



## Abschlussbericht

EIP-Projekt

**NuTree – Sensor- und KI gestützte Wertschöpfungskette Baum**

**30.04.2025**

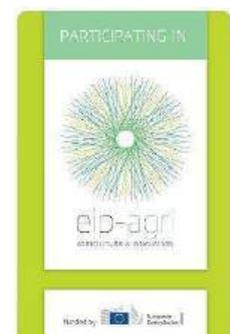
*Projektlaufzeit: 13.03.2022 - 30.04.2025*

### Operationelle Gruppe:

- Seedhouse Accelerator GmbH, Osnabrück (Koordinator)
- Bonk Pflanzen Handels GmbH, Bad Zwischenahn
- Landeshauptstadt Hannover Bereich Umwelt- und Stadtgrün
- AGVOLUTION GmbH, Göttingen
- MM-IT4you – IT-Beratung, Bad Zwischenahn



**EUROPÄISCHE UNION**  
Europäischer Landwirtschafts-  
fonds für die Entwicklung des  
ländlichen Raums



## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Kurzdarstellung</b> .....	<b>5</b>
1.1 Ausgangssituation und Bedarf.....	5
1.2 Projektziel und konkrete Aufgabenstellung (Titel des Projekts max. 150 Zeichen) .....	6
1.3 Mitglieder der OG „NuTree“ .....	6
1.3.1 Koordinator: Seedhouse Accelerator GmbH .....	6
1.3.2 OG Mitglied 1: Bonk Pflanzen Handels GmbH.....	7
1.3.3 OG Mitglied 2: Landeshauptstadt Hannover, Fachbereich Umwelt und Stadtgrün .....	8
1.3.4 OG Mitglied 3: AGVOLUTION GmbH .....	9
1.3.5 OG Mitglied 4: mm-it4you – IT-Beratung.....	10
1.4 Projektgebiet .....	11
1.5 Projektlaufzeit und Dauer .....	11
1.6 Budget (Gesamtvolumen und Fördervolumen).....	11
1.7 Ablauf des Verfahrens .....	12
1.8 Zusammenfassung der (erwarteten) Ergebnisse.....	14
<b>2 Eingehende Darstellung und Ergebnisse</b> .....	<b>16</b>
2.1 Verwendung der Zuwendung .....	16
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.....	16
2.1.1.1 Seedhouse Accelerator GmbH.....	16
2.1.1.2 Bonk Pflanzen Handels GmbH und mm-it4you IT-Beratung .....	18
2.1.1.3 Landeshauptstadt Hannover Bereich Umwelt und Stadtgrün.....	20
2.1.1.4 AGVOLUTION GmbH .....	21
2.1.2 Darstellung der wichtigsten finanziellen Posten .....	24

2.2 Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn .....	27
2.2.1 Ausgangssituation.....	27
2.2.1.1 Bonk Pflanzen Handels GmbH und mm-it4you-IT-Beratung .....	27
2.2.1.2 Landeshauptstadt Hannover .....	28
2.2.1.3 AGVOLUTION GmbH .....	29
2.2.2 Projektaufgabenstellung.....	30
2.3 Ergebnisse der OG in Bezug auf.....	31
2.3.1 Wie wurde die Zusammenarbeit im Einzelnen gestaltet? (ggf. Beispiele wie die Zusammenarbeit sowohl organisatorisch als auch praktisch erfolgt ist)? .....	31
2.3.2 Was war der besondere Mehrwert bei der Durchführung des Projektes als OG?.....	33
2.3.2.1 Seedhouse Accelerator GmbH.....	33
2.3.2.2 Bonk Pflanzen Handels GmbH und mm-it4you-IT-Beratung .....	34
2.3.2.3 Landeshauptstadt Hannover Bereich Umwelt und Stadtgrün.....	35
2.3.2.4 AGVOLUTION GmbH .....	35
2.3.3 Ist eine weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des geförderten Projekts vorgesehen? .....	36
2.4 Ergebnisse des Innovationsprojektes.....	37
2.4.1 Zielerreichung .....	37
2.4.2 Abweichung zwischen Planung und Ergebnis.....	38
2.4.3 Projektverlauf (evtl. Fotos) .....	40
2.4.3.1 Bonk Pflanzen Handels GmbH und mm-it4you-IT-Beratung .....	40
2.4.3.2 Landeshauptstadt Hannover Bereich Umwelt und Stadtgrün.....	57
2.4.3.3 AGVOLUTION GmbH .....	73
2.4.4 Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP-Themen .....	89
2.4.5 Nebenergebnisse .....	89
2.4.6 Arbeiten, die zu keiner Lösung/zu keinem Ergebnis geführt haben .....	91

2.4.7 mögliche weitere Verwendung von Investitionsgütern .....	91
2.5 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis (Sind verwertbare/nutzbare Empfehlungen, Produkte, Verfahren oder Technologien entstanden?).....	91
2.6 (Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse .....	92
2.7 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit (Gibt es weitergehende (wissenschaftliche) Fragestellungen aus den Projektergebnissen, die zukünftig zu bearbeiten sind?) .....	92
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.).....	93
<b>3 Anhang .....</b>	<b>98</b>

# 1 Kurzdarstellung

## 1.1 Ausgangssituation und Bedarf

Der Klimawandel hat weltweit enormen Einfluss auf unsere Pflanzenproduktionssysteme. Langanhaltende Trockenperioden führen bereits zu einer Verknappung des Bodenwasservorrats und setzen damit Bäume, vor allem auch in Städten, unter Stress. Aus diesem Grund müssen bereits gesunde Bäume mit ausgeprägtem Wurzelwerk intensiv bewässert werden. Gleichzeitig will die Bundespolitik die Verpflichtungen aus dem Pariser Klimavertrag von 2015 einhalten: Die Ressourcen- und CO<sub>2</sub>-Effizienz der Industrie soll beispielsweise durch die Minimierung des Einsatzes von Dünger, Pestiziden und Wasser verbessert werden.

Vor großen Herausforderungen stehen damit vor allem Baumschulen, Gärtnereien und private sowie öffentliche Grünanlagenbetreiber. Die Verfügbarkeit von Wasser wird knapper, dazu kommt, dass die Kosten für die Bewässerung (Arbeitszeit, Arbeitskraft, Ressource Wasser) enorm ansteigen. Die Landeshauptstadt Hannover meldete bereits eine Erhöhung der Bewässerungskosten seit 2018 von 50.000 € auf über 220.000 €. Aber vor allem in Städten haben Bäume eine wichtige Funktion. CO<sub>2</sub> Absorption, Beschattung und Transpiration vermindern Erhitzung und Luftverschmutzung in urbanen Räumen. Doch nur gesunde Bäume können diese Effekte bringen. Der Lebenszyklus eines Baumes hat enormen Einfluss auf dessen spätere „Leistungsfähigkeit“: Bereits während der Produktion von Bäumen in der Baumschule, muss der Gesundheitszustand der Pflanzen permanent überwacht und dokumentiert werden, Trockenstress kann zu langfristigen Schäden führen und vermindert die Anwachsfolge.

Es wird deutlich, dass die Betrachtung des Nährstoff- und Wasserhaushalts von Bäumen, während ihres gesamten Lebenszyklus, von der Aufzucht bis zum Versatz, über den Transport bis hin zum endgültigen Pflanzstandort, von großer Bedeutung ist.

Hier setzte das Projekt „NuTree – Sensor- und KI gestützte Wertschöpfungskette Baum“ (im folgenden NuTree) an. Der Bedarf an neuen Methoden, mit denen

- Baumbestände in Bezug auf die Wasserversorgung überwacht werden können,
- ein ressourcenschonender Umgang mit dem Faktor Wasser erreicht -,
- und die optimale Versorgung der Pflanzen sichergestellt werden kann, ist groß.

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

Sensor- und plattformgestützte Optimierung der Ressourcen-Effizienz unterschiedlicher Baumkulturen entlang der Wertschöpfungskette von Bäumen.

## **1.3 Mitglieder der OG „NuTree“**

Die Operationelle Gruppe von NuTree besteht aus fünf Mitgliedern, deren Rollen und Aufgaben im Projekt im Folgenden kurz vorgestellt werden.

### **1.3.1 Koordinator: Seedhouse Accelerator GmbH**

Die Seedhouse Accelerator GmbH ist eine Startup-unterstützende Einrichtung mit Sitz in Osnabrück. Dabei liegt der Fokus auf Startups in den Bereichen Agrar-, Food- und Digital. Das Unternehmen wird von insgesamt 35 Gesellschaftern aus den genannten Fokusbranchen getragen. Die Startups werden mit Ihren innovativen Agri-Food-Tech Lösungen im Accelerator- Förderprogramm mit einem passenden Raum, individueller Beratung, organisatorischer Unterstützung und etwas Startkapital unterstützt und bis hin zur Marktreife begleitet. Bewerbungen für einen Platz im Seedhouse kommen aus dem gesamten Bundesgebiet. Das Seedhouse arbeitet mit Partnern aus Hochschulen, der Wirtschaft, öffentlichen Organisationen, Vereinen und der Politik zusammen und agiert damit als Schnittstelle und Innovationsplattform zwischen den relevanten Stakeholdern und Startups. Dazu gehört die Anbahnung von Beteiligungen, Forschungs- und Wirtschaftskooperationen, Mentoren-Beziehungen sowie der generelle Wissenstransfer und die wirtschaftliche Verwertung von Innovationen. Als Projektkoordinator für das Projekt NuTree ist das Seedhouse nun Teil eines „eigenen“ Innovationsprojektes (angestellt als Projektkoordinatorin NuTree ist Greta Fenske). Mithilfe des vorhandenen Netzwerkes in den oben genannten Bereichen konnte das Seedhouse einen erheblichen Beitrag zur Projektumsetzung, sowie der Verwertung und Veröffentlichung von Ergebnissen beitragen. Hauptaufgaben sind/waren:

- Projektmanagement / Innovationsplattform
- Koordination und Terminierung (Kontrollfunktion)
- Fortlaufende Prüfung der Einhaltung wissenschaftlicher Standards
- Öffentlichkeitsarbeit durch digitale Präsenz, Präsentationen und Vorträge
- Verwertungsstrategie und Stakeholder-Netzwerkaufbau
- Kontaktaufnahme und Einbindung von Organisationen und Verbänden

### **1.3.2 OG Mitglied 1: Bonk Pflanzen Handels GmbH**

Die Baumschule „Bonk – Ihr grüner Diamant im Ammerland“ bewirtschaftet über 85 Hektar Baumschulfläche mit ca. 30 Mitarbeitern in zweiter Generation in Bad Zwischenahn. Der Fokus der Baumschule liegt auf einer breiten Sortenpalette charaktvoller Solitärgehölze bis zu 15 Metern Höhe bzw. 130 cm Stammumfang. Diese werden bis zu 30 Jahre aufgezogen und kultiviert, bevor sie europaweit vertrieben werden. Die Baumschule möchte mit einer nachhaltigen und modernen Betriebsführung eine hohe Qualität der Pflanzen erzielen. Mit dem Blick auf die Übergabe an die dritte Generation haben die Ziele des Projektes NuTree – die Erarbeitung eines zentralen, sensorgetriebenen Informationssystems sowie die Erweiterung von Serviceleistungen durch die NuTree-Plattform, einen hohen Stellenwert.

Die Baumschule Bonk Pflanzen Handels GmbH, vertreten durch Geschäftsführer Stephan Bonk, hatte im Projekt die Rolle des Anwenders der entwickelten Technologie entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Bäume (von der Aufzucht, den Versatz, während des Transports bis hin zum endgültigen Pflanzstandort). Das umfasste folgende Aufgaben:

- Bereitstellung der Test - Freigelände, Planung und Einbau der Sensor-Infrastruktur
- Begleitung der technischen Entwicklung durch ständige Kontrollen und Unterstützung bei der Fehlerbehebung vor Ort
- Konsistenzüberprüfung der Messergebnisse durch Referenzmessungen
- Instrumentierung der Transporte von Bäumen
- Überprüfung der Baumzustände während der gesamten Wertschöpfungskette
- Erstellung einer „Best-Practices“ Dokumentation
- Bewertung und Beurteilung der Ergebnisse aus Sicht des Anwenders
- Erfassung und Auswertung wirtschaftlicher Kennzahlen

### **1.3.3 OG Mitglied 2: Landeshauptstadt Hannover, Fachbereich Umwelt und Stadtgrün**

Die Landeshauptstadt Hannover ist bekannt als die „Stadt der Gärten“. Sie weist einen Grünanteil von 50 % im Stadtgebiet auf, dieser wird von ca. 750 Mitarbeitern geplant, gebaut und gepflegt, dabei wird großer Wert auf die Belange des Umweltschutzes gelegt. Die Grünanlagen umfassen öffentliche Grünflächen, Spielplätze, Wälder, 175.000 Park- und 45.000 Straßenbäume.

In der stadt eigenen Baumschule werden sowohl zugekaufte Jungbäume mit einem Stammumfang (StU) von 10-12 cm als auch Bäume aus gebietseigenem Saatgut bis zu Verkaufsqualitäten von StU 20-25 cm verschult. Rund 1.000 Bäume aus der städtischen Baumschule werden jährlich mit stark steigender Tendenz durch eigenes Personal und durch Dienstleister im Stadtgebiet gepflanzt. Somit ist die Entwicklung von Stadtbäumen ein zentraler Aufgabenschwerpunkt des Bereiches.

Im Projekt NuTree übernahm die Landeshauptstadt Hannover mit dem Bereich Umwelt und Stadtgrün zwei Aufgaben: Sie ist Urproduzent und Endnutzer und hat damit den Schwerpunkt der Einbindung und Umsetzung des in NuTree entwickelten sensorgetriebenen Informationssystems sowie der Serviceleistungen der NuTree-Plattform auf kommunaler Ebene:

- Mitgestaltung und Beeinflussung der Konzipierung des Projektes aus kommunaler Sicht
- Integration der gewonnen Erkenntnisse und der erprobten Technik aus der Baumschule Bonk in die städtische Baumschule
- Ausstattung der städtische Baumstandorte mit Sensorik und Begleitung der Auswertungen während der Projektlaufzeit
- Aufbau und Verteilung der Sensorik im Stadtgebiet aus Sicht des Pflanzenfachmanns
- Überprüfung und Beurteilung von Messungen auf Plausibilität und Praxiserfahrung
- Protokollierung der Auswirkungen auf die Pflanzen, soweit im Verlauf des Projektes zeitlich möglich

- Beschreibung und Beurteilung der praktischen Anwendbarkeit und des wirtschaftlichen Nutzens für den kommunalen Einsatz

Die Landeshauptstadt Hannover ist zum 01.01.2023 mit dem neuen Mitarbeiter, Herrn Jan Pinski, aktiv in das Projekt NuTree eingestiegen, um die o.g. Tätigkeiten auszuführen.

#### **1.3.4 OG Mitglied 3: AGVOLUTION GmbH**

Die Firma AGVOLUTION GmbH ist ein Technologieunternehmen mit Sitz in Göttingen und Erlangen. Das junge Unternehmen bietet eine Prozessmanagement-Software auf Basis neuartiger IoT-Sensortechnologie (Sensor „CLIMAVI“) und KI-basierter Entscheidungshilfen an. Die Sensoren und die dazugehörige Software der Firma können somit Pflanzenstress und -zustand zu jedem Zeitpunkt und an jedem Ort bestimmen.

Durch die Nutzung intelligenter IoT-Funksensoren werden die Prozesse und Umweltbedingungen beim Anbau, dem Transport und der Pflege von Pflanzen kosteneffizient erfasst. Mithilfe der AGVOLUTION IoT-Datenplattform werden die gewonnenen Daten energieeffizient, permanent und über mehrere Kilometer Entfernung versandt. In der vom Unternehmen entwickelten Prozess-Managementplattform „Farmalyzer“ werden die räumlich und zeitlich hochauflösenden Datenreihen mit weiteren verfügbaren Informationen wie Boden-, Wetter-, Maschinen- und Satellitendaten verknüpft. „Farmalyzer“ beruht auf einer Verknüpfung aus Ökosystemmodellen und maschinellen Lernmethoden, wodurch eine einzigartige Vorhersagegenauigkeit für Pflanzenwachstum, Stress und die optimale Düngung pro Teilfläche erreicht wird. Die Firma AGVOLUTION kann mit ihren Technologien und Methoden den Nährstoff- und Ressourcenverbrauch (CO<sub>2</sub>-Fußabdruck) in Baumschulen und Grünanlagen während der gesamten Saison analysieren. Die Umweltintelligenz der Plattform „Farmalyzer“ hilft Pflanzenpflegenden dabei, die richtige Menge Wasser pro Baum und Grünfläche zu finden sowie eine fortlaufende Dokumentation aller Maßnahmen anzufertigen. Ineffizienzen und deren Ursachen können frühzeitig visualisiert und korrigiert werden.

Die Firma AGVOLUTION übernahm im Projekt NuTree den technischen Part und hatte dabei folgende Aufgaben:

- Fortlaufende technische Begleitung des Projekts entlang der Wertschöpfungskette
- Produktion und Lieferung der Sensorsysteme „CLIMAVI“, sowie deren Installation und technisch Betreuung
- Training, Testen und Validieren der Stressvorhersage-Algorithmen im städtischen Umfeld
- Datenanalyse und abzuleitende Handlungsempfehlungen
- Entwicklung der Webapp
- Interaktive nutzerorientierte Entwicklung der NuTree-Plattform

#### **1.3.5 OG Mitglied 4: mm-it4you – IT-Beratung**

Die IT-Beratungsfirma mm-it4you, vertreten durch Dr. Michael Malms, mit Sitz in Bad Zwischenahn, unterstützt als Dienstleister und Berater das OG-Mitglied Bonk Pflanzen Handels GmbH. Alle Aktivitäten innerhalb des Projektes in den Bereichen, die kein spezielles Baum- und Pflanzen- bezogenes Wissen, dafür aber gute IT- Kenntnisse und Erfahrung im Projekt-Management und der Kommunikation im Außenverhältnis erfordern, wurden von mm-it4you übernommen.

Im Rahmen von NuTree übernahm Dr. Malms folgende Tätigkeiten:

- Unterstützung in der Definition der Anforderungen an die einzusetzende IT-Technologie und Infrastruktur
- Fortlaufende wissenschaftliche Arbeitsweise und Kontrolle der Umsetzung
- Klärung von potenziellen technischen Problemen während der Versuchsphasen
- Vertretung in Projekt Treffen und Telekonferenzen, soweit sinnvoll
- Vorbereitung von Reports und Veröffentlichungen
- Unterstützung bei Dissemination Aktionen und Events

## **1.4 Projektgebiet**

Im Rahmen von NuTree wurde die durch die Firma AGVOLUTION entwickelte, neuartige Sensortechnik und die dazugehörige Managementsoftware eingesetzt, getestet und validiert. Dafür wurden im ersten Schritt des Projektes Versuchsquartiere in der Baumschule Bonk in Bad Zwischenahn ausgewählt und mit Sensoren bestückt. Nach einer Ersterprobung wurden im weiteren Verlauf des Projektes die Technik (Sensoren und Software) in der Landeshauptstadt Hannover in der stadt eigenen Baumschule sowie an Park- und Straßenbäumen platziert. Die OG-Mitglieder sind über ganz Niedersachsen verteilt (Ammerland, Osnabrück, Hannover, Göttingen) und hatten dabei, wie bereits beschrieben, unterschiedliche Aufgaben, um das Projekt zum Ziel zu führen.

## **1.5 Projektlaufzeit und Dauer**

Die Projektlaufzeit betrug drei Jahre. Offizieller Projektbeginn war der 13.03.2022, das Projektende ist der 30.04.2025.

## **1.6 Budget (Gesamtvolumen und Fördervolumen)**

Im Zuwendungsbescheid vom 10.03.2021 wurde über die gesamte Projektlaufzeit eine Zuwendung in Höhe von 495.358,95 € bewilligt. Aufgrund einer nachträglichen Prüfung wurde festgestellt, dass eine Vollfinanzierung für Gebietskörperschaften gemäß Erlass der Nds. Staatskanzlei vom 12.12.2018 (Aktenzeichen 201-02125-01-03) nicht zulässig ist. Aus diesem Grund wurde die Förderung des OG-Mitglieds 2, Landeshauptstadt Hannover, von 100 % auf 95 % reduziert.

Damit ergibt sich ein neues

**Fördervolumen von insgesamt                      490.879,01 €.**

(Alle anderen OG-Partner erhielten nach wie vor eine Vollfinanzierung von 100 %).

**Bis zum jetzigen Ende des Projekts wurden 470.329,23 € beantragt.**

## 1.7 Ablauf des Verfahrens

Im Rahmen des Projektes wurde die Sensortechnik der Firma AGVOLUTION an zwei Versuchsstandorten getestet. Nach erstmaligem Versuchsdurchlauf auf dem Baumschulgelände in Bad Zwischenahn wurden in der Landeshauptstadt Hannover weitere Sensoren platziert (in der stadt eigenen Baumschule, an Park- und Straßenbäumen). In der Baumschule als auch in der Stadt können Bäume nach Art, Alter, Standort und Zustand kategorisiert werden. Anhand dieser Kategorisierung wurden die Sensoren an repräsentativen, ausgewählten Punkten installiert, an denen Messungen und Beobachtungen durchgeführt wurden. Die Sensoren können durch die „Augmented Reality Integration“ genau positioniert werden, dabei bekommt jeder Sensor und jeder Baum eine einmalige ID und sind explizit zuordenbar. Zum Einsatz kamen neuartige LPWAN-Technologien (Low-Power-Wide-Area-Network).

Im Vergleich zu herkömmlichen Sensorsystemen weist die eingesetzte Sensortechnik (Sensor CLIMAVI) folgende Besonderheiten auf:

- Datenerhebung durch Volumenmessung in definierten Messhöhen mit geringem Kalibrationsaufwand
- Möglichkeit der Verbindung mit IoT Funkknoten
- Energieautarker Betrieb durch Solarmodule am Sensorkopf
- Anschluss mit weiteren Sensoren mit denselben Funkknoten ist möglich
- APP, API und Browseranwendungen inklusive räumlichem Prognoseservice und Vergleich mit öffentlichen Wetterdatenanbietern
- Flexibilität bei der Wahl des Übertragungsstandards
- Augmented Reality Integration — genauere Positionierung & Management der Sensoren und Daten im Feld
- IoT Plattform mit Verwaltungsmöglichkeiten auch von externen Drittanbietersensoren.

Damit die Ergebnisse des neuartigen Sensorsystems überprüft werden konnten, wurden Referenzmessungen mithilfe von Tensiometern, TDR-Sensoren und gravimetrisch manueller Bestimmung der Bodenfeuchte durchgeführt.

Um die gewonnenen Daten zu nutzen und für den Anwender interpretierbar zu machen, wurde im Rahmen des Projektes die NuTree-Plattform - ein Datenflussmodell erstellt, das folgendermaßen aufgebaut ist:

Die Sensorrohdaten werden zusammen mit Bodeneigenschaften/ zustand, Geo-, Wetter-, Spektraldaten aus der Fernerkundung und öffentlichen Datenquellen, den Baumkatasterverzeichnissen und bewegten Datenquellen von GNSS Trackern in der NuTree-Plattform gesammelt und verarbeitet. Per API-Programmierschnittstelle soll in Form eines Front-Ends (Android, IOS und Web-App) eine Ausgabe der Daten erstellt werden. Die Ausgabe wird in Form einer „Ampel“ gestaltet, sodass Anwender auf den ersten Blick Wassernotstände erkennen können:

Rot = Die Bodenfeuchte ist zu gering und es muss bewässert werden.

Gelb = Die Bewässerung hat noch ein paar Tage Zeit.

Grün = Es gibt keinen Bewässerungsbedarf.

Das Modell kann für jedes Quartier und jede Baumart eine solche Ampel tagesaktuell ausgeben. Die Ampel wurde bewusst gewählt, damit der Benutzer auf den ersten Blick erkennen kann, wo und ob Handlungsbedarf besteht. Zudem können Auftragsdaten und manuelle Dokumentationen zu einzelnen Bäumen oder Baumquartieren mittels kryptografischer Verschlüsselungstechnologie in der App gespeichert werden.

Innovativ im Projekt NuTree war die Betrachtung der gesamten Wertschöpfungskette von Bäumen. Ein spannender und besonderer Zeitpunkt während des Lebenszyklus eines Baumes ist dessen Verladung und der Transport zum möglichen Endstandort. Um die Parameter Temperatur, Feuchte und Stresslevel des Baumes während dieser Phase zu überwachen, wurden LPWAN-Funksensoren (Low-Power-Wide-Area-Network) mit Geolokalisation (GNSS-Tracker) eingesetzt. Diese sollten Missstände über die App melden, wenn die Pflanzen während des Transports oder nach der Anpflanzung durch Dienstleister nicht ausreichend mit Nährstoffen und Wasser versorgt werden. Ziel war, dass Logistikunternehmen wie auch Auftraggeber und Kunden einen Alarm erhalten, sobald das Stresslevel der Pflanzen zu hoch ist, um Störquellen frühzeitig beseitigen zu können. Die Erprobung des Systems während des Transports wurde in der zweiten Versuchsphase durchgeführt.

Im Laufe des Projektes wurde die Sensortechnik immer wieder überprüft, evaluiert und an die Praxisbedingungen in der Baumschule als auch in der Stadt angepasst.

Die Programmierung und Visualisierung der Daten in der NuTree-Plattform waren dauerhafter Bestandteil der Arbeit im Projekt. Ziel war, durch die Zusammenarbeit aller OG-Mitglieder, eine innovative Lösung für eine ressourcensparende, optimale Wasserversorgung von Bäumen für die Zukunft zu schaffen.

## **1.8 Zusammenfassung der (erwarteten) Ergebnisse**

Deutsch:

NuTree erzielte im Bereich der Technologieentwicklung, Ressourcenschonung und Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit von Baumschulen und Grünflächenmanagement von Kommunen folgende Ergebnisse:

1. Entwicklung einer Benutzeroberfläche:
  - a. Schaffung eines Systems zur Identifikation und Frühwarnung bei Pflanzenstress, das eine transparente Darstellung der gemessenen Standort- und Pflanzendaten ermöglicht.
  - b. Implementierung einer API, die den Export dieser Daten an Drittsysteme erlaubt.
2. Optimierung der Pflegemaßnahmen:
  - a. Erarbeitung von Entscheidungshilfen zur Analyse der aktuellen Pflanzenzustände.
  - b. Verbesserung der Routenplanung durch angepasste Maßnahmenempfehlungen.
  - c. Reduzierung des Abstimmungsbedarfs zwischen den Stakeholdern.
  - d. Schaffung von Transparenz bei der Übergabe und Logistik von Baum-Transaktionen.
3. Aufbau einer IoT-Infrastruktur auf den Testfeldern.
  - a. Aufbau einer einheitlichen IoT-Infrastruktur sowie Einsatz von Funktechnologie für den Use-Case der Wertschöpfungskette.

Insgesamt wird erwartet, dass diese Maßnahmen zu einer signifikanten Verbesserung der Effizienz und Transparenz in der Wertschöpfungskette Baum führt, was den Uerzeugern und der Grünanlagenpflege zugutekommt.

*Englisch:*

NuTree achieved the following results in the area of technology development, resource conservation and strengthening the competitiveness of tree nurseries and green space management in municipalities:

1. development of a user interface:
  - a. Creation of a system for the identification and early warning of plant stress, which enables a transparent presentation of the measured site and plant data.
  - b. Implementation of an API that allows this data to be exported to third-party systems.
2. optimisation of care measures:
  - a. Development of decision support tools to analyse the current plant conditions
  - b. Improvement of route planning through customised recommendations for measures.
  - c. Reducing the need for coordination between stakeholders.
  - d. Creating transparency in the handover and logistics of tree transactions.
3. establishment of an IoT infrastructure on the test fields:
  - a. Establishment of a standardized IoT infrastructure and use of wireless technology for the value chain use case.

Overall, it is expected that these measures will lead to a significant improvement in efficiency and transparency in the tree value chain, which will benefit primary producers and green space maintenance.

## **2 Eingehende Darstellung und Ergebnisse**

### **2.1 Verwendung der Zuwendung**

Im Folgenden werden die durchgeführten Arbeiten vom Zeitraum 13.03.2022 bis zum 30.04.2025 der einzelnen OG Mitglieder dargestellt. Zudem werden Besonderheiten der bisher getätigten Ausgaben vor dem Hintergrund des Ausgabenplans erklärt.

#### **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**

##### **2.1.1.1 Seedhouse Accelerator GmbH**

Die Koordination des Projektes umfasste in den 3 Projektjahren verschiedenste Aufgaben, bei denen es hauptsächlich um folgende Themen ging :

- Projektmanagement, Koordinierung, Administrative Abwicklung
- Kontrolle der termingerechten Umsetzung von Arbeitspaketen
- Kontaktaufnahme und Einbindung von Organisationen und Verbänden
- Netzwerkaufbau und Öffentlichkeitsarbeit
- Wissenstransfer und Präsentationen

Das Projekt wurde in 5 Arbeitsphasen eingeteilt, wobei sich die zweite bis vierte Phase lediglich in der Verwertung der gewonnenen Ergebnisse unterschieden. Die durchgeführten Arbeitsschritte werden wie folgt kurz erwähnt:

**Phase 1** umfasste vor allem den Aufbau der Projektmanagementstrukturen (über eine Google Drive-Plattform) und das Kennenlernen der OG-Partner. Die Koordination plante ein erstes Auftaktmeeting in Präsenz in der Baumschule Bonk. Regelmäßige Absprachen erfolgten im Rahmen eines „biweekly“-Online-Meetings, das alle zwei Wochen per Zoom/oder Teams stattfand. Der Meeting-Rhythmus wurde über drei Jahre lang beibehalten und als sehr wertvoll empfunden. Der erste Kontakt zu Print-Medien wurde aufgenommen, um den Beginn des Projekts NuTree und dessen Ziele in der Öffentlichkeit/ in der Branche zu kommunizieren. Es erfolgte zeitnah eine Veröffentlichung über den Projektstart in der Fachzeitschrift „Die Deutsche Baumschule“. Hier wurde der Kontakt über drei Jahre aufrecht erhalten, auch weitere öffentlichkeitswirksame Maßnahmen wurden geplant. Einziger Punkt, der nicht über

die Projektlaufzeit verfolgt wurde, die ist der Abgleich der Tätigkeiten über einen Meilensteinplan. Für die Koordination erwies sich der Abgleich von geplanten und durchgeführten Tätigkeiten über eigens erstellte Excel-Tabellen als überschaubarer.

**In Phase 2 – 4** hat das Seedhouse als Koordinator die o.g. Hauptaufgaben erfüllt. Im Verlaufe des Projekts wurden durch die Praxisversuche immer wieder neue Fragestellungen und Wiederholungsschleifen aufgesetzt. Die Koordination hat hierbei die OG begleitet und neue Möglichkeiten, v.a. wenn es um zusätzliche Anschaffungen ging, Klärung herbeigeführt. Das Zusammentragen von Ergebnissen und die Weiterentwicklung der Aufgaben zählten zum Tagesgeschäft. Die Moderation von Gesprächen, Protokollführung und Planung von Projekttreffen in Präsenz (mindestens 1 mal im Jahr mit der gesamten OG) waren ebenfalls Aufgaben. Ein großes Arbeitspaket nahm die Durchführung der Zwischenzahlungen und Erstellung von Zwischenberichten ein. Die OG Mitglieder wurden permanent im Hinblick auf Anschaffungen und Erstellung von Vergabeunterlagen von der Koordination unterstützt. Auch der Bereich der Öffentlichkeitsarbeit wurde vom Seedhouse durch Präsentationen, Blogbeiträge auf der Projekthomepage und Veröffentlichungen in Fachzeitschriften bearbeitet, hierbei wurden immer wieder die aktuellen Forschungsergebnisse eingearbeitet. In Zeiten, in denen die Kommunikation zwischen OG Mitgliedern Schwierigkeiten aufwies, schaltete sich die Koordination ein. Es konnten alle geplanten Tätigkeiten umgesetzt werden.

**In der fünften und letzten Projektphase**, ging es vor allem um die Erarbeitung der Projektergebnisse in Form des hier vorliegenden Abschlussberichts. Im Rahmen eines Abschluss-Meetings in Präsenz in der Stadt Hannover wurden die Grundlagen für den Bericht erarbeitet und die Ergebnisse von NuTree gemeinsam mit der OG zusammengetragen. Die Ergebnispräsentation erfolgt nun durch das Seedhouse in Form von weiteren Berichten über die Fachzeitschriften (Die Deutsche Baumschule, GABOT), die Projekthomepage mit der zur Verfügungstellung eines Praxisblatts sowie weitere Zusammenarbeiten einzelner OG Mitglieder, auch in Form des neuen EIP-Projekts FloraGPT. Auch die Stadt Hannover wird die Projektergebnisse als Grundlage für weitere Projekte nutzen und alle Erkenntnisse daraus anwenden.

- *Abrechnungsvorbereitung und Ausgabenerklärung*

Das Seedhouse rechnet in dieser Abrechnungsperiode einen letzten Teil der Zuwendungen ab. Diese setzen sich aus den folgenden Ausgaben zusammen:

- **Personalkosten i.H.v. 7.215,00 €**
- **Reisekosten i.H.v. 81,60 €**
- **Verwaltungskostenpauschale i.H.V. 1.082,25 €**

### **2.1.1.2 Bonk Pflanzen Handels GmbH und mm-it4you IT-Beratung**

Der Praxispartner Bonk Baumschulen wurde laufend von Michael Malms (mm-it4you IT Beratung) in allen Projektbelangen unterstützt und stand beratend zur Seite. Daher werden die folgenden Abschnitte zusammengefasst beschrieben. Die Baumschule stellte die Versuchsflächen und Praxisbewertung, Michael Malms war hauptsächlich für die Absprachen mit der gesamten OG zuständig. Folgende Teilschritte im Projekt wurden durchgeführt:

**Phase 1 (03/2022):** Am Anfang wurden zwei Testgelände bestimmt mit jeweils mehreren Quartieren. Unterschiedliche Gehölze und Bodenzusammensetzungen gaben hierbei den Ausschlag. Die Methoden zur Kalibrierung der Sensoren (u.a. Bodenproben) wurden besprochen und vereinbart sowie ein regelmäßiger, 14-tägiger Informationsaustausch.

**Phase 2 (04/22-01/23):** Alle genannten Aktionen sind erfolgt: Insgesamt 10 Climavi-Sensoren der ersten Generation wurden eingesetzt, Bodenproben zur Kalibrierung gezogen sowie der ersten „Gehversuche“ mit dem Dashboard von AGVOLUTION. Hierbei ging es um die oberflächliche erste Interpretation der Messergebnisse, die Fehlersuche bei Ausfällen der Funkverbindungen und der Akkus in den Sensoren. Die Notwendigkeit von Referenzmessungen mit analogen Tensiometern wurde erkannt, sowie die Einbringung in tiefere Bodenschichten.

**Phase 3 (02/23-12/23):** Da in Phase 2 sich kein eindeutiges Bild der Messwerte ergab, wurden in Abweichung zum Plan ein neues Versuchsfeld eingerichtet und alle Sensoren dort zusammengezogen. Als Referenz dienten zunächst noch analoge Tensiometer. Parallel wurde eine Teststation in Betrieb genommen, um das Verhalten der neuen Climavi-Generation in Extremsituationen zu testen. Um den ersten Transport mit Sensoren instrumentieren zu können, wurden eine mobile Steuer- und Funkbox von AGVOLUTION eingesetzt sowie ein von dem hinzugezogenen IT-Startup THORKAS entwickeltes Dashboard.

**Phase 4 (01/24-10/24):** Die Climavi Sensoren wurden wieder an verschiedenen Positionen in einer 3er- Kombination zusammen mit digitalen Tensiometern eingebracht. Dabei wurden verschiedene Einbringtechniken ausprobiert, u.a. das Bohren und Einschlämmen. Außerdem entstand das Konzept für ein integriertes Wassermanagement. Ein weiterer Transport erbrachte wertvolle Hinweise für die Verbesserung und Erweiterung der Transport-Funkbox. In Abweichung zum Plan konnte der Einsatz der Sensortechnik beim Endkunden erst in der nächsten Phase 5 getestet werden.

**Phase 5 (11/24-04/25):** In dieser Abschlussphase wurde die eingesetzte Sensor-Technik in den schlussendlich favorisierten Konfigurationen (Thorkas Dashboard mit digitalen Tensiometern in der Baumschule und AGVOLUTION Transport-Sensor-Infrastruktur für den Transport wieder mit Thorkas Dashboard) noch einmal auf die Probe gestellt. Bei einem Abschluss-Treffen in Hannover wurden die Verantwortlichkeiten zur Erstellung des Abschlussberichtes und des „best-practices“ Handbuches festgelegt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Projektverlauf ziemlich gut dem Plan folgte, allerdings nur mit zwei wesentlichen Korrekturen im Setup: Hinzuziehen eines weiteren Anbieters (THORKAS) für ein universelles Dashboard, das verschiedene Sensoren vergleichen kann und das Tracking beim Transport übernimmt sowie der Einsatz von digitalen Tensiometern.

#### *Ausgabenerklärung*

Die Bonk Pflanzen Handels GmbH rechnet in dieser Abrechnungsperiode einen Teil der restlichen Zuwendungen ab. Diese setzen sich aus den folgenden Ausgaben zusammen:

- **Personalkosten i.H.v. 2.160,00 €**
- **Sachkosten i.H.v. 15.043,91 €**

Die Einbindung des Startups Thorkas aus Bad Zwischenahn ist ab dem Jahr 2023 bis zum Projektabschluss erfolgt . Die Vergabeunterlagen zur Stundenabrechnung für den Support im Projekt durch Thormin Stiegler werden in dieser Abrechnung eingereicht (Beleg Nr. 236). Dort sind auch die Notwendigkeit der Einbindung des Startups beschrieben sowie Stundennachweise beigefügt.

Bei den Belegen 237-239 handelt es sich um Ersatzbestellungen bei der Fa. Pronova (Tensiometer + Zubehör), die aufgrund von technischen Ausfällen und Defekten notwendig waren.

#### *Ausgabenerklärung mm-it4you*

Die mm-it4you-IT Beratung rechnet in dieser Abrechnungsperiode

- **Personalkosten i.H.v. 2.538,00 €** ab.

Die Gelder stammen aus den Reisekosten der Baumschule Bonk, die auf das OG Mitglied umgewidmet wurden.

### **2.1.1.3 Landeshauptstadt Hannover Bereich Umwelt und Stadtgrün**

Die Landeshauptstadt Hannover hat einen Großteil der ursprünglich im Geschäftsplan festgehaltenen Aufgaben erfolgreich abgeschlossen. Dazu zählen im gesamten Projektverlauf der regelmäßige und intensive Austausch mit allen Projektpartnern in wiederkehrenden Meetings sowohl digital als auch in Person.

Außerdem wurden aus **Phase 1** die Vorbereitung der Abteilungen auf die Mitarbeit durchgeführt sowie das Einholen diverser Informationen wie der Baumschul-Lieferkette, die Anforderungen der Stakeholder oder die notwendigen Abgrenzungen in der städtischen Baumschule.

In **Phase 2** gab es erste Abweichungen von der Planung. Es ist ein Sensor-Platzierungs-Plan erstellt sowie der Einbau erster Sensoren vorgenommen worden, allerdings wurden keine Gateways installiert, da auf eine alternative Datenübertragung (Narrow Band Internet of Things (NB-IoT)) gesetzt wurde. Diese erfüllt die gleichen Anforderungen, benötigt jedoch kein separat aufgebautes Gateway-Netzwerk. Plausibilitätsprüfungen, ständiges Monitoring und steuerndes Eingreifen in Bezug auf die Bodenfeuchte-Daten haben stattgefunden.

Im Rahmen von der **3. Projektphase** wurde in Hannover ein mit Sensoren ausgestatteter Baum von der Baumschule Bonk empfangen und gepflanzt, wobei die Transportüberwachung gut funktioniert hat. Die Vorteile im Zuge der Dokumentation/ Datenerfassung in der Wertschöpfungskette wurden herausgearbeitet. Weiterhin wurden im Stadtgebiet CLIMAVI-Bodenfeuchte Sensoren verbaut sowie die dazugehörige „NuTree-Plattform“ zur Datenauswertung verwendet. Die Bodenfeuchtedaten wurden nur teilweise für ein steuerndes Eingreifen herangezogen,

da sich im Laufe der Messperiode herausgestellt hat, dass die Sensoren zu weit vom Wurzelballen entfernt installiert waren, dies wurde bei zukünftigen Installationen korrigiert.

In **Phase 4** ging es hauptsächlich um die iterative Wiederholung der Tätigkeiten aus den vorangegangenen Phasen. Dies wurde mit der Nutzung der „NuTree-Plattform“, dem steuernden Eingreifen (Wässern) und der fachlichen Evaluation der Vegetationszyklen getan. Es gab jedoch auch eine Abweichung, da die Sensoren aus der städtischen Baumschule entnommen worden sind. Hier wurden keine weiteren Messungen durchgeführt und die Sensoren stattdessen im Stadtkern zusammengezogen, da sich hier die größten neuen Erkenntnisse gewinnen ließen.

**Die letzte und 5. Phase** wurde vollständig gemäß des Geschäftsplans umgesetzt. Es haben eine finale Bewertung der Sensorergebnisse, der gesteuerten Eingriffe auf Basis der Sensordaten sowie eine finale Bewertung der Vorteile im Zuge der Dokumentation in der Wertschöpfungskette stattgefunden.

Abschließend hat die Landeshauptstadt Hannover in allen aktiven Projektphasen durch Vorträge, Seminare oder Messestände bei der Öffentlichkeitsarbeit unterstützt.

- *Ausgabenerklärung*

Die Landeshauptstadt Hannover rechnet in dieser Abrechnungsperiode einen restlichen Teil der Zuwendungen ab. Diese setzen sich aus den folgenden Ausgaben zusammen:

- **Personalkosten i.H.v. 10.473,76 € (abzgl. 5 % = 9.950,07 €)**

#### **2.1.1.4 AGVOLUTION GmbH**

Als Technik-Provider im Rahmen der Operationellen Gruppe (OG) hat die AGVOLUTION GmbH durch Personal- und Materialeinsatz an der Entwicklung der Software- und Hardware-Komponenten und technischen Beratung, Kommunikation und Lösungsfindung innerhalb der OG gearbeitet und so ihre im Geschäftsplan vorgesehenen Aufgaben vollständig umgesetzt und Projektziele erreicht. Im Folgenden wird eine detaillierte Gegenüberstellung zwischen der ursprünglichen Planung und den tatsächlich durchgeführten Maßnahmen in den fünf Projektphasen präsentiert.

## **Phase 1: Anforderungsanalyse und Konzeptentwicklung**

**Geplant:** Abstimmung mit Anwendern, Technologievermittlung, Erstellung einer Datenmaske und Festlegung von Standards für die digitale Datenerhebung sowie Technologieauswahl.

**Durchgeführt:** Die AGVOLUTION GmbH hat zu Projektbeginn intensive Gespräche mit allen Projektpartnern geführt, um Anforderungen und Wünsche bezüglich der Sensortechnik präzise zu erfassen. Für ein einheitliches Verständnis wurden dedizierte Meetings mit Anwendern aus der Praxis als Requirements Engineering-Prozess durchgeführt. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde ein Erstkonzept und Implementierungsplan für die im Projekt geforderte Sensorik, Positionsmessungen und Dashboards erstellt. Die Auswahl der Sensorik und Funktechnologie erfolgte unter Berücksichtigung der spezifischen Anforderungen für den Einsatz in verschiedenen Baumkulturen.

## **Phase 2 und 3: Hardwareentwicklung und -installation**

**Geplant:** Erarbeitung eines Installationskonzepts, Konzeption und Aufbau der Hardwarekomponenten, Installation und Testung, Design-Entwurf der Benutzeroberfläche, Integration externer Datenschnittstellen sowie Versuche zur optimalen Positionierung von Sensoren.

**Durchgeführt:** Die AGVOLUTION GmbH hat ein anwendungsspezifisches Installationskonzept entwickelt, das die Bewässerungsstrategien und Gehölz-Alter berücksichtigt. Sämtliche Hardwarekomponenten wurden konzipiert, bestellt und aufgebaut. Nach der Installation erfolgte eine umfassende Testung unter realen Bedingungen. Parallel dazu wurde eine Oberfläche für die Visualisierung von Sensordaten entworfen und prototypisch umgesetzt. Die Integration externer Datenschnittstellen (LoRaWAN-Sensoren, Drittsensor-API, Wetterdaten) in das Softwarebackend wurde erfolgreich realisiert. Durch umfangreiche Versuchsreihen konnten die Vor- und Nachteile von verschiedenen Installations- und Positionierungsstrategien (Bohren, Schlagen, Messtiefen, usw.) ermittelt werden.

#### **Phase 4: Optimierung und Anwendung**

**Geplant:** Verbesserungen an der Software basierend auf Ergebnissen aus den ersten Vegetationszyklen, fortlaufende Optimierung, Betreuung von Anwendern sowie Analyse und Diskussion der Ergebnisse.

**Durchgeführt:** Die AGVOLUTION GmbH hat die Hardware- und Software kontinuierlich verbessert und die Erkenntnisse aus dem ersten und zweiten Vegetationszyklus eingearbeitet. Die installierte Soft- und Hardwarelösung wurde durchgehend betrieben und optimiert. Hierbei wurde insbesondere die Kalibration der Bodenfeuchtesensoren getestet und verbessert, sowie das Handling der mobilen Sensor-Box. Die Daten des dritten Vegetationszyklus wurden analysiert und ausgewertet. Die Ergebnisse wurden mit wissenschaftlichen Partnern und Anwendern entlang aller im Projekt durchgeführten Sensor-Vergleichsversuche diskutiert, was zu weiteren Verbesserungen und neuen Erkenntnissen führte.

#### **Phase 5: Finalisierung**

**Geplant:** Finale Optimierung der Software und Hardware sowie Erstellung eines Leitfadens/Nutzerhandbuchs.

**Durchgeführt:** Die AGVOLUTION GmbH hat die Software- und Hardwarekomponenten final optimiert, um eine langfristige und stabile Nutzung zu gewährleisten. Dies betrifft etwa die Handhabung der mobilen Sensorik-Lösung (Akku-Größe, Schnittstellen) als auch das Dashboard (Vergleich mehrerer Sensoren, Auswahl Rohdaten / kalibrierte Daten, Einstellung der Kalibration, Bewässerungs-Dokumentation, Abgleich mit Niederschlagsdaten). Ein Nutzerhandbuch wurde erstellt, das den Gebrauch der Software- und Hardwarelösung erläutert. Dies ermöglicht es auch weniger technisch versierten Nutzern, das System effektiv einzusetzen.

#### *Ausgabenerklärung:*

Die AGVOLUTION GmbH rechnet in dieser Abrechnungsperiode den restlichen Teil der Zuwendungen ab. Diese setzen sich aus den folgenden Ausgaben zusammen:

- **Personalkosten i.H.v. 10.473,76 €**

## 2.1.2 Darstellung der wichtigsten finanziellen Posten

Im Laufe der drei Projektjahre wurden zu einem großen Teil Personalkosten und Sachausgaben abgerufen. Im Folgenden sind die Hauptanschaffungen je OG Mitglied kurz aufgeführt.

### *Seedhouse Accelerator:*

Als Koordinator von NuTree wurden zum jetzigen Zeitpunkt 76.266,00 € Personalausgaben abgerufen. Inklusive der Abschlussabrechnung sind es insgesamt 83.481,00 €. Damit wurden 411,00 € an Personalausgaben zusätzlich aufgewendet. Der Großteil der Personalausgaben wurden für Arbeitsstunden von Greta Fenske aufgewandt, ein weiterer Teil für Laura Holtmann, die bei der administrativen Abwicklung unterstützte.

Die Ausgaben für die Öffentlichkeitsarbeit betrugen insgesamt 1.859,63 €, 640,37 € wurden nicht abgerufen. Zu den Hauptanschaffungen in diesem Bereich zählte die Erstellung der Website (900,00 €) sowie die Pflege der Website über den Projektzeitraum. Ein Roll-Up für Messestände und Veranstaltungen wurde für 300,00 € erstellt. Insgesamt werden 929,79 € nicht abgerufen.

### *Baumschule Bonk:*

Als Praktiker in diesem Projekt wurden für Stephan Bonk bis zum jetzigen Zeitpunkt 30.280,50 € Personalausgaben ausgeschüttet. Inklusive der Abschlussabrechnung sind es 32.440,50 €, sodass 688,50 € zusätzlich abgerufen wurden. Hauptaufgabe war die praktische Umsetzung der Sensoren-Testfelder in der Baumschule Bonk und dessen stetige Überwachung und Betreuung. Zudem war das Feedback zur Technik aus der Praxis ein weiterer wichtiger Bestandteil der Arbeit.

Für wissenschaftliche Studien oder Nutzungskosten wurden kaum bis gar keine Gelder abgerufen. Einen großen Part nahmen die Sachmittelausgaben ein. Folgende Hauptanschaffungen wurden getätigt:

- Stecktensiometer für Sensorenvergleiche (736,80 €)
- iPad Air zur Auslesung der CLIMAVI-App auf dem Feld (813,00 €)
- Funktensiometer zum Auslesen der Bodenfeuchtedaten per Funk sowie zum Vergleich mit den Sensoren (2.598,61 €)
- Ausgaben für einen Baum sowie den Sensoren gestützten Transport des Baumes in die Stadt Hannover (insgesamt 939,30 €)

- Auftragsvergabe an das Startup „Thorkas“ zur Erstellung eines weiteren, digitalen Dashboards zum Sensoren Vergleich, zur technischen Unterstützung und zur Umsetzung einer fachgerechten Installation von neuen Testfeldern in der Baumschule (2.259,32 € Anfangsrechnung, 14.297,60 € Personalstunden in dieser Abrechnung enthalten).

Die Reisekosten in Höhe von 3.000,00 € wurden auf das OG-Mitglied mm-IT4you (Michael Malms) überschrieben. Insgesamt werden 15.057,22 € nicht abgerufen.

#### *Landeshauptstadt Hannover:*

Die Landeshauptstadt Hannover weist ausschließliche Ausgaben für Personalstunden für den Projektmitarbeiter Jan Pinski auf. Jan Pinski hat das Projekt in der Stadt auf den Versuchsflächen in der Praxis ausgeführt und die Sensortechnik stetig überwacht. Feedbackschleifen der Anwender an das Startup AGVOLUTION standen hierbei im Fokus, um Verbesserungen zu Erarbeiten. Neben den praktischen Arbeiten hat Jan Pinski das Projekt fachlich sowie im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit maßgeblich unterstützt. Insgesamt wurden bisher 73.104,25 € abgerufen, inklusive der Abschlussrechnung 83.054,32 €. Die Reisekosten in Höhe von 2.000 € wurden auf die Personalkosten umgewandelt. Restliche Gelder betragen 2.064,46 €.

#### *AGVOLUTION GmbH*

Das Startup AGVOLUTION GmbH hat im Rahmen von NuTree einen Softwareentwickler mit einer Vollzeitstelle angestellt. Die Aufgaben des Startups waren vor allem die Technik-Bereitstellung, der technische Support sowie die Erarbeitung und Weiterentwicklung der CLIMAVI-App und Sensorik/Hardware. Dazu stand das Startup im stetigen Austausch mit den Praktikern in der Baumschule Bonk und in der Stadt Hannover. Bis zum jetzigen Zeitpunkt hat AGVOLUTION 179.590,50 € Personalausgaben über NuTree erhalten. Inklusive der jetzigen Endabrechnung sind es 191.160,00 €.

Ein weiteren großen Kostenpunkt nahmen die Ausgaben für Sachmittel ein. Folgende Hauptanschaffungen wurden in den drei Jahren getätigt:

- Erstellung der ersten 20 Bodenfeuchtesensoren für die Baumschule und die Stadt Hannover (6.219,60 €, eigene Produktion) für die ersten Testfelder
- Erstellung von zwei Einbringwerkzeugen für die Sensoren für die Baumschule und die Stadt Hannover für die Verwendung im Projekt (696,00 €)

- Anfang 2024 wurden in Summe 1.478,92 € für die Weiterentwicklung, Erneuerung und Verbesserung der bestehenden Sensortechnik sowie die Erarbeitung des Transportmoduls ausgegeben (3D-Drucke, Schutzgehäuse, Elektronik-Leiterplatten)
- Da eine neue Sensoren Generation im Laufe des Projekts entwickelt wurde und alle bestehenden Sensoren in der Stadt Hannover sowie in der Baumschule durch neue ersetzt wurden, sind bei der Firma Sasse neue CLIMAVI-Sensoren für insgesamt 8.650,40 € in Auftrag gegeben worden. Diese sind seitdem auf den Praxisfeldern eingesetzt.

Insgesamt wurden 17.216, 92 € für Sachmittel verwendet, damit verbleiben 2.252, 31 €, die nicht abgerufen werden.

*mm-it4you (Michael Malms, IT-Beratung):*

Dr. Michael Malms hat als IT-Experte der Baumschule Bonk während der gesamten Projektlaufzeit beratend zur Seite gestanden. Er hat die gesamte Kommunikation mit der OG für die Baumschule übernommen, schriftliche Ausarbeiten für Zwischenberichte sowie die Absprachen zur Umsetzung der Praxisversuche mit Stephan Bonk vor Ort durchgeführt. Michael Malms hat die Erfahrungen aus den Versuchen mit der OG geteilt und stetig Verbesserungswünsche an das Startup AGVOLUTION zur App- und Sensoren Entwicklung geäußert. Zudem entstand eine enge Zusammenarbeit mit dem Startup Thorkas. Für Michael Malms wurden bisher 20.466,00 € Personalausgaben abgerufen. Inklusive der Abschlussabrechnung sind es 23.004,00 €. 3000,00 € Personalausgaben wurden von OG-Mitglied Stephan Bonk (Umwidmung und Umschreibung der Reisekosten) auf mm-it4you übertragen.

## **2.2 Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn**

### **2.2.1 Ausgangssituation**

#### **2.2.1.1 Bonk Pflanzen Handels GmbH und mm-it4you-IT-Beratung**

Die im Projektantrag geschilderte Ausgangssituation ist im Nachhinein immer noch valide. Für die Baumschule Bonk waren die beiden trockenen Sommer 2018 und 2019 eine erhebliche Belastung, da in einer eigentlich für die Veredelung und den Vertrieb der Gehölze wichtigen Zeitspanne täglich stundenlang Wasser zu den trockenen Baumbeständen gebracht werden musste. Der Geschäftsführer musste wochenlang jeden Tag ca. 1.5 h seiner Freiflächen nach den kritischsten Pflanzen absuchen, um dann die Bewässerungsfahrten entsprechend zu planen. Mehrere Mitarbeiter waren mit dem Transport der Wasserfässer zeitlich erheblich eingebunden.

Diese Situation führte zu der Überlegung, durch IT-Maßnahmen wie Sensoren und einer entsprechenden Auswert-, Analyse und Visualisierungs-Software Zeit und Wasser sparen zu können. Die Vision war, jeden Morgen über ein Web-zugängliches Dashboard die Priorität der zu bewässernden Pflanzen angezeigt zu bekommen incl. der pro Sensor empfohlenen Wassermenge.

Zudem kam es öfter bei längeren Transporten ins Ausland, an heißen Tagen bei der Auslieferung von Bäumen und manchmal auch erst nach der Einpflanzung, zu Reklamationen wegen (angeblich) ausgetrockneter Ware. Also sollte ein weiteres Ziel eine mobile Variante der intelligenten Sensor-Infrastruktur sein, um auch die Transporte zu überwachen und Verantwortlichkeiten klar zuordnen zu können.

Auch das letzte Glied in der Lieferkette, der Endkunde, wurde mit einbezogen: Am neuen Pflanzort sollte während der Anwachsphase die gleiche Sensor-Technik wie in der Baumschule angewendet werden, um sicherzustellen, dass die oft sehr wertvollen großen Gehölze gut anwachsen.

Daraus ergab sich die Idee, die gesamte Wertschöpfungskette durch eine intelligente, Sensor-basierte Infrastruktur inklusive. Visualisierung zu begleiten.

### **2.2.1.2 Landeshauptstadt Hannover**

Zu Projektbeginn sah sich die Landeshauptstadt Hannover mit der Problematik der Wasserversorgung der Gehölze konfrontiert, die aus den mehreren Dürren ab 2018 hervorgegangen ist. Die vorhandenen Strukturen der Stadtverwaltung konnten einen so starken und plötzlichen Anstieg des Wasserbedarfs nicht direkt decken. Eine kurzfristige Lösung war ein massives Erhöhen der Bewässerungsvergabekosten, allerdings würde diese Lösung aufgrund der Kosten nicht auf Dauer funktionieren. Im Rahmen des NuTree-Projektes sollen Lösungen herbeigeführt werden, die die Problematik langfristig beheben.

Die Landeshauptstadt Hannover verfügte zu Projektbeginn über keinerlei Erfahrungen im Umgang mit Funk-Bodenfeuchte-Sensorik. Es hat zwar parallel zum Start des NuTree-Projektes auch weitere Ansätze gegeben, sich dem Thema anzunähern, allerdings gab es kaum verfügbare (Personal-)Ressourcen um etwas gänzlich Neues zu etablieren. Diese „weiteren Ansätze“ bestanden aus der Beauftragung einer Firma, welche ein „Komplett-Paket“ in Bezug auf Funk-Bodenfeuchte-Sensorik vertreibt. Dies beinhaltete die Bereitstellung der Technik, die Installation, die Aufbereitung sowie die Interpretation der Daten. Da von der Firma alles bereitgestellt wurde, waren die Erfahrungswerte jedoch sehr gering.

In Bezug auf die Bewässerungsverfahren wurde grundsätzlich in jedem Pflegebezirk von Hannover eigenständig auf Basis von Gärtnerwissen entschieden, wann und wie viel zu wässern ist. Diese Erfahrungswerte geraten mit dem voranschreitenden Klimawandel allerdings aus den Fugen, da der Bewässerungsbedarf deutlich höher ist, als früher und eine Bewässerung von vor 15 Jahren heute nicht mehr funktioniert.

Bei der Anlieferung von Baumschulware bestand keine Möglichkeit festzustellen, ob die Gehölze auf dem Weg von der Baumschule bis zur Warenannahme gut versorgt waren, oder ob ein Schaden eingetreten ist.

### **2.2.1.3 AGVOLUTION GmbH**

Die AGVOLUTION GmbH startete das Projekt NuTree mit der Zielsetzung, ihre innovative IoT-Sensortechnologie und KI-gestützten Lösungen in der Praxis zu erproben und weiterzuentwickeln. Ausgangspunkt war die zunehmende Belastung von Pflanzen, insbesondere Bäumen, durch den Klimawandel und die damit verbundenen Trockenperioden, die neue Ansätze zur Überwachung des Wasserhaushalts und zum ressourcenschonenden Einsatz von Wasser erfordern. AGVOLUTION brachte ihre Expertise in der Entwicklung von Sensortechnologien und Datenplattformen ein. Der eigens entwickelte CLIMAVI-Sensor ermöglicht die permanente Messung von Bodenfeuchte und -temperatur, Luftfeuchtigkeit und -temperatur, Luftdruck, sowie Niederschlag, GPS-Position und Windgeschwindigkeit/Richtung, wobei die gesammelten Daten energieeffizient und drahtlos an die IoT-Datenplattform übertragen werden. Diese Daten werden in der Plattform mit weiteren Informationen wie öffentlichen Wetter-, Boden- und Satellitendaten verknüpft, um präzise Vorhersagen zu Pflanzenstress und Bewässerungsbedarf zu ermöglichen. Zu Projektbeginn lag der Fokus darauf, diese Technologien stets unter dem Aspekt der Praxistauglichkeit entlang der gesamten Wertschöpfungskette von Bäumen (weiter-) zu entwickeln und zu testen – von der Aufzucht in Baumschulen über den Transport bis hin zur Pflege am endgültigen Standort. Ein besonderer Schwerpunkt war die Entwicklung eines Systems zur transportbegleitenden Vitalitätsüberwachung, das erstmals eine lückenlose Kontrolle der Umweltbedingungen während des Baumtransports ermöglichte. Gleichzeitig wurde an einer nutzerfreundlichen App gearbeitet, die mithilfe einer Ampelanzeige den Bewässerungsbedarf visualisiert und so eine gezielte Ressourcennutzung unterstützt. AGVOLUTION setzte zudem auf eine iterative Weiterentwicklung ihrer Technologien, die durch kontinuierliches Feedback aus der Praxis optimiert wurden. Diese Ausgangssituation bot AGVOLUTION die Möglichkeit, ihre Technologien unter realen Bedingungen zu testen, wichtige Erkenntnisse für zukünftige Entwicklungen zu gewinnen und so praxistaugliche Technologien anbieten zu können.

## 2.2.2 Projektaufgabenstellung

Aus Sicht des Endanwenders sollte das Projekt eine IT-Infrastruktur schaffen, die dem Baumschulisten in Echtzeit einen Überblick über den aktuellen oder in Kürze zu erwartenden Trockenstress der Pflanzen auf seinen Freiflächen verschafft. Weiterführend sollen Gehölze auch auf dem Transportweg oder in Zwischenlagerstätten in ihrer Vitalität überwacht werden können. Dazu sind u.a. Sensoren notwendig, die z.B. an kritischen Stellen auf dem Gelände eingesetzt werden und stellvertretend für eine größere Fläche die Feuchtigkeit messen. Im Einzelnen lassen sich folgende Anforderungen nennen:

- Messungen in mehreren Ebenen, ideal in -30, -60 und -90cm
- Stabile Übertragung der Messwerte in eine Cloud über Lora-WAN oder per Mobil-Funk
- Auswertung und Darstellung in Echtzeit über ein Dashboard
- Die Sensoren müssen in das Wurzelwerk auch größerer Gehölze (z.B. 16 Meter hoch) einbringbar sein (es handelt sich bei der Baumschule Bonk nicht um eine Container-Baumschule)
- Eine digital gestützte Gießempfehlung gibt den Zeitpunkt und die Wassermenge für die notwendigen Bewässerungsfahrten priorisiert an
- Eine mobile Version der Sensor-Infrastruktur ermöglicht die Überwachung der Gehölze auch während des Transportes, so dass der Baumschulist eine lückenlose Kontrolle des Gesundheitszustandes der Pflanzen erhält
- Während des Transports (auch grenzüberschreitend (Mobilfunk)), werden in regelmäßigen Intervallen (z.B. alle 30 Minuten)
  - o die GPS-Position des Fahrzeuges,
  - o der aktuelle Bewegungszustand des LKWs (LKW steht oder fährt),
  - o die Lufttemperatur im Laderaum,
  - o die Luftfeuchtigkeit im Laderaum,
  - o die Bodenfeuchte im Wurzelballengemessen und übertragen.

Am endgültigen Anpflanzort (beim Endkunden) soll auch die gleiche Sensor-Infrastruktur eingesetzt werden können. Alle Werte sollen genau dargestellt werden wie in der eigenen Baumschule.

Aus der Sicht der kommunalen Grünflächenunterhaltung (Endkunde) sind sehr ähnliche Anforderungen an die IT-Infrastruktur zu nennen. Die wesentlichen Unterschiede liegen in dem Messintervall, was in der Stadt nicht in Echtzeit erfolgen muss sowie in der Robustheit der Funkeinheit (Vandalismus-geschützt). Eine besondere Herausforderung liegt darin, die Bewässerungssteuerung, die in einer Großstadt sehr komplex sein kann, mit den neuartigen Sensordaten zu verschneiden.

## **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)?**

Wie auch bereits unter 2.1.1.1 beschrieben, wurden durch das Seedhouse zu Beginn von NuTree Projektstrukturen aufgebaut, die beim ersten Projektmeeting mit der gesamten OG abgestimmt wurden. Als eine gemeinsame Dokumenten-Plattform wurde eine Google-Drive-Ablage erstellt. Auf diese Plattform hat jedes OG-Mitglied Zugriff und kann Dokumente bearbeiten, hochladen und herunterladen. Alle grundsätzlichen Dokumente zum Projektablauf, zur Koordination sowie Richtlinien wurden dort abgelegt. Für jede Abrechnung wurden die jeweiligen Zwischenberichte eingestellt. Alle öffentlichkeitswirksamen Tätigkeiten, Berichte und Fotos konnten abgerufen werden. Zudem wurden alle Meeting-Protokolle direkt nach den OG-Meetings ins Drive hochgeladen.

Für die Kommunikation innerhalb der OG wurde vom Seedhouse ein „biweekly“-Termin per Zoom/ anschließend per Teams festgelegt. Jeden zweiten Dienstag kam die gesamte OG zusammen und hat für mindestens 30-90 Minuten alle aktuellen Fragestellungen besprochen und die weitere Vorgehensweise im Projekt festgelegt. Die Meetings stellten sich als sehr sinnvoll und produktiv heraus und wurden über die drei Projektjahre mit wenigen Ausnahmen stetig ausgeführt.

Neben den zweiwöchigen Terminen wurden immer wieder einzelne Telefonate zwischen den OG-Mitgliedern geführt. Die Koordination wurde in einigen Fällen als eine Art „Vermittler“ eingeschaltet und hat Absprachen vorangebracht.

Damit die OG auch in Präsenz zusammenfindet, wurden einige OG-Treffen geplant und durchgeführt. Folgende Projekttreffen, in denen die gesamte OG zusammentraf, wurden an folgenden Terminen durchgeführt:

- 18.05.2022 Projekttreffen in der Baumschule Bonk, Zusammenkunft mit dem EIP-Projekt ppp
- 15.11.2022 Projekttreffen in der Baumschule Bonk
- 20.02.2024 Projekttreffen in der Baumschule Bonk
- 12.03.2025 Abschlussmeeting in der Stadt Hannover

Neben den Zusammenkünften aller OG-Mitglieder, fanden immer wieder Zusammentreffen einzelner OG-Mitglieder bei verschiedenen Events statt. Auch dabei erfolgten Absprachen und Besprechungen, die das Projekt vorantrieben:

- 05.-06.11.2023: Baumpflegetage an der Hochschule Osnabrück – NuTree Stand im Foyer
- EIP-Sommerfest + EIP Netzwerktreffen 2023
- Videodreh des NuTree-Projektvideos 2023
- 23.11.2023: Messe Innovate – NuTree Stand in der EIP-Lounge
- EIP Sommerfest 2024 mit NuTree Stand + EIP Netzwerktreffen
- 04.09.2024: Baumpflegetage an der Hochschule Osnabrück – NuTree Vortrag im Rahmen einer „Session“

Für die einwandfreie Umsetzung und die Gestaltung der Testfelder in der Baumschule Bonk und auch in der Stadt Hannover kamen in den Projektjahren die OG-Mitglieder Baumschule Bonk, Stadt Hannover und das Startup AGVOLUTION immer wieder zusammen. Bei diesen Treffen stand die praktische Umsetzung, also der Einsatz der neuen Technologie im Fokus.

## **2.3.2 Was war der besondere Mehrwert bei der Durchführung des Projektes als OG?**

### **2.3.2.1 Seedhouse Accelerator GmbH**

Die Aufgabe des Seedhouse, das Projekt NuTree als Koordinator zu betreuen, brachte zahlreiche Mehrwerte mit sich: Das Projekt vermittelte wertvolle Erfahrungen im Projektmanagement. NuTree bot die Möglichkeit, verschiedene Kommunikationsarten mit den unterschiedlichen OG-Partnern zu erlernen, was die Kommunikationskompetenz innerhalb der OG erheblich verbesserte. Die Bedeutung von „guter und konstanter“ Kommunikation wurde im Verlauf des Projekts besonders deutlich, da sie für den Erfolg der Zusammenarbeit unerlässlich ist.

Die Stärkung der Kommunikation zwischen Stakeholdern und externen Partnern war entscheidend für eine effektive Zusammenarbeit. Durch den Aufbau eines Netzwerks im Bereich EIP-Agri konnte das Seedhouse seine Sichtbarkeit als Koordinator erhöhen und sich als zentrale Anlaufstelle positionieren. Durch die Öffentlichkeitsarbeit konnte das Seedhouse insbesondere im Bereich Landwirtschaft überzeugen und das Konzept von EIP-Agri erfolgreich verbreiten.

Ein weiterer wichtiger Aspekt war der Auf- und Ausbau von Netzwerken mit der Landwirtschaftskammer Niedersachsen sowie dem Team EIP-Agri, was zu einer stärkeren Kooperation und einem Austausch von Wissen und Ressourcen führte. Die gesammelten Erfahrungen sind nicht nur für die aktuelle Projektarbeit von Bedeutung, sondern auch für zukünftige Projekte anwendbar. Dies führte zu einer engen Bindung zu allen EIP-Agri-Beteiligten und eröffnete Perspektiven für weitere Zusammenarbeiten sowie die Initiierung eines neuen EIP-Projekts.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Durchführung des Projektes als OG nicht nur die interne Kommunikation und das Netzwerk gestärkt hat, sondern auch wertvolle Kenntnisse für zukünftige Projekte bereitgestellt hat. Die enge Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftskammer Niedersachsen und anderen Partnern legte zudem die Basis für nachhaltige Kooperationen.

### **2.3.2.2 Bonk Pflanzen Handels GmbH und mm-it4you-IT-Beratung**

Für die Baumschule Bonk gab es gleiche mehrere Aspekte für einen guten „return on investment“:

- Einen hohen Stellenwert hatte die 3-jährige intensive Beschäftigung mit Lösungen für ein sehr wichtiges Problem der Baumschule, das in den kommenden Jahren nur noch gravierender wird: die bedarfsgemäße Bewässerung. Durch die vielen Interaktionen mit den anderen OG-Mitgliedern und dem ständigen Ausprobieren verschiedener Lösungsansätze bis hin zur Schaffung einer befriedigenden Lösung für die drei Stufen der Wertschöpfungskette war der Lerneffekt enorm. Eigenes Lernen ist sicherlich nachhaltiger als der Einkauf einer vermeintlich fertigen Lösung, die dann doch nicht wirklich passt und ohne Hintergrundwissen seitens des Nutzers auch nicht wirkungsvoll eingesetzt werden kann.
- Inhaltlich hat die Baumschule eine von ihr akzeptierte Lösung für die Sensor-Infrastruktur, allerdings nicht exakt in der geplanten Konstellation: Die Kombination des THORKAS Dashboards mit seinen vielfältigen Darstellungsoptionen, die alle während des Projektes nach Wünschen des Nutzers entwickelt wurden sowie der funkbetriebenen digitalen Tensiometern ist ideal. Der Umgang mit analogen Tensiometern war seit vielen Jahren eingeübte Praxis, jetzt werden die Messwerte vieler digitalen Tensiometer auf einem Dashboard übersichtlich dargestellt. Der Baumschulist braucht das Büro nicht zu verlassen und hat doch ein Echtzeit-Abbild der Feuchte/Trockenheits-Situation seines Geländes.
- Ein weiteres positives Ergebnis ist die Fähigkeit, Bäume auf Transporten „digital zu begleiten“ und die klimatischen Parameter im Laderaum und im Wurzelballen überwachen zu können. Dies sollte in Zukunft sowohl Streitigkeiten zwischen Lieferanten, Transportunternehmen und Empfänger vermeiden als auch die Werterhaltung der Pflanzen sicherstellen.
- Die Baumschule ist, ermutigt durch das NuTree Projekt, in weiteren Forschungs-Projekten engagiert, in denen es um weiterführende Themen geht.
- Die Arbeit von Michael Malms als „Vermittler“ zwischen den OG-Mitgliedern und der Stephan Bonk stellte sich als durchaus sinnvoll und effizient heraus, da auch bei hohem Arbeitsanfall in der Baumschule Rückmeldungen zeitnah an die

Partner weitergegeben werden konnte und die Themen aus dem Projekt fristgerecht umgesetzt werden konnten.

### **2.3.2.3 Landeshauptstadt Hannover Bereich Umwelt und Stadtgrün**

Der besondere Mehrwert in der Projektdurchführung als OG bestand aus sich der Landeshauptstadt Hannover in der Kombination aus Forschung/Entwicklung, wirtschaftlichen Unternehmen/Interessen sowie einer öffentlichen Verwaltung. Alle Projektmitglieder haben hier immer die Möglichkeit gehabt die Perspektive des jeweils anderen einzunehmen und so die Bedürfnisse an die Funk-Bodenfeuchte-Sensorik vollumfänglich wahrzunehmen. Dies hat bei dem Forschungsvorhaben an vielen Stellen zu einer deutlich schnelleren Problemlösung geführt. Beispielsweise bei der Akkukapazität des Climavi-City-Senders, wobei sich schnell herausgestellt hat, dass in der Stadt andere Voraussetzungen herrschen, als angenommen. Dies konnte direkt in einer Akku-Erweiterung umgesetzt werden.

Weiterführend ist die Organisation durch ein OG-Mitglied, was nur dafür zuständig ist sehr positiv hervorzuheben. Durch die Schaffung eines Rahmens, in dem die praxisorientierten Projektpartner sich direkt mit der Problemlösung beschäftigen können, wird Komplikationen vorgebeugt und ein Reibungsloser Projektablauf sichergestellt.

Für die Landeshauptstadt Hannover war es darüber hinaus ein besonderer Mehrwert, dass mit dem Projekt die Öffentlichkeitsarbeit unterstützt und somit die Möglichkeit geschaffen wurde, positive Berichterstattung zu praktizieren.

### **2.3.2.4 AGVOLUTION GmbH**

Aus Sicht von AGVOLUTION bot das NuTree-Projekt den größten Mehrwert durch die Heterogenität der OG (Baumschul-Praxis-Betrieb, Kommunales Nutzungsfeld und Problemstellung und Lösungsanbieter-Unternehmen mit eigenen Produktentwicklungsmöglichkeiten). In Kombination mit einem iterativen Entwicklungs- und Erprobungsvorgehen ergaben sich so schnelle Entwicklungszyklen mit direktem Praxisfeedback, und ermöglichten es, eine Lösung sehr schnell für die Anwendungspraxis zu optimieren.

Konkrete Beispiele waren hierbei die Erfahrungen im Umgang mit:

- IoT-Funkübertragungstechniken (LoRaWAN, mioty, Sigfox, Mobilfunk) und deren Wartbarkeit und Praxistauglichkeit auf pflanzenbaulichen Betrieben (Installations- und Wartungsaufwand, Funk-Reichweite, Deployment-Szenarien).
- Einsatz, Vorzüge und Nachteile von Bodenfeuchtesensoren.
- Parametrisierungen von IoT-Geräten (Sendeintervalle, Akku-Laufzeiten, etc.)

Eine weitere Besonderheit lag in der Ende-zu-Ende-Charakteristik und somit der Abdeckung verschiedener Anwendungsfelder: Das Projekt berücksichtigte die gesamte Wertschöpfungskette des Baums, von der Aufzucht in der Baumschule über den Transport bis zum endgültigen Pflanzstandort. Dies erlaubte uns, unsere Technologie für verschiedene Anwendungsbereiche zu optimieren und ein umfassendes Produkt zu entwickeln, das den gesamten Lebenszyklus eines Baumes abdecken kann. Sogar beim Transport, welcher Tage andauerte und sich über Ländergrenzen hinweg bewegt, konnten Messungen durchgeführt werden.

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

Auch nach Abschluss von NuTree wollen die OG-Mitglieder weiter zusammenarbeiten. Geplant ist ein enger Austausch zwischen der Landeshauptstadt Hannover und des Startup AGVOLUTION. Aufgrund der erworbenen Erfahrungen im Bereich der Sensoren Vergleiche ist es sinnvoll, weiterhin im Austausch zu bleiben, da auch das Startup an der Anpassung und Verbesserung der eigenen Sensortechnik interessiert ist. AGVOLUTION plant im Rahmen einer Doktorarbeit eine Veröffentlichung, in die die Ergebnisse des Sensoren Vergleichs in Hannover einfließen. Auch im Hinblick auf die Weiterentwicklung des Dashboards hin zu einem „Grünflächenmanagementsystem“ für Kommunen, ist ein enger Austausch sehr sinnvoll.

Die Baumschule Bonk wird die Sensoren gestützten Baumtransporte weiterhin verfolgen und ausweiten. Auch hier ist daher eine Zusammenarbeit mit dem Startup AGVOLUTION geplant, da die Transporttechnologie hier erworben werden kann. Das Startup profitiert ebenfalls von einer Zusammenarbeit und den Rückmeldungen der Baumschul-Praktiker, damit das in Zukunft geplante „Produkt“ für die sensorgestützten

Baumtransporte an die Anforderungen der Praxis weiterhin angepasst und finalisiert werden kann.

Die Baumschule Bonk und Michael Malms (mm-it4you) sind ebenfalls Partner in einem neuen EIP-Projekt (FloraGPT), in dem die Stadt Hannover als assoziierter Partner involviert ist. Somit wird auch über das neue Projekt weiterhin zusammengearbeitet. Ein Austausch über den neuesten Technik-Zustand in der Baumschule und in Kommunen wird es zukünftig geben.

## **2.4 Ergebnisse des Innovationsprojektes**

### **2.4.1 Zielerreichung**

Im Rahmen des Projektes sind fast alle von Beginn an gesteckten Ziele erreicht worden. Die Kernzielsetzung des NuTree Projektes war die Erforschung, Entwicklung und der Praxistest einer sensorbasierten Dokumentation des Zustandes von Gehölzen entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Dieses Ziel ist im vollen Umfang erfüllt. Funk-Bodenfeuchte-Sensoren wurden von allen Teilnehmern der Wertschöpfungskette eingesetzt um die Wasserversorgung von Baumschulware und damit dessen Gesundheit sicherzustellen. In der Baumschule Bonk wurden Sensordaten für die Bewässerung herangezogen, auf dem Transportweg in die Stadt wurden Sensor- und Standort Daten (GNSS-Position) erfasst und in nahezu Echtzeit übertragen und am Zielstandort (Landeshauptstadt Hannover) wurden die Gehölze mit Hilfe der Bodenfeuchtedaten erfolgreich etabliert. Außerdem wurde die Weiterentwicklung des „Farmalyzers“ vorangetrieben. Dieser ist ursprünglich für den Einsatz auf Feldern in der Landwirtschaft entwickelt worden, wurde jedoch schrittweise immer weiter für das Monitoring von Bäumen angepasst (Climavi Web Dashboard). Hier können nun Baumquartiere oder Grünflächen auf einer Karte angezeigt und Sensorstandorte entsprechend eingetragen werden. Zu jedem gesteckten Sensor sind die Bodenfeuchte-Daten einsehbar und so können Rückschlüsse auf den Gesundheitszustand des Baumes bzw. des Areals gezogen werden. Die Bodenfeuchtwerte, die als Volumetrischer Wassergehalt angegeben werden, können durch die individuelle Einstellung von Grenzwerten besser interpretiert werden. Weiterführend konnte durch das Dashboard der Fa. Thorkas eine Quarterisübersicht geschaffen werden sowie die visuelle Darstellung eines Baumtransportes.

Das Climavi-Web Dashboard wurde von AGVOLUTION parallel auch als App-Anwendung für IOS und Android entwickelt und kann von allen Teilnehmern der Wertschöpfungskette ohne Medienbruch verwendet werden. Mit der Kombination aus weiterentwickelter Climavi-Technik oder Tensiometern und dem Climavi-Dashboard bzw. dem Thorkas Dashboard, steht allen Teilnehmern der Wertschöpfungskette eine intelligente Entscheidungshilfe zur Verfügung. Diese basiert auf Mikroklimasensoren und wurde zum Zweck der Baumbewässerung angepasst. Die individuelle Auswertbarkeit jedes Sensors (Ampel-System) und die voraussichtliche Entwicklung der Bodenfeuchte ermöglichen eine verbesserte Entscheidungsfindung, die auch durch automatische Alarm-Benachrichtigungen (E-Mail/SMS/Telefonanruf) und eine Defizitangabe ergänzt werden kann. Abschließend wurde ein Nutzerhandbuch für Baumschulen und Stadtverwaltungen (Grünflächenämter) erstellt in dem die Erfahrungen gebündelt und vorgeschlagene Methoden für den Sensoreinsatz dargestellt werden. Hierbei liegt der Fokus auf der Sichtweise des praktischen Anwenders.

#### **2.4.2 Abweichung zwischen Planung und Ergebnis**

Im Laufe der Projektbearbeitung haben sich auch einige Abweichungen zwischen Planung und dem Endergebnis aufgetan. Diese betreffen jeweils primär einen der drei Praxispartner AGVOLUTION, Baumschule Bonk oder die Landeshauptstadt Hannover und sind im Folgenden aufgelistet:

Das Ziel einer einheitlichen und fälschungssicheren Kennzeichnung der Bäume und Geoinformation zur räumlichen Ortung und Vertrauensbildung zwischen den Teilnehmern der Wertschöpfungskette ist nicht erreicht worden. Der Hauptgrund dafür ist, dass sich im Laufe des Projektes herausgestellt hat, dass dieses Ziel nicht die notwendige und ursprünglich angenommene Relevanz aufweist. Die Projekt-Ressourcen wurden deswegen primär bei den anderen Zielen gebündelt, um hier noch bessere Ergebnisse zu erzielen. Es hat sich gezeigt, dass die Bäume auch ohne eine entsprechende Kennzeichnung ausreichend gut durch Alter, Art oder Sorte identifizierbar sind. Weiterführend ist es in einer Kommune nicht praxisrelevant, dass ein bestimmter Straßenbaum auf einen bestimmten Standort in einer Baumschule zurückverfolgt werden kann. Weiterführend hätte dieses Ziel in der Baumschule Bonk den Einsatz eines Baumkatasters vorausgesetzt, dessen Entwicklung aber nicht als Beiprodukt im Projekt mit abgedeckt werden konnte.

In der Entwicklung des Dashboards und der „Klimaintelligenten“- Entscheidungshilfe konnten keine Fernerkundungsdaten herangezogen werden, da diese nicht in der geforderten Auflösung verfügbar gewesen sind.

Abweichend vom Plan und den Erwartungen wurden bevorzugt Funk-Tensiometer gegenüber dielektrischer Bodenfeuchte-Sensoren im Freigelände der Baumschule Bonk eingesetzt, die ca. zur Projekt-Halbzeit mit hinzugezogen wurden, bedingt durch die aufwendige Einbringung der dielektrischen Sensoren in starkem Wurzelwerk und der Interpretation der Messergebnisse. Das dielektrische Messverfahren bedingt eine Kalibrierung der relativen Bodenfeuchte-Daten, während die digitalen Tensiometer mit Mobilfunk-Funkköpfen nach dem Prinzip der Saugspannung funktionieren. Die Saugspannung ist dem Baumschulisten wohlbekannt und einfacher zu nutzen. Ihre Handhabungs-Nachteile (Wasser-Nachfüllen, Einfrieren im Winter) wurden hier in Kauf genommen.

Eine weitere Abweichung in Baumschule Bonk ist, die zusätzliche Nutzung einer im Lauf des Projektes von dem Startup THORKAS entwickelten Software zur Auswertung und Darstellung der übertragenen Bodenfeuchte-Daten in Form eines flexiblen Dashboards. Diese Notwendigkeit ergab sich, als die digitalen Tensiometer eingeführt wurden und eine vergleichende Darstellung mit weiteren Sensoren gefordert war.

Die Landeshauptstadt Hannover hat sich im Laufe des Projektes dazu entschieden die Sensoren, abweichend von der Planung, aus der städtischen Baumschule abzuziehen und ausschließlich im Innenstadtbereich einzusetzen. Grund dafür war ein Personalwechsel in der städtischen Baumschule sowie die Tatsache, dass sich im städtischen Bereich erheblich mehr praxisrelevante Informationen erheben lassen, die die Bewässerung auch beeinflussen. Weiterführend ist durch die Mitarbeiter-Kette und die kurzen Transportwege in der Stadt ohnehin eine gute Gehölzgesundheit sichergestellt.

## 2.4.3 Projektverlauf (evtl. Fotos)

### 2.4.3.1 Bonk Pflanzen Handels GmbH und mm-it4you-IT-Beratung

Im Folgenden ist der Projektverlauf aus Sicht des Endanwenders und mm-it4you mit Referenzen auf die Zwischenberichte zusammengefasst:

OG-Mitglied 1 + 4: Bonk Baumschulen & mm-it4you	Haupttätigkeiten
Jahr 2022	Vorbereitung des Versuchsfeldes Betreuung des Testgeländes
Jahr 2023	Installation weiterer Sensoren Aufbau und Betreuung des Sensor-Testfelds Aufbau der Sensoren-Teststation
Jahr 2024	1. Sensorüberwachung beim Baumtransport Einfluss des Einschlämmens bei „gebohrter“ Einbringung Fortsetzung der Transport-Überwachung, weitere Baumtransporte Zweiter Baumtransport in 2024
Jahr 2025	Anwendung bevorzugter Verwendungsmethoden

**Projektstart: 13. März 2022**

#### Vorbereitung des ersten Versuchsfeldes

Es wurden zwei Testgelände ausgesucht (siehe folgende Abbildung), die sich durch den Baumbestand und die Bodeneigenschaften unterscheiden. Es sollte ein möglichst breites Spektrum an unterschiedlichen Gehölzen (Typen/Größe/Alter) und Bodenbeschaffenheiten in Bezug auf die Bodenstruktur für die Sensoren-Standorte angeboten werden.



Abbildung: Orthomosaik des Testgeländes „Oeltjen1“

## Betreuung des Testgeländes:

Am 18.5.2022 fand das Projekt-Kickoff Meeting in der Baumschule statt. Einer der Aktionen an diesem Tag war die Einbringung eines ersten Sensors in einem Quartier („Oeltjen1“) der Baumschule. Der Sensor wurde positioniert und in der App auf iOS angezeigt. Nach einigen Tagen war auch diese Information über den Web-Auftritt verfügbar.

Die Einbringmethoden waren bei diesem ersten Sensoren-Modell noch sehr aufwendig und kraftraubend (Einschlagtechnik mit Einstanzttool, siehe Bilder).



*Abbildung: Der erste Sensor im Projekt NuTree wurde gesetzt*



*Abbildung: Stanzen der Sensorschächte*



*Abbildung: Fertig gestanzte Sensorschächte*

## **Jahr 2023:**

### **Installation weiterer Sensoren:**

Insgesamt waren im Jahr 2023 10 Sensoren in verschiedenen Quartieren der Baumschule eingebracht. Zusätzlich zu den 4 bereits im Mai 2022 installierten Sensoren wurden im August 2022 weitere 6 Sensoren mit der gleichen Technik eingebracht, sodass alle unterschiedlichen Pflanzentypen und Bodenarten erfasst werden konnten. Zur besseren Kalibrierung wurden wieder Bodenproben entnommen.

### **Installation von Tensiometern als Referenzmessinstrumente:**

Um die angezeigten Messwerte der Sensoren besser zu verstehen und mit Erfahrungswerten zu vergleichen, wurden jeweils 3 Tensiometer in den Tiefen -10 cm, -30 cm und -45 cm installiert. Die Messcharakteristik der Tensiometer (nur in der Nähe der Spitze) ist im Unterschied zu der volumen-orientierten Messmethode der Sensoren bei der Interpretation der Messergebnisse zu berücksichtigen.

### **48 Stunden Vergleich der Sensor- mit den Tensiometer-Messwerten:**

Im 2-Tages-Zyklus wurden alle 30 Tensiometer-Werte an den Sensor-Standorten abgelesen und tabellarisch festgehalten. Diese zeitraubende Methode erschien notwendig, um die von den Sensoren angezeigten Ergebnisse in ihrem zeitlichen Verlauf und in Abhängigkeit von Beregnungszyklen besser einordnen zu können.

### **Versuchsaufbau, um Messungen in Schichten unterhalb von 60 cm durchzuführen:**

Die ersten Erfahrungen mit mehrwöchigen Beobachtungen der angezeigten Bodenfeuchte-Werte auf unterschiedlichen Tiefen gaben Anlass, auch in Tiefen bis zu -120 cm Messungen durchführen zu können. Die Wurzelballen großer Gehölze reichen bis zu einer Tiefe von 100 cm und es ist entscheidend, nachprüfen zu können, ob genügend Feuchte in dieser Tiefe ankommt oder aber sogar durch Kapillarwirkung aus noch tieferen Ebenen aufsteigt.

Da die Sensoren aus Stabilitätsgründen nicht bis auf 120 cm Mess-Tiefe erweitert werden können, wurde ein Versuchsaufbau mit zwei gekoppelten Sensoren vorbereitet, bei dem einer in einer Tiefe von 60 cm eingebracht wird (siehe Bilder).

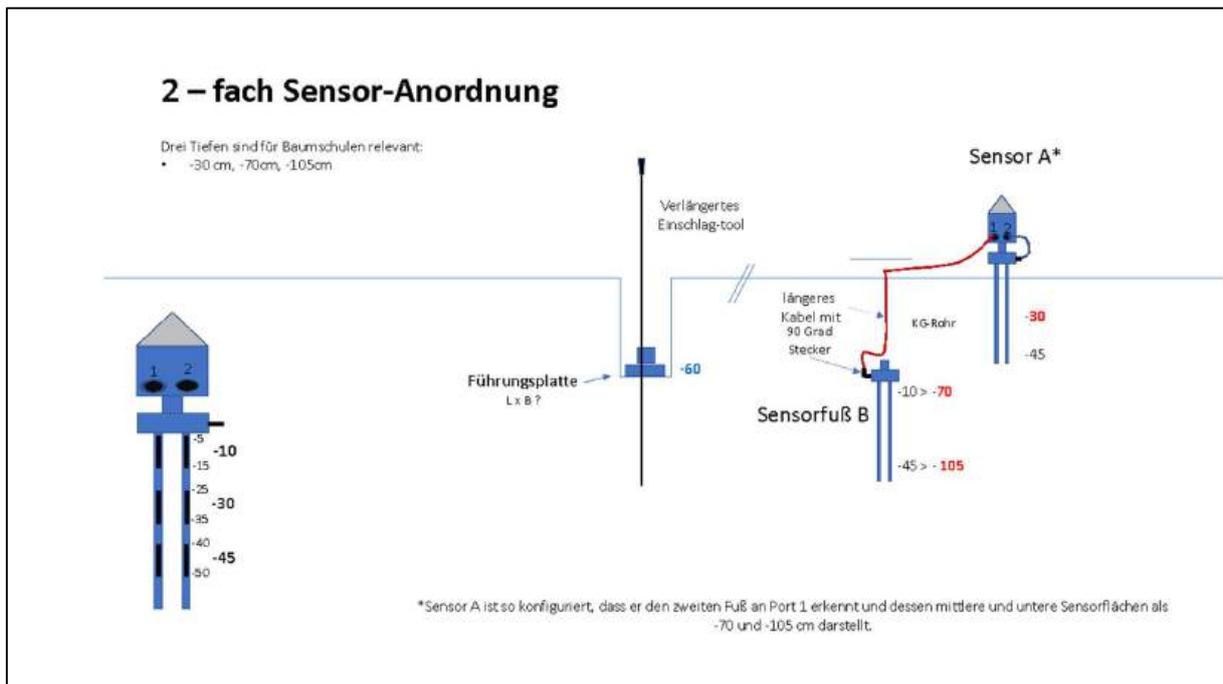


Abbildung: Versuchsaufbau mit zwei gekoppelten

Die Einbringung des tieferliegenden Sensors erwies sich als sehr mühsam wegen der zunehmenden Boden-Verdichtung in Tiefen unterhalb 50 cm. Die Extraktion des Schlageisens konnte nur mit der Hydraulik eines Schleppers erfolgen, was für die Praxis viel zu aufwendig erschien. Dies führte zu einer Planung einer schlankeren Bauart der nächsten Sensor-Generation, bei der dieser Arbeitsgang erheblich vereinfacht werden sollte.



Abbildung: Bohren des Einbringungslochs



Abbildung: Ablassen der Einschlagführung



Abbildung: Die Führungslöcher für den Sensor- Fuß sind eingeschlagen



Abbildung: Die Einschlageisen müssen wieder herausgezogen werden

### Aufbau und Betreuung des Sensoren-Testfelds

Die Sensoren, die in der ersten Versuchsphase an verschiedenen Gehölzen platziert waren und während einer Bewässerungs-Periode beobachtet wurden, sind im Laufe des Jahres 2023 in einem neuen „Versuchsaufbau“ installiert worden. Um das Vertrauen in die Sensortechnik zu stärken, wurde auf dem Gelände der Baumschule Bonk ein Versuchsfeld (4x4 m) aufgebaut. Auf diesem wurden neun CLIMAVI-Sensoren zusammen mit Tensiometern eingesetzt, einige Climavis stammten bereits aus der 2. Generation.



Abbildungen: Installation des Versuchsfeldes auf dem Baumschulgelände in Bad Zwischenahn



Abbildung: fertiges Versuchsfeld auf dem Baumschulgelände in Bad Zwischenahn

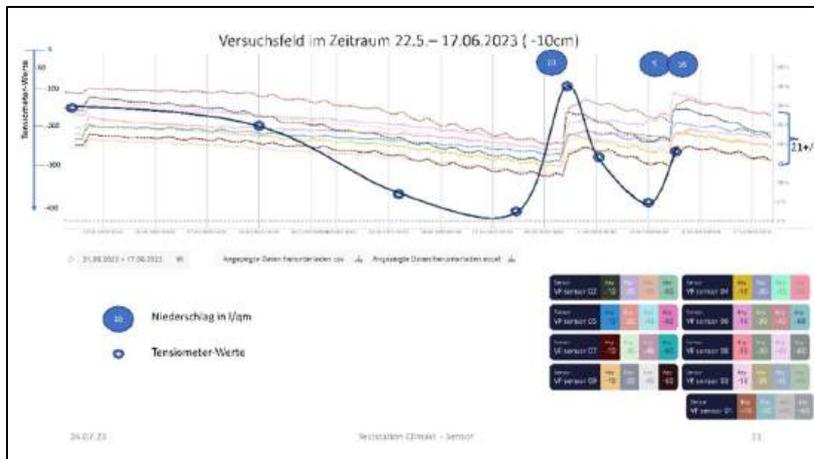


Abbildung: 9 Sensoren im Vergleich zu manuell abgelesenen Tensiometern

## Aufbau der Sensoren-Teststation

Um den CLIMAVI Sensor von AGVOLUTION in verschiedenen Extrem-Situationen und im Vergleich mit Tensiometern testen zu können, wurde von mm-it4you eine Sensor-Teststation gebaut (siehe Abbildungen). In der Teststation wurden verschiedenste Szenarien durchgeführt, um das Vertrauen in die Technik zu stärken und die Ergebnisverläufe in der FARMALYZER App besser zu verstehen sowie diese im Austausch mit AGVOLUTION zu diskutieren und zu interpretieren. Die Messstäbe des Sensorfußes weisen drei kapazitive Sensoren auf, die in den Tiefen von -10cm, 0 cm und -45 cm u.a. zur Messung der volumetrischen Bodenfeuchte eingesetzt werden.

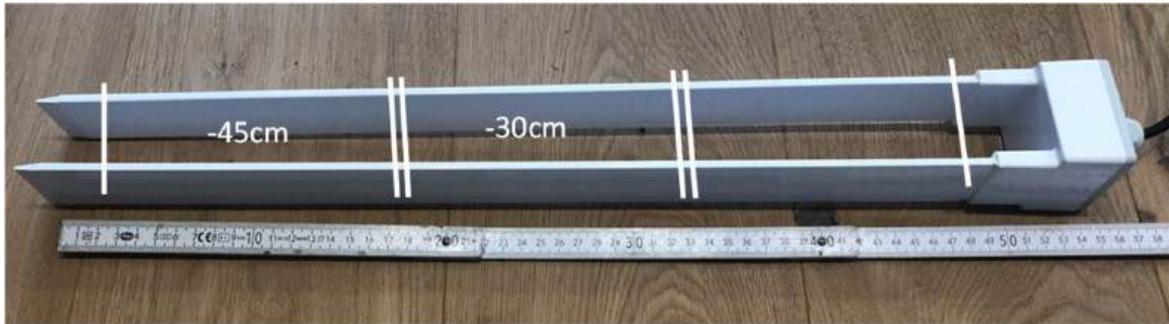


Abbildung: CLIMAVI-SOIL Sensorfuß mit 3 verschiedenen Messebenen

Der Sensorfuß wurde an einem Holzsteg aufgehängt (siehe Abbildungen) und war über das Datenkabel mit dem CLIMAVI Sensorkopf verbunden. Die Station wurde auf Rollen befestigt, um sie schnell je nach Witterung bewegen zu können (z.B. von vollem Sonnenschein in den Schatten oder unter ein Dach).



Abbildungen: Aufbau Teststation ohne- und mit Mess-Ebenen

Auf den drei Mess-Ebenen gab es Ablageflächen, um Behälter mit unterschiedlichen Medien (z.B. Wasser, Sand, Boden, Luft) bei unterschiedlichen Temperaturen und bei unterschiedlicher Feuchte) unterzubringen.

Die beiden oberen Ablagebretter haben in der Mitte einen Ausschnitt um den Sensorfuß durchführen zu lassen. Der Boden der entsprechenden Behälter wurde ebenfalls gelocht.



Abbildung: Beispiel einer Messreihe in FARMALYZER App – Wasser, Luft, Sand

## Jahr 2024

In der zweiten Jahreshälfte des Jahres 2024 lag der Fokus auf einem instrumentierten Baum-Transport über ca. 700 km innerhalb Deutschlands mit einer verbesserten Hard- und Software der Sensor-Transportbox.

Eine weitere Erprobung von stationären Climavi-Sensoren an anderen Standorten in der Baumschule mussten in das Frühjahr 2025 verschoben werden, da mehrere Sensor-Köpfe wegen eingedrungener Feuchtigkeit ausgefallen waren und überholt werden. Somit wurde auf dem Freigelände der Einsatz der Tensiometer-basierten Messungen über das Thorkas Dashboard fortgesetzt und stellt sich als zuverlässig und effizient heraus. Es konnten mehrere Situationen von Extrem-Situationen frühzeitig erkannt werden, sowohl als „zu trockene“ wie auch als „zu nasse“ Feuchtwerte.

## Sensorüberwachung beim Baumtransport

Ein wichtiges Element des Projektantrages war die Sensorüberwachung des Transports von Bäumen. Bäume können bei mehrtägigen Transporten innerhalb Europas bis zu 2 Wochen unterwegs sein, gerade im Sommer herrschen unter den Planen von LKW's erhebliche Temperaturen, die dem Wasserhaushalt der (Baum)-Fracht stark zusetzen können.

Es sollten neben den GPS-Koordinaten lückenlos sowohl die Außentemperatur und Luftfeuchte im Frachtraum als auch die Bodenfeuchte im Wurzelwerk des Baumes gemessen und per Funk einmal pro Stunde ausgesandt und abgespeichert werden. Zur einfachen Kontrolle für die Nutzer ist das Trackingsystem mit einer Ampelfunktion ausgestattet, die über die App einsehbar ist: Die Farben Rot, Gelb und Grün zeigen an, ob Trockenstress besteht oder nicht. Die Programmierung der Trackingansicht stammt vom Start-up THORKAS, das auch im Projekt NuTree bei der Unterstützung der Sensoren mitgearbeitet hat (siehe Abbildung).

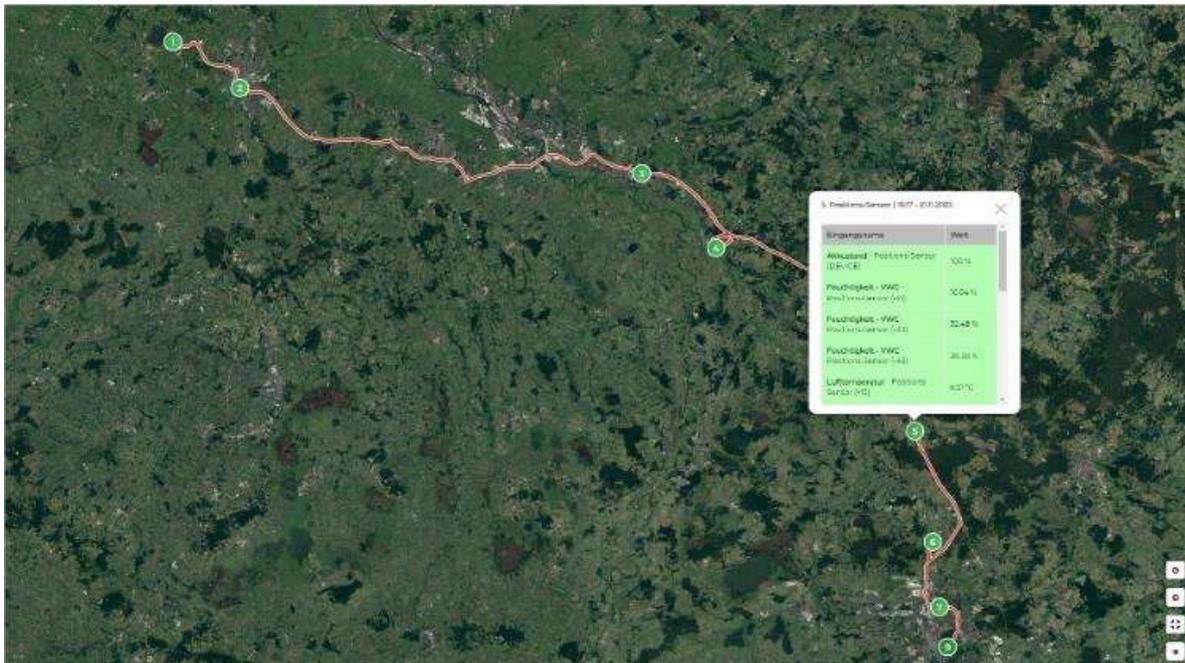


Abbildung: Die Transportroute mit den erfassten Baum- und Transportraum-Werten

Als erster Versuch wurde ein Transport von der Baumschule Bonk zur Landeshauptstadt Hannover unternommen.

## **Einfluss des Einschlämmens bei „gebohrter“ Einbringung**

Die bis zu diesem Zeitpunkt gemachten Erfahrungen zeigten, dass die Einbringung der Climavi-Sensorfüße von entscheidender Wichtigkeit ist. Statt der Stanz-Technik wurde zu einer „gebohrten“ Einbringung zurückgekehrt, diese wurde aber mit einem Einschlämmen der Sensorfüße ergänzt, um maximale Homogenität und einen guten Kontakt zwischen Sensorfüßen und dem umliegenden Erdreich sicherzustellen.



*Abbildung: Bohren (80mm) des Loches*



*Abbildung: Die ausgehobene Erde wird zum Einschlämmen verwendet*



*Abbildung: Die Erde wird gesiebt*



*Abbildung: Die Schlämme ist eine homogene Masse*



Abbildung: Der eingeschlammte Sensorfuß



Abbildung: Ein Abstandshalter am Fußende sorgt für einen parallelen Verlauf der beiden Messfüße

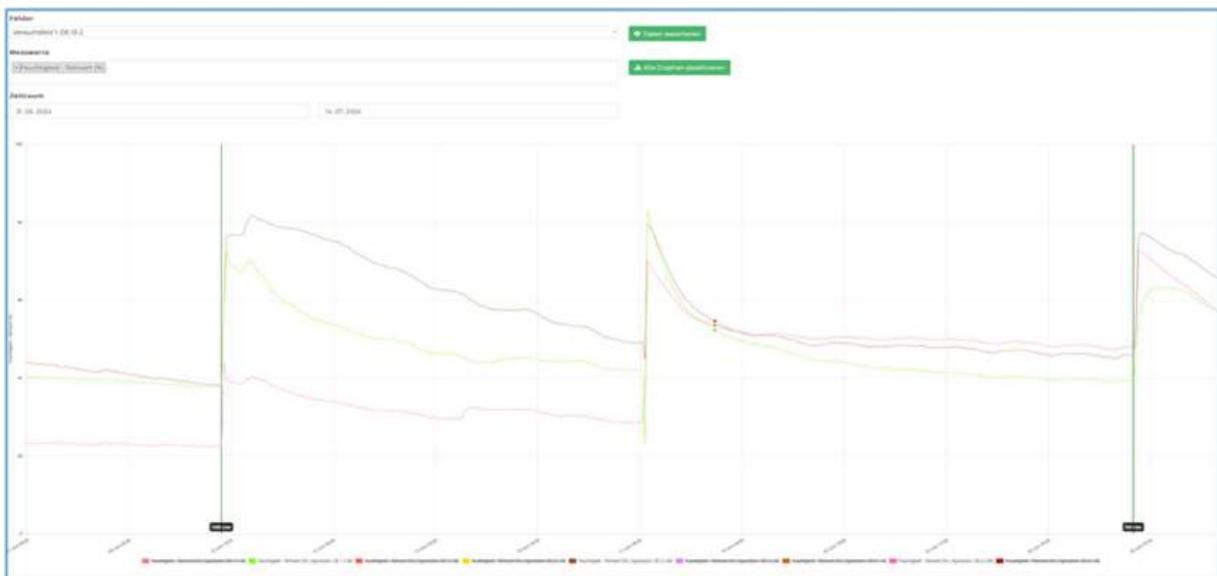


Abbildung: Verlauf der gemessenen Rohwerte der drei Climavi Sensoren bei 30 cm Tiefe

Die Abbildung zeigt den Verlauf der gemessenen Rohwerte der drei Climavi Sensoren bei 30 cm Tiefe. Vor dem 17.6.24 (Sprung der Messwerte ca. in der Mitte des Zeitverlaufs) sind deutliche Unterschiede in den angezeigten Verläufen zu sehen, danach sind die drei Linien viel näher aneinander. Dieser zuverlässigere Verlauf ist Voraussetzung für eine glaubhafte Gießempfehlung.

## Fortsetzung der Transport-Überwachung



Abbildung: Verbesserte Transport-Sensor-Infrastruktur

Die Climavi-Elektronik war bei diesem Prototypen in einer Kunststoff-Box untergebracht, die an den Stamm gebunden wurde. Außen angebracht ist eine Antenne (schwarzer Stab) und der Sensorfuß, der im Ballen des (relativ kleinen) Baumes steckte. Die folgende Abbildung zeigt die Transportstrecke mit den Mess-Intervallen in der THORKAS-App.

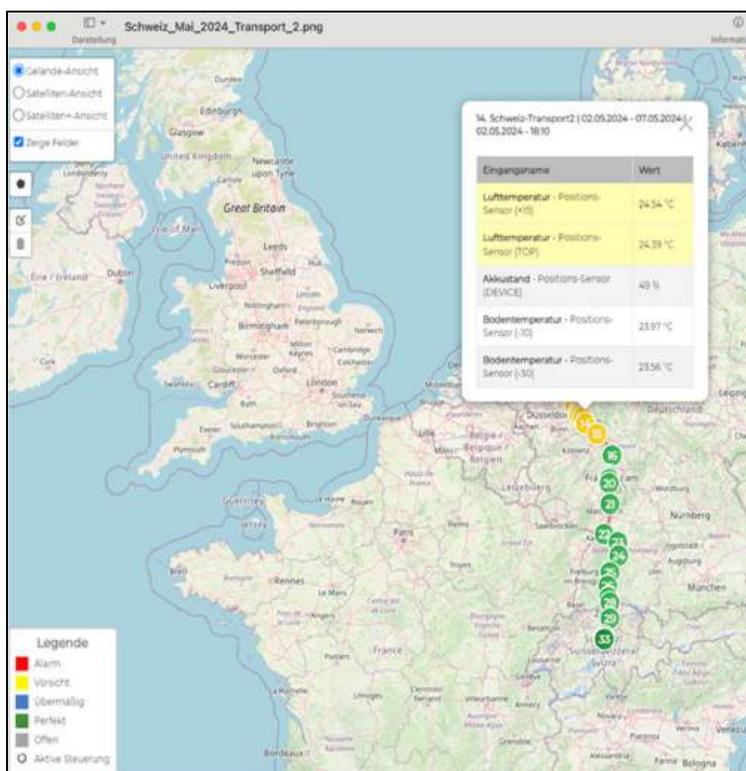


Abbildung: Transportstrecke mit den Mess-Intervallen in der THORKAS-App

## Zweiter Baumtransport im Jahr 2024:

Am 19. und 20. November 2024 fand ein instrumentierter Transport einer 16 m langen Kiefer über einen Zeitraum von ca. 24 Stunden von Bad Zwischenahn nach Coburg statt.

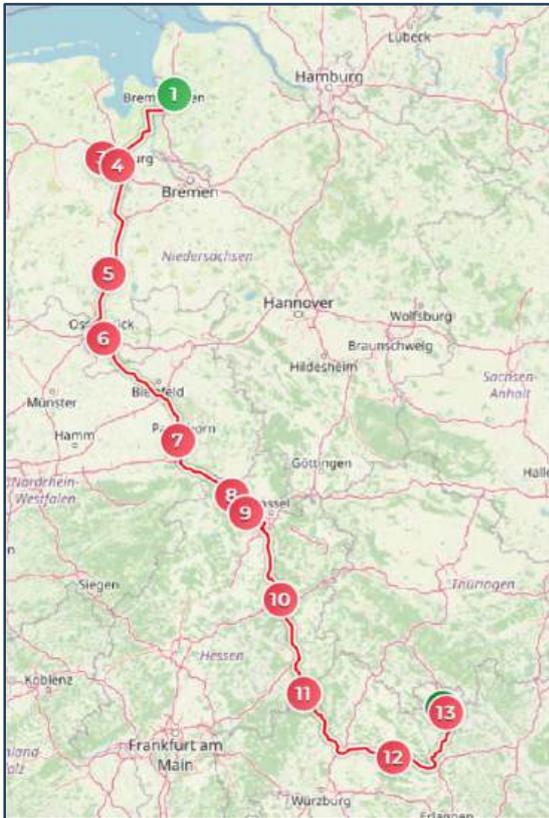


Abbildung: Tracking des Transportes von Bad Zwischenahn nach Coburg

Mit den Erfahrungen früherer Transporte sollten folgende für den Endanwender interessante Parameter aufgezeichnet werden:

- **Lufttemperatur im Laderaum unter der LKW-Plane:** Dieser Parameter gibt Aufschluss über die Temperatur der den Baum direkt umgebenden Luft. Dies ist neben der Luftfeuchtigkeit im Laderaum die wichtigste Messgröße, die im Abstand von 10 min gemessen werden muss.
- **Luftfeuchte im Laderaum ist der zweite wichtige Parameter, der ebenso alle 10 min gemessen wird.**
- **Feuchte im Wurzelballen in 10, 30 cm und 45 cm Tiefe (VMC):** Da die Wurzelballen vor dem Start des Transportes nochmal gut befeuchtet wurden, ist dieser Parameter erst bei Transporten über längere Strecken relevant, obwohl er natürlich die für die Baumgesundheit wichtigste Größe ist.

- **Akkustand des Sensors:** Da in relativ kurzen Intervallen (z.B. 10 min) gemessen werden sollte und mindestens alle 30 min die erfassten Daten gesendet werden, ist der Akkustand zu beobachten. Bisher war der Energieverbrauch bei bis zu 24 Stunden Transporten im Rahmen der Erwartungen. Bei längeren Transporten müsste zur Sicherheit ein externer Zweit-Akku an die Messbox angeschlossen werden.
- **Bodentemperatur im Ballen:** Die Temperatur im Ballen auf jeder der drei Messtiefen ist eine zusätzliche Informationsquelle, die zur Konsistenzprüfung der anderen Messwerte herangezogen werden kann.
- **GPS tracking.** Die Route des Transports wird über den GPS-Sender in der Messbox getrackt und mit einem Messeintrag im Sendeintervall (hier alle 30 min) nachvollzogen.



*Abbildung: Die ausgehobene Kiefer mit „eingepacktem“ Ballen*



*Abbildung: Eingetriebenes Sensorfuß-Stanz-tool*



*Abbildung: Eingeführter Sensorfuß*



*Abbildung: Die Transportbox mit angeschlossenen Sensoren*



*Abbildung: Instrumentierter Baum vor dem Verladen auf den Transporter*



*Abbildung: Der verladene Baum*

## Jahr 2025

Im Frühjahr 2025 stellte sich eine bevorzugte Verwendungsmethode der im Projekt eingesetzten Technologie heraus:

1. Für die Baumschule mit teils großen Gehölzen und mächtigem Wurzelwerk ist die Kombination von digitalen Tensiometern als Sensoren und dem Thorkas Dashboard ideal. Die während des Projektes entwickelte Dashboard-Software erlaubt eine präzise, intuitive Darstellung der von den Sensoren übermittelten Messergebnisse. Es können sowohl alle stationären Tensiometer in der Baumschule als auch die mobilen Daten bei einem Transport verarbeitet und dargestellt werden.
2. Für die Transport-Überwachung ist die von AGVOLUTION entwickelte, auf der Climavi-Elektronik und Software basierenden „Transport-Box“ eine gute Grundlage für ein effektives Monitoring. Bei einem Transport in die Schweiz am 20.3.25 bis 23.3.25 wurde sie noch einmal getestet: Alle 5 min erfolgte eine Meldung der Messergebnisse, insgesamt 289 mal, siehe Abbildung unten.



Abbildung: 289 Messergebnis-Übertragungen auf dem Transport

Die nächste Abbildung zeigt das THORKAS Dashboard mit der Graphik der gemessenen Parameter. Am 24.3.25 und 10:00 Uhr wurde nach der Ankunft des Transports der Sensorfuß aus dem Wurzelwerk herausgezogen, das sieht man an dem abrupten Abfall der Feuchtigkeitswerte (-10 cm, -30 cm und -45 cm). Die Akku-Leistung fällt wegen der vielen Übertragungen nach Ankunft bis auf 30% herab, die Box sendet trotzdem weiter. Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur im Laderaum haben der Tageszeit entsprechende Verläufe. Alles in allem konnte ein sehr erfolgreicher, sensorgestützter Transport durchgeführt werden.

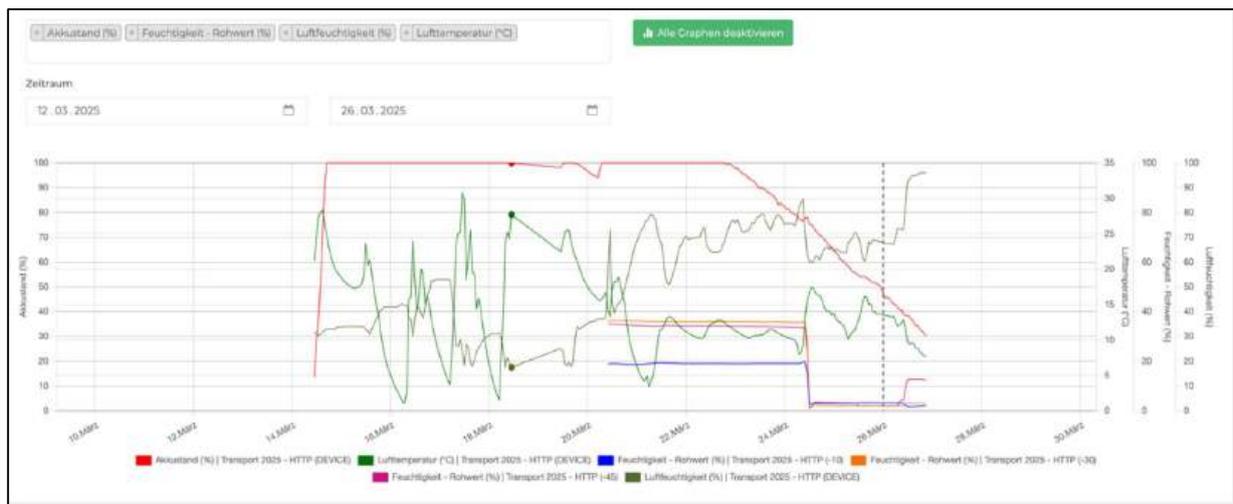


Abbildung: Der Verlauf der gemessenen Parameter während des Transports (20.3 – 24.3.25)

### 2.4.3.2 Landeshauptstadt Hannover Bereich Umwelt und Stadtgrün

Das Projekt hat für die Landeshauptstadt Hannover leicht verzögert mit der Besetzung der Projektstelle zum 01.01.2023 effektiv seinen Startschuss bekommen. Im Zeitraum davor wurde Stellvertretend an den Meetings teilgenommen und mitdiskutiert. Wie z.B. am Kickoff Meeting vom 18.05.2022.

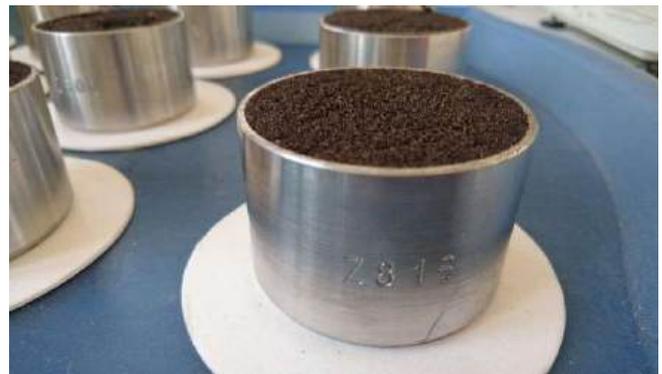
OG-Mitglied: Landeshauptstadt Hannover	Haupttätigkeiten
Jahr 2022	Interne Projektvorbereitung
Jahr 2023	Stellenbesetzung der LHH
	Sensorinstallation Stadt und Baumschule
	Plausibilitätsprüfung von Sensordaten
	Installation von 5. Climavi Generation
	Baumtransport nach Hannover
Jahr 2024	Datenauswertung
	Sensor-Instrumentierung Schmiedestraße
	Neue Einbaumethodik: Einschlämmen
Jahr 2025	Bewässerungssteuerung über Sensoren
	Finale Auswertung der Sensorergebnisse
	Finale Auswertung der Bewäss. Steuerung

Als erstes wurde ein Sensorplatzierungsplan für Stadt entworfen, der Straßenbäume aufwies, die die notwendigen Anforderungen erfüllen. An diesem Standort (Hamburger Allee) und in der städtischen Baumschule wurden dann am 01.03.2023 in Zusammenarbeit mit AGVOLUTION die ersten 4 Sensoren verbaut. Bei dem Modell handelte es sich um den Climavi-Soil in Kombination mit der Climavi-City Funkeinheit. Diese Funkeinheit in das Gehäuse einer robusten Bodenlampe eingebaut um ebenerdig versenkt werden zu können. Je Standort wurden zwei Sensoren an den Kulturen Acer campestre 'Elsrijk' (Stadt, 2x), Quercus petraea (Baumschule) und Ulmus-hybride 'New Horizon' (Baumschule) eingebaut (siehe Bilder).



*Abbildungen: CLIMAVI-City Sensor-Einbau mit Einbringwerkzeug*

Ferner wurden die Bodenfeuchte-Daten im weiteren Verlauf des Frühjahres am 08.05.2023 mit Hilfe von Stechzylinder-Proben auf ihre Plausibilität überprüft. Die Proben wurden am Baumschulstandort entnommen, luftdicht verpackt und in einem Trockenschrank bei 105 °C für 24 h getrocknet (siehe Bilder).



*Abbildungen: Boden Probennahme mit Stechzylinder*

Der Vergleich hat ergeben, dass die Sensorwerte mitunter stark von den gezogenen Proben in ihrem absoluten Wassergehalt abweichen. Dies ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass die tatsächliche Bodenfeuchte an dem Standort in den unterschiedlichen Bodenhorizonten stark geschwankt hat und nicht einheitlich war. Außerdem wies der verwendete Climavi-Soil einige strukturelle Schwächen auf, die mit einem neuen Sensormodell behoben werden sollten.

Am 14.06.2023 wurden in Zusammenarbeit mit AGVOLUTION die Sensor-Füße der 4. Generation durch die der 5. Generation ausgetauscht. Das neue Sensormodell hat deutlich schmalere Sensorgabeln, die nun nicht länger mit Luft gefüllt sind, sondern mit einem Kunstharz vergossen wurden. Auf diese Weise sind die Messergebnisse stabiler (auch bei einer erneuten Platzierung) und genauer.



*Abbildungen: CLIMAVI-City Sensor-Einbau mit Einbringwerkzeug*

Die Auswertung der Bodenfeuchtedaten hat das gesamte Jahr über kontinuierlich stattgefunden, sofern die Daten verfügbar waren. Einige der Daten mussten verworfen werden, da das Sensormodell im laufenden Betrieb getauscht wurde und die alten Daten damit nicht mehr verwendet werden konnten (siehe Abbildungen). Hier ist die volumetrische Bodenfeuchte/ Volumetric Water Content (VWC) des jeweiligen Standortes über den Zeitraum von August bis Mitte Januar aufgetragen. Im Stadtgebiet sind die Wässerungsgänge (200 L/ Baum) durch rote Pfeile gekennzeichnet. Es ist zu erkennen, dass die Bodenfeuchte am Standort der Stadt deutlich häufiger geschwankt hat, als am Standort der Baumschule. Dies deckt sich mit den Erwartungen, da das Bodenvolumen im Stadtgebiet deutlich kleiner und der Grünbewuchs deutlich intensiver ausgeprägt ist, als in der Baumschule. Darüber hinaus herrschen in der Stadt höhere Durchschnittstemperaturen, als im Umland (Hitzeinsel). Dies führt dazu, dass der Boden in der Stadt schneller und stärker austrocknet.

Während in der Stadt in der zweiten Jahreshälfte 6 Wässerungsgänge durchgeführt wurden, wurde in der Baumschule gar nicht gewässert. Die Schwankungen im VWC sind auf die natürlichen Wetterereignisse zurückzuführen. Diese insgesamt 3 ausgeprägteren Niederschlagsereignisse sind sowohl in der Stadt als auch in der Baumschule durch starke Reaktionen des VWC in allen Messtiefen gleichzeitig zu

erkennen. Die Wässerungsgänge hatten hingegen oft nur einen sehr kleinen Effekt auf die Bodenfeuchtigkeit, die den Sensor umgibt und auch meist nur auf die oberen Horizonte.

Dieser sehr kleine Effekt auf die Sensordaten legt nahe, dass die Sensoren mit einer Entfernung von 70 cm zum Stamm zu weit vom Wurzelballen entfernt eingebaut wurden, um das gegebene Wasser detektieren zu können. Zur Überprüfung sind Suchschachtungen mit einem Spaten durchgeführt worden, die genau dies belegt haben. Das Wasser ist zwiebelförmig um den Wurzelballen versickert und hat eine klare „Bruchkante“ zum trockenen Boden der Umgebung aufgezeigt. Aus diesem Grund wurden die Sensoren im Jahr 2024 näher am Wurzelballen und an einem anderen Standort neu installiert.



Abbildung: AGVOLUTION Dashboard: Standort Hannover, Hamburger Allee. Volumetrische Bodenfeuchte von August bis Januar. Rote Pfeile kennzeichnen die Wassergaben von 200 L/ Baum



Abbildung: AGVOLUTION Dashboard: Standort Hannover, städtische Baumschule.  
Volumetrische Bodenfeuchte von August bis Januar.

Im Laufe der Kulturdauer in 2023 tauchte ein Problem bezüglich der Energieversorgung der Sensoren auf. Einige der Climavi-City-Funkeinheiten verloren kontinuierlich an Akkuleistung, bis diese zu gering zum Senden war. Grund dafür war, dass die CLIMAVI Einheit oberirdisch mit Grünbewuchs verdeckt wurde oder von Mähgut bedeckt war (siehe Abbildung).

Die Einstrahlungsintensität reichte offenbar nicht mehr aus, um den Akku zu laden. Da eine wiederkehrende Beaufsichtigung und Reinigung der CLIMAVIS im „normalen“ Betrieb einer Kommune nicht leistbar ist, wurde im Projekt an einer verbesserten Energieversorgung der Sensoren gearbeitet.

Akkuleistung der neuen und in 2024 verbauten Funkeinheiten wurde um ein Vielfaches gesteigert, damit auch eine ganze Messperiode überbrückt werden kann, sollte das Solarmodul verdeckt werden.



*Abbildung: CLIMAVI-City Sender ist mit Grünschnitt bedeckt/ zugewachsen.*

Am 29.11.2023 wurde der von der Baumschule Bonk bereitgestellte und mit einem Sensor ausgestatte Baum in Hannover eingepflanzt (siehe Abbildungen). Damit wurde der erste Sensor und GPS-überwachte Baumtransport im Projekt erfolgreich abgeschlossen. Der „Transport-Baum“ war bei der Ankunft einige Tage zuvor, aber auch bei der Pflanzung selbst von sehr guter Qualität und Vitalität. Der mitgelieferte Sensor wurde direkt bei der Pflanzung eingebaut und mit einer CLIMAVI City Sendeeinheit verbunden.



Abbildungen: Baumpflanzung nach Baumtransport

Am 31.05.2024 wurden die Sensoren in Hannover gänzlich um-platziert und Aufgestockt. Der Fokus hat sich hier nun von der Baumschule und einer Verkehrsinsel, welche beide ein großes Bodenvolumen aufweisen, hin in den Innenstadtbereich verschoben. Sprich auf den typischen Straßenbaum, welcher in der Bewässerung die größte Herausforderung darstellt. Die Sensoren wurden daher von den alten Standorten „Hamburger Allee“ und „Städtische Baumschule“ auf den neuen Standort „Schmiedestraße“um-verlagert.

Dabei wurden hier insgesamt 5 Climavi Sensoren mit Climavi-City-Sendeeinheiten verbaut (siehe Abbildungen). Dieser Standort befindet sich im Kern der Stadt, unweit des Hauptbahnhofes und dessen Sanierung ist zu Beginn des Jahres fertiggestellt worden. Die Baumgruben sind nach Vorgaben der FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.) angelegt worden, welche Handlungsrichtlinien für Kommunen z.B. bei Baumpflanzungen herausgibt. Das Volumen der Baumgruben beträgt  $12 \text{ m}^3$ , die vollständig mit einem einheitlichen Baumsubstrat verfüllt wurden. Als Baumart wurde die Zerreiche (*Quercus Cerris*) ausgewählt, wovon insgesamt 16 Stück gepflanzt worden sind. Wie in den Abbildungen zu sehen ist, ist der gesamte Straßenbereich hochgradig versiegelt, sodass nur sehr wenig Regenwasser versickern kann. Zusammen mit dem städtischen Hitzeinseleffekt, macht dies die Schmiedestraße zum idealen Test- und Vergleichsstandort unter urbanen „Extrembedingungen“.

Eine grundlegende Veränderung in Bezug auf die Installation liegt im Abstand des Sensors zum Baum. Die Sensoren wurden so nah wie möglich an dem Wurzelballen der Jungbäume herangeführt, um den relevanten Bereich für die Bewässerung erfassen zu können. Dieser liegt im unteren Drittel des Ballens und damit auf ca. 30 cm Tiefe. Aufgrund des Gießrings war es hier nicht möglich mit der Führungsschiene des Einbringtools zu arbeiten (siehe Abbildungen). Daher musste die Installationsmethode angepasst werden und das Einbringen des Vorstechwerkzeuges erfolgte frei Hand, was jedoch trotzdem gut funktioniert hat.



Abbildungen: NuTree Sensorinstallation am Standort Schmiedestraße. 1: Standortüberblick, 2: Aushub und Ausrichtung der Sensorgrube, 3: Einsetzen des Climavi-Sensor-Fußes, 4: Fertig installierter Climavi-Sensorfuß und /-City-Kopf

Bei der Interpretation der Climavi-Messwerte im gesamten Verlauf des bisherigen Projektes ist aufgefallen, dass diese in absoluten Werten sehr weit voneinander abweichen - sowohl in Baumschule Bonk, als auch in der Landeshauptstadt Hannover. In vielen gemeinsamen Diskussionen der AG wurde darüber gesprochen. AGVOLUTION weist darauf hin, dass es hauptsächlich um die relativen Verläufe der Messwerte geht. Im Climavi-Dashboard ist es möglich die Bedeutung der schwankenden Messwerte individuell einzustellen, indem Regler für die Trockenheitsbereiche verschoben werden können (siehe Abbildung).



Abbildung: Einstellung der Bodenfeuchte-Grenzwerte im Climavi-Dashboard

Um die Messwerte besser einordnen zu können und die Grenzwerte faktenbasierter zu bestimmen, hat sich die Landeshauptstadt Hannover unabhängig vom NuTree-Projekt dazu entschieden eigenständig weitere Sensorfabrikate einzukaufen. Diese wurden ebenfalls in der Schmiedestraße auf vergleichbaren Tiefen installiert und liefern Referenzwerte (siehe Abbildungen). Auf diese Weise wurden insgesamt 4 alternative Sensormodelle in den Boden gebracht.

Trotz der von AGVOLUTION empfohlenen relativen Bewertung der Bodenfeuchte-Daten, mit der die Sensordaten für die Bewässerung einzelner Bäume verwendet werden können, wurden die Sensoren in Hannover am 18.07.2024 neu verbaut. Ziel des neuen Einbaus war es, die Bodenfeuchtedaten aller Sensoren mit einer alternativen Einbaumethode vergleichbarer zu gestalten.



*Abbildung: Installation eines Tensiomark-Sensors und einer Funkbox der Fa. EcoTech (Projektextern) in der Schmiedestraße.*

Die ursprüngliche Herangehensweise war, dass die Sensoren und deren Messwert-Verläufe individuell gesehen werden müssen. Dies funktioniert bei einzelnen Sensoren, allerdings lassen sich die Climavi-Sensoren so nicht mit den anderen Sensormodellen und anderen Climavi-Sensoren vergleichen, die parallel verbaut worden sind.

Die individuellen Verläufe des VWC (Siehe Abbildung (vor dem 18.07.2024)) lassen sich durch die Einbaumethode der einzelnen Sensoren erklären. Die Installation im Mai ist mit der „Einschlagmethode“ durchgeführt worden, bei der eine Rammhülse in Form eines Climavi-Sensors in den Boden getrieben und wieder herausgezogen wird. Anschließend wird der Climavi-Sensor vorsichtig in das eingeschlagene Loch eingesetzt. Diese Methode hat den Vorteil, dass das natürliche Bodengefüge trotz des Sensor-Einbaus erhalten bleibt. Allerdings hat sie auch einige Nachteile.

Zunächst erzeugt die Rammhülse einen Kanal im Boden, der etwas breiter ist, als der Sensor selbst. Das ist notwendig, da der Sensor sonst nicht eingesetzt werden kann. Dadurch entsteht jedoch ein schmaler Hohlraum zwischen dem Boden und der Sensorfläche, welcher sich mal stärker und mal weniger stark mit nachrieselndem Boden füllt. Weiterführend ist der Einbau in weniger stark verdichtetem Baumsubstrat schwierig, da die schmale Säule aus Substrat, welche zwischen den Sensorflächen besteht, sehr instabil ist, wenn man die Rammhülse entnimmt.

Deswegen kann es vorkommen, dass die Säule beim Entnehmen zumindest teilweise kollabiert. So kann es einerseits zu einer ungleichmäßigen Dichte innerhalb der Säule, und andererseits zu kleineren Hohlräumen in Messmedium kommen.



Abbildung: Bodenfeuchtigkeit (VWC) auf Höhe des Wurzelballens (-10 cm) vom 03.07.2024 bis zum 27.07.2024. Rot = Schmiedestraße\_Sensor\_1, Grün = Schmiedestraße\_Sensor\_2, Blau = Schmiedestraße\_Sensor\_3, Orange = Schmiedestraße\_Sensor\_4, (Thorkas Dashboard)

Aus diesen Gründen wurden die Climavi-Sensoren eingeschlämmt, so wie auch die anderen Sensoren am Standort (siehe Fotos 17-20). Bei dieser Methode wird zunächst ein Loch an der Stelle gebohrt an der der Sensor stecken soll, wobei er auf der Höhe von -20 cm eingesetzt wird, was seine tatsächlichen Messtiefen nach unten verschiebt. Hier wird der Climavi-Sensor dann zusammen mit einem Abstandshalter locker eingesetzt. Der Abstandshalter stellt sicher, dass die Messflächen immer den gleichen Abstand haben und so die Messwerte auf allen Höhen in einer gleichen Menge an Substrat gemessen werden können. Anschließend wird gesiebtes Substrat (1 cm x 1 cm) mit Wasser zu einer flüssigen Schlämme vermischt, zähe Fließeigenschaften aufweist. Durch das Sieben wird sichergestellt, dass sich in dem Messmedium keine großen Fremdkörper befinden, welche die Messung einseitig zu stark beeinflussen könnten. Die Schlämme wird dann über eine geformte Rinne in das gebohrte Loch mit dem Sensor gefüllt. Dieser wird währenddessen durch händisches wackeln und vibrieren bewegt, um Lufteinschlüsse herauszutreiben.

Durch diese neue Einschlamm-Methode konnte erreicht werden, dass sich die Messdaten aller Climavi-Bodenfeuchte-Sensoren stark angeglichen haben. Alle Messtiefen haben nach einiger Zeit die zu erwartende Reihenfolge angezeigt, da sich von oben nach unten ein Feuchtigkeitsgradient abgezeichnet hat.



*Abbildung, 1: Gebohrtes Loch für den Sensor, 2: Jan Pinski in der Baumscheibe mit Climavi-Sensor und Abstandshalter, 3: Einfüllen der gemischten Schlämme aus gesiebttem Substrat, 4: Fertig eingeschlammter Sensor.*

Im Laufe der Bewässerungssaison 2024 wurden die Sensordaten am Standort Schmiedestraße regelmäßig überwacht. Wobei die Messperiode in zwei Abschnitte unterteilt werden muss. Einmal vor dem Einschlämmen und danach. Vor dem Einschlämmen wurde hier exemplarisch ein einziger Sensor herangezogen, da sich alle für eine Darstellung zu stark voneinander unterschieden haben. Nach dem Einschlämmen wurden alle 5 Climavi Sensoren auf der Ballen-Höhe dargestellt (siehe Abbildungen). Hierbei wurden sowohl die Climavi-Sensoren von AGVOLUTION, als auch die der anderen Hersteller miteinander verglichen, um die Plausibilität zu überprüfen.

Die Bewässerung in Hannover läuft grundsätzlich in einem zweiwöchentlichen Rhythmus. Sollte die Witterung es erfordern, kann mithilfe der Sensordaten von diesem Rhythmus abgewichen werden. Bei langanhaltenden Regenperioden kann die Bewässerung beispielsweise um eine Woche aufgeschoben werden, während sie in einer Dürreperiode wöchentlich angefordert werden kann.

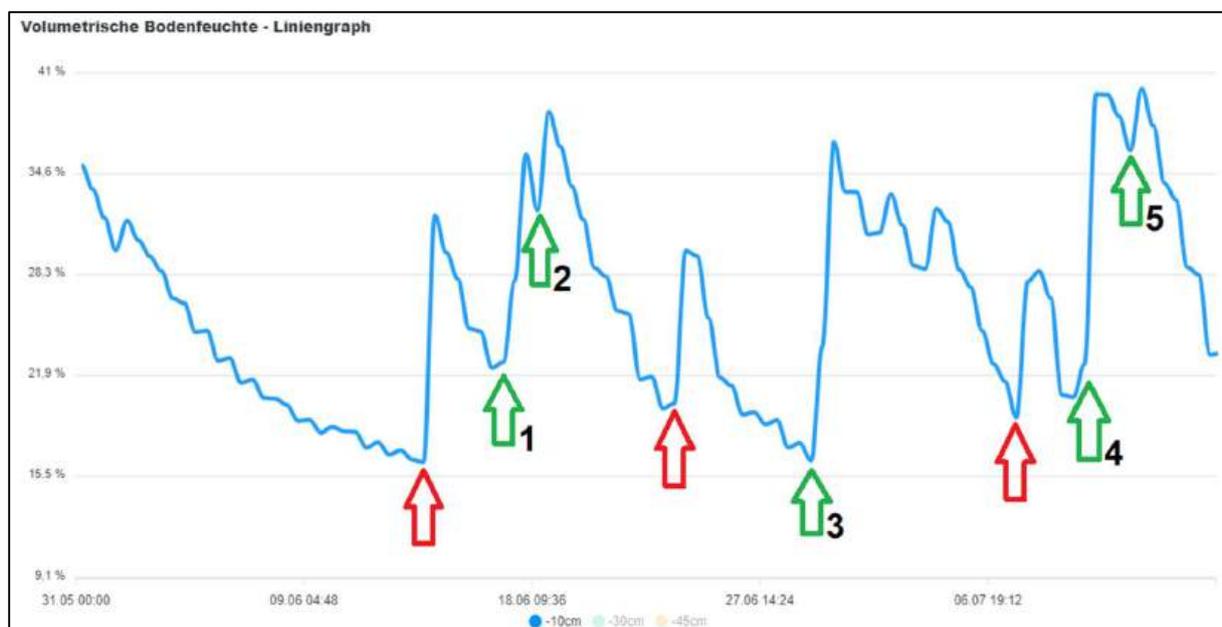


Abbildung: Volumetrische Bodenfeuchte des 1. Sensors in der Schmiedestraße. Rote Pfeile stellen Bewässerungsereignisse dar (200 L pro Baum). Die grünen Pfeile stellen Niederschlagsereignisse dar. 1 = 4,9 mm; 2 = 20,5 mm; 3 = 75,5 mm; 4 = 15,9 mm; 5 = 18,9 mm. Daten der Niederschlagswerte stammen von einer Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes (DWD) am Standort „Hannover Flughafen“

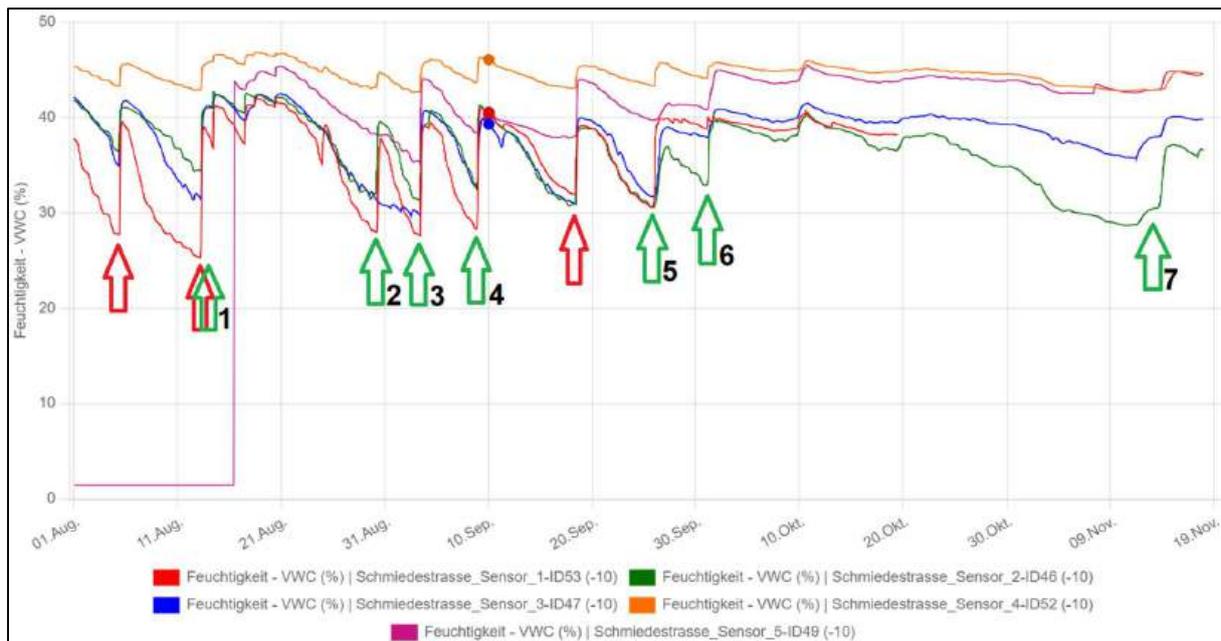


Abbildung: Volumetrische Bodenfeuchte von 5 Climavi-Sensoren auf 30 cm Tiefe in Ballennähe am Standort Schmiedestraße. Die Sensoren wurden auf -20 cm installiert, sodass hier die Messwerte von der -10 cm Sensorstelle ausgegeben werden. Rote Pfeile stellen Bewässerungsereignisse dar (200 L pro Baum). Die Grünen Pfeile stellen Niederschlagsereignisse dar. 1: 14.08. = 49,4 mm; 2: 29.08. = 13mm; 3: 03.09. = 24,5 mm; 4: 08.09. = 23 mm; 5: 25.09. = 10,4; 6: 01.10. = 14,3 mm; 7: 13.11. = 9,3 mm. Die Daten der Niederschlagswerte stammen von einer Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes (DWD) am Standort „Hannover Flughafen“

In 2025 wurde das Projekt abschließend ausgewertet indem eine finale Bewertung der Sensorergebnisse und der sensorbasierten Eingriffe durchgeführt wurde. Es hat sich gezeigt, dass Funk-Bodenfeuchte-Sensorik ein effektives Mittel ist um die Versorgungssituation von Jungbäumen im Stadtgebiet zu überwachen. Bei einer entsprechend hohen Anzahl von Sensoren im gesamten Stadtgebiet wäre es möglich alle Stadtbäume repräsentativ Abzubilden und ein Stadtweites Bewässerungsmanagement darauf aufzubauen. Dieses Ziel wird vom NuTree Projekt ausgehend von Hannover weiterverfolgt.

Mit Hilfe der Daten ist es möglich die Menge und Häufigkeit der Bewässerungsereignisse für die Jungbäume präzise und am Wetter orientiert umzusetzen. In der Landeshauptstadt Hannover war es vor dem Projekt gängige Praxis, dass Beginn und Ende der Bewässerungsperioden sowie auch das steuernde Eingreifen aufgrund von Niederschlägen oder Dürre nach Erfahrungswerten festgesetzt wurden.

Diese Einschätzungen haben je nach eingesetztem Personal stark geschwankt. Nun und auch in Zukunft wird für diese Entscheidungsfindung in Hannover auf die Bodenfeuchtedaten zurückgegriffen.

Abschließend bleibt die finale Beurteilung der Vorteile des Sensoreinsatzes entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Hier ist zunächst festzuhalten, dass sich der Einsatz von Sensortechnik sowohl in Baumschulen (siehe Abschnitt von Baumschule Bonk), als auch in Kommunen gut für die Zielerreichung einer ressourcenschonenden Produktion und Pflege eignet. In Bezug auf den Transport von Bäumen gibt es aus kommunaler Sicht jedoch eine Einschränkung. Die meisten Bäume die in einer Stadt gepflanzt werden sind vergleichsweise jung und folglich im Gehölzwert begrenzt. Die im Verhältnis kostenintensive Sensorausstattung eines Straßenbaumes funktioniert zwar gut, wie dieses Projekt bewiesen hat, lässt sich aber wirtschaftlich nicht mit positivem Ergebnis darstellen.

Allerdings ist der Sensoreinsatz bei einem hochpreisigen Einzelgehölz-Sortiment wie z.B. von Baumschule Bonk definitiv sinnvoll. Hier werden die Pflanzen teilweise mehrere Jahrzehnte kultiviert und gewinnen entsprechend an Wert.

Die Landeshauptstadt Hannover konnte in der Projektlaufzeit sehr viele Erkenntnisse und Wissen über den Einsatz und die Auswertung von Bodenfeuchte-Sensorik gewinnen. Insgesamt ist das NuTree-Projekt als großer Erfolg zu bewerten.

### 2.4.3.3 AGVOLUTION GmbH

OG-Mitglied 3: AGVOLUTION GmbH	Haupttätigkeiten
<b>Jahr 2022</b>	Anforderungsanalyse
	Entwicklung + Installation der Initial-Hardware
	Bodenfeuchtesensorik + Datenübertragung
	Entwicklung Prototyp-Dashboard
	Setup LoRaWAN-Netzwerk
	Auswertung und Beurteilung der Versuchsergebnisse
<b>Jahr 2023</b>	Optimierung Bodenfeuchtesensorik und Wechsel auf Mobilfunk für Datenübertragung
	Erarbeitung vandalismus-geschützte Hardware für Einsatz im städtischen Umfeld
	Ausweitung Sensor-Vergleichsversuch
	Implementierung Daten-Schnittstellen
	Entwicklung Mobile App Version 1
	Entwicklung NuTree-Dashboard für Sensor-Vergleich
	Erarbeitung, Fertigung und Test Transport-Sensor Version 1
Auswertung und Beurteilung der Versuchsergebnisse	
<b>Jahr 2024</b>	Entwicklung Benachrichtigungssystem
	Optimierung Web-App-Ansichten
	Erarbeitung, Fertigung und Test Transport-Sensor Version 2
	Auswertung und Beurteilung der Versuchsergebnisse
<b>Jahr 2025</b>	Erarbeitung, Fertigung und Test Transport-Sensor Version 3
	Erstellung Abschluss-Unterlagen (Abschlussbericht, Handbuch)

#### **Jahr 2022**

##### **Projekteinstieg und Anforderungsanalyse**

Zu Beginn des Projekts führte AGVOLUTION intensive Abstimmungen mit allen OG-Partnern durch, um die spezifischen Anforderungen der Anwender - Baumschule Bonk und Landeshauptstadt Hannover - zu verstehen. Diese Anforderungsanalyse bildete die Grundlage für die Entwicklung der Sensor- und Softwarelösungen sowie der Datenvisualisierung. AGVOLUTION erstellte ein Git-basiertes Repository zur kontinuierlichen Dokumentation des Entwicklungsprozesses und der Rückmeldungen der Anwender.

##### **Sensor-Entwicklung und erste Installationen**

Trotz globaler Lieferengpässe bei elektronischen Bauteilen konnten erfolgreich CLIMAVI-Sensoren in Eigenleistung aufgebaut werden. Die ersten Sensoren wurden im Mai 2022 während des Kickoff-Meetings in der Baumschule Bonk installiert, weitere folgten im Juli 2022. Diese Sensoren erfassen kontinuierlich die Bodenfeuchte und -temperatur in verschiedenen Tiefen und übertragen die Daten über das energieeffiziente LPWAN-Netzwerk „LoRaWAN“.

## **Softwareentwicklung und KI-Modellierung**

Parallel zur Sensorinstallation begann die Entwicklung:

- Einer Augmented-Reality (AR) gestützten Positionierung für Sensoren, die später auf die Kartierung von Bäumen ausgeweitet wurde
- Eines Dashboards mit eindeutiger Baum-ID und Baumposition
- Einer KI-basierten Bewässerungsentscheidungshilfe, die auf den Sensordaten aufbaut
- Einer REST-API-Programmierschnittstelle für externe Dienste

Eine besondere Herausforderung stellte die Entwicklung eines Modells dar, das die heterogenen Substrate und unterschiedlichen Wurzeltrichter der Baumschulbäume berücksichtigt.

## **Baumtracking und Transport-Sensorik**

Für die Überwachung von Bäumen während des Transports begann AGVOLUTION mit der Auswahl und Testung geeigneter GNSS-Trackingsysteme, die Bodenfeuchtesensoren integrieren. Diese Komponente ist entscheidend, um Trockenstress während des Transports zu vermeiden und die gesamte Wertschöpfungskette lückenlos zu überwachen.

## **Evaluation und kontinuierliche Verbesserung**

Die gesammelten Daten wurden fortlaufend ausgewertet und zur Kalibrierung der Sensoren sowie zum Training der KI-Modelle genutzt.

AGVOLUTION überwachte und betreute kontinuierlich die Funktion der Sensoren sowie den Aufbau der KI-Entscheidungshilfe für die Bewässerung. Ein Ticketsystem wurde implementiert, um die Dokumentation und Übersichtlichkeit zu verbessern. In der ersten Projektphase konzentrierte sich AGVOLUTION auf die Installation und Anpassung der CLIMAVI-Sensoren in der Baumschule Bonk. Insgesamt wurden zehn Sensoren an verschiedenen Standorten mit unterschiedlichen Bodentypen, Gehölzarten und Bewässerungsarten platziert, um vielfältige Messdaten zu erhalten. Diese Sensoren erfassten kontinuierlich die Bodenfeuchte und -temperatur in drei Tiefen (10 cm, 30 cm und 45 cm). Die Daten wurden in die Plattform "Farmalyzer" eingespeist, die gezielt für das NuTree-Projekt angepasst wurde. AGVOLUTION entwickelte eine App-Oberfläche, die eine "Ampel-Anzeige" für den

Bewässerungsbedarf bietet: Rot für dringenden Wasserbedarf, Gelb für baldigen Bewässerungsbedarf und Grün für ausreichende Wasserversorgung.

### Technische Herausforderungen und Lösungen

Im Laufe des Projekts identifizierte AGVOLUTION mehrere technische Herausforderungen, die systematisch angegangen wurden:

1. **Energieversorgung der Sensoren:** Bei einigen Sensoren kam es aufgrund von Beschattung und geringer Sonneneinstrahlung in der Winterperiode zu Energieproblemen. AGVOLUTION entwickelte daraufhin eine verbesserte Version mit zusätzlichen Akkus, um auch in lichtarmen Perioden eine kontinuierliche Datenerfassung zu gewährleisten.
2. **Einbringmethode der Sensoren:** Die Tests zeigten, dass die Einbringmethode erheblichen Einfluss auf die Messgenauigkeit hat. AGVOLUTION optimierte daher unsere Schlagvorrichtung und entwickelten dünnere Messstäbe, die einfacher einzubringen sind und trotzdem präzise messen.
3. **Stadtanwendung:** Für den Einsatz im urbanen Raum (Stadt Hannover) entwickelte AGVOLUTION eine vandalismussichere Variante des Sensors "CLIMAVI City", die unauffällig im Stadtbild platziert werden kann und durch ein spezielles Antennendesign und zusätzliche Akkus auch unter schwierigen Bedingungen zuverlässig funktioniert.



Abbildungen: CLIMAVI City Sensor: Prototyp mit vandalismusgeschütztem Gehäuse für Einsatz im kommunalen Bereich (Bild links), und im direkten Vergleich mit IoT-Mikroklimasensoren (Bild rechts, Einheit links) und CLIMAVI City (Bild rechts, Einheit rechts).

## Softwareentwicklung

Parallel zur Sensoroptimierung wurde die Software kontinuierlich weiterentwickelt:

1. **Benutzeroberfläche:** Nach Feedback der Anwender wurde die App-Oberfläche vereinfacht und optimiert. AGVOLUTION implementierte ein gruppiertes Betriebskonzept, bei dem alle Objekte (Sensoren, Bäume, Geopunkte, Bodenproben) innerhalb eines Betriebs organisiert werden können.
2. **Datenmodell:** AGVOLUTION entwickelte ein umfassendes Datenmodell für ein Baumbewässerungsservice, das verschiedene Faktoren wie Bodenart, Bodendichte, Gehölzart und -alter berücksichtigt und in die Bewässerungsprognose einbezieht.
3. **API-Schnittstelle:** Es wurde eine REST-API-Schnittstelle unter `services.agvolution.com`, um den Datenaustausch mit externen Systemen (z.B. GIS-Systeme der Stadt Hannover oder Buchhaltungssysteme der Baumschule Bonk) zu ermöglichen, implementiert.
4. **Positionierungssystem:** Eine präzise Augmented-Reality-Positionierung für Bäume, Sensoren und andere Objekte, was eine punktgenaue Kartierung und Dokumentation ermöglicht, wurde entwickelt.

## Technologische Entwicklung der Sensoren

Der Vergleich der Sensorvarianten aus dem ersten und zweiten Projektjahr zeigt deutliche Verbesserungen:

- Von dicken PVC-Stäben zu dünnen, minimalinvasiven Sensoren mit Ausguss-Technologie
- Von 23 kg schweren, unhandlichen Einbringwerkzeugen (110 cm) zu praktikablen 9 kg leichten Tragevorrichtungen mit Brechstange (65 cm)
- Entwicklung der stadtspezifischen CLIMAVI-City Variante mit angepasstem Antennendesign für den Einsatz unterhalb der Erdoberfläche

Die CLIMAVI-City Sensoren wurden nach mehreren Iterationen und Testläufen im Stadtgebiet Hannover erfolgreich installiert. Eine besondere Herausforderung stellten hierbei die geringere Solarenergieerntemenge sowie das Antennendesign für die Datenübertragung unter der Erdoberfläche dar.

## **Softwareentwicklung und Datenvisualisierung**

Im Bereich der Bewässerungslösung hat AGVOLUTION neben der KI-Bewässerungsprognose auch eine neue App umgesetzt, die auf Basis des Feedbacks aus der Baumschulpraxis optimiert wurde:

- Implementierung eines klaren Ampelsystems zur Meldung von Trockenstress und Bewässerungsbedarfen
- Übersichtliche Darstellung von Bodenfeuchte, Niederschlagsereignissen und Bewässerungsmengen auf kleinem Bildschirmbereich
- Optimierte Visualisierung von Bewässerungsempfehlungen für Praktiker im Feld

## **Jahr 2023**

### **Entwicklung und Optimierung der CLIMAVI-Sensortechnologie**

Die CLIMAVI-Sensoren wurden kontinuierlich verbessert und an die Praxisbedingungen in der Baumschule Bonk und der Landeshauptstadt Hannover angepasst. Während des Projektverlaufs wurden mehrere Herausforderungen identifiziert und Lösungsansätze entwickelt:

- Weiterentwicklung der Sensortechnik für bessere Messgenauigkeit und Zuverlässigkeit
- Wechsel von LoRaWAN auf IoT-Mobilfunk: Verbesserung der Sendeeinheiten für stabilere Datenübertragung auch bei schwierigen Umgebungsbedingungen
- Optimierung der Akkuleistung, insbesondere für den Einsatz im städtischen Umfeld, wo Grünbewuchs die Solarpanels bedecken kann.

Die Vergleichsanalysen mit alternativen Sensorsystemen (Tensiometer, PlantCare) haben wertvolle Erkenntnisse geliefert. Die dielektrischen CLIMAVI-Sensoren zeigen Vorteile bei der frühzeitigen Erkennung von Änderungen im Bodenwasserhaushalt (bis zu 10 Tage im Voraus) und höherer Sensitivität im feuchten Regime im Vergleich zu kapillaren Sensorsystemen.

## **Entwicklung einer mobilen Pflanzenstress-Monitoring-Lösung für**

### **Baumtransporte**

Ein Meilenstein des Projekts war die Entwicklung einer mobilen Monitoring-Lösung zur Messung von Pflanzenstress während des Transports. Hierfür wurde ein spezieller akkubetriebener Sensor entwickelt, der:

- Bodenfeuchtigkeit und -temperatur auf drei Messtiefen im Wurzelballen misst
- Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftdruck im Frachtraum erfasst
- Standortdaten via GPS übermittelt

Ein erster Test-Transport zwischen Bad Zwischenahn und Hannover Ende November 2023 verlief erfolgreich. Die gewonnenen Daten lieferten wichtige Erkenntnisse für die Weiterentwicklung der Technologie, insbesondere hinsichtlich der Wetterfestigkeit und Energieversorgung für längere Transporte.

Die mobile Einheit wurde im Labor unter extremen Umweltbedingungen getestet, einschließlich Temperaturen von -20°C bis 70°C und relativer Luftfeuchtigkeit von 5-95%. Dies dient der Vorbereitung auf längere und internationale Transporte, wie beispielsweise einen geplanten Transport in die Schweiz im Frühjahr 2024.

### **Weiterentwicklung der Software-Plattform**

Die Software-Oberfläche wurde kontinuierlich verbessert und um folgende Funktionen erweitert:

- Dokumentation der Gießmenge pro Sensor oder pro Feld in Millimetern oder Litern
- Tabellarische Ansicht mit Feuchtigkeitswerten und Bewässerungs-Ampelfarben
- Fortschritte bei der quantitativen Gießempfehlung zur Wasserbedarfsermittlung
- Prognosefunktionen für vorausschauendes Bewässerungsmanagement



Abbildungen: Ansichten aus der mobilen App

## Vergleich verschiedener Sensortypen

Ein Hauptziel des Projekts war der Vergleich zwischen tensiometrischer und dielektrischer Sensorik zur Erkennung von Trockenstress. Die Analyse zeigte eine hohe Korrelation zwischen beiden Messverfahren, wobei die Auslösezeitpunkte für Trockenstress-Alarmer im Mittel nur um 6,5 Stunden voneinander abwichen. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 70% lagen die Differenzen innerhalb eines Zeitfensters von  $\pm 21,5$  Stunden. Diese Ergebnisse bestätigen die Zuverlässigkeit beider Sensortypen für den praktischen Einsatz in Baumschulen und im Stadtgrün.

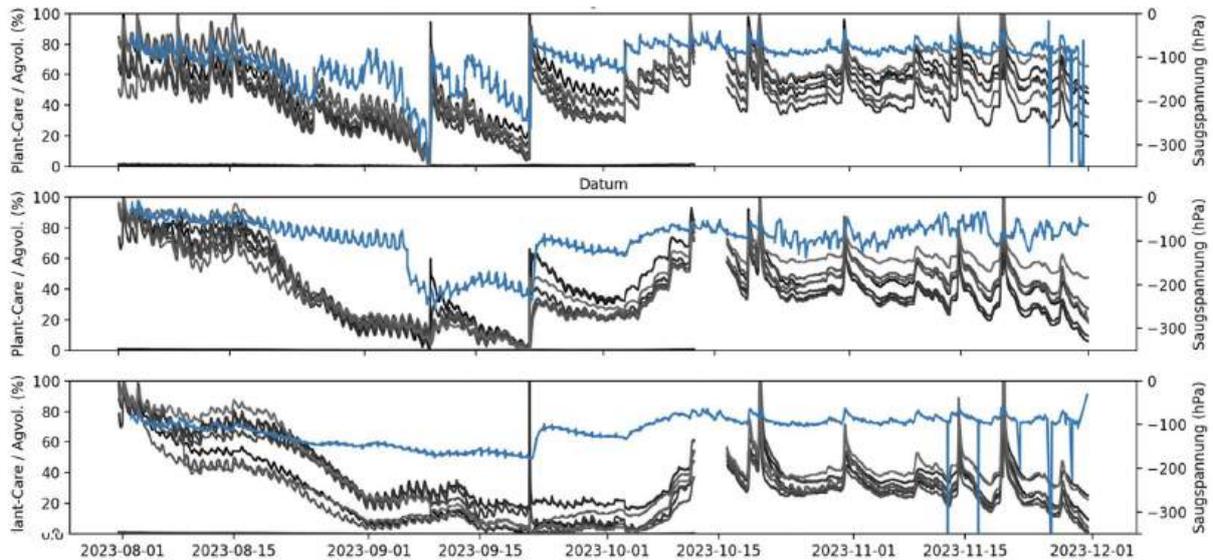


Abbildung: Ergebnisse aus dem Vergleichsversuch zwischen den Rohdaten der dielektrischen Bodenfeuchtesensoren (AGVOLUTION CLIMAVI Soil, graue/schwarze Kurven, linke y-Achse) und Funk-Tensiometern (MMM-Tech Support, blaue Kurve, rechte y-Achse) im Zeitraum zwischen dem 1.8.2023 und 1.12.2023 für alle drei Messtiefen -10 cm, -30 cm und -45 cm (von oben nach unten) auf dem Versuchsfeld der Baumschule Bonk in Bad Zwischenahn.

## Implementierung eines Benachrichtigungssystems

Für den Praxisbetrieb wurde ein umfassendes Alarm- und Benachrichtigungssystem entwickelt. Dieses System ermöglicht:

- Konfigurierbare Warnungen bei Trockenstress per E-Mail, SMS oder Telefonanruf
- Individuelle Einstellungen für verschiedene Bodenhorizonte
- Zweistufige Alarmierung mit Vorwarnung (gelb) und Hauptwarnung (rot)
- Integration in bestehende Auftragsverwaltungssysteme über API-Schnittstellen

Dieses System konnte in den trockenen Sommermonaten August bis September erfolgreich getestet werden.

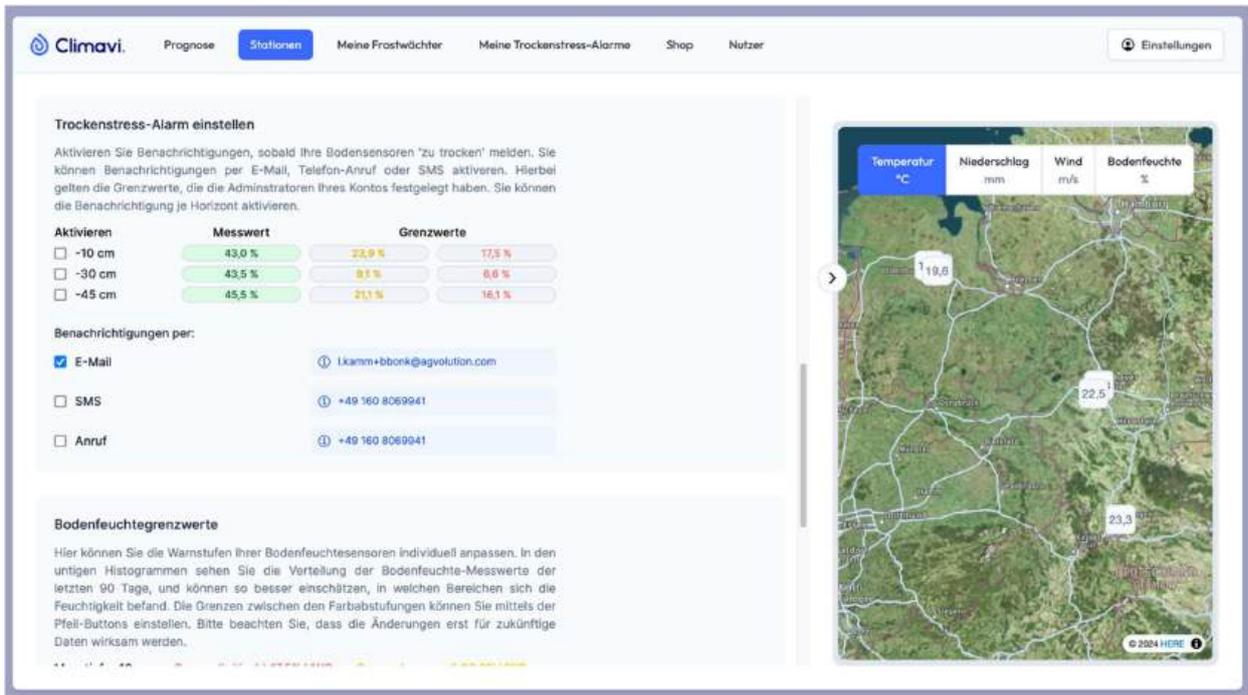


Abbildung: Verwaltung der Benachrichtigungseinstellungen bei Trockenheit in der Einzel-Ansicht unter den Geräteeinstellungen: Gezeigt ist der aktuelle Messwert (zum Vergleich / Einschätzung in % VWC), daneben die beiden Grenzwerte je Horizont in gelb (Vorwarnung) und rot (Hauptwarnung). Die Warnungen können individuell für jeden Horizont einzeln aktiviert oder deaktiviert werden. Derzeit ist eine Benachrichtigung per E-Mail oder SMS (Text), als auch per Anruf möglich (siehe unten).

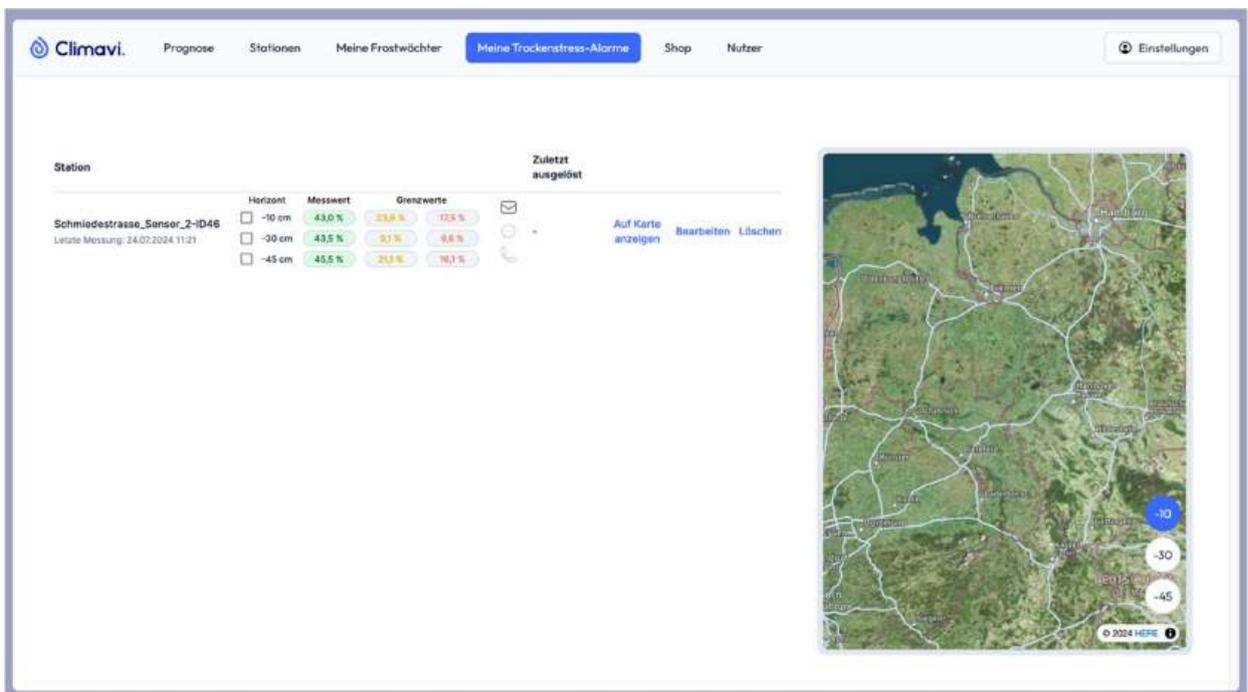


Abbildung: Tabellarische Verwaltung der Trockenstress-Alarme

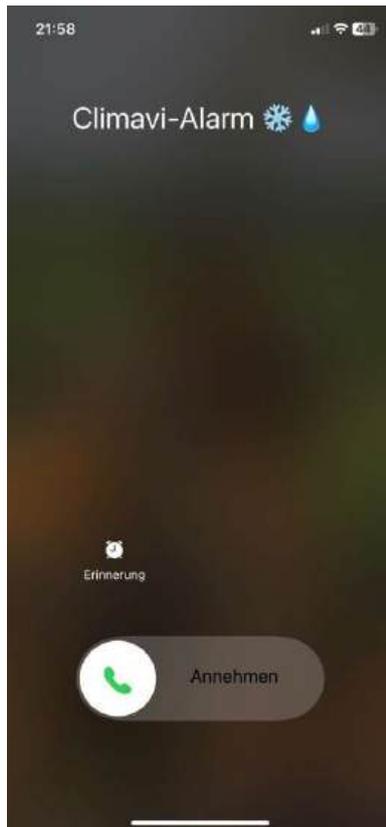


Abbildung: Anrufer-Bildschirm bei Alarm-Meldung (Trockenstress, alternativ auch Frost in den kalten Monaten möglich).

### Weiterentwicklung der Transport-Box

Basierend auf den Erfahrungen mit der ersten Version wurde eine verbesserte Transport-Box für die mobile Überwachung von Baumtransporten entwickelt. Die zweite Generation umfasst:

- Einen externen Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensor zur flexiblen Platzierung (z.B. in der Baumkrone)
- Integrierte Solarzellen für längeren autarken Betrieb
- Erweiterte Anschlussmöglichkeiten für zusätzliche Sensorik
- Verbesserte GPS-Empfangsqualität durch externe Antenne
- Nahezu verdoppelte Akkukapazität (von 2700 mAh auf 5200 mAh)

Die neue Box befand sich zum Berichtszeitpunkt in der finalen Testphase und sollte ab August/September 2024 für weitere Baumtransporte eingesetzt werden.

Diese Entwicklungen tragen wesentlich zur Optimierung der Baumversorgung sowohl in urbanen Umgebungen als auch in Baumschulen bei und ermöglichen ein effizienteres Ressourcenmanagement durch präzise Bewässerungssteuerung und verbesserte Transportüberwachung.

## **Jahr 2024 und 2025**

### **Sensortechnologie und Messinfrastruktur**

Während der Projektlaufzeit wurde kontinuierlich an der Verbesserung unserer CLIMAVI-Sensortechnologie gearbeitet und diese an die spezifischen Anforderungen in Baumschulen und im städtischen Umfeld angepasst. Insgesamt wurden 14 Sensoren an den Versuchsstandorten installiert: 10 in der Baumschule Bonk in Bad Zwischenahn und 4 in der Landeshauptstadt Hannover.

Die Sensoren erfassten fortlaufend Bodenfeuchte- und Bodentemperaturdaten auf verschiedenen Messtiefen. Dabei zeigten sich deutliche Unterschiede in den Messverläufen zwischen städtischem Umfeld und (städtischer) Baumschulumgebung. In der Stadt schwankte die volumetrische Bodenfeuchte erheblich stärker (zwischen 15% und 45%), während sie in der Baumschule relativ konstant blieb (zwischen 25% und 40%). Diese Daten bestätigten die Annahme, dass urbane Standorte aufgrund des begrenzten Bodenvolumens, intensiveren Grünbewuchses und höherer Durchschnittstemperaturen (Hitzeinseleffekt) schneller und stärker austrocknen.

### **Sensor-Vergleichsstudie**

In Zusammenarbeit mit dem Startup Thorkas führte AGVOLUTION umfangreiche Vergleichstests zwischen den CLIMAVI-Sensoren, Funktensiometern und PlantCare-Sensoren durch. Die Auswertung der Rohdaten zeigte, dass die dielektrischen Sensoren gegenüber Tensiometern vier wesentliche Vorteile bieten:

1. Frühzeitigere Erkennung von Änderungen im Bodenwasserhaushalt (bis zu 10 Tage im Voraus)
2. Höhere Sensitivität im feuchten Bodenregime
3. Frostresistenz
4. Wartungsfreiheit

Diese Eigenschaften machen die CLIMAVI-Sensoren besonders wertvoll für eine vorausschauende Bewässerungsplanung. Zudem sind unsere Sensoren wartungsfrei und winterfest, während Tensiometer aufgrund ihrer geschlossenen Wasserbehälter frostgefährdet sind und saisonal abgebaut werden müssen.

*Tabelle: Vergleich der Auslösezeitpunkte für den Trockenstress-Alarm (feste untere Grenze) für ein Tensiometer und den dielektrischen Sensor auf einem -30 cm Horizont auf dem Versuchsfeld 2 HP-14 in der Baumschule Bonk.*

Index	Zeitpunkt Unterschreitung -200 hPa <b>Tensiometer</b>	Zeitpunkt Unterschreitung <b>35% Climavi Soil</b> (dielektrischer Sensor)	Differenz (h)
1	Kein Auslösen	03. Juni 2024, 09:00 Uhr	
2	06. Juni 2024, 24:00 Uhr	06. Juni 2024, 15:00 Uhr	- 09:00 h
3	18. Juni 2024, 18:00 Uhr	16. Juni 2024, 18:30 Uhr	- 47:30 h
4	21. Juni 2024, 21:00 Uhr	23. Juni 2024, 15:30 Uhr	+ 42:30 h
5	26. Juni 2024, 20:00 Uhr	26. Juni 2024, 19:00 Uhr	- 01:00 h
6	04. Juli 2024, 20:00 Uhr	05. Juli 2024, 09:00 Uhr	+ 13:00 h
7	08. Juli 2024, 06:00 Uhr	08. Juli 2024, 11:00 Uhr	+ 05:00 h
8	11. Juli 2024, 04:00 Uhr	11. Juli 2024, 14:00 Uhr	+ 10:00 h
9	15. Juli 2024, 19:30 Uhr	15. Juli 2024, 19:00 Uhr	- 00:30 h
10	19. Juli 2024, 00:30 Uhr	19. Juli 2024, 16:00 Uhr	+ 15:30 h
11	22. Juli 2024, 19:30 Uhr	23. Juli 2024, 21:00 Uhr	+ 25:30 h
12	27. Juli 2024, 17:30 Uhr	28. Juli 2024, 03:00 Uhr	+ 09:30 h
13	01. August 2024, 16:30 Uhr	02. August 2024, 07:00 Uhr	+ 14:30 h



*Abbildung: Vergleich der Verläufe der Zeitreihen eines Tensiometers (rot, rechte vertikale Achse, hPa), AGVOLUTION dielektrischer Sensor (orange, linke vertikale Achse, % normalisierte Kapazität), am selben Standort für den -30 cm Horizont; vgl. Bild in Abschnitt Baumschule Bonk.*

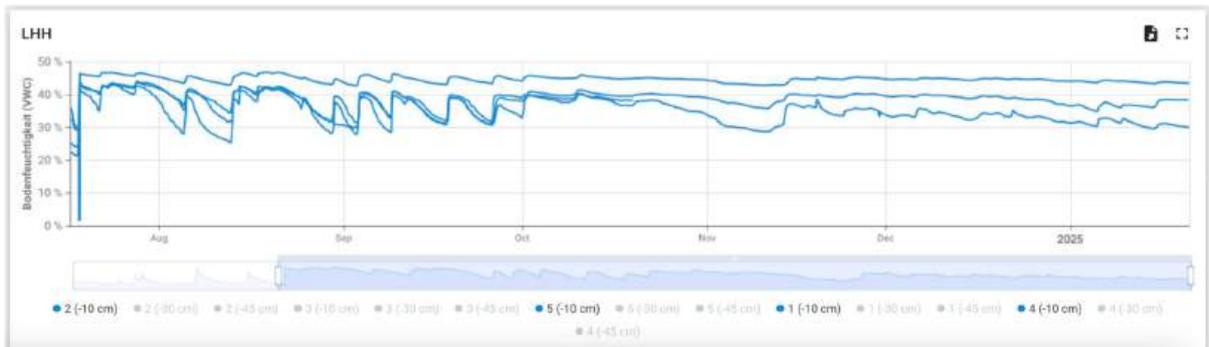


Abbildung: Verlauf der Bodenfeuchtigkeiten in der obersten Messtiefe, Landeshauptstadt Hannover, Schmiedestraße, Sensoren 1, 2, 4, 5 von Mitte Juli 2024 bis Mitte Januar 2025.



Abbildung: Verlauf der Bodenfeuchtigkeiten in der mittleren Messtiefe, Landeshauptstadt Hannover, Schmiedestraße, Sensoren 1, 2, 4, 5 von Mitte Juli 2024 bis Mitte Januar 2025.

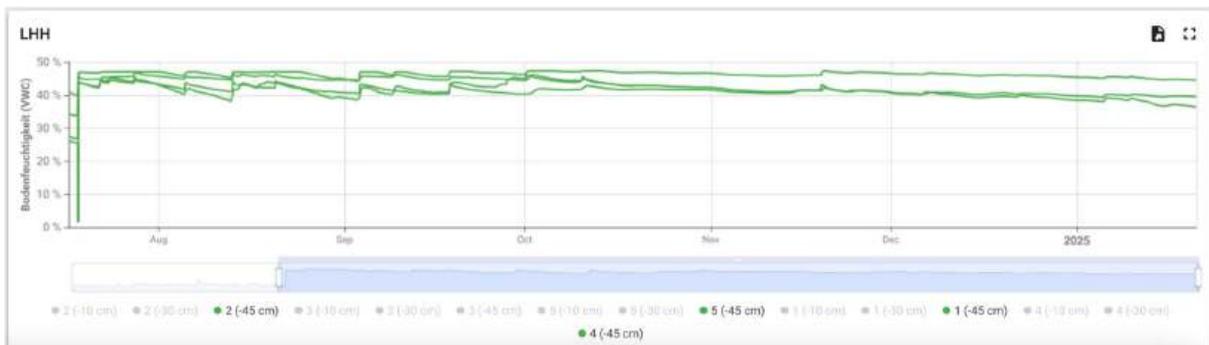


Abbildung: Verlauf der Bodenfeuchtigkeiten in der untersten Messtiefe, Landeshauptstadt Hannover, Schmiedestraße, Sensoren 1, 2, 4, 5 von Mitte Juli 2024 bis Mitte Januar 2025.



Abbildung: Tiefer gelegene Messtiefen zeigen feuchtere Bodenfeuchtwerte

## Personalwechsel

Im November 2023 übernahm Marcel Schneider die Aufgaben von Dr. Munir Hoffmann als Software-Entwickler im Projekt. Herr Schneider brachte wertvolle Erfahrung als ausgebildeter Fachinformatiker mit Schwerpunkt Geoinformatik mit, was optimal zu den Anforderungen des Projekts passte. Er betreute die IoT-Plattform und Infrastruktur, über die den Projektpartnern die Bewässerungsprognose und das Arbeitsmanagement zur Verfügung gestellt werden.

## Multi-Sensor-Integration und Datenvalidierung

Die Praxiserfahrungen in der Landeshauptstadt Hannover zeigten, dass besonders in der Etablierungsphase eines Bodenfeuchte-Monitoring-Systems eine redundante Instrumentierung mit mehreren Sensoren am selben Standort entscheidend für den Vertrauensaufbau und das Sammeln von Erfahrungswerten ist. Diese Redundanz adressierte mehrere Herausforderungen:

- Heterogene Wurzelwerkstrukturen mit variablen Kontaktflächen
- Einschränkungen bei der Anlagerung trotz professioneller Einschlämmung
- Lokale Bodenheterogenitäten, die Einzelmessungen verfälschen können

Nach der Installation von fünf Bodenfeuchtesensoren (Climavi Soil) mit jeweils drei Messtiefen in der Schmiedestraße, Hannover, im Juli 2024 wurden umfangreiche Daten zur Kongruenz der Zeitreihen gesammelt. Die Auswertung ergab:

1. **Untere Messtiefe:** Sehr gute Replikation der Messwerte mit einem Fehler auf den Mittelwert von nur ca.  $\pm 1,2\%$  VWC über die gesamte Messperiode

2. **Mittlere Messtiefe:** Etwas größere Abweichungen, jedoch immer noch innerhalb der erwarteten Toleranzen
3. **Obere Messtiefe:** Die größte absolute Differenz unter den Replikaten mit einer Aufweitung des Korridors auf bis zu ca. 10% VWC

Zudem wurde eine systematische Zunahme der Bodenfeuchtigkeit mit steigender Tiefe beobachtet, was auf gravitative Effekte oder unterschiedliche Lagerungsdichten zurückzuführen sein könnte.

### **Weiterentwicklung des Dashboards/Web-App**

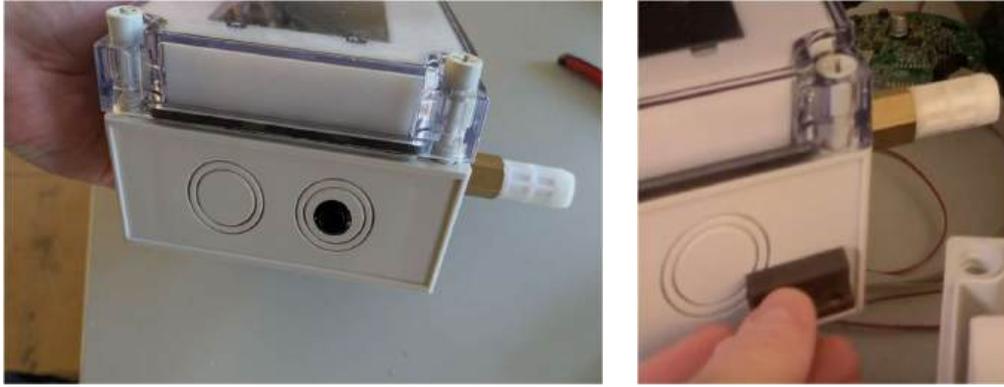
Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen wurden folgende Funktionen in das Dashboard integriert:

- Simultane Darstellung mehrerer Sensoren in denselben Zeitreihengrafiken
- Darstellung eines Referenz-Bodenfeuchtigkeitssensors mit allen Messtiefen
- Dokumentation und Visualisierung von Bewässerungsmaßnahmen
- Auswahl verschiedener Niederschlagsreferenzen je nach Installationsart
- Export von Zeitreihen-Grafiken in verschiedenen Formaten (SVG, PNG, JPG)
- Umschaltmöglichkeit zwischen verschiedenen Messgrößen (VWC, nFK, Sensor-Rohdaten)

### **Transportmonitoring-System**

Ein besonderer Fokus lag auf der Optimierung des mobilen Transportmonitoring-Systems, das für die Überwachung des Baumtransports von Bad Zwischenahn nach Coburg im November 2024 eingesetzt wurde. Nach initialen Konnektivitätsproblemen wurden drei Reset-Funktionalitäten implementiert:

1. **Hardwareseitiger Reset-Taster:** Einfache Bedienung, jedoch mit reduzierter Schutzart (IP65)
2. **Berührungsloser Reset per Magnetschalter:** Erhält die IP68-Eigenschaft für Einsatz unter widrigen Wetterbedingungen
3. **Softwareseitiger Reset per Downlink:** Für Situationen mit bestehender Konnektivität



*Abbildung: Hardwareseitiger Reset: Taster-Variante (links) und Magnetschalter-Variante (rechts)*

### **Weitere technische Integrationsmaßnahmen**

Neben den spezifischen Entwicklungen wurden übergreifende Maßnahmen zur technischen Integration umgesetzt:

- Implementierung einer modularen Systemarchitektur
- Entwicklung standardisierter Schnittstellen
- Sicherstellung der Skalierbarkeit
- Umfassende Qualitätssicherung durch Validierung aller Messkomponenten und kontinuierliche Überprüfung der Datenqualität

Die gewonnenen Erkenntnisse und entwickelten Technologien bilden eine solide Grundlage für die weitere Etablierung digitaler Monitoring-Lösungen im Baumschulsektor und leisten einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Bewirtschaftung von Baumbeständen in urbanen und ländlichen Räumen.

#### **2.4.4 Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP-Themen**

Das NuTree-Projekt hat durch die Erfüllung fast aller primären Ziele (siehe 2.4.1) sowie sehr vielen ungeplanten Nebenergebnissen (siehe 2.4.5) den angestrebten Beitrag zu den förderpolitischen EIP-Themen erreicht. Der Schwerpunkt des Projektes lag in der Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der Landwirtschaft in Niedersachsen, bei NuTree im speziellen die Stärkung niedersächsischer Baumschulen. Dies wurde mit Hilfe der Erforschung und Entwicklung von Digital- und Sensortechnik bewerkstelligt. Durch NuTree konnte effektiv eine praxistaugliche Funk-Bodenfeuchte-Sensorik inklusive eines Dashboards entlang der gesamten Wertschöpfungskette etabliert werden. Diese wird von allen Praxispartnern auch über die Grenzen von NuTree weiterverwendet werden. Die Vorteile sind eine erhöhte Nachhaltigkeit durch effizienteren Ressourceneinsatz (Wasser, Personal, Maschinen, Treibstoff), eine Minimierung des Ausfallrisikos, ein verbesserter Überblick über den Betrieb und dadurch auch eine gesteigerte Wirtschaftlichkeit. Diese Vorteile lassen sich auch auf die Pflege von öffentlichem Grün übertragen.

Das NuTree Projekt konnte demonstrieren, dass diese, in der Baumschulbranche, neuartige Technik praxistauglich ist und dass mit der Nutzung diverse Vorteile verknüpft sind. Dies wurde und wird im Rahmen des Projektes stark und öffentlich kommuniziert (siehe 2.8), sodass viele andere Baumschulen und Kommunen die Möglichkeit haben, gewonnene Erfahrungen aufzugreifen und derartige Technik selbstständig zu etablieren. Ein besonderer Beitrag hierzu soll auch durch den erstellten Leitfaden für die Praxis (siehe 2.5) erwirkt werden.

#### **2.4.5 Nebenergebnisse**

Abseits der von Beginn an gesteckten Ziele sind im Laufe des Projektes sehr viele Nebenergebnisse entstanden, die ebenfalls einen großen Nutzen für die Praxis in den jeweiligen Bereichen erbringen. Diese sind im Folgenden gelistet:

Bei dem Start-Up AGVOLUTION wurden valide und praxistaugliche Parametrisierungen für die Sensorik und Datenübertragungseinheiten in verschiedenen Einsatzszenarien erarbeitet und überprüft. In der Stadt hat sich gezeigt, dass ein Messintervall von 30 Minuten und ein Übertragungsintervall von 240 Minuten für die Aufzeichnung der Bodenwasserdynamik völlig ausreichend ist. Ein „Echtzeit“-

Verhalten ist für die Nutzererfahrung hier nicht von Relevanz. Außerdem ist die Funkeinheit teils fast ganzjährig von umliegenden Gräsern (teil-)verschattet, daraus hat sich die Senkung des Energieverbrauchs durch ein 4-stündiges Übertragungsintervall ergeben.

In der Baumschule hat sich gezeigt, dass ein Messintervall von 30 Minuten und ein Übertragungsintervall von 60 Minuten erforderlich sind. Diese erhöhte zeitliche Auflösung ist hier wichtig für die Nutzererfahrung, da die Datenpakete morgens für eine Bewässerungsentscheidung zur Verfügung stehen müssen. Die Funk-Einheiten sind hier oberirdisch und haben damit eine ausreichende Energieversorgung durch Sonneneinstrahlung.

Auf dem Baumtransport ist ein Messintervall von 5 Minuten und ein Übertragungsintervall von 30 Minuten erforderlich. Diese sehr hohe zeitliche Auflösung wird benötigt, da die Übertragung auch an die Positionsmessung gekoppelt und deshalb für die Nachverfolgbarkeit der Gehölze wichtig ist. Ein voll aufgeladenes Gerät hat eine Akkulebensdauer von 7-10 Tagen, was für einen Transport ausreichend ist. Diese Erkenntnisse sind wegen dem Konflikt zwischen benötigter zeitlicher Auflösung und autarker Akkulebensdauer (sofern keine Solarzufuhr verfügbar ist) und aufgrund der beschränkten Akku-Größe von besonderer Bedeutung. Die Versuche zum Einschlämmen der Climavi-Bodenfeuchte-Sensoren haben eine Reduktion von Offsets zwischen Mess-Wiederholungen aufzeigen können. Bei einer relativen Betrachtung der Messergebnisse zeigt sich jedoch, dass die Messdaten auch ohne ein Einschlämmen verwendet werden können.

Die Landeshauptstadt Hannover konnte durch die Bearbeitung des NuTree-Projektes ebenfalls diverse Nebenergebnisse verzeichnen. Im Allgemeinen konnte ein Einstieg/ Zugang zu der (für Kommunen) neuartigen Bodenfeuchte-Sensorik geschaffen werden. Es hat sich herausgestellt, dass dies ein wichtiger Baustein in der Erstellung eines Bewässerungsmanagements gegen die häufiger auftretenden Dürren ist. Weiterführend konnte mithilfe der errungenen Ergebnisse und Erkenntnisse eine dauerhafte Stelle in der Stadtverwaltung etabliert werden, die das Thema Bodenfeuchte-Sensorik auch in Zukunft weiter betreuen und voranbringen wird. Parallel zum NuTree Projekt ist in der Stadt ein Sensorvergleich durchgeführt worden (siehe 2.4.3). Dieser wäre ohne das Wissen aus dem Projekt nicht durchführbar gewesen. Als Ergebnis können die Sensortypen für ihre speziellen Einsatzgebiete

besser eingeordnet und eingesetzt werden. Ein weiteres Nebenergebnis ist die Erschließung thematisch angrenzender Themen, wie Bewässerungstechnik, IT-Infrastruktur (Datenübertragung und Dashboard), oder dem Wassermanagement im Allgemeinen (alternative Wasserquellen, effizienter Wassereinsatz).

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

Insgesamt gab es sehr wenig Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben. Grundsätzlich konnten aber auch hier Erkenntnisse gewonnen werden:

Der Einsatz von LoRaWAN-Sensorik im Betrieb der Baumschule/ In der Stadt: In der Gesamtheit der operativen Kosten und Systemkomplexität wurde das Projekt initial mit Fokus auf LoRaWAN zur Datenübertragung in der Baumschule Bonk und in der Landeshauptstadt Hannover gestartet. Der Wartungs- und Einrichtungsaufwand für Gateway und Sensorik erwies sich jedoch schnell als impraktikabel, und regulär für den Anwender als zu aufwändig. Außerdem war die Empfangsqualität oft nicht ausreichend oder wies Lücken auf.

#### **2.4.7 mögliche weitere Verwendung von Investitionsgütern**

Insbesondere im Projekt beschaffte Hardwareeinheiten (Sensorik, Datenübertragungseinheiten, Gateways) sollen planmäßig weiterhin im Betrieb der Baumschule Bonk und/oder auch in einem weiteren EIP-Agri-Projekt („FloraGPT“), genutzt werden. Dies gilt auch für die beschaffte Software des Thorkas-Dashboards.

Auch in der Landeshauptstadt Hannover sollen die Climavi-Sensoren über das Projekt hinaus im Einsatz bleiben.

### **2.5 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis (Sind verwertbare/nutzbare Empfehlungen, Produkte, Verfahren oder Technologien entstanden?)**

Die NuTree-OG hat die für die Praxis relevanten Ergebnisse und Empfehlungen in einem Leitfaden für Funk-Bodenfeuchte-Sensorik zusammengefasst. Dieser ist speziell für Praxisanwender aufbereitet und dient als Anleitung (siehe Anhang).

## **2.6 (Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse**

Die Ergebnisse werden von allen Praxisbezogenen OG-Mitgliedern (AGVOLUTION, Baumschule Bonk und Landeshauptstadt Hannover) als Grundlage für weitere Arbeiten oder Projekte verwendet. Da das Projekt ein großer Erfolg war und diese übergeordnete Thematik von großer Bedeutung ist, haben dies schon viele weitere Kommunen und einige Baumschulen (siehe EIP Projekt „FloraGPT“) aufgegriffen. Weiterführend hat das NuTree Projekt immer wieder Teile der Ergebnisse im Rahmen seines Kommunikations- und Disseminationskonzeptes auf vielen verschiedenen Informationskanälen öffentlich publik gemacht (siehe 2.8). Dazu zählt auch der Leitfaden für praktische Anwender (siehe 2.5) sowie das Praxisblatt (siehe Anhang).

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

Wie bereits erwähnt, ist von allen Praxispartnern geplant, die Thematik im Anschluss an das Projekt wirtschaftlich weiter zu verfolgen und zu bearbeiten, basierend auf den Ergebnissen von NuTree. Es werden weitere Sensor-begleitete Baumtransporte und Tensiometer-gesteuerte Bewässerungen in Baumschule Bonk stattfinden. Die Sensortechnik wird von der Firma AGVOLUTION immer weiterentwickelt und vertrieben werden. Die Landeshauptstadt Hannover wird das Bewässerungsmanagement grundlegend überarbeiten und auch zukünftig immer in Kombination mit Funk-Bodenfeuchte-Sensorik umsetzen.

Da die auf das Projekt aufbauenden nächsten Schritte eher praktischer Natur sind, gibt es aus wissenschaftlicher Perspektive von Seiten der Baumschule Bonk und der Landeshauptstadt Hannover keine weiteren Fragestellungen zu erarbeiten.

**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.)**

Das Projekt NuTree hat im Laufe der drei Jahre verschiedenste Möglichkeiten gewählt, das Projekt in der Öffentlichkeit und in Fachkreisen zu präsentieren. Das Seedhouse übernahm als Koordinator diese Aufgabe, unterstützt hat Jan Pinski von der Landeshauptstadt Hannover. Zu Projektbeginn wurde erstmals in Form von ersten Veröffentlichungen (Pressemitteilungen, Zeitungsartikel, Fachartikel) auf den Projektstart und die Idee von NuTree aufmerksam gemacht. Es folgten, sobald die ersten Erkenntnisse und Ergebnisse aus den Praxisphasen vorlagen, weitere Veröffentlichungen und Fachartikel. Damit sich die Inhalte der Artikel nicht zu sehr gleichen und interessierte Leser auf Neuigkeiten stoßen konnten, gab es zwischen den Erscheinungsdaten und Medien immer wieder kurze Pausen, bis weitere Updates erschienen.

Grundsätzlich sollte festgehalten werden, dass das Seedhouse, bei jedem Besuch und damit verbundenen Präsentationen der Organisation, vor Vertretern aus Politik, Startups, Wirtschaft, Wissenschaft und Landwirtschaft, das EIP-Projekt NuTree sowie auch das Konzept hinter EIP-Agri erklärt und verbreitet hat.

Unabhängig vom Seedhouse hat die Landeshauptstadt Hannover ebenfalls immer wieder die Chance genutzt, EIP-Agri zu präsentieren und NuTree und dessen neuesten Ergebnisse zu verbreiten.

Das Projekt weist eine eigene Homepage auf ([www.nutree-eip.de](http://www.nutree-eip.de)), auf der im Laufe der Projektjahre immer wieder Blogbeiträge veröffentlicht wurden, in denen die neuesten Projektfortschritte beschrieben wurden.

Zudem wurde ein Projektvideo gedreht (in Kurz- und Langform), das immer wieder bei Veranstaltungen oder Präsentationen zur Veranschaulichung der Thematik gezeigt wurde (<https://www.youtube.com/watch?v=WEb35dTyGWc>).

Über die Social-Media-Kanäle LinkedIn und Instagram (Seedhouse) wurden ebenfalls wichtige Projektnews veröffentlicht.

In der folgenden Tabelle sind alle öffentlichkeitswirksamen Maßnahmen mit Datum und Details aufgelistet, die im Laufe der drei Projektjahre getätigt wurden.

*Tabelle: Öffentlichkeitswirksame Maßnahmen des Projekts NuTree*

<b>Datum</b>	<b>Medium</b>	<b>Art der Veröffentlichung</b>
05.04.2022	Landeshauptstadt Hannover, interne Kommunikation	Pressemitteilung
19.04.2022	Hannoversche Allgemeine Zeitung	Zeitungsartikel
20.04.2022	Neue Presse Hannover	Zeitungsartikel
01.05.2022	Erstellung NuTree-Homepage: <a href="http://www.nutree-eip.de">www.nutree-eip.de</a>	Online-Artikel, Blogbeiträge
18.05.2022	Projekttreffen in Präsenz, Bad Zwischenahn mit OG - ppp	Projektaustausch
01.06.2022	Deutsche Baumschule, Fachmagazin	Fachartikel
Ende August 2022	Projekt Q-Trees, Technologiestiftung Berlin, online	Projektaustausch
07.09.2022	AKIS-Workshop: EIP-Agri und AKIS: „So geht es weiter“, Hannover	Posterbeitrag
06.12.2022	Nord West Zeitung, Online-Paper	Zeitungsartikel
08.12.2022	Nord West Zeitung, Lokalausgaben	Zeitungsartikel
15.12.2022	Studenten aus dem Bereich Landwirtschaft, Seedhouse	Präsentation
06.03.2023	Nord West Zeitung, Lokalausgaben	Zeitungsartikel

04.04.2023	Klimakonferenz vom Niedersächsischen Kompetenzzentrum Klimawandel (NIKO), online	Präsentation
12.05.2023	Jahrestagung der jungen DLG, Seedhouse	Präsentation
01.06.2023	Deutsche Baumschule, Fachmagazin	Fachartikel
27.06.2023	Dauerausstellung im Aufhof in Hannover „Stadtentwicklung: smart & klimaneutral und Smart City“	Ausstellung
14.07.2023	Internetseite „Startup Niedersachsen“	Online-Artikel
26.07.2023	Fachforum Landwirtschaft und Ernährung vom Grünen Wirtschaftsdialog mit Landwirtschaftsministerin Miriam Staudte, seedhouse	Präsentation
08.08.2023	Kreativmeile am Maschsee, Hannover	Ausstellung
12.08.2023	Baumschultag der Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau (LVG) der Landwirtschaftskammer in Bad Zwischenahn	Präsentation + Ausstellung
25.08.2023	Magazin "Die Wirtschaft der Neuen Osnabrücker Zeitung"	Zeitungsartikel
27.08.2023	Neue Osnabrücker Zeitung, Online-Paper	Zeitungsartikel
05.-06.09.2023	Baumpflegetage an der Hochschule Osnabrück	Ausstellung
13.09.2023	EIP-Sommerfest, Innovationsmesse	Ausstellung
14.09.2023	Neue Osnabrücker Zeitung, Lokalausgaben	Zeitungsartikel
17.10.2023	Bundesweiter EIP-Workshop, Kassel	Posterbeitrag
23.11.2023	innovate!Convention, Osnabrück	Ausstellung, Präsentation
01.01.2024	Deutsche Baumschule, Fachmagazin	Fachartikel
26.01.2024	Klima Aktions Woche, Hannover	Präsentation + Ausstellung
15.02.2024	NuTree-Projektvideo, Fertigstellung und Onlinezugriff: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=WEb35dTyGWc">https://www.youtube.com/watch?v=WEb35dTyGWc</a>	Video- präsentation
01.03.2024	Austausch unter Gehölzprojekten, dvs, online	Präsentation + Projektaustausch
23.-24.04.2024	Baumpflegetage Augsburg	Posterbeitrag
11.05.2024	Gartenbau Portal Online - GABOT	Online-Artikel
23.05.2024	Bericht zum Regionenworkshop der Initiative Stadt.Land.Digital, Hannover	Fachartikel
01.06.2024	Tagung zur Bodenfeuchtesensorik, Hannover	Präsentation

01.06.2024	TASPO Baumzeitung	Fachartikel
13.08.2024	EIP-Sommerfest, Innovationsmesse	Ausstellung
04.09.2024	Baumpflegetage an der Hochschule Osnabrück	Präsentation, Workshop
14.09.2024	Baumpflegetage Nürnberg, Forum „DIGITALISIERUNG PRAKTISCH GESTALTEN“	Präsentation, Interview
16.04.2025	<i>Gartenbau Portal Online - GABOT</i>	<i>Online-Artikel</i>
01.05.2025	<i>Deutsche Baumschule, Fachmagazin</i>	<i>Fachartikel</i>
30.04.2025	<i>Praxisblatt, EIP-Netzwerk</i>	<i>Fachartikel</i>

In den jeweiligen Zwischenberichten sind alle veröffentlichten Artikel mit Bildern und Hinweisen zu den Quellen aufgeführt. *Die beiden letzten Veröffentlichungen in Form von Artikeln zu den Endergebnissen des Projekts befinden sich im Anhang. Zudem wird zukünftig über das niedersächsische EIP-Netzwerk das „Praxisblatt“ zum Projekt veröffentlicht.*

Das Konzept von EIP-Agri als Förderprogramm wurde, wie bereits oben erwähnt, stetig beworben und in der Breite gestreut. Hierbei konnte das Seedhouse durch die Zusammenarbeit mit seinen Stakeholdern ein breites Publikum ansprechen, das immer wieder potentielle EIP-Anwärter hervorbrachte. Die Wichtigkeit der Zusammenarbeit von Praxis (Landwirtschaft), Wirtschaft, Wissenschaft und Startups wurde deutlich hervorgehoben.

Das Seedhouse unterstützt diesen Ansatz der Zusammenarbeit sehr. Als Vorschlag zur Weiterentwicklung der EIP-Agri Förderung sieht das Seedhouse die fachliche Eingrenzung bei der Antragsstellung auf spezielle Themenvorgaben als nicht sinnvoll. Diese Eingrenzung bringt Themen hervor, die nur Sparten betreffen und nicht in der breiten Masse der Landwirtschaft umsetzbar sind. Damit die Projekte am Ende auch einen Vorteil für weitere Landwirte bringen, sollten die Themen offen beworben werden. Zudem scheint es sehr wichtig zu sein, die Kommunikation mit der Branche „Landwirtschaft“ noch mehr zu fokussieren und auch Junglandwirte (die neue Generation, die Betriebe übernehmen wird) anzusprechen. Auch wenn die Kommunikation bereits gesucht und umgesetzt wird, gibt es noch mehr Potential. Der direkte Austausch scheint hier aus eigener Erfahrung am effizientesten.

Eine weitere Idee wäre die Festlegung von Koordinierungsstellen, die bereits Erfahrungen mit EIP-Agri gemacht haben. Diese könnten entweder für neue Projektideen als zukünftiger Koordinator dienen, oder auch die Planung von Projekten vorantreiben, indem sie ihre Erfahrungen in die Antragsstellung einbringen.

Eine gute und offene Kommunikation in EIP Projekten ist Grundlage für den Erfolg des Projekts. Schulungen für die Beteiligten aus den verschiedenen OG´s wären eine tolle Unterstützung beim Start neuer Zusammenkünfte.

Insgesamt ist die EIP-Agri Förderung ein tolles Werkzeug, um Praxis und Forschung sowie Innovationen zu verknüpfen. Das Seedhouse freut sich, weiterhin als Koordinator im EIP-Projekt NextMix tätig zu sein und ist motiviert, weitere Projektanträge in die Umsetzung zu bringen.

### 3 Anhang

#### 1) NuTree Artikel im Online-Magazin GABOT

(16.04.2025, <http://www.gabot.de/redirect.php?id=434717> )

The screenshot shows the GABOT website interface. At the top, there are navigation links for 'Branchenbuch', 'Jobbörse', 'Marktplatz', and 'Buchshop'. The main article is titled 'Nachhaltige Baumpflege: Erkenntnisse aus dem Projekt NuTree' and is dated '16. April 2025 - 14:03 Uhr von Greta Fenske'. The article text states: 'Seit dem Projektstart im März 2022 hat das EIP-Projekt "NuTree - Wertschöpfungskette Baum" gezeigt, wie digitale Technologie und Nachhaltigkeit in der Baumpflege zusammenspielen. Die Idee dahinter: Mithilfe smarter Sensoren den Wasserbedarf von Gehölzen frühzeitig erkennen und so Bäume gezielt und ressourcenschonend bewässern.' Below the text is a group photo of the project team. To the right of the article is a 'Weitere Meldungen' section with a list of news items, including 'Schiff-Glasflügelzirkade: Weitere Notfallzulassungen', 'Top 10 2024: Top-Positionen stabil', and 'FDF Baden-Württemberg: Fast 60 Azubis beim Keep-On-Tag'. The website header includes 'Gartenbau Versicherung' and 'GABOT.de' branding.



### Was steckt hinter NuTree?

Im Zentrum des Projekts stehen **Sensoren**, die Bodenfeuchte und -temperatur in drei Tiefen messen und die Daten per Funk in nahezu Echtzeit übermitteln. Über eine digitale Plattform lassen sich diese Informationen auslesen, bei Bedarf wird automatisch eine Benachrichtigung verschickt. Neben dem Einsatz in einer Baumschule und einer Kommune wurde auch ein sensorbasiertes System zur Überwachung von Baumtransporten getestet und damit die gesamte Wertschöpfungskette vom Anzuchtort bis zum Endstandort in den Blick genommen.

**Das Ziel:** Stress für Bäume durch Trockenheit vermeiden, Pflegeaufwand reduzieren und Ressourcen effizient nutzen – ob Wasser, Zeit oder Personal.

**Das Team:** Hinter NuTree stand eine engagierte Projektgruppe: Die Baumschule Bonk aus Bad Zwischenahn lieferte nicht nur Know-how, sondern auch Testflächen. IT-Spezialist Dr.-Ing. Michael Malms unterstützte mit technischer Expertise. Die Stadt Hannover brachte ihre Erfahrungen mit kommunaler Baum- und Grünpflege ein. Die Sensorentwicklung übernahm das Göttinger Start-up Agvolution, während das Osnabrücker Beratungsunternehmen Seedhouse die Projektkoordination leitete. Gefördert wurde das Ganze durch die Europäische Innovationspartnerschaft für landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit (EIP-Agri).

### Drei Jahre, viele Erkenntnisse

#### 1. Sensoren im Praxischeck

Die Sensoren von Agvolution überzeugten mit hoher Messgenauigkeit und einfacher Anwendung, ohne aufwändige Kalibrierung. Besonders spannend: Der Einsatz mobiler Funkverbindungen (Mobilfunk/LoraWAN) machte die Technik besonders nutzerfreundlich. Auch Themen wie Energieeffizienz, Vandalismusresistenz und Frosttauglichkeit wurden praxisnah getestet.

#### 2. Fokus auf den Boden

Die hohe Bodendiversität stellte die Dateninterpretation vor Herausforderungen, hier braucht es künftig noch gezieltere Auswertungskonzepte. Dennoch wurde klar: Bei einer relativen Betrachtung der Bodenfeuchte-Daten liefern die Sensoren zuverlässige Informationen über den Feuchtehaushalt im Boden.

#### 3. Bäume unterwegs digital im Blick

Ein Highlight war die Entwicklung eines Transportsystems, das GPS-Daten mit Sensormesswerten wie Ballenfeuchte oder Luftfeuchtigkeit in der Krone kombiniert. So konnte der Zustand eines Baumes während des Transports lückenlos überwacht werden, ein Vorteil für den Gewährleistungsübergang und Kundenkommunikation.

#### 4. Daten auf einen Blick – jederzeit verfügbar

Alle Daten werden über ein Dashboard bereitgestellt und dauerhaft gespeichert, ein wertvolles Tool zur Nachverfolgung und Optimierung von Pflegemaßnahmen.

### Vorteile für Stadt und Baumschule

#### Für Baumschulen:

- Tensiometrische Sensoren bleiben durch ihre präzisen Werte unverzichtbar, durch die Funkeinheiten lassen sich Tensiometer-Daten über das Dashboard auswerten.
- Die Transportüberwachung bietet Mehrwert besonders für Baumschulen mit größeren Gehölzen.

#### Für Kommunen:

- Mit der neuen Bodenfeuchte-Sensorik kann das Stadtgrün erheblich effizienter bewässert werden, was Wasser- und Personalressourcen schont. Die Sensortechnik hat sich auch im urbanen Umfeld bewährt.

### Fazit: Digitalisierung trifft Nachhaltigkeit

NuTree zeigt, wie moderne Sensortechnologie den Weg zu einer **zukunftsfähigen, digitalen Baumpflege** ebnet, sowohl in der Stadt als auch auf dem Gelände der Baumschule. Mit innovativen Tools, praxisnahen Lösungen und einem guten Partnernetzwerk wurde ein wichtiger Schritt in Richtung **ressourcenschonende Grünpflege und Klimaanpassung** gemacht.



Sensoren im Einsatz. Bild: NuTree.



Einsatz in der Baumschule Bonk. Bild: NuTree.

[← Zurück](#)



23. Apr Merschl Gartenbau: Biomasse statt Gas

GABOT-Newsletter hier kostenfrei abonnieren!

### Das GABOT-Branchenbuch

Das GABOT-Branchenbuch zeigt Firmen, Adressen und Telefonnummern aus allen Bereichen der Grünen Branche. [Zum Branchenbuch >](#)

### GABOT jobs

[Job-Angebote](#)

[Job-Gesuche](#)

[Ausbildungsplätze](#)

[Stellenanzeige aufgeben](#)

[Stellengesuch aufgeben](#)

### GABOT-Kleinanzeigenmarkt

Nutzen Sie den GABOT-Marktplatz, um Immobilien, Geräte und Maschinen, Gewächshäuser und vieles mehr zu verkaufen oder anzubieten!

[zum GABOT-Kleinanzeigenmarkt >](#)

Aktuell

Praxiserprobte Sensorlösung für die Bewässerung

# Digitale Transformation in der Baumpflege

Wie kann man den Wasserbedarf von Gehölzen möglichst früh erfassen? Dies untersuchte das EIP-Projekt „NuTree – Wertschöpfungskette Baum“ seit März 2022 – die DB berichtete mehrfach (DB 6/2022, 6/2023, 1/2024). Nun ziehen die Beteiligten nach drei Jahren Projektlaufzeit ein positives Fazit.

Im Rahmen von NuTree wurden Sensoren an Gehölzen in einer Baumschule und einer Kommune eingesetzt, die die Bodenfeuchtigkeit und -temperatur in drei Messtiefen erfassen und die Werte in Echtzeit per Funk übertragen. Über eine Management-Plattform können die Daten ausgelesen werden; bei Bewässerungsbedarf wird der Bewirtschaftende informiert. Zudem wurde ein sensorbasiertes Transportmonitoring getestet, sodass NuTree die gesamte Wertschöpfungskette von Bäumen, von der Anzucht bis zum Endstandort, in den Blick nahm.

Diese neuartige Technik soll eine frühzeitige Identifizierung des Wasserbedarfs von Gehölzen ermöglichen. Dadurch kann die Bewässerung so geplant werden, dass weder Trockenstress noch Schäden an den Pflanzen entstehen. Zugleich lassen sich Arbeitszeit, Ar-

**„Wir haben jetzt quasi ein digitalisiertes Fingerspitzengefühl erarbeitet, was den Feuchtigkeitsbedarf der Pflanze anbelangt.“**

Stephan Bonk

beitskraft und Wasserressourcen effizienter einsetzen.

Die Projektpartner: Baumschule Bonk (Bad Zwischenahn), die unter der Leitung von Stephan Bonk Fachwissen und Versuchsflächen beisteuerte, unterstützt von Dr.-Ing. Michael Malms, IT-Spezialist. Die Landeshauptstadt Hannover, Fachbereich Umwelt und Stadt-



Einbau der Funk-Tensiometer: Jan Pinski, Stephan Bonk, Michael Malms (v.li.)

grün, nutzte ebenfalls die Technik, für Straßen- und Parkbäume ebenso wie in der städtischen Baumschule. Die technische Entwicklung der Climavi-Sensoren übernahm das Start-up Agvolution (Göttingen). Die Projektkoordination lag beim Beratungsunternehmen Seedhouse (Osnabrück); Fördermittel kamen von der Europäischen Innovationspartnerschaft für landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit (EIP-Agri).

## Rückblick auf das Projekt

In den letzten drei Jahren hat NuTree bedeutende Fortschritte in der Entwicklung und Anwendung innovativer Sensortechnologien für die Baumschulwirtschaft erzielt. Die Versuchsflächen in Bad Zwischenahn und Hannover wurden

kontinuierlich angepasst, um optimale Bedingungen für die Technikprüfung und die Beobachtung der Gehölze zu schaffen. Ein besonderer Fokus lag auf der Einbringtechnik und der Platzierung der Sensoren sowie der Auswertung und Interpretation der erfassten Daten über das entwickelte Dashboard.

Parallel wurden verschiedene Sensormodelle getestet, um die Praxistauglichkeit zu vergleichen und das Vertrauen in die Technik zu stärken. In Bad Zwischenahn kamen vor allem Funk-Tensiometer zum Einsatz, während in Hannover unterschiedliche Sensorhersteller an ausgewählten Straßenbäumen getestet wurden.

Ein weiterer wichtiger Meilenstein war die Entwicklung des sensorgestützten Transportsystems.



Foto: Laura Nollmann, Baumschule



Foto: Michael Müller

Projektteam an der Sensor-Versuchsfläche in Hannover.

Ein sensorgestützter Baumtransport funktioniert!

Der erste erfolgreiche Testtransport eines Baums von Bad Zwischenahn nach Hannover bestätigte die Praxistauglichkeit der Lösung. Im weiteren Verlauf erfolgten zusätzliche Transporte, auch ins europäische Ausland.

Die kontinuierliche Optimierung der Technik durch Agvolution (Sensoren, Transportmodul und Dashboard) war eine zentrale Aufgabe im Projekt. Durch Kooperation mit dem Start-up Thorkas (Bad Zwischenahn) konnte zusätzlich eine verbesserte Benutzeroberfläche entwickelt werden, die den praktischen Einsatz weiter erleichtert.

### Die wichtigsten Ergebnisse

#### • Entwickelter Bodenfeuchte-Sensor von Agvolution mit hoher Genauigkeit:

Dieser zeigt eine starke Korrelation mit etablierten Tensiometern und dielektrischen Sensoren. Während letztere eine aufwendige Kalibrierung erfordern, liefern Tensiometer absolute Werte zur Saugspannung, sind jedoch wartungsintensiv und nicht frostresistent.

Die Erprobung in der Baumschule und im kommunalen Bereich ermöglichte zudem Tests zu Akkulaufzeiten, Energieautarkie der Sensoren und zur Eignung verschiedener IoT-Funkstandards (LoRaWAN, Mobilfunk). Hierbei erweist sich vor allem der Einsatz von Sensoren, die ihre Daten über das Mobilfunknetz übertragen, als besonders Plug & Play-fähig und dadurch anwenderfreundlich. Auch die Vandalismusresistenz wurde in der Hardwareentwicklung berücksichtigt und im Stadtgebiet Hannover auf die Probe gestellt.

#### • Erkenntnisse zum Medium „Boden“:

Aufgrund der hohen Bodendiversität ist auch nach einer Kalibrierung ein angepasstes Vorgehen bei der Auswertung der Sensordaten erforderlich. Die Definition von Interpretationsbereichen, die die prozentuale Veränderung innerhalb der Messreichweite betrachten, sollte künftig stärker berücksichtigt und noch weiter erforscht werden.

#### • Mobiles, sensorbasiertes Vitalitätsmonitoring von Bäumen ist möglich:

Das Transportsystem kombiniert GPS-basierte Standortdaten mit Sensormesswerten (Ballenfeuchte und -temperatur, Lufttemperatur und -feuchtigkeit in der Krone) und bietet eine nutzerfreundliche Handhabung. So lassen sich die genannten Vitalitätsparameter in hoher zeitlicher Auflösung (alle fünf Minuten) und in Echtzeit per drahtloser Datenübertragung exakt georeferenziert während eines Baumtransports erfassen. Auch ein Monitoring nach dem Transport für Endkunden ist möglich – ein Vorteil für den Gewährleistungsübergang.

• **Dauerhafte Datenspeicherung für bessere Nachverfolgbarkeit:** Alle Messwerte sind über ein Dashboard oder eine Schnittstelle abrufbar und können zur Nachverfolgung genutzt werden.

#### Zentrale Erkenntnisse für ... den Anwendungsbereich Baumschule:

• Tensiometrische Sensoren bleiben aufgrund der absoluten Werte bevorzugt, haben jedoch höhere Wartungsanforderungen.

- Durch die Funkeinheiten lassen sich Tensiometer-Daten über das Dashboard auswerten.
- Die sensorgestützte Transportüberwachung ist vor allem für

*„Die Erfahrungswerte im Bereich Sensortechnik werden wir in Zukunft weiter einsetzen, um Ressourcen zu schonen und das Stadtgrün effizient zu bewässern.“*

Jan Pinski

Baumschulen mit größeren Gehölzen von Interesse.

#### ... die kommunale Jungbaumbewässerung:

- Tensiometer sind wegen des hohen Wartungsaufwands ungeeignet → andere Sensoren sind zu bevorzugen.
- Bodenfeuchte-Sensoren ermöglichen eine effizientere und bedarfsorientierte Bewässerung.
- Für eine Praxissetablierung ist der Personalbedarf zu berücksichtigen.

#### Fazit

Die EIP-Agri-Förderung ermöglichte eine innovative Kombination verschiedener Sensortechnologien in unterschiedlichen Umgebungen – im kommunalen Bereich wie auch in der Baumschule. Zugleich wurde ein neues Bewässerungsmanagement für Bäume entwickelt, das bereits jetzt zur Schonung von Ressourcen beiträgt und die Wettbewerbsfähigkeit von Baumschulen stärkt. Mit NuTree wurde ein bedeutender Schritt in Richtung digitalisierte Baumpflege und nachhaltige Grünflächenbewirtschaftung gemacht.

Greta Fenske

### 3) NuTree Praxisblatt – Informationen für die landwirtschaftliche Praxis

#### Informationen für die landwirtschaftliche Praxis

##### NuTree – Sensorgestützte Wertschöpfungskette Baum

###### Ausgangslage und Zielsetzung

Der Klimawandel stellt Baumschulen, Gärtnereien und Kommunen vor wachsende Herausforderungen, bedingt durch zunehmende Trockenperioden und die damit verbundene Gefährdung der Gehölze. Eine unzureichende Bodenfeuchte kann das Wachstum sowie die Nährstoffaufnahme der Bäume erheblich beeinträchtigen. Es fehlt an praxistauglichen, datenbasierten Systemen, die eine präzise, vorausschauende Bewässerung ermöglichen. NuTree hat das Ziel, den Auswirkungen des Klimawandels durch den Einsatz digitaler Technologien gezielt entgegenzuwirken. Dafür werden folgende Komponenten entwickelt und erprobt:

- ✓ eine neuartige Sensortechnologie (CLIMAVI) zur kontinuierlichen Messung von Bodenfeuchte und -temperatur,
- ✓ eine Management-Plattform, mit der die Daten ausgelesen werden und der Bewirtschaftende bei Bewässerungsbedarf automatisch informiert wird
- ✓ ein sensorbasiertes Transportmonitoring für Baumtransporte

Eine Besonderheit von NuTree ist der ganzheitliche Ansatz: Die gesamte Wertschöpfungskette von Bäumen, inklusive Transportphasen wird betrachtet.

###### Projektdurchführung

In den drei Projektjahren wurden Sensortechnologien für die Baumüberwachung weiterentwickelt und an Versuchsflächen in der Baumschule Bonk in Bad Zwischenahn und an bestimmten Orten im Stadtgebiet Hannover eingesetzt.

Zudem wurden verschiedene Sensormodelle nebeneinander erprobt, um die Praxistauglichkeit zu vergleichen und das Vertrauen in die Technik zu stärken. In Bad Zwischenahn kamen vor allem Funk-Tensiometer zum Einsatz, während in der Stadt Hannover unterschiedliche Sensorhersteller an ausgewählten Straßenbäumen getestet wurden. Der Fokus lag dabei auf der Einbringtechnik und der Platzierung der Sensoren sowie der Auswertung und Interpretation der erfassten Daten über das entwickelte Dashboard.

Parallel wurde ein sensorbasiertes Transportsystem entwickelt und erfolgreich mehrfach erprobt, unter anderem bei Transporten von Bäumen bis ins europäische Ausland. Die Technik wurde laufend durch das Start-up Agvolution optimiert (Sensoren, Transportmodul und Dashboard), während durch die Zusammenarbeit mit dem Startup Thorcas zusätzlich eine verbesserte Benutzeroberfläche entwickelt werden konnte, die den praktischen Einsatz weiter erleichtert.



**Niedersachsen.  
Klar.**

Niedersachsen

NuTree –  
Wertschöpfungskette  
Baum

13.03.2022– 30.04.2025

**Hauptverantwortlich**

Seedhouse  
Accelerator GmbH

Greta Fenske

[greta@seedhouse.de](mailto:greta@seedhouse.de)

**Mitglieder der  
Operationellen Gruppe  
(OG)**

- Bonk Pflanzen Handels GmbH
- Landeshauptstadt Hannover, Fachbereich Umwelt & Stadtgrün
- Agvolution GmbH
- mm-it4you, IT- Beratung

**Zur Projektseite**

<https://www.nutree-eip.de>

**Zum Abschlussbericht**

[www.eip-nds.de](http://www.eip-nds.de)

[EIP Projekt Datenbank](#)



eip-agri  
AGRICULTURE & INNOVATION



Finanziert von der  
Europäischen Union



Netzwerk  
Agrar & Innovation  
Niedersachsen

## Ergebnisse

- Präziser Bodenfeuchtesensor von Agvolution: Der neu entwickelte Bodenfeuchtesensor zeigt eine hohe Übereinstimmung mit etablierten Messsystemen wie Tensiometern und dielektrischen Sensoren. Der CLIMAVI-Sensor überzeugt durch einfache Handhabung und robuste Technik. Die Tests in der Baumschule und im Stadtumfeld lieferten zudem wichtige Erkenntnisse zu Akku-Laufzeit, Energieautarkie und Funkstandards. Besonders nutzerfreundlich erwies sich die Datenübertragung via Mobilfunk. Auch die Widerstandsfähigkeit gegen Vandalismus wurde gezielt weiterentwickelt und erfolgreich getestet.
- Vertiefte Einblicke in das Medium „Boden“: Die starke Bodenheterogenität macht deutlich, dass selbst nach der Kalibrierung der Sensoren eine individuelle Auswertung der Daten notwendig bleibt. Die Definition praxisnaher Auswertungsbereiche, z.B. auf Basis relativer prozentualer Veränderungen ist ein vielversprechender Ansatz und sollte künftig weiter untersucht werden.
- Mobiles Vitalitätsmonitoring von Bäumen ist umsetzbar: Das entwickelte Transportsystem von Agvolution ermöglicht eine präzise, sensorbasierte Erfassung von Vitalitätsparametern wie Ballenfeuchte, Temperatur und Luftfeuchtigkeit, kombiniert mit GPS-Daten, im Fünf-Minuten-Takt und in Echtzeit. Damit lässt sich der Zustand der Bäume während des Transports zum Endkunden kontinuierlich überwachen. Auch eine Nachverfolgung nach der Pflanzung durch den Kunden ist möglich, was insbesondere für die Gewährleistung von Vorteil ist.
- Langfristige Datenspeicherung für bessere Rückverfolgbarkeit: Alle Messwerte werden zentral gespeichert, sind über ein Dashboard oder eine API abrufbar und ermöglichen eine umfassende Dokumentation und Nachverfolgung, sowohl im laufenden Betrieb als auch für spätere Auswertungen.

## Empfehlungen für die Praxis

Im Projekt haben sich für die unterschiedlichen Anwendungsfelder in einigen Punkten auch unterschiedliche Handlungsempfehlungen ergeben. Grundsätzlich lässt sich jedoch festhalten, dass der Einsatz von Funk-Bodenfeuchte-Sensorik zu empfehlen ist. Die Bodenfeuchtesensorik lässt sich auf lange Sicht in der Baumschule und in einer Kommune als wirtschaftlich positiv darstellen und spart so Ressourcen ein. Während in der Baumschule die Verwendung von Tensiometern bevorzugt wurde, da deren Vorteile die Nachteile dort stark überwiegen, sind diese in einer Kommune gänzlich ungeeignet. In einer Stadt sollten Sensoren verwendet werden, die einen sehr geringen Wartungsaufwand haben. In beiden Fällen ist jedoch auf einen fachlich korrekten Einbau der Sensoren zu achten. Bezüglich der Datenübertragung hat sich die „NB-IoT“ Technik, die auf dem Mobilfunknetz basiert, bei allen OG-Mitgliedern als sehr geeignet herausgestellt und wird gegenüber „LoRaWAN“ empfohlen. Abschließend ist es wichtig zu berücksichtigen, dass die Etablierung solcher Sensorik in den praktischen Betrieb und auch dessen Instandhaltung Personalressourcen bindet. Für einen erfolgreichen Einsatz von Sensortechnik muss dies miteingeplant werden.



Finanziert von der Europäischen Union



Niedersachsen.  
Klar.



Bild 1: Sensor-Versuchsfäche in der Stadt Hannover mit vandalismusgeschütztem CLIMAVI-City Sensor, Projektgruppe beim Abschlussstreffen (v.l.n.r.: Michael Malms, Greta Fenske, Lukas Kamm, Jan Pinski, Thomin Stiegler, Stephan Bonk, Tina Kruse, Foto: L. Holtmann, Seedhouse Accelerator)



Bild 2: Sensor-Versuchsfäche inkl. Funk-Tensiometer in der Baumschule Bonk. Foto: T. Stiegler;

Bild 3: Screenshot aus der CLIMAVI-App mit Ampelanzeige zum Wasserhaushalt im Boden. Foto: L. Kamm



Bild 4: Mobiles, sensorbasiertes Vitalitätsmonitoringsystem für Baumtransporte; Bild 5: Baum mit Sensor für Weitertransport vorbereitet. Foto: M. Malms



Bild 6: Transportnachverfolgung per Thorcas-App. Foto: T. Stiegler

### 3) Nutzerhandbuch für Sensoren Einsatz

# Nutzerhandbuch

für den Einsatz von Funk-Bodenfeuchte-Sensorik bei der  
Bewässerung von Baumschulkulturen und Stadtgrün aus den  
Erfahrungen des Projektes NuTree



**EUROPÄISCHE UNION**  
Europäischer Landwirtschafts-  
fonds für die Entwicklung des  
ländlichen Raums



#### Herausgeber:

##### Operationelle Gruppe NuTree

- Bonk Pflanzen Handels GmbH, Bad Zwischenahn
- Landeshauptstadt Hannover, Bereich Umwelt- und Stadtgrün
- AGVOLUTION GmbH, Göttingen
- MM-IT4you – IT-Beratung, Bad Zwischenahn
- Seedhouse Accelerator GmbH, Osnabrück (Koordinator)

## 1. Einführung in die Thematik

Dies ist ein Nutzerhandbuch, welches für den Einsatz von Funk-Bodenfeuchte-Sensorik in Baumschulen und öffentlichen Grünanlagen konzipiert ist. Es wurde aus den Erfahrungen und Ergebnissen des NuTree-Projektes im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft (EIP-Agri) zusammengeschrieben und umfasst, neben einer thematischen Einführung, Empfehlungen und Hinweise für praktische Anwender.

### 1.1. Baumschulen und Bewässerung

Für Baumschulen ist die Notwendigkeit einer Bewässerung eigentlich nichts Neues: Egal, ob Pflanzen in Containern oder Gehölze im Freigelände bis zum Verkauf aufgezogen und gepflegt werden, Baumschulen bewässern bei Trockenheit seit vielen Jahrzehnten. Allerdings hat sich über die letzten Jahre gezeigt, dass die Trockenperioden länger werden, oft über Wochen kein Regen fällt und die Ressource Wasser knapper wird. Diesem gegenläufigen Trend kann nur mit einer effizienteren Methode der bedarfsgenauen Bewässerung begegnet werden, die sich nach dem Pflanzentyp, der Pflanzenhaltung (Container oder Freigelände) und der Beschaffenheit des Bodens richtet. Dazu leisten in den Boden eingelassene Sensorsysteme und IT – gestützte Informations- und Frühwarnsysteme einen wichtigen Beitrag: Der Baumschulist möchte zeitnah und zuverlässig über sein Mobiltelefon oder Tablet informiert werden, wo auf seinem Gelände Pflanzen bewässert werden müssen und wie groß die auszubringende Wassermenge ist.

Zusätzlich gibt es beim Transport der Bäume ebenso einen zunehmenden Bedarf der Überwachung der Gehölze im Laderaum des LKW: Transporte dauern oft mehrere Tage, es kommt oft zu Staus und Verzögerungen an Grenzen. Hier ist zum Schutz der Pflanzen eine mobile Version des Sensorbasierten Frühwarnsystems notwendig. Der Baumschulist soll informiert werden, wenn seine Ware Trockenstress erleidet, damit er über das Transportunternehmen für Abhilfe sorgen kann. Somit lassen sich juristische Streitigkeiten mit dem Empfänger und der Transportfirma vermeiden.

### 1.2. Bodenfeuchte

Um Bodenfeuchte-Sensorik erfolgreich einzusetzen ist es erforderlich, einige Grundlagen über das Thema Bodenfeuchte zu kennen.

Maßgebend für eine Bewässerungsentscheidung ist, wann der Boden oder das Substrat, welches die Pflanze durchwurzelt, nicht mehr genügend Wasser enthält, um den Bedarf der Pflanze zu decken. Ein Grundlegendes Maß hierfür ist der **volumetrische Wassergehalt** eines Bodens in Prozent, oder  $m^3/m^3$ . Ergänzend kann dies auch durch das Wasserhaltevermögen des Bodens angegeben werden. Wie viel Wasser ein Boden bereithalten kann, hängt im Wesentlichen von dessen Korngrößenverteilung ab: Also wie hoch die Anteile von Sand (relativ betrachtet große „Körner“), Schluff (mittel große „Körner“) und Ton (kleine „Körner“) sind.

Das Wasser wird hauptsächlich von der sogenannten Kapillarkraft im Boden festgehalten, die verhindert, dass es tiefer in den Boden bzw. ins Grundwasser einsickert. Diese Kraft nimmt zu, je feiner die Poren, die Hohlräume zwischen den „Körnern“, sind. Je feiner die Korngröße ist, desto feiner sind auch die Poren zwischen diesen „Körnern“. Das bedeutet, dass ein Boden mehr Wasser speichern kann, je höher dessen Ton- bzw. Schluff-Anteil ist. Humus wirkt sich ebenfalls positiv auf das Wasserhaltevermögen aus.

Für die Bewässerung von Pflanzen ist ebenfalls entscheidend, wie hoch der Anteil des **pflanzenverfügbaren Wassers** in einem Boden ist. Die Kräfte, die das Wasser im Boden festhalten, lassen sich dadurch messen, wie viel Kraft aufgewendet werden muss, um dem Boden Wasser zu entziehen. Dies wird in einem Unterdruck (der **Saugspannung**) mit der Einheit „Pascal“ oder „Bar“ angegeben. Wenn ein wassergesättigter Boden entwässert wird, entweicht zunächst das Wasser, was sich in den großen Poren (Groporen) befindet, da dies nur schwach „festgehalten“ wird und setzt sich von grob nach fein fort. Je weniger Wasser ein Boden anteilig enthält, desto stärker wird das verbleibende gebunden. Auch Pflanzen saugen das Wasser aus dem Boden, die Kraft die sie dafür aufbringen können, ist allerdings begrenzt. Ab einer bestimmten und sehr feinen Porengröße (Ton) ist das Wasser stärker im Boden gebunden, als die Pflanzen daran saugen können. Dieses Wasser wird als Totwasser bezeichnet, da es nicht Pflanzenverfügbar ist. Weiterführend kann dieser Anteil nicht durch den volumetrischen Wassergehalt allein angegeben werden.

Daraus lässt sich schlussfolgern, dass der volumetrische Wassergehalt im Gegensatz zur Saugspannung nicht als absoluter Wert allein für eine Bewässerungsentscheidung herangezogen werden kann. Stattdessen werden für eine Konversion zwischen der **Saugspannung** und der **Volumetrischen Bodenfeuchte** insbesondere die Bodenparameter benötigt. Im Folgenden wird erklärt, wie diese Kalibration erfolgt, oder wie die Messwerte der Saugspannung oder Volumetrischen Bodenfeuchte für sich relativ betrachtet werden können.

### 1.3. Funk-Bodenfeuchte-Sensorik

Ein (Funk-) Sensorsystem besteht aus den folgenden Komponenten:

1: Sensoreinheit - ein Sensor, der die gewünschten Messdaten erfasst und in elektronischer Form ausgibt (Saugspannung oder Volumetrischer Wassergehalt).

2: Sendeeinheit/Funkeinheit - Ein Gerät in Form eines wasserdichten Behälters, welcher die Energieversorgung beinhaltet und die gemessenen Daten per Kabel empfängt und über Funk weiterversendet. Hierbei gibt es zwei dominierende Funkverfahren, LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) und NB-IoT (Narrow Band Internet of Things). Ein LoRaWAN-Netzwerk erfordert das Aufstellen und Instandhalten von Gateways (3), während NB-IoT auf das bestehende Mobilfunknetz zugreift.

3: Gateway/Funkturm - Ein Gerät, welches sich in Sendereichweite befindet und die über Funk versendeten Daten empfängt. Das Gateway ist über einen Anschluss mit dem Internet verbunden und lädt die gemessenen Daten auf einen Server hoch.

4: Server - Ein Gerät, welches Teil eines Netzwerks ist und Ressourcen (z.B. Speicherplatz oder Daten) für andere Computer oder Programme zur Verfügung stellt.

5: Dashboard - Eine graphische Benutzeroberfläche, welche zur Darstellung der Daten dient. Das Dashboard greift auf den Server, auf welchem die Messdaten hochgeladen werden, zu und macht sie dem Benutzer, oft graphisch, zugänglich.

### 1.3.1. Bodenfeuchte-Sensoren

Bodenfeuchte-Sensoren sind inzwischen in verschiedenen Konzipierungen gut auf dem Markt verfügbar, unterscheiden sich jedoch zusammengenommen in diversen Eigenschaften, welche nachfolgend verglichen werden. Dabei lassen sich alle Bodenfeuchte-Sensoren und deren Messprinzipien in zwei große, primäre Klassen einteilen:

**Tensiometrische Sensoren** (messen Saugspannung, siehe oben) und **Dielektrische Sensoren** (messen Volumetrische Bodenfeuchte, siehe oben). Hierbei basieren tensiometrische Sensoren auf der Platzierung eines porösen Körpers im Boden, welcher die kapillare Struktur der Wurzel nachahmt. Wird an einer Seite des porösen Körpers eine Wassersäule mit Drucksensor verbunden, kann so direkt der Unterdruck der Saugspannung gemessen werden. Der Vorteil der tensiometrischen Sensoren liegt vor allem in der Bereitstellung eines Messwertes, der das Prinzip einer Wurzel nachzuahmen versucht, und damit sensitiv auf das kapillare Saugvermögen des Bodens ist. Zugleich ergeben sich zwei primäre Nachteile von tensiometrischen Sensoren: Diese sind oftmals wartungsaufwändiger (Nachfüllen der Wassersäule) und nicht ganzjährig außen einsetzbar (nicht geschützt gegen Frost). Zudem sind tensiometrische Sensoren i.d.R. auf eine fachgerechte Installation (Einschlammung) angewiesen, da bei schlechtem Bodenkontakt nicht ausreichend Kapillarwirkung des Bodens auf das Sensorelement übertragen wird.

Dielektrische Sensoren basieren auf der Detektion des Bodenwassers mittels Messung dessen Molekulpolarisation. Hierbei gibt es verschiedene Ausführungen in verschiedenen Geometrien, welche sich stets auf die Qualität der Messung auswirken. Zudem unterscheiden sich die Sensoren in den benutzten Messfrequenzen und Auswertemethoden, basieren jedoch auf demselben Prinzip. Dielektrische Sensoren lösen im Allgemeinen die zuletzt angesprochenen, potenziellen Probleme von Tensiometern: Sie sind wartungsfrei und ganzjährig außen einsetzbar (frostresistent). Gleichzeitig kommen Sie mit dem Nachteil, dass regulär eine Aussage über das pflanzenverfügbare Bodenwasser basierend auf der Volumetrischen Bodenfeuchte auf direktem Weg nur bei Kenntnis der Bodeneigenschaften (Permanenter Welkepunkt, Feldkapazität) getroffen werden kann.

Da diese Bodeneigenschaften nicht notwendigerweise für alle Standorte vorliegen, ist es wichtig, auch Methoden für Dielektrische Bodensensoren, die ohne Eingabe von Bodenparametern auskommen, bereitzustellen. Hierzu wurden im Rahmen des NuTree-Projekts zwei Ansätze evaluiert: Betrachtung des (normalisierten) relativen Verlaufs und eine Bereitstellung einer Histogramm-Ansicht zur Einstellung der Grenzen.

### 1.3.2. Dashboards

Dashboards bieten im Allgemeinen eine Übersicht und Visualisierung der Zeitreihen-Sensordaten, Sensor- und Baumstandorte, und oftmals auch Benachrichtigungs- und Verwaltungsmöglichkeiten. Hierzu zählen beispielsweise das Konfigurieren von Echtzeit-Alarmen, sobald ein Sensor Trockenheit misst. Oder die Dokumentation von Gießgängen nebst den Sensordaten. Zur Sensordaten-Auswertung in einem Dashboard zählen Funktionalitäten wie etwa der Vergleich mehrerer Sensoren in einem Diagramm, der Abgleich mit Niederschlags- und Bewässerungsdaten, oder das Einstellen von zeitlichen Aggregationen (Stundenwerte, Tageswerte, etc.). Oftmals werden Dashboards von Herstellern von Bodenfeuchte-Sensorik mit angeboten. Qualitative Komplettlösungen zeigen sich auch durch die Möglichkeit der Schaffung von Quer-Integrationen. Das heißt, die Messdaten können herstellerunabhängig zwischen verschiedener Hardware und Software transportiert werden. Solche Querintegrationen wurden auch im Projekt erfolgreich angewandt, und haben sich als nützlich erwiesen.

#### 1.4. Das Projekt NuTree

Das NuTree Projekt lief von 2022 bis 2025 im Rahmen von EIP-Agri und die Projektgruppe besteht aus den folgenden Partnern:

- **Seedhouse Accelerator GmbH:** Das Seedhouse ist als Koordinator für alle Aufgaben des Projektmanagements zuständig und agiert als Ansprechpartner und Repräsentant in allen Projektbelangen.
- **Agvolution GmbH:** Agvolution bietet eine Prozessmanagement-Software auf Basis neuartiger IoT-Sensortechnologie und KI-basierter Entscheidungshilfen an und ist für die fortlaufende technische Begleitung des Projektes verantwortlich.
- **Bonk Pflanzen Handels GmbH:** Die Bonk Pflanzen Handels GmbH hat die Rolle des Anwenders der entwickelten Technologie entlang der gesamten Wertschöpfungskette.
- **Freiberufler Dr. Michael Malms:** mm-it4you.de mm-it4you unterstützt als Dienstleister und Berater die Bonk Pflanzen Handels GmbH bei allen Aktivitäten innerhalb des Projekts.
- **Landeshauptstadt Hannover, Fachbereich Umwelt & Stadtgrün:** Der Fachbereich Umwelt und Stadtgrün übernimmt die Doppelrolle des Endnutzers und der Urproduktion mit dem Schwerpunkt der Einbindung und Umsetzbarkeit auf kommunaler Ebene.

Ziel des Projektes war, den Einsatz von Funk-Bodenfeuchte-Sensorik entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu erproben und weiterzuentwickeln. Dies beinhaltet das ressourcenschonende Kultivieren von Gehölzen in der Baumschule Bonk, die Überwachung des Gesundheitszustandes der Bäume auf dem Transportweg sowie das Etablieren der gepflanzten Bäume in der Landeshauptstadt Hannover.

Während dieses Projektes wurden Experimente durchgeführt und viele Erkenntnisse über den praktischen Einsatz von Funk-Bodenfeuchte-Sensorik gewonnen. Diese werden im Folgenden geschildert.

## 2. Erfahrungsberichte aus der Praxis

### 2.1. Baumschule Bonk

Aus Sicht des Endanwenders sollte das Projekt eine IT-Infrastruktur schaffen, die dem Baumschulisten jederzeit in Echtzeit einen Überblick über den aktuellen oder in Kürze zu erwartenden Trockenstress der Pflanzen auf seinen Freiflächen verschafft. Dazu sind u.a. Sensoren notwendig, die an kritischen Stellen auf dem Gelände eingesetzt werden und stellvertretend für eine größer Fläche die Feuchtigkeit messen. Im Einzelnen lassen sich folgende Anforderungen nennen:

- Messungen in mehreren Ebenen, ideal in -30, -60 und -90 cm Tiefe
- Stabile Übertragung der Messwerte in eine Cloud über Lora-WAN oder per Mobil-Funk
- Auswertung und Darstellung in Echtzeit über ein Dashboard
- Die Sensoren müssen in das Wurzelwerk auch größerer Gehölze (z.B. 16 m hoch) einbringbar sein – es handelt sich nicht um eine Container-Baumschule
- Eine KI gestützte Gießempfehlung gibt den Zeitpunkt und die Wassermenge für die notwendigen Bewässerungsfahrten priorisiert an
- Eine mobile Version der Sensor-Infrastruktur ermöglicht die Überwachung der Gehölze auch während des Transportes, so dass der Baumschulist eine lückenlose Kontrolle des Gesundheitszustandes der Pflanzen erhält.

- während des Transports, werden in regelmäßigen Intervallen (z.B. alle 10 min)
  - o die GPS-Position des Fahrzeuges,
  - o Transport auch grenzüberschreitend (Mobilfunk)
  - o der aktuelle Bewegungszustand (LKW steht oder fährt)
  - o die Lufttemperatur im Laderaum
  - o die Luftfeuchtigkeit im Laderaum
  - o die Bodenfeuchte im Wurzelballen
 gemessen und übertragen.
- Am endgültigen Anpflanzort soll auch die gleiche Sensor-Infrastruktur eingesetzt werden können. Alle Werte sollen genau dargestellt werden wie in der eigenen Baumschule.

Die hier genannten Anforderungen können erfüllt werden durch den Einsatz von:

- digitalen Funktensiometern in verschiedenen Längen bis zu 90 cm Tiefe, die über Mobilfunk stabil übertragen und die Saugspannungen messen, so wie die überall seit Jahren eingesetzten analogen Tensiometer. Die Sensoren sind leicht in das Wurzelwerk einzubringen durch das Bohren entsprechender kleiner Erdlöcher.
- einem Dashboard, so wie von dem Startup THORKAS entwickelt, das in Echtzeit den Verlauf der übertragenen Messwerte graphisch darstellt, das Erreichen von einstellbaren Schwellwerten per push-Nachricht oder E-Mail meldet und die Menge des ausgebrachten Wassers dokumentiert. Niederschläge werden ebenfalls berücksichtigt. Es fehlt bisher noch die Möglichkeit, eine verlässliche Gießempfehlung darzustellen. Dies wäre ein weiterer implementierbarer Schritt. Dazu bedarf es einer ausgedehnten KI-Trainingsphase, die aus Zeitgründen nicht mehr berücksichtigt werden konnte. Da der Baumschulist aber aus Erfahrung die auszubringenden Wassermengen kennt, im Dashboard festhält und den Effekt der Bewässerung unverzüglich im Dashboard sieht, gibt es immer eine für die Praxis ausreichende Rückkopplung (eine Karenzzeit von ca. 4 h sollte berücksichtigt werden bis zur Einstellung des neuen stabilen Feuchtwertes).
- Für die Transport-Überwachung ist die von Agvolution entwickelte, auf der Climavi-Elektronik und Software basierenden „Transport-Box“ eine gute Grundlage für ein effektives Monitoring. Zwei Sensoren werden angeschlossen: ein kombinierter Luftfeuchte- und Lufttemperatur-Sensor und der Climavi-Sensorfuß zur Messung der relativen Veränderung der Feuchte im Wurzelballen. Der GPS – Sender ist in der Transportbox verbaut. Die gesendeten Messwerte werden in demselben Dashboard dargestellt, das auch für die Baumschule verwendet wird. Somit sind alle Informationen für die lokalen als auch die mobilen Bewässerungsvorgänge an einer zentralen Stelle vorhanden.

## 2.2. Landeshauptstadt Hannover

Für die Landeshauptstadt Hannover stellte die Thematik der Funk-Bodenfeuchte-Sensorik mit dem Beginn des Projektes einen gänzlich neuen Themenbereich dar. Dieser konnte durch das Projekt erschlossen werden und wurde in das Bewässerungsmanagement der Stadt eingewoben.

**Praxisetablierung von Sensortechnik:** Ein wichtiger Erfahrungswert aus dem Projekt ist, dass dies einen nicht zu vernachlässigenden **Personalbedarf** mit sich bringt. Das kommunale Bewässerungsmanagement ist vielerorts ein auf Erfahrungen basierendes und seit Jahrzehnten eingespieltes Handwerk der Kraftfahrer\*Innen und Verwaltungskräfte. Das erfolgreiche Einspeisen neuer Technik in so ein System erfordert Zeitaufwand und Fingerspitzengefühl bzw. Personalaufwand. Auf Basis der Erfahrungen aus dem Projekt ist dafür über eine Zeitspanne von mehreren Jahren mindestens **eine halbe Stelle** erforderlich. Nach der Etablierung sinkt der Arbeitsaufwand auf ein noch nicht bekanntes aber deutlich geringeres „Erhaltungs-Maß“.

**Eignung von Sensortechnik im kommunalen Kontext:** Im NuTree-Projekt hat sich herausgestellt, dass Funk-Bodenfeuchte-Sensorik auch in der Stadt **ein effektives Werkzeug** darstellt um den Bewässerungsbedarf zu bestimmen. Hierfür hat sich in Hannover die „Standort-Methode“ als praxistauglich erwiesen. Dabei wird ein Standort mit mehreren vergleichbaren Baumstandorten ausgewählt, z.B. nach der Sanierung einer Straße mit 20 Neupflanzungen (gleiche Baumart, gleiches Standjahr). An diesem Standort werden 5 Bäume zufällig und gut verteilt ausgewählt, welche mit Bodenfeuchte-Sensoren ausgestattet werden. Abschließend wird ein Mittelwert aus den 5 Bäumen gebildet, um Ausfälle, Störungen oder andere Abweichungen erkennen zu können. Dieser Standort kann nun in einem gewissen Umkreis als Referenzstandort für Bäume in diesem Alter herangezogen werden. In Hannover läuft die Baumbewässerung immer in einem zwei- oder einwöchentlichen Rhythmus ab. Durch eine stadtweite Überwachung der Bäume nach diesem System kann nun auf zwei Weisen in das die Baumbewässerung eingegriffen werden. Zunächst können so faktenbasiert Beginn und Ende der jährlichen Bewässerungssaison bestimmt werden. Weiterführend kann steuernd in den Bewässerungsrhythmus eingegriffen werden, in dem ein Wässerungsgang ausgesetzt oder ein zusätzlicher angefordert wird.

Die Praxisetablierung der Sensortechnik bringt noch einen weiteren entscheidenden Vorteil mit sich, da die Bewässerungsentscheidungen so faktenbasiert und auch von Personen getroffen werden können, die noch keine Jahrelange Erfahrung in der Bewässerung von Stadtbäumen haben (z.B. durch die neue Leitung eines Werkhofes).

**Sensoren in Kombination mit Bewässerungsvergabe:** In Kommunen wird in der Regel zumindest ein Teil der zu erledigenden Arbeit (z.B. Baumbewässerung) an Firmen vergeben und nicht in Eigenleistung abgearbeitet. Hier entsteht oft ein Problem in der Leistungsabnahme, da ein Wasser-Gang einer Firma oft schon nach wenigen Tagen nicht mehr erkennbar ist. Außerdem ist praktisch nicht möglich die Leistung in Echtzeit zu dokumentieren. Mit der Funk-Sensortechnik können Wassergaben erkannt und auch **aus der Ferne effektiv abgenommen** werden.

**Sensorauswahl & Sensorvergleich:** Im und neben dem NuTree-Projekt sind von der Landeshauptstadt Hannover zusätzlich zum Climavi-Sensor von Agvolution auch einige weitere Modelle getestet worden. In diesem Versuch sind 3 vergleichbare Jungbaumstandorte (alle in einer Straße) auf jeweils 3 Messtiefen mit Bodenfeuchte-Sensoren ausgestattet worden. Dieser Standort ist im Laufe des Jahres oft bewässert worden und hat viele Daten aus dem städtischen Umfeld geliefert. Es kamen sowohl tensiometrische als auch volumetrische Sensoren zum Einsatz. Um die Daten beider Sensortypen miteinander

vergleichen zu können, wurden in der Auswertung die relativen Wertänderungen bei einer Wassergabe verglichen. Also die Intensität des Messwertausschlages, wenn der Sensor gewässert wird. Dabei hat sich herausgestellt, dass jeder Sensortyp innerhalb seiner Mess-Reichweite (Minimal- bis Maximalwert) vergleichbare Ausschläge ausgibt. Es liegen gewisse Schwankungen vor, aber grundsätzlich lässt sich festhalten, dass **alle getesteten und auswertbaren Sensoren in der Praxis funktioniert** haben und sich für eine Bewässerungssteuerung eignen würden.

Abseits von der Art des Sensors ist hervorzuheben, dass **die Installation zwingend fachgerecht erfolgen** muss. Ein Sensor kann nur so gute Daten liefern, wie er auch verbaut worden ist. Hierfür können Firmen beauftragt, oder das eigene Personal fortgebildet werden.

**Anforderungen an das Dashboard:** Da eine Kommune in der Gesamtheit ihrer Tätigkeitsbereiche auch eine Vielzahl von Sensoren einsetzt und noch einsetzen wird ist es naheliegend im Sinne der „Smart City“ ein städtisches Dashboard einzurichten, auf welchem die Sensoren ausgewertet werden können. Dies war für die Landeshauptstadt Hannover nicht Teil des NuTree-Projektes wird aber abseits davon angestrebt. Für das Dashboard entscheidend ist, dass die Daten übersichtlich sowohl in Tabellen-Form als auch in einer Grafik (zeitlicher Verlauf) dargestellt werden können. Für die hier angestrebte Art der Sensorverwendung sollten die Daten mehrerer Sensoren miteinander verrechnet werden können (Mittelwert). Weiterführend ist es entscheidend, wie die Daten angezeigt werden. Bei einer volumetrischen Bodenfeuchte-Messung sollten die Werte niemals absolut betrachtet werden, da die Schwankungen der individuellen Sensoren zu groß sind. Stattdessen sollten sie normiert aufgetragen werden. Alternativ können die Interpretationsbereiche der absoluten Werte verschoben werden. Dies kann jedoch für den ungeübten Nutzer schnell verwirrend werden.

Abschließend ist es hilfreich optische Schwellwerte für die Bewässerung anzeigen lassen zu können sowie Bewässerungsereignisse zu verzeichnen. Auch das Einspielen und Anzeigen von Niederschlagsdaten unterstützt die Auswertung der Bodenfeuchtedaten sehr.

### 2.3. Agvolution

Das NuTree-Projekt bot aus technischer Sicht ein großartiges Umfeld für eine praxisnahe Produktentwicklung und Testung. Nachfolgend sollen einige Kernpunkte vorgestellt werden, die aus praktisch-technischer Sicht relevant sind:

**Mobile Überwachung von Pflanzen- und Baumtransporten:** Im Rahmen des Projekts wurde ein neues Hardware- und Software-Produkt zur gleichzeitigen, exakten räumlichen und zeitlichen Erfassung von Vitalparametern (Bodenfeuchte, Bodentemperatur, Luftfeuchte, Lufttemperatur – auch weitere Messgrößen wie Saftfluss möglich, etc.) entwickelt, und erfolgreich eingesetzt. Hierbei erfolgte eine Optimierung hinsichtlich globaler Daten-Konnektivität, Akku-Laufzeit und Aufzeichnungsintervallen. Diese „Transport-Box“ bot den Baumschulisten spannende Echtzeit-Einblicke während der Transporte, und eine Möglichkeit, die Verantwortung während des Gefahrenübergangs zu kontrollieren.

**Vandalismus-geschützte Bodenfeuchte-Sensorik im öffentlichen Bereich:** Insbesondere in stark frequentierten Bereichen in Innenstädten benötigen dort platzierte Sensoren für Bodenfeuchte vor Vandalismus geschützte, unauffällige Gehäuse. Hierbei war es im Rahmen des Projekts möglich, ein neues Gehäuse-Konzept, welches auch Lichteinfall der Sonne auf eine integrierte Solarzelle ermöglicht, erfolgreich zu testen. Auch bei Verschattung durch umliegende Vegetation ist die Akku-Laufzeit auf über ein Jahr Autarkie ohne Sonnenlicht ausgelegt.

**Datenübertragung:** Ursprünglicher Einsatz privater IoT-Netze (hier: LoRaWAN) im Baumschul-Betrieb erwies sich aufgrund des Aufwands für Gateway-Einrichtung und -Betrieb als wenig praktikabel. Hier bieten Mobilfunk-basierte Sensoren eine einfache Plug and Play-Lösung. Anders ist dies etwa in Städten mit bereits verfügbaren, privaten IoT-Netzen. Dort können gleichermaßen Sensoren mit LoRaWAN oder mioty einfach integriert werden und zeigen Vorteile im Energieverbrauch.

**Bodenfeuchte-Sensorik:** Grundsätzlich zeigen die Sensor-Vergleichsversuche aus dem NuTree-Projekt zunächst einmal untereinander sehr gute Korrelationen in den relativen, zeitlichen Verläufen innerhalb des Messprinzips (dielektrisch oder tensiometrisch), und dies je nach Bodenart auch über das Messprinzip hinaus. Es wurde demonstriert, dass insbesondere eine gute Vergleichbarkeit bei Betrachtung der relativen Änderungen in den zeitlichen Verläufen der Bodenfeuchte aufgezeigt werden kann. Dies ist ein sehr wichtiges Ergebnis für die Praxis, da mit diesem Verfahren die Notwendigkeit für eine bodenartabhängige Kalibration entfällt. Somit liegt der Fokus bei dielektrischen Sensoren nicht mehr auf einer exakten Kalibration der Volumetrischen Bodenfeuchte, sondern stattdessen auf umgebenden Kriterien wie:

- **Wie gestaltet sich die Handhabung des Bodenfeuchtesensors? Wie aufwändig ist die Installation? Können Fehler bei der Installation gemacht werden?**
- **Bildet der Sensor eine oder mehrere Messpunkte in einem Gerät ab?**
- **Sind die Sensoren ganzjährig außen einsetzbar? Können die Sensoren auf mehrere Jahre im Boden verbleiben? Können die Sensoren später entnommen und umgesetzt werden?**
- **Welches Erdvolumen wird bei der Messung abgedeckt?**
- **Ist die Messung der Bodenfeuchte empfindlich für Querstörungen (bspw. abhängig von der Temperatur)?**

Der im Rahmen des NuTree-Projekts (weiter-)entwickelte und erprobte Bodenfeuchtesensor („climavi Soil“) bietet durch die Anordnung zweier gegenüberliegender Elektroniken ein vergrößertes und homogenes Messvolumen, und dadurch einige Vorteile im Vergleich zu bis dahin existierende Sensoren auf dem Markt. Der Sensor wurde praxisoptimiert, verbindet mehrere Mess-Horizonte in einem Gerät, welche modular verkürzt- und verlängert werden können, und ist ganzjährig auch in rauen Umgebungen außen einsetzbar. Beim Design wurde auch Wert auf die Möglichkeit der späteren Entnahme und Wiederverwendung etwa an einem anderen Gehölz gelegt. Querstörempfindlichkeiten gegenüber Temperatur wurden ebenfalls in Prüfkammern vermessen und eliminiert.

**Dashboards:** Im Rahmen des Projekts wurden verschiedene Datenplattformen und Dashboards getestet (Climavi-App, projektspezifisches Dashboard und Thorkas-Dashboard). Hierbei bieten alle drei Systeme Möglichkeiten zur Anzeige der Standorte und Zeitreihendaten, verschiedene zeitliche Auflösungen (Aggregationen), Abgleich mit Niederschlagsdaten der lokalen Wetterstation oder Wetter-API und Dokumentation der Gießmengen und Prognosen für Bodenfeuchte. Auch können in allen Systemen Alarmer für SMS, E-Mail, Telefon, etc. konfiguriert werden. In diesem Zuge konnten auch Erfahrungen zur horizontalen Datenintegration per HTTP REST API oder Webhook gesammelt werden, welche sich ohne größere Aufwände als gut umsetzbar erwiesen. Die Schwerpunkte der Dashboards waren hierbei verschieden gesetzt: Das projektspezifische Dashboard bot gute Möglichkeiten für kontinuierliche Sensordaten-Vergleiche. Die Climavi-App stellt vor allem ein Ampelsystem für die einfache Handhabung heraus. Das Thorkas-Dashboard bot insbesondere eine gute Visualisierung während der mobilen Transportüberwachung.

### **3. Fazit**

#### **3.1. Handlungsempfehlungen aus Sicht von Baumschule Bonk**

Für die Baumschule sind direkt verwertbare Ergebnisse entstanden: Die Funk-Tensiometer sind mit dem THORKAS Dashboard im täglichen Einsatz. Dabei hat sich neben der Standardanwendung noch eine „dynamische“ Anwendungsweise ergeben, indem ein Teil der Tensiometer an ständig wechselnden Einsatzorten genutzt werden: Entweder in gerade frisch umgeschulten Baumbeständen, um das Anwachsen in den ersten Wochen zu überwachen und/oder in den Wurzelballen von bereits ausgegrabenen Bäumen, die vor dem Abtransport noch einige Wochen auf dem Gelände stehen müssen. D.h. die Funk-Tensiometer werden kurzerhand „umgezogen“. Dies bedeutet nur wenige Handgriffe und ist schnell erledigt. Auf dem Dashboard wird der neue Standort eingetragen und die Messungen gehen direkt weiter.

Ebenso wichtig ist die Transportüberwachung. Dazu steht eine Transport-„Auswertebox“ zur Verfügung, an die die Sensoren (Luftfeuchte, Temperatur im Laderaum und Bodenfeuchte im Wurzelballen) angeschlossen sind. Diese Elektronikbox ist am Stamm angebunden und sendet aus dem fahrenden LKW im 10-30min Takt die Messwerte in die Cloud zur Darstellung auf dem Dashboard aus.

Selbst die Fernüberwachung beim Endkunden ist bereits bei einem großen privaten Vorhaben aktiv: Dort ist dieselbe Sensor-Anordnung wie in der Baumschule im Einsatz. Der lokale Gärtner hat nach einer Einweisung auch einen Zugang zu dem web-basierten THORKAS Dashboard erhalten. Lieferant (Baumschule) und lokaler Gärtner bei Endkunden stehen in Kontakt und sehen dieselben Graphiken auf dem Dashboard. Das erleichtert die Kommunikation enorm, da Fehlinterpretationen vermieden werden.

#### **3.2. Handlungsempfehlungen aus Sicht von der Landeshauptstadt Hannover**

Aus der Perspektive der Landeshauptstadt Hannover können der Einsatz und die feste Etablierung von Funk-Bodenfeuchte-Sensorik auch für andere Kommunen empfohlen werden. Die Technik unterstützt insbesondere die Vitalität von Jungbäumen und kann die Ausfallquote von Jungbäumen in Dürrejahre effektiv senken. Darüber hinaus kann die Menge an eingesetzten Ressourcen (Wasser, Kraftstoff, Maschinen, Personal und finanzielle Mittel) in feuchteren Jahren gesenkt werden, ohne die Gesundheit der Jungbäume zu gefährden.

Es können unterschiedliche Sensormodelle dafür verwendet werden, entscheidend ist, dass die Sensoren fachlich korrekt verbaut sind und dass die Daten fachlich sinnvoll ausgewertet werden (siehe „Sensorauswahl & Sensorvergleich“).

Zur Datenübertragung kann die NB-IoT Variante auf einer stadtweiten Skala empfohlen werden. Im Laufe des gesamten Projektes sind kaum Probleme damit aufgetreten und es gab fast immer guten Empfang. Somit hat es sich in der Praxis bewährt und ist in Hannover auch am wirtschaftlichsten.

Wichtig zu erwähnen ist jedoch der Personalaufwand, der dadurch in der Verwaltung entsteht, hier müssen bei einer Etablierung unbedingt Personalressourcen freigestellt werden, andernfalls kann nicht von einem dauerhaften Erfolg ausgegangen werden.

### 3.3. Handlungsempfehlungen aus Sicht von Agvolution

**Mobile Überwachung von Pflanzen- und Baumtransporten:** Die gleichzeitige Erfassung von Geo-Position und Vitalparametern bietet einen hohen, neuen Mehrwert. Dadurch können nachvollziehbar und unabhängig Messwerte, die exakt orts- und georeferenziert sind, gewonnen werden. Der Einsatz einer solchen „Transport-Box“ im Tagesgeschäft wird klar empfohlen, da hierdurch der bei Pflanzentransporten oftmals heikle Gefahrenübergang stringent nachvollzogen werden kann. Der Einsatz der Hard- und Software ist einfach: Die Sensorik kann im Betrieb am Ladegerät verbleiben, und wird bei Verladen mit auf das Transportfahrzeug gegeben. Die Datenübertragung ins Dashboard erfolgt ohne technische Vorkenntnisse und Einrichtungsaufwand in Echtzeit weltweit.

**Kosten-Nutzen-Abwägung Sensorik-Einsatz:** Das NuTree-Projekt hat klare Möglichkeiten der Kostenersparnis durch optimiertes Management im kommunalen Bereich aufgezeigt. Hiervon ist die bedarfsgerechte, sensorbasierte Bewässerung eine Komponente. Aus anderen Umfeldern mit wesentlich höheren Anzahlen an Sensorstandorten konnte eine klare Reduktion der Totbaum-Rate insbesondere im Jungbaum-Bestand aufgezeigt werden, wodurch sich Bodenfeuchte-Messsysteme im kommunalen Bereich regulär bereits nach einem Jahr amortisieren. Hierbei wird stark der Einsatz von dielektrischen Bodenfeuchtesensoren aufgrund der Langlebigkeit und Beständigkeit und des ausbleibenden Wartungsaufwands empfohlen.

**Bodenfeuchte-Sensorik:** Es ist essenziell, den richtigen Bodenfeuchte-Sensor-Typ für das jeweilige Einsatz-Szenario zu finden. Zunächst ist Wert auf eine Wahl eines Sensors zu legen, der grundsätzlich querstörungsfrei, stabile Zeitreihendaten liefert. Ein Ergebnis des NuTree-Projekts ist es, dass dielektrische Sensoren in der Praxis auch ohne (aufwändiger) bodenartabhängiger Kalibration auf Basis der relativen Verläufe und relativen Änderungen eingesetzt werden können. Dann überwiegen – wie oben erwähnt – Vorteile wie Wartungsfreiheit und Frostresistenz. Der Einsatz von manuellen, tensiometrischen Sensoren ist in Baumschulen bekannter, welche ebenso elektronisch ausgelesen werden können. Der Einsatz von Tensiometern kommt jedoch mit dem Nachteil von zusätzlichen Wartungsaufwänden und potenziellen Geräteschäden bei Frost.

**Datenübertragung:** Zur Datenübertragung auf Betrieben (beispielsweise Baumschul-Betrieben) wird generell Mobilfunk (hierzu zählen etwa Nb-IoT und LTE-M) aufgrund des ausbleibenden Wartungs- und Installationsaufwands empfohlen. Diese Technik ist gleichermaßen in anderen Umfeldern – etwa im kommunalen Umfeld – kompatibel. In kommunalen Umfeldern existieren oftmals auch private IoT-Funknetze, etwa mit LoRaWAN oder mioty. In diesem Fall kann gleichermaßen eine Datenübertragung auch über diese privaten IoT-Funknetze erfolgen, da der Wartungs- und Installationsaufwand für das Individuum entfällt (diese Netze werden idR. durch Stadtwerke betrieben). Sensoren mit LoRaWAN oder mioty bieten vor allem Vorteile hinsichtlich deren Energieverbrauch bei der Datenübertragung. Erfahrungsgemäß sind dennoch auch in Städten die Abdeckungen durch Mobilfunk oftmals besser präexistent.

#### Kontakt und weitere Informationen zum Projekt:

Baumschule Bonk:  
AGVOLUTION GmbH:  
Landeshauptstadt Hannover, Bereich Umwelt- und Stadtgrün:  
Seedhouse Accelerator GmbH:  
Thorkas UG:

info@bonk-baumschulen.de  
contact@agvolution.com  
67.33@hannover-stadt.de  
greta@seedhouse.de  
stieger@thorkas.com

<https://www.nutree-eip.de/>  
<https://projekte.eip-nds.de/schlusstechnologien/nutree-gesunde-baeume-in-staedten-und-parks-dank-sensortechnik-und-kuenstlicher-intelligenz/>