,5 | 569 | 45 | 26 | 38 |
| 5 | 05.07.2022 | grün | 4,4 | 701 | 100 | 46 | 61 |
| 5 | 01.08.2022 | grün | 4,4 | 592 | 33 | 18 | 21 |
| 5 | 01.09.2022 | grün | 4,5 | 665 | 89 | 20 | 28 |
| 5 | 28.09.2022 | grün | 4,5 | 690 | 76 | 22 | 30 |
| 5 | 24.10.2022 | grün | 4,2 | 620 | 61 | 27 | 33 |
| 6 | 10.05.2022 | orange | 6,5 | 502 | 19 | 46 | 164 |
| 6 | 07.06.2022 | orange | 6,3 | 549 | 26 | 26 | 124 |
| 6 | 05.07.2022 | orange | 6,2 | 2041 | 397 | 107 | 305 |
| 6 | 01.08.2022 | orange | 5,3 | 2033 | 205 | 91 | 281 |
| 6 | 01.09.2022 | orange | 5,4 | 1712 | 207 | 55 | 55 |
| 6 | 28.09.2022 | orange | 5,5 | 988 | 286 | 36 | 73 |
| 6 | 24.10.2022 | orange | 5,5 | 685 | 124 | 66 | 140 |

Tabelle 2.4: Substratanalysen.

Weiß: Torf, normal gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 2 g/L Osmoform (Ende Juni),

Rot: Torf, höher gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 4 g/L Osmoform (Ende Juni),

Gelb: Torf, zu hoch gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 8 g/L Osmoform (Ende Juni),

Blau: Torf, leicht zu niedrig gedüngt 3,0 g/L Osmocote Pro +100 mg/L Radigen,

Grün: Torf, zu niedrig gedüngt 1,5 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen,

Orange: Torffrei, normal gedüngt 3,0 g/L Osmocote Pro (+100 mg/L Radigen) +2 g/L Osmoform (Ende Juni)

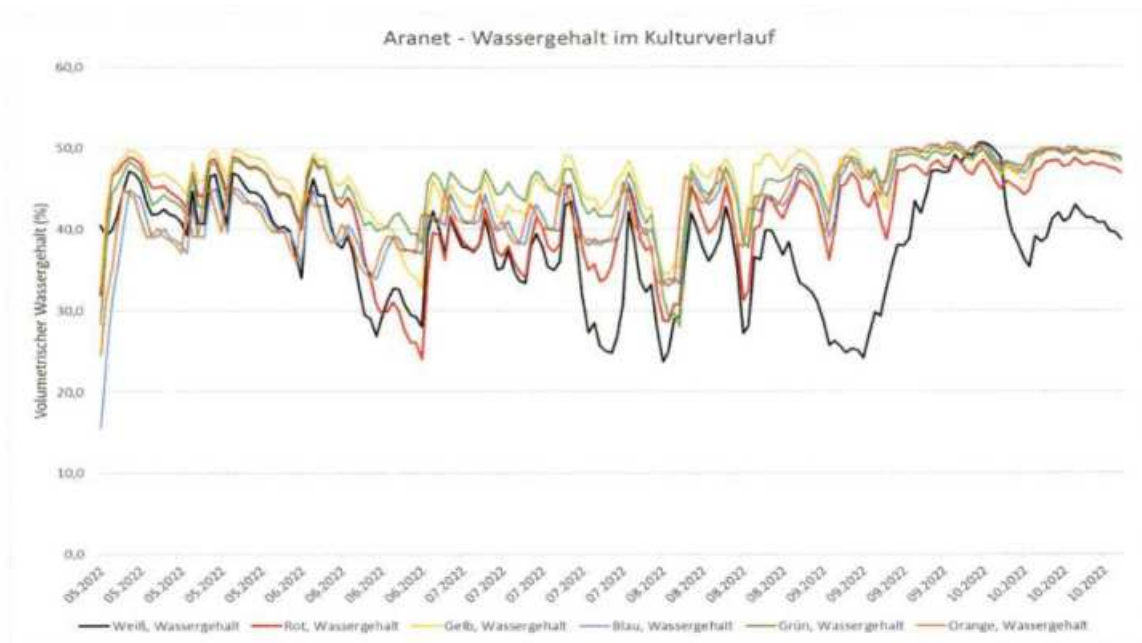


Abbildung 2.30: Aranet - Wassergehalt im Kulturverlauf. Weiß: Torf, normal gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 2 g/L Osmoform (Ende Juni), Rot: Torf, höher gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 4 g/L Osmoform (Ende Juni), Gelb: Torf, zu hoch gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 8 g/L Osmoform (Ende Juni), Blau: Torf, leicht zu niedrig gedüngt 3,0 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen, Grün: Torf, zu niedrig gedüngt 1,5 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen, Orange: Torffrei, normal gedüngt 3,0 g/L Osmocote Pro (+100 mg/L Radigen) + 2 g/L Osmoform (Ende Juni)

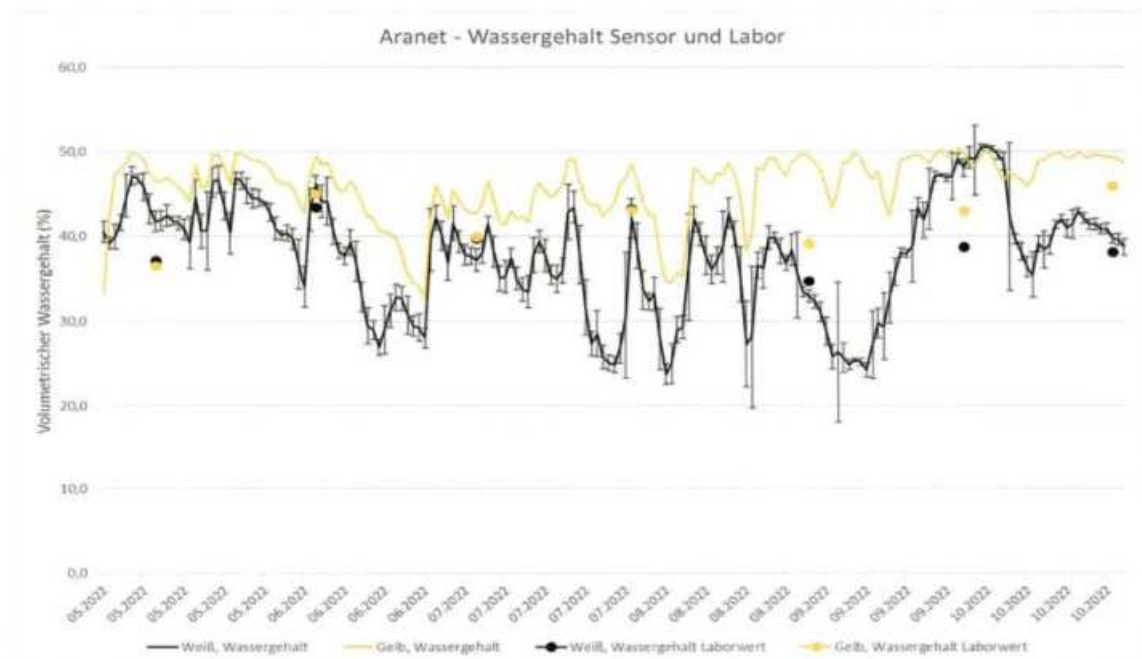


Abbildung 2.31: Aranet - Wassergehalt Sensor und Labor Weiß: Torf, normal gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 2 g/L Osmoform (Ende Juni), Gelb: Torf, zu hoch gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 8 g/L Osmoform (Ende Juni)

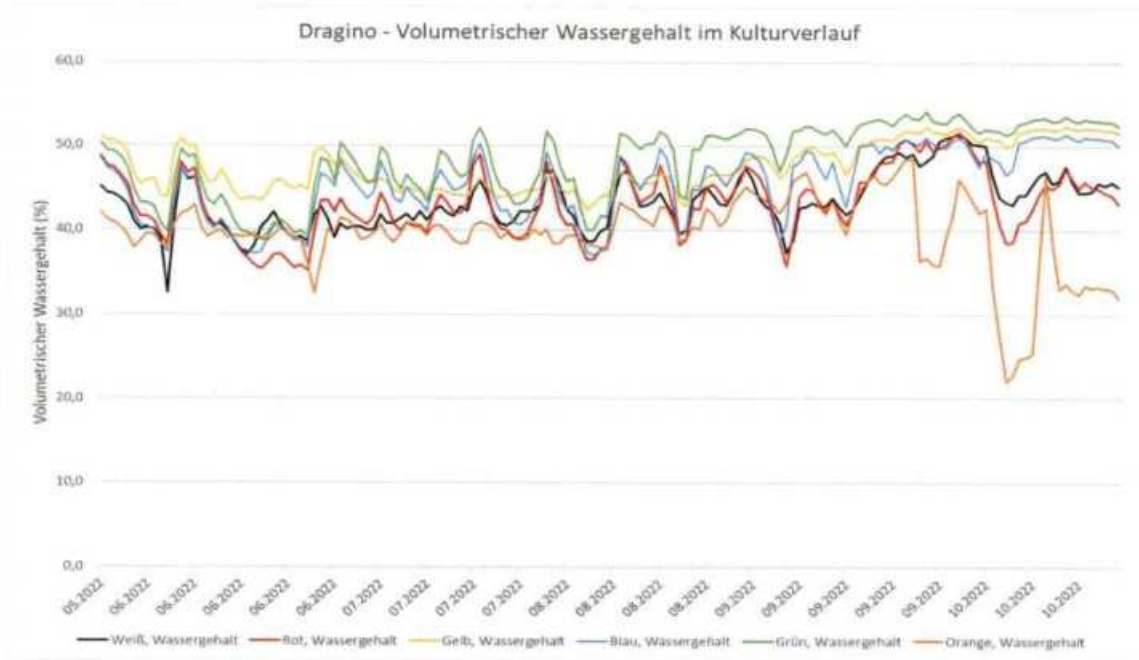


Abbildung 2.32: Dragino - Volumetrischer Wassergehalt im Kulturverlauf. **Weiß:** Torf, normal gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 2 g/L Osmoform (Ende Juni), **Rot:** Torf, höher gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 4 g/L Osmoform (Ende Juni), **Gelb:** Torf, zu hoch gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 8 g/L Osmoform (Ende Juni), **Blau:** Torf, leicht zu niedrig gedüngt 3,0 g/L Osmocote Pro +100 mg/L Radigen, **Grün:** Torf, zu niedrig gedüngt 1,5 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen, **Orange:** Torffrei, normal gedüngt 3,0 g/L Osmocote Pro (+100 mg/L Radigen) +2 g/L Osmoform (Ende Juni)

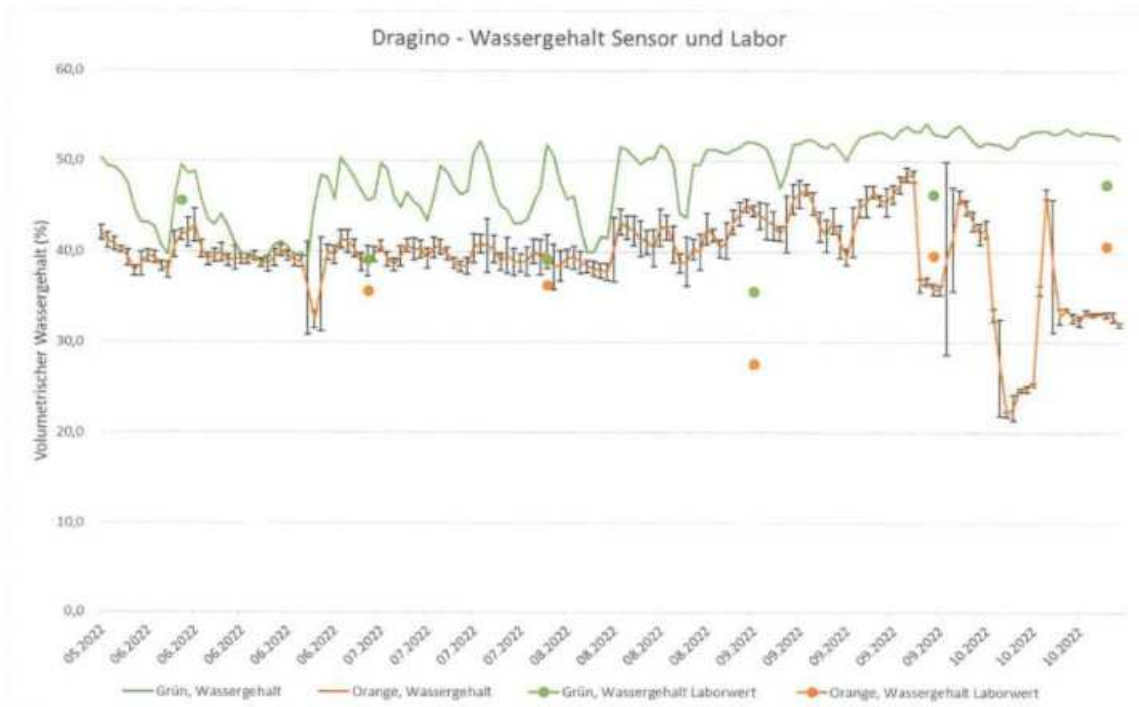


Abbildung 2.33: Dragino – Wassergehalt Sensor und Labor. **Grün:** Torf, zu niedrig gedüngt 1,5 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen, **Orange:** Torffrei, normal gedüngt 3,0 g/L Osmocote Pro (+100 mg/L Radigen) +2 g/L Osmoform (Ende Juni)

Verbundprojekt: Predictive Plant Production (PPP)

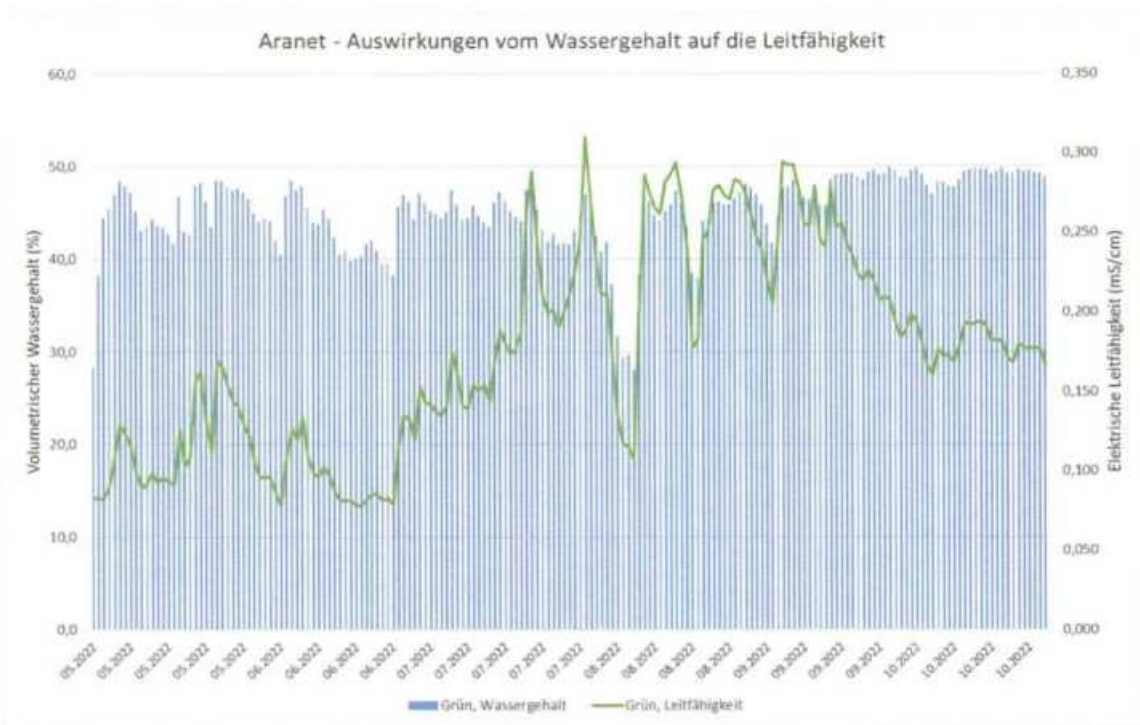


Abbildung 2.34: Aranet – Auswirkungen vom Wassergehalt auf die Leitfähigkeit. Grün: Torf, zu niedrig gedüngt 1,5 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen

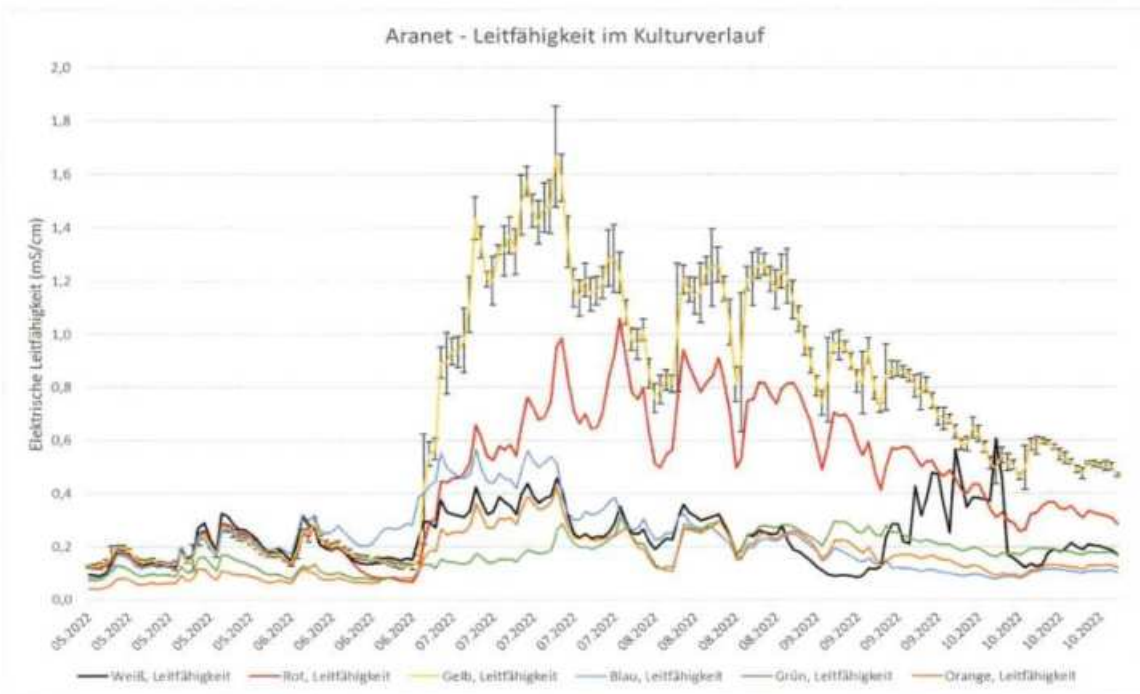


Abbildung 2.35: Aranet - Leitfähigkeit im Kulturverlauf. Weiß: Torf, normal gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 2 g/L Osmoform (Ende Juni), **Rot:** Torf, höher gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 4 g/L Osmoform (Ende Juni), **Gelb:** Torf, zu hoch gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 8 g/L Osmoform (Ende Juni), **Blau:** Torf, leicht zu niedrig gedüngt 3,0 g/L Osmocote Pro +100 mg/L Radigen, **Grün:** Torf, zu niedrig gedüngt 1,5 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen, **Orange:** Torffrei, normal gedüngt 3,0 g/L Osmocote Pro (+100 mg/L Radigen) +2 g/L Osmoform (Ende Juni)

Verbundprojekt: Predictive Plant Production (PPP)

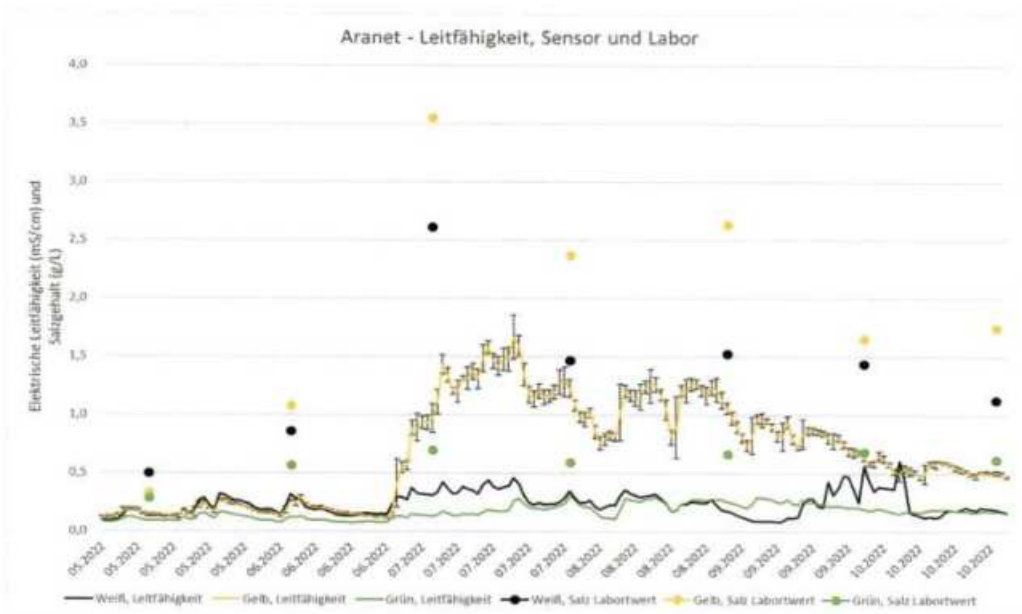


Abbildung 2.36: Aranet - Leitfähigkeit Sensor und Labor. **Weiß:** Torf, normal gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 2 g/L Osmoform (Ende Juni), **Rot:** Torf, höher gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 4 g/L Osmoform (Ende Juni), **Gelb:** Torf, zu hoch gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 8 g/L Osmoform (Ende Juni), **Blau:** Torf, leicht zu niedrig gedüngt 3,0 g/L Osmocote Pro +100 mg/L Radigen, **Grün:** Torf, zu niedrig gedüngt 1,5 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen, **Orange:** Torffrei, normal gedüngt 3,0 g/L Osmocote Pro (+100 mg/L Radigen) +2 g/L Osmoform (Ende Juni)

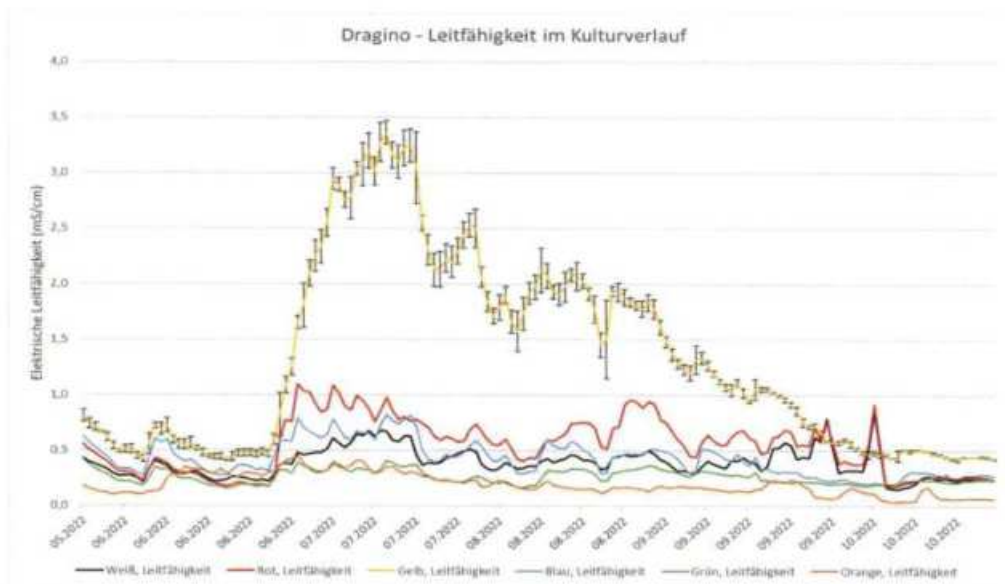


Abbildung 2.37: Dragino - Leitfähigkeit im Kulturverlauf. **Weiß:** Torf, normal gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 2 g/L Osmoform (Ende Juni), **Rot:** Torf, höher gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 4 g/L Osmoform (Ende Juni), **Gelb:** Torf, zu hoch gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 8 g/L Osmoform (Ende Juni), **Blau:** Torf, leicht zu niedrig gedüngt 3,0 g/L Osmocote Pro +100 mg/L Radigen, **Grün:** Torf, zu niedrig gedüngt 1,5 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen, **Orange:** Torffrei, normal gedüngt 3,0 g/L Osmocote Pro (+100 mg/L Radigen) +2 g/L Osmoform (Ende Juni)

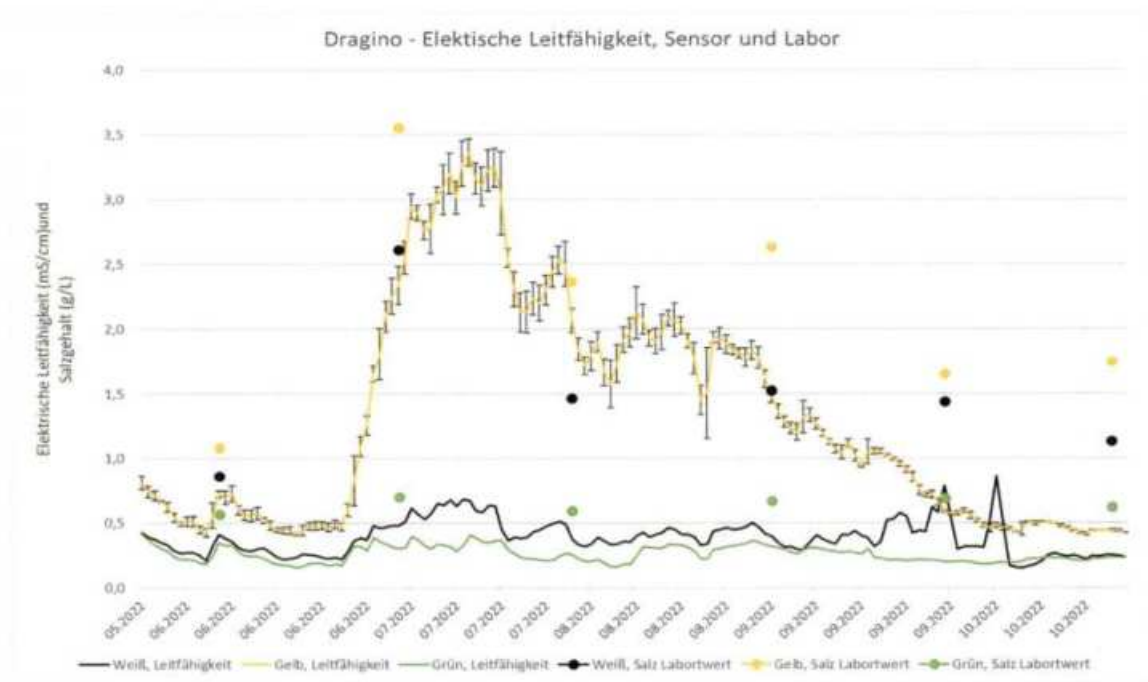


Abbildung 2.38: Dragino – Elektrische Leitfähigkeit, Sensor und Labor. Weiß: Torf, normal gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 2 g/L Osmoform (Ende Juni), **Gelb:** Torf, zu hoch gedüngt, 3 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen + 8 g/L Osmoform (Ende Juni), **Grün:** Torf, zu niedrig gedüngt 1,5 g/L Osmocote Pro + 100 mg/L Radigen

Messungen an der Pflanze

Die Höhenmessung von *Thuja occidentalis* 'Smaragd' zeigte im Kulturverlauf deutliche Unterschiede innerhalb der Varianten (siehe Abbildung 2.27). Alle Varianten sind das Jahr über relativ konstant und gleichbleibend gewachsen. Während Grün mit großem Abstand die höchsten Pflanzen ausgebildet hat, gefolgt von Orange und Blau, sind Gelb und Rot kleiner geblieben. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Pflanzen mit zunehmendem Nährstoffmangel ein verstärktes Streckungswachstum aufweisen. Salzstress, verursacht durch Nährstoffüberschuss, bewirkt hingegen ein gedrungenes und kompaktes Wachstum. So lässt sich die finale Wuchshöhe der Varianten in der gleichen Reihenfolge anordnen, wie die Düngersteigerung. Lediglich die torffreie Variante bildet eine Ausnahme.

Unterstrichen wird diese Aussage durch die gemessenen Frischmassen im Kulturverlauf (siehe Abbildung 2.28). Hier weist Grün die geringste Masse auf, während Rot und Weiß die höchste gebildet haben. Dieses Ergebnis ist ebenfalls erwartungsgemäß eingetroffen. Die Ausnahme bildet hier wiederum die torffreie Variante: Orange ist trotz gleicher Düngung wie die Kontrolle kleiner geblieben und hat weniger Frischmasse ausgebildet, als diese. Dies könnte auf die Nähe zur Hecke und dessen Schattenwurf zurückzuführen sein (siehe Abbildung 2.26) oder schlicht auf die Eigenschaften des Substrates.

Die regelmäßigen händischen EC-Wert-Messungen sind in Abbildung 2.29 dargestellt. Auch diese spiegeln größtenteils die erwartbaren Ergebnisse wieder. Grün und Blau weisen die geringsten Leitfähigkeiten auf, während Gelb und Rot die höchsten innehaben. Orange hat auch hier trotz gleicher Düngung wie die Kontrolle

eine geringere Leitfähigkeit. Dies lässt sich unter Berücksichtigung der Laboranalysen (siehe Tabelle 2.4) auf die Substratphysik zurückführen. Das torffreie Substrat hat einen hohen Holzfaseranteil, was einerseits die Wasserkapazität senkt und andererseits einen schlechteren Kontakt zur Messsonde ermöglicht. Der Wassergehalt hat einen direkten und sehr großen Einfluss auf die Leitfähigkeit (siehe Abbildung 2.34).

Sensormessung Wassergehalt

Die Messung des Volumetrischen Wassergehaltes (VWC) im Substrat ist in den Abbildungen 2.30 und 2.32 über den Kulturverlauf dargestellt. Die Werte von Dragino und Aranet schwanken beide in einem erwartbaren Bereich von 40% bis 50%, auch wenn es einige Ausreißer nach unten bis hin zu 25% gibt. Die mitunter starken Schwankungen zwischen den Varianten lassen sich dadurch erklären, dass das gesamte Versuchsfeld eine inhomogene Feuchtigkeitsverteilung aufwies. Während die Töpfe in der Mitte sehr feucht waren, waren einige Töpfe am Rand trocken. Die abgebildeten Kurven sind Mittelwerte aus 3 – 4 Sensoren pro Variante, die nach dem Zufallsprinzip gesteckt wurden und deshalb voneinander abweichen.

Die Vergleiche der sensor-technisch und der labor-technisch erfassten Wassergehalte sind in den Abbildungen 2.31 und 2.33 dargestellt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind hier nur jeweils 2 Varianten aufgetragen, die sich relativ stark unterscheiden. Es ist zu erkennen, dass sowohl die Aranet Sensoren als auch die Dragino Sensoren tendenziell einen höheren Wassergehalt anzeigen, als er sich im Labor ermitteln lässt. Abgesehen davon korrelieren die Wassergehalts-Kurven gut mit den Labor-Stichproben. Die Unterschiede zwischen Labor und Sensor resultieren in erster Linie wahrscheinlich daraus, dass nicht die Töpfe beprobt wurden, in denen die Sensoren steckten. Des Weiteren konnten die entnommenen Proben nicht wieder vollständig auf die ursprüngliche Topffestigkeit verdichtet werden. Außerdem werden bei der Prozedur die Wurzeln entfernt, welche in der Kultur jedoch einen Einfluss auf die Sensormessung haben. Abschließend ist auch die Kalibrierung von relativer Permittivität zu volumetrischer Bodenfeuchte nur eine Annäherung an den „wahren“ Wert.

Sensormessung Leitfähigkeit

Die per Sensor gemessenen elektrischen Leitfähigkeiten der Substrate unterscheiden sich sehr stark von einander (siehe Abbildung 2.35 und 2.37). Die Verläufe der Leitfähigkeit bei Aranet und Dragino sind sich sehr ähnlich. Gelb steigt bei Dragino jedoch auf einen Höchstwert von knapp 3,5 mS/cm an, während der Höchstwert von Aranet bei etwa 1,8 mS/cm liegt. Alle Varianten bis auf Grün zeigen Ende Juni den erwarteten (starken) Anstieg des Salzgehaltes (der Leitfähigkeit) durch die Gabe von Osmoform. Die starken Unterschiede von Gelb bei Aranet und Dragino sind wahrscheinlich auf den Sensortyp zurückzuführen oder auf die Weise, wie der Sensor im Topf platziert wurde. Während der Aranet-Sensor von der Seite in das untere Drittel des Topfes inseriert wurde, wurde der Dragino-Sensor von oben schräg eingesteckt.

Der Vergleich der Sensor-Leitfähigkeit mit dem im Labor ermittelten Salzgehalt zeigt, dass der Trend der Sensoren ungefähr stimmt, die Werte jedoch weit abweichen (siehe Abbildungen 2.36 und 2.38). Lediglich Grün bei Dragino und Aranet sowie

Gelb bei Dragino zeigen einen annähernd gleichen Verlauf. Die Leitfähigkeitsmesswerte ließen sich auf relativ einfach Art mit einem Faktor multiplizieren, um die gesamte Kurve anzuheben. Die mit unter sehr starken Abweichungen lassen sich wahrscheinlich darauf zurückführen, dass bei diesem Versuch ein Depotdünger in Kombination mit einem kompaktierten Dünger eingesetzt wurde. Beide Düngertypen werden sehr lokal freigesetzt und nur über das Gießwasser im Topf verteilt. Insbesondere bei dem kompaktierten Dünger entstehen kurz unter der Topfoberfläche starke Salzgradienten. Diese inhomogene Salzverteilung im Topf kann durch eine gemischte Probenahme für das Labor ausgeglichen werden. Der Sensor ist jedoch an einem festen Punkt eingebaut und daher der ungleichmäßigen Verteilung erlegen. Bei anderen Versuchen (siehe B 1618-3), die eine sehr homogene Salzverteilung aufwiesen, ließen sich sehr gute Übereinstimmungen finden. Dies würde wahrscheinlich auch auf die Gabe von Flüssigdünger zutreffen.

Im Jahr 2023 war die LVG plangemäß nicht am Projekt beteiligt, aufgrund der verbliebenden Mittel konnte jedoch 2024 im Rahmen der kostenneutralen Projektverlängerung folgender Versuch aufgebaut werden:

Der Versuch zur sensorgesteuerten Bewässerung umfasste 3 Versuchsglieder mit je 120 Pflanzen, die mit vier Wiederholungen in einer randomisierten Blockanlage kultiviert wurde. Die Kulturfläche bestand aus 12 einzeln bewässerbaren Versuchsfeldern (Abbildung 2.39).



Abbildung 2.39: Versuchsfelder auf Kulturfläche am Standort der LVG am 27.06.2024.

Der Aufbau der Versuchsfelder auf der Kulturfläche am Standort der LVG konnte aus eigenen Ressourcen der LVG bewerkstelligt werden. Die Zusammenarbeit mit dem Start-Up „Thorkas“ ermöglichte die Implementierung der Software zur Steuerung der sensorgesteuerten Bewässerung.

Als Kulturpflanzen wurden am 17. und 18. April 2024 jeweils 120 *Prunus laurocerasus* 'Rotundifolia' und wurzelnackte *Ribes sanguineum* 'King Edward VII' in 5,0 Liter Container sowie 120 *Ligustrum ovalifolium* in 3,0 Liter Container getopft. Für das Versuchsglied 1 wurde als Kontrolle die praxisübliche Kulturweise mit einem Torfsubstrat gewählt. Das Substrat des Versuchsgliedes 2 bestand aus 100 % der Holzfaser topora aqua und das Substrat des Versuchsgliedes 3 aus 90 % der Holzfaser topora aqua und einem (Grünschnitt-)Kompost. Die Versuchsglieder 1 und 2 erhielten eine mineralische Depotdüngung und das Versuchsglied 3 eine organische Stickstoffdüngung. Die Düngerformen und -mengen wurden so gewählt, dass die Kulturpflanzen für die Kulturzeit ausreichend mit Nährstoffen bevorratet werden konnte.

Tabelle 2.5: Versuchsplan: Substratzusammensetzung und Düngung für *Ribes*.

| Versuchsglied | Dünger und Aufwandmengen | | Substratzusammensetzung Vol.-% |
|---------------|--|---|-----------------------------------|
| | Produkte (N - P ₂ O ₅ - K ₂ O) | g/l | |
| 1. | Osmocote Pro 8-9M (18-9-10) | 4,0 g/l | 100 % Torf |
| 2. | DCM ECOR 5 (8-5-6) ECO Fos (4-23-0) Hornspäne grob (14-0-0) Eisensulfat ca. 19,5 % Fe Bittersalz 16 % Mg | 6,0 g/l 0,5 g/l 6,0 g/l 1,0 g/l 2,0 g/l | 100 % Holzfaser |
| 3. | Hornspäne grob (14-0-0) Eisensulfat ca. 19,5 % Fe Bittersalz 16 % Mg | 8,0 g/l 1,0 g/l 2,0 g/l | 90 % Holzfaser 10 % Kompost |

Tabelle 2.6: Versuchsplan: Substratzusammensetzung und Düngung für *Prunus* und *Ligustrum*.

| Versuchsglied | Dünger und Aufwandmengen | | Substratzusammensetzung Vol.-% |
|---------------|---|-------------------------------|-----------------------------------|
| | Produkte (N - P ₂ O ₅ - K ₂ O) | g/l | |
| 1. | Osmocote Pro 8-9M (18-9-10) | 4,0 g/l | 100 % Torf |
| 2. | DCM ECOR 5 (8-5-6) ECO Fos (4-23-0) Hornspäne grob (14-0-0) | 6,0 g/l 0,5 g/l 6,0 g/l | 100 % Holzfaser |
| 3. | Hornspäne grob (14-0-0) | 10,0 g/l | 90 % Holzfaser 10 % Kompost |

Jedes Versuchsfeld wurde mit je 10 Pflanzen der drei Gattungen bestückt. Die Wahl der unterschiedliche Topfgrößen von 3,0 und 5,0 Liter ermöglichte auch unterschiedliche Pflanzengattungen bei gleicher Bewässerung unter einer Bewässerungseinheit zu kultivieren, wie es in der Praxis auch üblich ist.

Mithilfe von zwei J4S/Draino Sensoren je Versuchsfeld wurde der Wassergehalt als Referenz in den Töpfen der *Ligustrum* gemessen. Die Bewässerung erfolge nach

Bedarf auf Grundlage der Sensormesswerte über die Düsenrohre. Die Versuchsfelder lagen in einem großen Abstand zueinander um Abdrift des Wassers auf andere Versuchsfelder zu reduzieren.

Das Wachstum, die Ausfärbung und Schäden wurden regelmäßig als Bestandsbonitur der jeweils 10 Pflanzen getrennt nach den Gattungen der *Prunus*, *Ribes* und *Liguster* bonitiert. Das Wachstum der *Prunus* war im Torfsubstrat des Versuchsglied 1 sehr gleichmäßig und gut. Die Pflanzen der Versuchsglieder 2 und 3 blieben dagegen kleiner, zeigten aber durchgehend eine gute Blattfärbung (Tabelle 2.7).

Tabelle 2.7: Ergebnisse der visuellen Bestandsbonituren von *Prunus*.

| Versuchsglied | 03.05. | 17.05. | 30.05. | 12.06. | 24.06. |
|---|-----------|--------|---------|--------|--------|
| VG 1. Torfsubstrat | 7/7/1 | 7/7/1 | 7/7/1 | 7/7/1 | 7/7/1 |
| VG 2. Holzfasersubstrat mineralisch gedüngt | 6-7/6-7/1 | 7/7/1 | 6-7/7/1 | 6/7/1 | 6/7/1 |
| VG 3. Holzfasersubstrat organisch gedüngt | 6-7/6/1 | 5/7/1 | 6/7/1 | 6/7/1 | 5/7/1 |

Bonitur auf Wachstum/Ausfärbung/Schäden. Boniturnoten 1 - 9, Note 1 = sehr schwach/hell/ohne Schäden, Note 9 = sehr stark/dunkel/stark geschädigt

Das Wachstum der *Ribes* in den Holzfasersubstraten der Versuchsglieder 2 und 3 war deutlich geringer als im Torfsubstrat des Versuchsgliedes 1. Zum ersten Boniturtermin Anfang Mai war der Wachstumsrückstand am deutlichsten und die *Ribes* zeigten auch leichte Aufhellungen der Blätter des Neuaustriebes. Der Austrieb der *Ribes* in den Holzfasersubstraten war auch zeitlich verzögert (Tabelle 2.8).

Tabelle 2.8: Ergebnisse der visuellen Bestandsbonituren von *Ribes*.

| Versuchsglied | 03.05. | 17.05. | 30.05. | 12.06. | 24.06. |
|---|---------|---------|---------|--------|--------|
| VG 1. Torfsubstrat | 7/7/1 | 7/7/1 | 7/7/1 | 7/7/1 | 7/7/1 |
| VG 2. Holzfasersubstrat mineralisch gedüngt | 4/6-7/1 | 5/7/1 | 5-6/7/1 | 6/7/1 | 5/7/1 |
| VG 3. Holzfasersubstrat organisch gedüngt | 5/6-7/1 | 5-6/7/1 | 6/7/1 | 6/7/1 | 4/7/1 |

Bonitur auf Wachstum/Ausfärbung/Schäden. Boniturnoten 1 - 9, Note 1 = sehr schwach/hell/ohne Schäden, Note 9 = sehr stark/dunkel/stark geschädigt

Das Wachstum der *Liguster* war in den Holzfasersubstraten nur etwas geringer gegenüber den *Liguster* des Versuchsgliedes 1 im Torfsubstrat. Anfang Mai wurden leichte Aufhellungen des Laubes festgestellt, die sich rasch im Kulturverlauf verwachsen (2.9).

Tabelle 2.9: Ergebnisse der visuellen Bestandsbonituren von *Liguster*.

| Versuchsglied | 03.05. | 17.05. | 30.05. | 12.06. | 24.06. |
|---|-------------|---------|--------|--------|---------|
| VG 1. Torfsubstrat | 7/7/1 | 7/7/1 | 7/7/1 | 7/7/1 | 7/7/1 |
| VG 2. Holzfasersubstrat mineralisch gedüngt | 6-7/6-7/1 | 6-7/7/1 | 6/7/1 | 6/7/1 | 6-7/7/1 |
| VG 3. Holzfasersubstrat organisch gedüngt | 6-7/6-7/1-3 | 6-7/7/1 | 6/7/1 | 6/7/1 | 6-7/7/1 |

Bonitur auf Wachstum/Ausfärbung/Schäden. Boniturnoten 1 - 9, Note 1 = sehr schwach/hell/ohne Schäden, Note 9 = sehr stark/dunkel/stark geschädigt

Die deutlichsten Wachstumsunterschiede wurden zwischen den Versuchsgliedern des Torfsubstrates und der Holzfasersubstrate in den Versuchsgliedern 2 und 3 festgestellt (Abbildung 2.40 bis 2.42).



Abbildung 2.40: Pflanzenbestand des Versuchsgliedes 1 am 27.06.2024.



Abbildung 2.41: Pflanzenbestand des Versuchsgliedes 2 am 27.06.2024.



Abbildung 2.42: Pflanzenbestand des Versuchsgliedes 3 am 27.06.2024.

Die bedarfsgerechte Bewässerung stark holfaserhaltiger Substrate stellt eine große Herausforderung dar, da häufigere Bewässerungsgänge mit geringerer Wassermenge nötig sind. Auch die Nährstoffversorgung muss auf die Wasserhaltefähigkeit hin angepasst und ggf. erhöht werden, um Drainverluste auszugleichen.

Die unterschiedlich gewählten Einschaltpunkte bei Unterschreitung des Wassergehalt von 25 % (Holzfaser) und 40 % (Torf) richteten sich nach der Saugspannung die pflanzenbaulich mindestens vorhanden sein sollte, um ein Welken der Pflanzen zu vermeiden. Laboruntersuchungen der Substratausgangsstoffe ermöglichten durch Umrechnung die Einstellung der prozentualen Wassergehalte. Bei zunehmendem Wachstum der Pflanzen reichte diese Untergrenze bei hohen Temperaturen Ende Juni jedoch nicht mehr aus und wurde auf 30 % für die Holzfasersubstrate angepasst. Die Bewässerungsdauer von 8 Minuten für die beiden Holzfasersubstrate und 10 Minuten für das Torfsubstrat erwies sich als ausreichend, führte aber möglicherweise zu einer latenten Nährstoffauswaschung bei den Holzfasersubstraten, auch aufgrund einer geringeren Nährstoff- und Wasserhaltefähigkeit der Holzfasern.

Die deutlichen Wachstumsunterschiede zwischen dem Torfsubstrat und den stark holfaserhaltigen Substraten resultieren möglicherweise aus einer Nährstoffimmobilisierung oder auch Drainverlusten und zeigten, dass eine Kultur in reinen Holzfasern oder Substraten, die überwiegend aus Holzfasern bestehen, nicht für die Praxis zu empfehlen ist. Der Einsatz geringer Anteile ist in der Praxis bereits etabliert, verursacht dadurch aber auch einen höheren Bedarf der Bewässerung. Die sensorgesteuerte Bewässerung hat gut funktioniert und hat sich unter den Versuchsbedingungen bewährt.

BBR + BRU + HEL

Der Versuchsaufbau in den Betrieben Bruns und Hellwig hat aus pflanzenbaulicher Sicht, wie erwartet, reibungslos funktioniert. Die Installation der Bewässerung und vor allem die Inbetriebnahme der Sensoren hat sich zum Teil als schwierig erwiesen, da der technische Abgleich mit den Übertragungsmodulen oftmals nicht ganz einfach ist.



Abbildung 2.43: Versuchsaufbau bei BRU: Mittlerweile ist die Bewässerung komplett installiert. Die Steuerung läuft zurzeit mittels Sensorsteuerung mit Zeitintervall. Eine Umstellung auf eine komplette Sensorsteuerung ist geplant.

Als Versuchspflanzen bei HEL wurden neben Thuja auch Acer palmatum ausgewählt. Die Pflanzen entwickelten sich gut. Ein Teil der Sensoren war zum Zeitpunkt der Aufnahme bereits eingebunden. Der Einbau weiterer Sensoren war für die nächsten Wochen geplant.

Nachfolgende finden sich einige Bilder der Versuchsaufbauten und verwendeten Steuerungsanlagen:



Abbildung 2.44: Testfeld bei HEL (2021)



Abbildung 2.45: Steuerungsanlage PlantCare



Abbildung 2.46: Verteilerstation für die 3 Parzellen



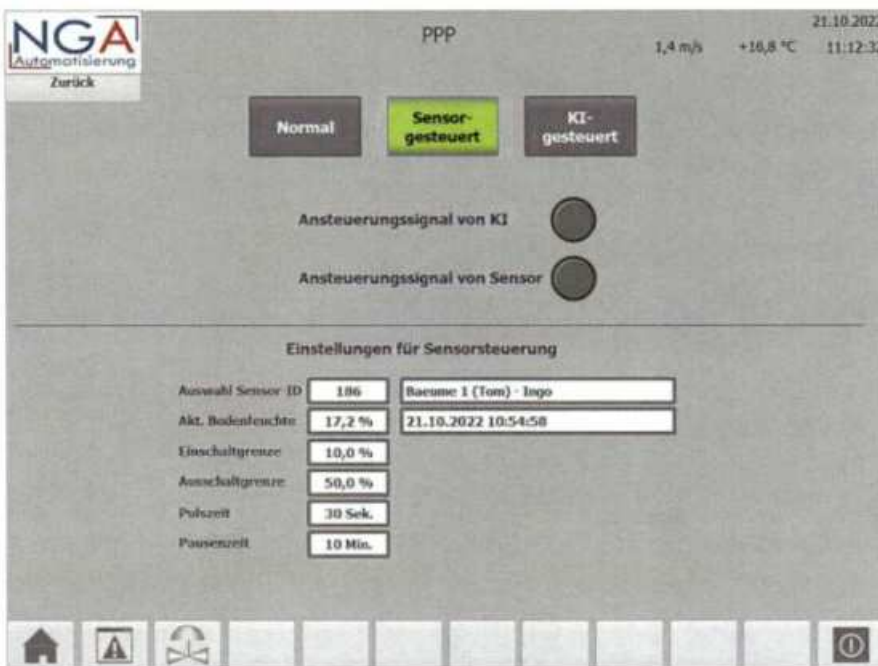
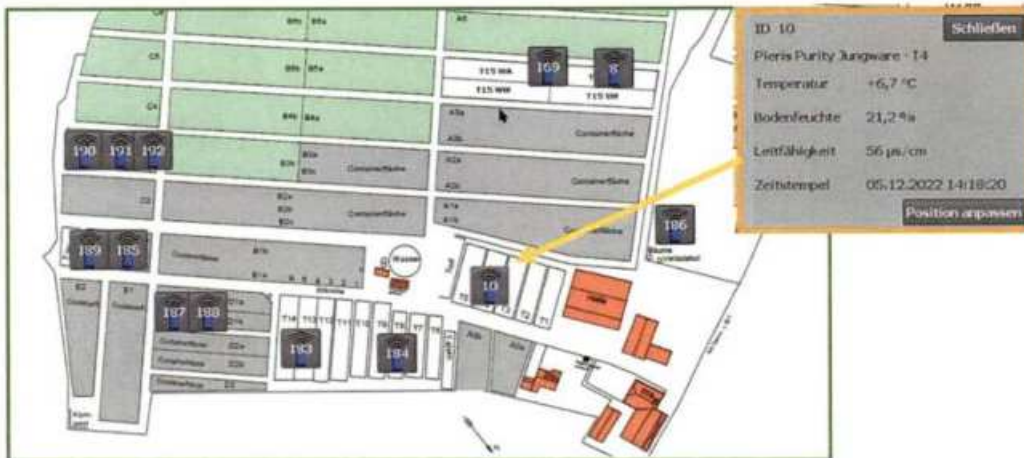
Abbildung 2.47: Gateway – zur Übertragung der Daten ins Internet



Abbildung 2.48: Versuchspflanzen Thuja occ. Smaragd , Acer palmatum Ellen und Rhododendron Robert Seeger : Bonitur im August 2021

Anschließend an die erste Messsaison stand die softwaretechnische Vorbereitung des betriebseigenen Bewässerungssystem im Vordergrund. Zum Ende des Jahres war die Bewässerungssoftware soweit weiterentwickelt, dass die ersten Sensordaten erfolgreich implementiert werden konnten. Eine Schnittstelle für ein KI-System war bereits vorbereitet (siehe nachstehendes Schaubild).

Versuchsfläche Containerbaumschule



Oben kann man die jeweilige Betriebsart auswählen.

Unten können Einstellungen für die Sensorsteuerung getätigt werden.

- Auswahl Sensor-ID: Hier die ID des Sensors eintragen, von dem die Bodenfeuchte gelesen werden soll. Im Feld daneben wird der Name hierzu angezeigt.
- Akt. Bodenfeuchte: Hier wird der entsprechende Wert inkl. Zeitstempel angezeigt. Wichtig: Wenn der Zeitstempel älter als eine Stunde ist, wird die Beregnung beendet. Dies dient als Schutz falls die Beregnung aktiv ist und der Sensor ausfällt.
- Einschaltgrenze: Hier die Grenze eingeben, bei der die Beregnung starten soll.
- Ausschaltgrenze: Hier die Grenze eingeben, bei der die Beregnung beendet wird.

Pulszeit/Pausenzeit: Während die Beregnung aktiv wird das Ventil getaktet im hier eingestellten Verhältnis.

Abbildung 2.49: Schaubild der bei HEL verwendeten Bewässerungsanlage mit den Möglichkeiten „sensor-gesteuert“ und „KI-gesteuert“ zu bewässern

C2I

Die nachstehende Abbildung zeigt die Oberfläche von C2I, in die die KI von OFFIS integriert werden sollte.

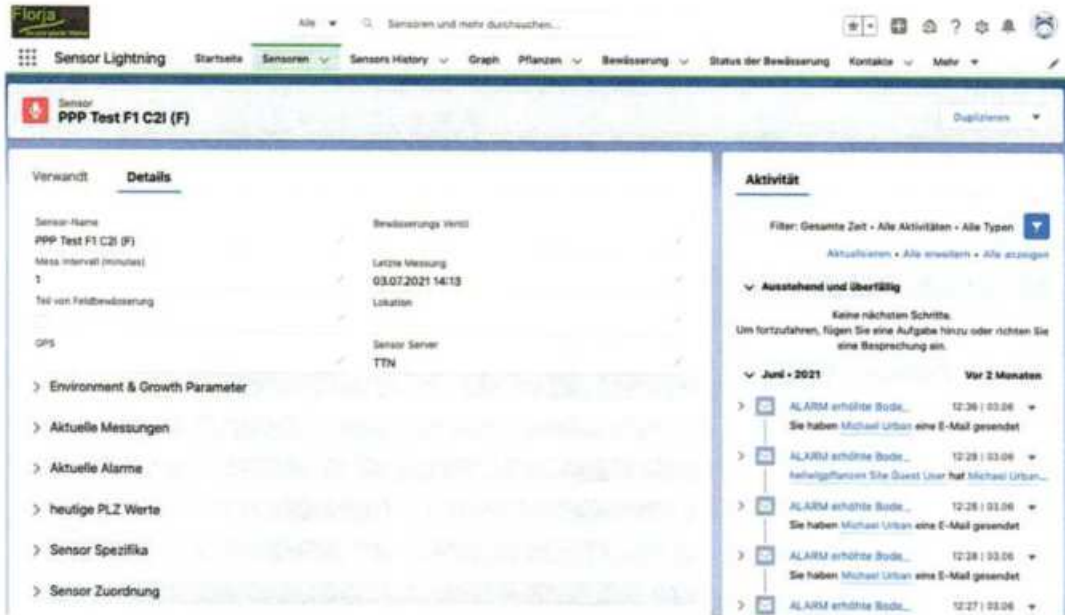


Abbildung 2.50: Oberfläche von C2I im Jahr 2021

Durch die Übersicht konnte auf die einzelnen Sensoren zugegriffen sowie deren letzte Aktivität überprüft werden.

| ID | Name | Device | Health | Last activity |
|----------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------|
| bruno-01 | Bruno Florja 1 | AA 10 AA 38 5E 79 23 9F | 00 00 00 00 00 00 00 | 23 min. ago |
| bruno-02 | Bruno Florja 2 | 83 64 2F 11 86 54 77 9A | 00 00 00 00 00 00 00 | 24 min. ago |
| bruno-03 | Bruno Florja 3 | 0D 63 62 44 FC CA F9 78 | 00 00 00 00 00 00 00 | 22 min. ago |
| bruno-07 | Bruno Plantcare 1 | 00 94 A3 06 00 07 FA 5A | 75 83 25 7C 00 00 44 97 | 18 days ago |
| bruno-08 | Bruno Plantcare 2 | 00 94 A3 06 00 F9 E4 36 | 75 83 25 7C 00 00 44 97 | 17 days ago |
| bruno-1 | Bruno JMS 1 | A0 00 41 00 C1 82 E4 95 | A0 00 00 00 00 00 01 00 | 9 min. ago |
| bruno-2 | Bruno JMS 2 | A0 00 41 01 81 82 E4 36 | A0 00 00 00 00 00 01 00 | 6 min. ago |
| bruno-4 | Bruno JMS 4 | A0 00 41 00 F1 82 E4 25 | A0 00 00 00 00 00 01 00 | 1 min. ago |
| bruno-5 | Bruno JMS 5 | A0 00 41 0A 21 82 E4 48 | A0 00 00 00 00 00 01 00 | 1 hr. ago |
| sen-2020 | UG Dragline Sensor 3 (JMS) | A0 00 41 21 A3 82 A4 54 | A0 00 00 00 00 00 01 01 | 1 min. ago |
| sen-2022 | UG Traktor Sensor 2 | A0 00 42 07 81 82 A2 4D | 7C 01 24 50 01 19 80 88 | 6 days ago |
| sen-2305 | UG Florja Sensor 1 | A0 0A 00 00 90 29 C2 C1 | 00 00 00 00 00 00 00 00 | 24 min. ago |
| sen-2106 | UG Dragline Sensor 1 | A0 00 41 09 71 82 E4 00 | A0 00 00 00 00 00 01 01 | 7 min. ago |
| sen-2107 | UG Dragline Sensor 1 | A0 00 41 F5 81 82 E4 F1 | A0 00 00 00 00 00 01 01 | 6 min. ago |
| sen-2144 | UG Florja Sensor 1 | 54 9E 04 74 A1 54 C2 6A | 00 00 00 00 00 00 00 00 | 30 min. ago |

Abbildung 2.51: Übersicht über die auf der Plattform eingebundenen Sensoren

Im folgenden Jahr wurde die Oberfläche unter Berücksichtigung der Wünsche der Projektpartner um Funktionen erweitert.



Abbildung : Diese Abbildung zeigt die Oberfläche (Dashboard), die sehr schön den Ist-Zustand aller Sensoren des Projektes im Jahr 2022 aufzeigt.

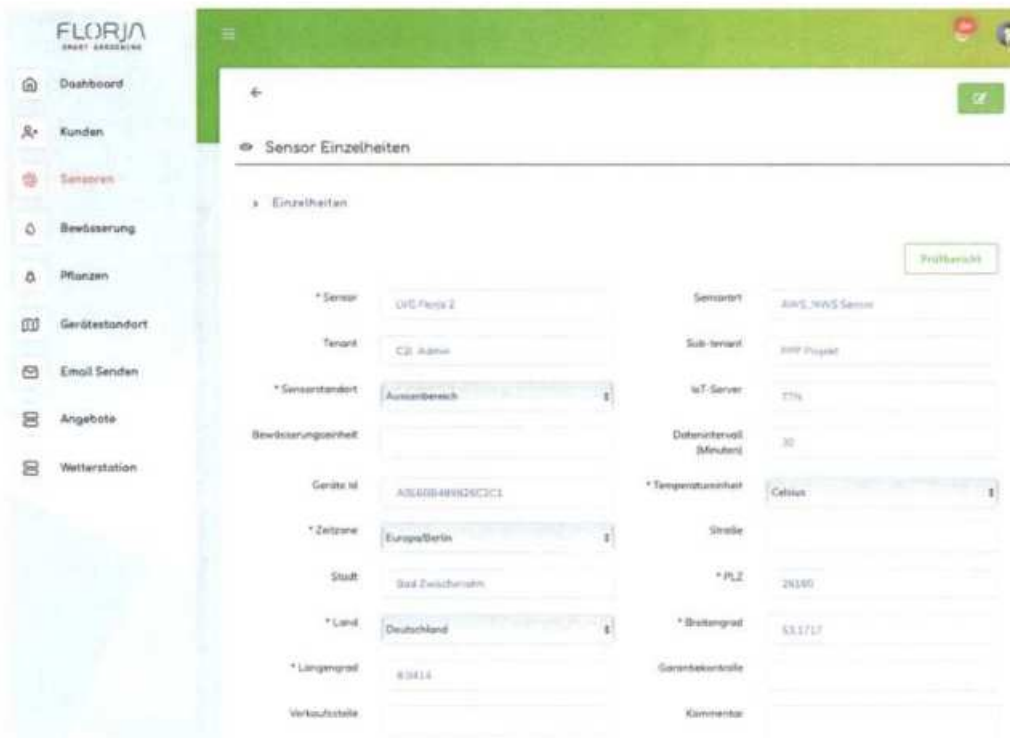


Abbildung 2.53: Diese Abbildung zeigt die Sensor spezifische Detail Seite. Hier kann der Nutzer seinen Sensor verwalten und einstellen. Hier wurden auch die KI Felder „Zeit bis MIN„ und „Wassermenge“ integriert.

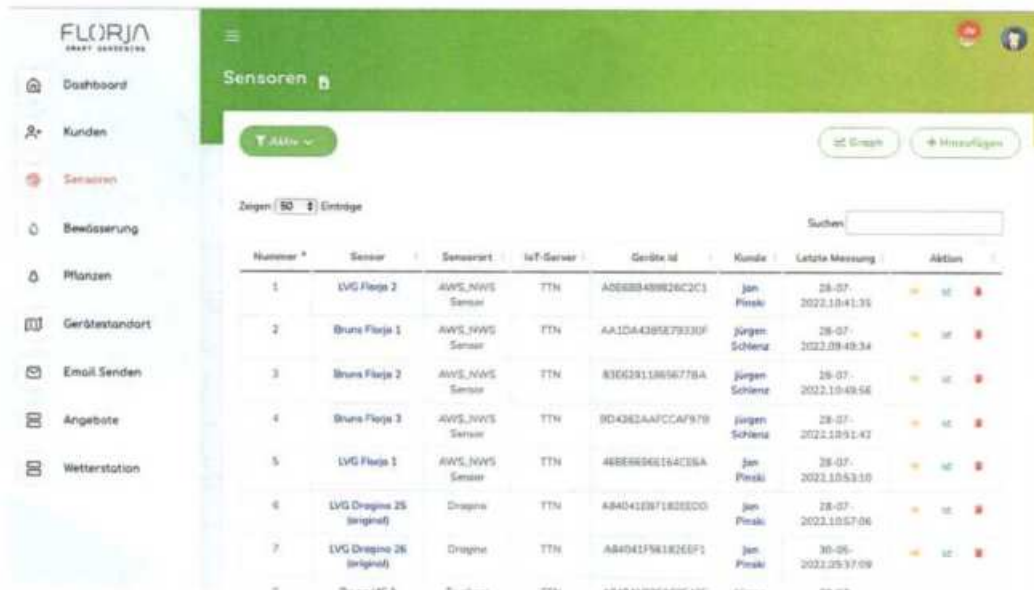


Abbildung 2.54: Diese Abbildung zeigt alle Sensoren auf Detail Level. Von hier kann der Nutzer sowohl die Daten einzelner Sensoren abrufen, als auch Einstellungen initiieren und Grafen abrufen.

Anschließend wurden verschiedene Übertragungstechnologien und neue Sensoren API's auf der Plattform integriert, die speziell für dieses Projekt benötigt wurden (z.B. Aranet und Truebner). Außerdem hatten die Anforderungen an qualitative Messwerte ergeben, dass die Bildschirme erweitert werden mussten. Dementsprechend wurde die Plattform um Felder für Wachstumsparameter erweitert, die der Nutzer zur Dokumentation dieser qualitativen Messwerte nutzen kann.

| Nummer * | Sensorart | Sensor Kategorie | Hersteller |
|----------|----------------|--------------------|-----------------------|
| 1 | AWS_NWS Sensor | Soil Sensor | Tinavi |
| 2 | Florja_Sensor | Soil Sensor | MiraMico Generation 1 |
| 3 | Florja_New | Soil Sensor | MiraMico Generation 2 |
| 4 | Truebner | Soil Sensor | Dragino SMT10 |
| 5 | Dragino | Soil Sensor | Dragino |
| 6 | Water Meter | Water Meter Sensor | Cisco |
| 7 | Aranet | Soil Sensor | unbekannt |
| 8 | Florja G1 | Soil Sensor | MiraMico Generation 3 |

Abbildung 2.55: Übersicht über die neu eingebundenen Sensoren

Umwelt- und Wachstumsparameter

Geschichte

| | | | |
|---------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| Feuchtigkeits-Tensiometer (EP7) | <input type="text"/> | Dünger N (EP10) | <input type="text"/> |
| Leitfähigkeit KCl (EP8) | <input type="text"/> | Dünger P205 (EP11) | <input type="text"/> |
| Leitfähigkeits-PET (EP9) | <input type="text"/> | Dünger K20 (EP12) | <input type="text"/> |
| Substrat pH (EP13) | <input type="text"/> | Pflanzenhöhe (GP1) | <input type="text"/> |
| Substratsalz (EP14) | <input type="text"/> | Pflanzenbreite (GP2) | <input type="text"/> |
| Substrat N löslich (EP15) | <input type="text"/> | Pflanzengewicht (GP3) | <input type="text"/> |
| Substrate | <input type="text"/> | Knospen Länge (GP4) | <input type="text"/> |
| Substrat P205 (EP17) | <input type="text"/> | Frischgewicht (GP5) | <input type="text"/> |
| Stammdurchmesser (GP6) | <input type="text"/> | | |

Abbildung 2.56: Eingabefelder für Wachstumsparameter

2.4.4 Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP-Themen

Das Projekt verfolgt grundsätzlich die nachstehenden Ziele entsprechend den förderpolitischen Themen.

Im Spezialisierungsfeld Land- und Ernährungswirtschaft möchte das Projekt intelligentes und nachhaltiges Pflanzenwachstum verbessern und intelligente Spezialisierung im Bereich Baumschulen ermöglichen, indem Methoden zur Steigerung der Produktionsqualität bei gleichzeitiger Senkung von Personalkosten und Ressourceneinsatz entwickelt werden.

Damit trägt das Projekt zum Leitbild 3 (Ländliche Innovationssysteme) bei, indem es die Wertschöpfung und somit die Wirtschaftskraft ländlicher Räume erhöht. Es trägt ebenfalls zum SDG2 einer nachhaltigen Landwirtschaft bei.

- Weiterentwicklung von wettbewerbsfähigen Dauerkulturbewirtschaftungssystemen für ein Ressourcen schonendes und effizientes Wasser-, Nährstoff- und Pflanzenschutzmanagement im konventionellen Landbau.
- Effizientere und transparenten Verfolgung und Dokumentation (über Sensorik und Digitalisierungslösungen) der Nährstoffströme als Datengrundlage für ein verbessertes Management.

Die erforschte PPP-Methode bietet das Potenzial, in Baumschulbetrieben erhebliche Wassereinsparungen zu erzielen, ohne dabei die Produktivität zu beeinträchtigen. Durch den Einsatz fortschrittlicher Technologien, wie Wettervorhersagen und Modelle zur Prognose der Substratfeuchte, kann die Bewässerung der Pflanzen wesentlich effizienter gestaltet werden und schnell und flexibel auf veränderte Umweltbedingungen reagiert werden.

Diese präzise und bedarfsgerechte Bewässerung ermöglicht es, den Wasserverbrauch erheblich zu reduzieren, was nicht nur ökologisch vorteilhaft ist, sondern auch die Betriebskosten senken kann. Darüber hinaus sorgt die KI-gesteuerte Bewässerung dafür, dass die Pflanzen über einen längeren Zeitraum im optimalen Feuchtigkeitsbereich gehalten werden, was ihr Wachstum und ihre Gesundheit fördert.

Ein weiterer Vorteil dieser Methode liegt in der Optimierung der Betriebsabläufe in Baumschulbetrieben. Durch die präzise Steuerung der Bewässerung können Arbeitsprozesse effizienter gestaltet werden, was zu einer höheren Produktivität führt.

Insgesamt bietet die PPP-Methode somit eine innovative Lösung, um Wasserressourcen zu schonen und gleichzeitig die Effizienz und Produktivität in Baumschulbetrieben zu steigern. Dies stellt einen bedeutenden Fortschritt dar, der sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile mit sich bringt.

2.4.5 Nebenergebnisse

Durch die umfangreiche Testung verschiedener Messsysteme durch die LVG konnten wertvolle Erkenntnisse über die Genauigkeit der Feuchtigkeits- und Salzgehaltmessung verschiedener Sensoren gewonnen werden. Eine Versuchsreihe mit unterschiedlich stark gedüngten Thuja-Pflanzen in der LVG ermöglichte es, die Auswirkungen des Salzgehaltes auf das Pflanzenwachstum zu analysieren. Die gewonnenen Erfahrungen wurden auf Tagungen durch die LVG und den BBR einem breiten Kreis von Baumschulbetrieben vorgestellt. Dadurch sind diese Betriebe nun in der Lage, die Messdaten der bereits weit verbreiteten Sensorik besser zu interpretieren und fundierte Entscheidungen darauf basierend zu treffen.

2.4.6 Arbeiten, die zu keiner Lösung/zu keinem Ergebnis geführt haben

Im Projekt gab es keine Arbeiten, die zu keinem Ergebnis geführt haben.

2.4.7 Mögliche weitere Verwendung von Investitionsgütern

Alle Investitionen wurden wie geplant eingesetzt. Der Großteil der getätigten Investitionen verbleiben in den Baumschulen. Die Investitionen von OFFIS, dem BBR, der Baumschule Hellwig und der LVG werden im Projekt FloraGPT weiter verwendet werden. Die LVG ist kein direkter Partner des Projektes aber interessiert und beteiligt sich nach Möglichkeit ebenfalls am Projekt.

2.5 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis: Sind verwertbare/nutzbare Empfehlungen, Produkte, Verfahren oder Technologien entstanden?

Das Projekt PPP war aus Sicht des BBR ein voller Erfolg. Sensorik-Technologien etablieren sich zunehmend in Baumschulen und spielen eine wichtige Rolle bei der Überwachung des Betriebs. Bevor diese Technologien eingesetzt wurden, konnten Entscheidungen in der Produktion nur auf Basis des Wissens und der Erfahrung der Baumschulgärtner getroffen werden. Durch den Einsatz von Sensoren können nun jedoch präzise Daten zur Umwelt- und Bodenbeschaffenheit erhoben werden, die eine höhere Produktionssicherheit gewährleisten. Die gewonnenen Erfahrungen zu den verschiedenen Sensortypen werden weiterhin auf Tagungen mit Baumschulen geteilt, um den Wissenstransfer zu fördern und den Einsatz dieser Technologien in der Branche weiter voranzutreiben.

2.6 (Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse

Die Ergebnisse des Projektes werden im EIP-Agri Nachfolgeprojekt „FloraGPT“ genutzt, um die bislang erforschte KI durch eine natürliche Schnittstelle für die Baumschulen anwenderfreundlicher zu gestalten. Zudem soll auch die in diesem Projekt bereits begonnene Verwendung von Torfersatz-Produkten weiter erforscht werden.

2.7 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit: Gibt es weitergehende (wissenschaftliche) Fragestellungen aus den Projektergebnissen, die zukünftig zu bearbeiten sind?

Obwohl Sensortechnologie in Baumschulbetrieben bereits weit verbreitet ist, wird sie heutzutage größtenteils nur zur Überwachung und selten zur Automatisierung der Bewässerung genutzt. Eine zentrale Fragestellung, die es zu bearbeiten gilt, ist, wie das Vertrauen in diese Technologie so weit gestärkt werden kann, dass Baumschulbetriebe sich auf die Messwerte verlassen können und lernen, diese zu interpretieren. Ein weiteres wichtiges Thema ist, wie das Wissen und die jahrelange Erfahrung der Baumschulgärtner mit der KI kombiniert werden kann.

Idealerweise sollten die Baumschulgärtner die KI nicht als bevormundend empfinden, sondern sie als unterstützenden Assistenten betrachten, der ihnen eine fundierte Datenbasis zur Verfügung stellt. Die Integration der KI sollte darauf abzielen, die Gärtner in ihrer Arbeit zu unterstützen und ihre Expertise durch präzise Daten und Vorhersagen zu ergänzen. Dies könnte zu einer effizienteren Bewässerung und besseren Pflege der Pflanzen führen, ohne das Gefühl der Kontrolle und Eigenständigkeit der Gärtner zu beeinträchtigen.

2.8 Kommunikations- und Disseminationskonzept: Darstellung in welcher Weise die Ergebnisse kommuniziert oder verbreitet wurden, ggf. mit Verweis auf Veröffentlichungen und Angabe der Quellen. Grundsätzliche Schlussfolgerungen (ggf. Fazit zur Eignung von EIP-Förderung zur Generierung von Innovation und Schließung von Lücken zwischen Praxis und Wissenschaft) und eventuelle Vorschläge zur Weiterentwicklung der EIP AGRI.

OFF: Bei der A2IA'23 (Artificial Intelligence & Industrial Applications) wurde das Paper „Learning to Irrigate - A Model of the Plant Water Balance“ einem internationalen Publikum vorgestellt. Dabei fand ein reger Austausch mit verschiedenen Projekten im Agrarbereich aus aller Welt statt, was die Wichtigkeit der Thematik des Wassersparens nochmal verdeutlicht hat.

Quelle: Maszuhn, M., Aschwege, F.Mv., Boll-Westermann, S., Pinski, J. (2023). Learning to Irrigate - A Model of the Plant Water Balance. In: Masrou, T., Ramchoun, H., Hajji, T., Hosni, M. (eds) Artificial Intelligence and Industrial Applications. A2IA 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 772. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-43520-1_1

Des Weiteren fand 2022 ein Austausch im Rahmen eines Projekttreffens mit dem EIP-Agri Projekt „NuTree“ statt, in dessen Rahmen Ansätze zur Ausbringung der Sensorik und Eignung verschiedener Sensoren diskutiert wurden. 2024 wurde das Projekt mit Fokus auf dem Nutzen der KI zur automatisierten Bewässerung auf der Jahresversammlung des BBR vorgestellt.

Der Source-Code sowie die erhobenen Messdaten wurden gemäß der Vereinbarung mit Ende der Projektlaufzeit auf der Projektwebsite öffentlich bereitgestellt unter: <https://predictive-plant-production.de/projektergebnisse/> Aufgrund der vermehrten Aktivität auf der Website durch Bots sind die hinterlegten Dateien passwortgeschützt, das Passwort wird jedoch jederzeit auf Anfrage herausgegeben.

Das Passwort zum Zugriff auf die Ordner lautet: **fjXtxGNBtB87JWuv**

LVG: Die Arbeit im Rahmen des Projektes sowie bereits gewonnene Erkenntnisse wurden auf Veranstaltungen wie z.B. der Jahresversammlung des BBR vielen Praxisbetrieben vorgestellt. Das gleiche geschah in der LVG vor Ort bei Zusammenkünften wie dem „Versuchsbeirat Baumschule“ mit Besuchern aus Wissenschaft, Industrie und Praxis.

Neben dem Wissenstransfer mit der Öffentlichkeit fand ein weiterführender, enger und fachlicher Austausch mit den EIP Projekten „NSGSS“ und „NuTree“ sowie dem Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen statt. Darüber hinaus wurde für Tests in der Gastbaumschule eine Zusammenarbeit mit dem Startup Unternehmen „Thorkas“ erreicht.

BBR + BRU + HEL: Der BBR hat in mehreren Vorträgen das Projekt und die Ergebnisse vorgestellt. Zu nennen sind zwei Sachkundes Schulungen in November und Dezember 2022 im Ammerland an denen auch BRU und HEL teilgenommen haben, sowie ein Vortrag auf dem Gartenbautag am 07.12.22 in Güstrow. BRU und LVG waren im November 2022 zum weiteren Austausch auf einer bundesweiten Fachtagung zum Thema Sensorik in der UNI Geisenheim um ihre Erfahrung dort mit einzubringen und neue Erkenntnisse zu gewinnen.

Des Weiteren wurde das Projekt auch auf der jährlichen Jahresversammlung des BBR mehrfach vorgestellt, sowie bei Sachkundes Schulungen in Wiesmoor und einem Vortrag bei den Meisterschülern in Bad Zwischenahn-Rostrup. Zusätzlich hat der BBR Informationen über das Projekt im Rahmen der allgemeinen Beratertätigkeiten verbreitet.