

Sachbericht zum Verwendungsnachweis – Teil I

Kurzbericht - Hansenhof _electronic Entwicklung Fa. Steffen Schmieder

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung und Stand der Technik

Das Verbundprojekt PLANtAR verfolgte das Ziel, innovative Lösungen zur Erfassung, Verarbeitung und Nutzung agronomischer Sensordaten zu entwickeln. Bisherige Sensorsysteme waren oft schwerfällig und unflexibel oder nur bei Überfahrt der agronomischen Flächen nutzbar. PLANtAR knüpfte an diesen Stand der Technik an und entwickelte ein drahtloses, energieeffizientes und biodegradierbares Sensornetzwerk (eGrains) sowie eine begleitende Softwareplattform zur umfassenden Datenauswertung als Demonstrator in verschiedenen Einsatzszenarien.

2. Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben gliederte sich in die Entwicklung der eGrain-Sensorik und deren Sensorträger, eines Gateways für die Datenerfassung und -übertragung sowie eines cloudbasierten Backends mit öffentlicher Single Page Web Application (SPA) bzw. privater mobiler Applikation (App).

Wichtige Schritte:

- Unterstützung der Entwicklung und Test der Sensorstäbe sowie des drahtlosen, energieeffizienten Übertragungsprotokolls
- Umsetzung eines Gateways zur Datenerfassung und -weiterleitung
- Implementierung des Backend als zentrale Datenannahmestelle und Datenbank
- App für Verwaltung und Visualisierung der Felder, Sensorstäbe, Alarme
- Feldtests in realen landwirtschaftlichen Anwendungen (Kartoffelbau, Braugerste, Raps, Wasserschutzgebiet Saldenbachtalsperre)

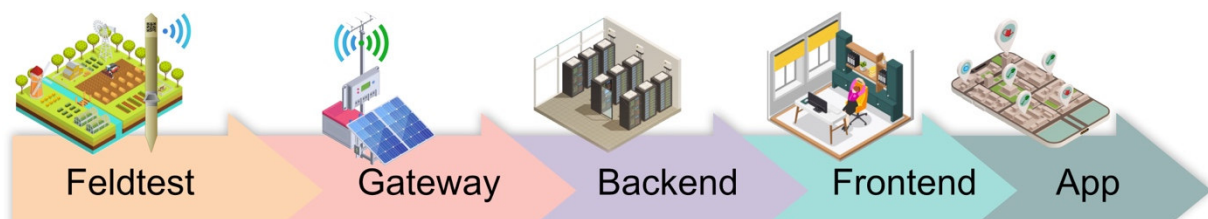


Abb. 1: Weg der Daten von der Erfassung auf dem Feld bis zur Darstellung in der mobilen App

Technische Anpassungen wie der Wechsel der Funkstandards und der Einsatz alternativer Sensorsysteme waren erforderlich, um auf infrastrukturelle Herausforderungen zu reagieren.

3. Wesentliche Ergebnisse

Die Hauptarbeiten im Teilvorhaben erfolgten in der Forschung und Entwicklung des Gateways, insbesondere die Integration neuer Kommunikationsprotokolle und die Optimierung der Energieeffizienz sowie der PLANtAR-Plattform und mobilen Applikationen, die eine intuitive Visualisierung der Sensordaten ermöglicht. Ein weiterer Fokus lag auf den praktischen Tests der Sensorhardware in landwirtschaftlichen Anwendungsfällen, um die Praxistauglichkeit der entwickelten Technologie sicherzustellen.

Dabei wurden verschiedene **Praxisanwendungen** im Versuchsaufbau berücksichtigt, durchgeführt und bewertet:

- Reduzierung von Nitratverunreinigung in Trinkwasserschutzgebieten (Saidenbachtalsperre)
- Mögliche Früherkennung von Phytophthora im Kartoffelanbau
- Optimierung der Düngemittelgabe im Weizen-, Braugersten- und Rapsanbau
- Dedizierte Testreihen in Pflanzkübeln

Es entstanden folgende Lösungen und Systeme/Module (Technologische Innovationen):

- Energieeffizientes, drahtloses Übertragungsprotokoll nach ISO11783
- Firmware für drahtloses Telemetriegateway (Software)
- Drahtloses, skalierbares, energieautarkes Telemetriegateway (Hardware)
- Datenannahmeserver kompatibel zu Übertragungsprotokoll nach ISO11783 (Software)
- Backend zur Persistierung eingehender eGrain Daten nach ISO11783 (Software)
- Frontend zur Verwaltung und Visualisierung von Nutzern, eGrains, Felder und eGrain-Daten (Software)
- Mobile Applikation für iOS und Android zur Visualisierung und Verwaltung der eGrain Daten, Guards und Positionen unter Verwendung des Smartphone GPS-Signals während des Einschlümmens der Sensorstäbe (Software)

Wichtige Erkenntnisse:

- Hohe Zuverlässigkeit bei Trendüberwachung agronomischer Parameter zur Früherkennung möglichen Schädlingsbefalls
- Herausforderungen bei der absoluten Nitratmessung

4. Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen

Eine enge Kooperation bestand insbesondere mit dem Fraunhofer ENAS, das neben dem Sensorträger mit Bodenfeuchte- und Temperatursensor zusätzlich einen biodegradierbaren Blattfeuchtesensor bereitstellte. Mit der Infineon Technologies AG erfolgte eine Zusammenarbeit zum Blattfeuchtesensor. Weiterhin wurden wir vom KSI Meinsberg bei Fragen zur Nitratmessung mit den eGrain-Sensoren, insbesondere bei der Kalibrierung, unterstützt. Die Entwicklung des Gateways erfolgte in Kooperation mit der predEvolution technologies GmbH.

5. Öffentlichkeitsarbeit und Auszeichnungen

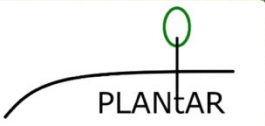
Die Ergebnisse wurden auf Veranstaltungen wie dem Gülle-Feldtag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie präsentiert. Zudem erhielt PLANtAR den Penta Innovation Award 2024 für herausragende Leistungen im Bereich Smart Farming.

6. Ausblick

Die entwickelten Technologien sollen in das Hansenhof Farm-Management-System Odokus integriert und weiterentwickelt werden. Geplant sind die Miniaturisierung der Sensoren und die Erweiterung der Sensordatenbasis, um die Digitalisierung der Landwirtschaft weiter voranzutreiben und zusätzliche Zielgruppen zu erschließen.

Sachbericht zum Verwendungsnachweis – Teil II

Ausführliche Darstellung - Hansenhof _electronic Entwicklung Fa. Steffen Schieder



Inhalt

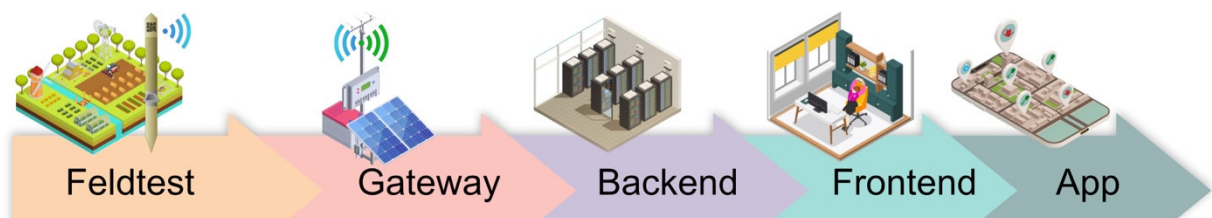
SACHBERICHT ZUM VERWENDUNGSNACHWEIS – TEIL II	1
INHALT	2
VERGLEICH MIT DER URSPRÜNGLICHEN VORHABENBESCHREIBUNG	3
<i>Abweichungen von der ursprünglichen Planung</i>	3
DETAILLIERTE DARSTELLUNG DER MITTELVERWENDUNG	4
VERWERTUNG DER ERGEBNISSE UND ZUKÜNFTIGE ANWENDUNG	5
ARCHITEKTUR DES PLANTAR DEMONSTRATORS (BACKEND)	6
<i>Datenübertragung durch eGrains</i>	6
<i>Erfassung und Pufferung der Sensordaten im PLANTAR Gateway</i>	7
<i>Weiterleitung der Daten an den Nest.JS Annahme-Server</i>	7
<i>Speicherung und Bereitstellung der Daten im Backend-System</i>	7
SOFTWARE-MODULE DES PLANTAR DEMONSTRATORS (FRONTEND)	8
<i>eGrain Inspector</i>	8
<i>Datenvisualisierung und Weiterverarbeitung</i>	9
<i>eGrain Manager</i>	9
<i>PLANTAR QR Scanner</i>	10
<i>Field Manager</i>	10
<i>PLANTAR Guards</i>	11
HARDWARE-ENTWICKLUNG IM PLANTAR-PROJEKT	12
<i>Entwicklung und Implementierung des Sensor-Gateways</i>	12
<i>Design und Funktionalität des Gateways</i>	13
<i>Kommunikation zwischen Sensorknoten und Gateway</i>	13
<i>Prototypische Testphase und Optimierung</i>	14
<i>Herausforderungen und Weiterentwicklungen</i>	15
<i>Integration in das Gesamtsystem</i>	15
FELDTTEST UND ANWENDUNGSSZENARIOEN	16
<i>Phytophthora-Früherkennung im Kartoffelanbau</i>	16
<i>Trinkwasserschutz Saldenbachtalsperre</i>	17
<i>Optimierung Nitratgehalt im Bodensubstrat</i>	17
<i>Ausblick und wünschenswerte Weiterentwicklung</i>	18
ÖFFENTLICHKEITSARBEIT UND VERÖFFENTLICHUNGEN	19
<i>PLANTAR Talsperrenführung in Reifland</i>	19
<i>Interessengemeinschaft Trinkwasserschutz</i>	20
<i>Feldtag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)</i>	20
<i>Penta Innovation Award 2024</i>	21

Vergleich mit der ursprünglichen Vorhabenbeschreibung

Das PLANtAR-Projekt wurde mit dem Ziel gestartet, innovative Lösungen zur Erfassung, Verarbeitung und Nutzung agronomischer Sensordaten zu entwickeln.

Die ursprüngliche Planung sah die Konzeption und Implementierung eines Sensorknotensystems (eGrains) vor, das mit einer cloudbasierten Softwareplattform (Demonstrator) interagiert und eine umfassende Datenanalyse ermöglicht. In der Verantwortung der Hansenhof _electronic lagen dabei folgende Teildisziplinen:

- **Spezifikation** und Implementierung eines energieeffizienten **Transportprotokolls**
- **Hardware-** und **Softwareentwicklung** eines **Telemetrie-Moduls** für Datenempfang, -analyse und -routing
- Implementierung eines **Datenannahmeservers** (Backend)
- Implementierung eines **Datenportals** (Frontend) und **Smartphone-App** für Endanwender
- Durchführung einer begleitenden **Einsatzdemonstration** sowie **Feldversuchen** unter Realbedingungen zur kontinuierlichen Überwachung der Projektergebnisse (Demonstrator)



Im Verlauf der Projektumsetzung wurden alle wesentlichen Entwicklungsziele erreicht.

Zwar ergaben sich in einigen Bereichen Abweichungen von der ursprünglichen Planung – insbesondere hinsichtlich der Netzwerktechnologien und der Integration externer Schnittstellen –, diese waren jedoch erforderlich, um auf technische und infrastrukturelle Herausforderungen flexibel zu reagieren. Die erzielten Fortschritte in den Bereichen Hardware- und Softwareentwicklung zeigen, dass das Projekt die gesteckten Ziele weitgehend erfüllt hat und in einzelnen Bereichen sogar über die ursprünglichen Erwartungen hinausgegangen ist.

Abweichungen von der ursprünglichen Planung

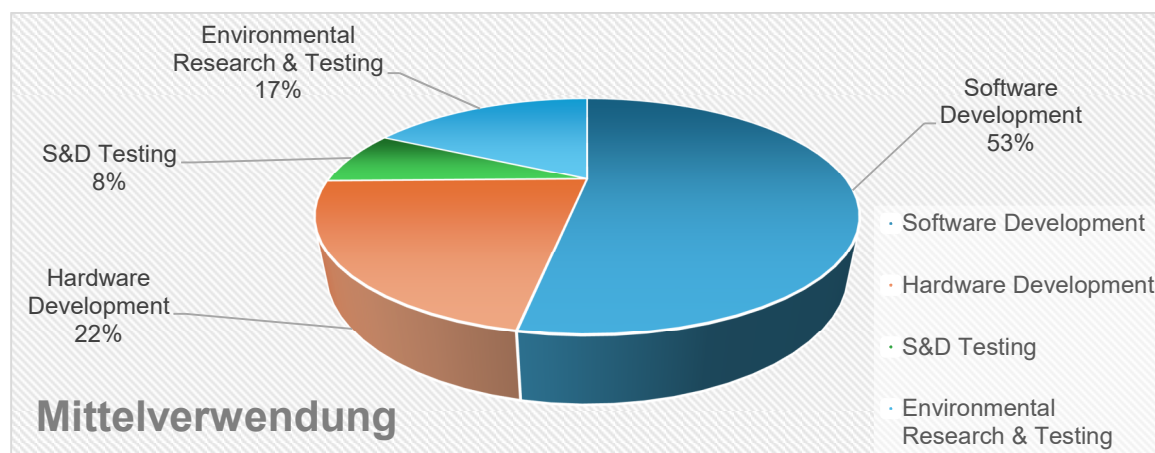
- Blattfeuchtesensor als integrierter Bestandteil des eGrains bis Ende Juni 2024 nicht verfügbar, weshalb ein Einsatz in der Wachstumsphase nicht möglich war. Ersatzweise wurde 2024 ein alternativer Blattfeuchtesensor vom Projektpartner ENAS bereitgestellt, um die Früherkennung von Phytophthora zu ermöglichen.
- Der in den eGrains enthaltene Nitratsensor erfordert eine aufwändige und teure Bodenbeprobung durch den Landwirt, um genaue Messergebnisse erzielen zu können. Die durch die Bodenproben erlangten Kalibrierwerte sind zwingend erforderlich, um korrekte Messergebnisse zu erzielen. Leider ist die Abhängigkeit vom Bodenmaterial so groß, dass sich Messergebnisse kalibrierter eGrains, welche in einem Abstand von 100 cm voneinander in Boden gleicher Eigenschaften positioniert werden, stark unterscheiden. Eine Ungenauigkeit oder Toleranz dieser Größenordnung schränkt den Einsatz von eGrains für manche Zielstellungen, wie den Trinkwasserschutz leider ein.

- Die Ermittlung der Feuchtigkeit im Boden am eGrain erfolgt durch Messung des Saugdrucks im Bodensubstrat. Dieses Vorgehen ist optimal geeignet, um die Wasserverfügbarkeit für den Pflanzenbestand zu erfassen. Leider verringert das Saugdruckverfahren als Messmethode für die Ermittlung der Bodenfeuchte zusätzlich die Genauigkeit der Nitratbestimmung am Nitratsensor, da weitere Faktoren wie Bodendichte und Bodentextur, welche durch die Bodenbeprobung nicht genau genug erfasst werden können, starken Einfluss auf die Ermittlung des Nitratgehalts haben.
- Während ursprünglich NB-IoT als Übertragungstechnologie geplant war, wurde zur Verbesserung der Abdeckung und Signalqualität auf ein 2G/3G/LTE-M Modul gewechselt.

Detaillierte Darstellung der Mittelverwendung

Die eingesetzten Fördermittel wurden zielgerichtet für die im Folgenden benannten und aufgeschlüsselten Disziplinen zur Entwicklung von Gateway, Backend- und Frontendserver, mobiler Applikation sowie für die Evaluierung durch aktive Arbeit mit und auf den Testfeldern und Teilschlägen verwandt:

- **Software Development** (Implementierung, Testing, Integration, ISO11783, Protokolle, Schulung)
- **Hardware Development** (Hardware Design, Layouting, Bestückung, Firmware Development)
- **Test und Evaluation** (Software, Hardware)
- **Environmental Research & Testing** (On-Site Testing)



Ein wesentlicher Teil der Mittel floss in die Forschung und Entwicklung des Gateways, insbesondere die Integration neuer Kommunikationsprotokolle und die Optimierung der Energieeffizienz sowie der PLANtAR-Plattform und mobilen Applikationen, die eine intuitive Visualisierung der Sensordaten ermöglicht. Ein weiterer Fokus lag auf den praktischen Tests der Sensorhardware in landwirtschaftlichen Anwendungsfällen, um die Praxistauglichkeit der entwickelten Technologie sicherzustellen.

Dabei wurden verschiedene **Praxisanwendungen** im Versuchsaufbau berücksichtigt, durchgeführt und bewertet:

- Reduzierung von Nitratverunreinigung in Trinkwasserschutzgebieten (Saidenbachtalsperre)
- Mögliche Früherkennung von Phytophthora im Kartoffelanbau
- Optimierung der Düngemittelgabe im Weizen-, Braugersten- und Rapsanbau
- Dedizierte Testreihen in Pflanzkübeln



Es entstanden folgende Lösungen und Systeme/Module:

- Energieeffizientes, drahtloses Übertragungsprotokoll nach ISO11783
- Firmware für drahtloses Telemetriegateway (Software)
- Drahtloses energieautarkes Telemetriegateway (Hardware)
- Datenannahmeserver kompatibel zu Übertragungsprotokoll nach ISO11783 (Software)
- Backend zur Persistierung eingehender eGrain Daten nach ISO11783 (Software)
- Frontend SPA (single-page application) zur Verwaltung und Visualisierung von Nutzern, eGrains, Felder und eGrain-Daten (Software)
- Mobile Applikation für iOS und Android zur Visualisierung und Verwaltung der eGrain Daten, Guards und Positionen unter Verwendung des Smartphone GPS-Signals während des Einschlämmens der Sensorstäbe (Software)

Verwertung der Ergebnisse und zukünftige Anwendung

Die im PLANtAR-Projekt entwickelten Technologien sollen langfristig in der digitalen Landwirtschaft und im Produktportfolio der Hansenhof_electronic Anwendung finden.

Die eGrain-Sensoren und das zugehörige Gateway-System bieten eine präzise und zuverlässige Möglichkeit zur Datenerfassung, die Landwirten fundierte Entscheidungsgrundlagen liefert. Eine potenzielle Anwendung ist die Integration der Sensorik in bestehende Farm-Management-Systeme (FMIS) wie das Hansenhof_electronic eigene Odokus (Offenes Dokumentations System), um eine automatisierte Überwachung und Steuerung landwirtschaftlicher Prozesse zu begleiten.

Des Weiteren wurden erste Gespräche mit landwirtschaftlichen Betrieben und Technologiepartnern geführt, um die erarbeiteten Lösungen für kommerzielle Anwendungen weiterzuentwickeln. Die Kombination aus Sensordatenanalyse und künstlicher Intelligenz bietet perspektivisch die Möglichkeit, präzise Handlungsempfehlungen in Echtzeit zu generieren, wodurch Betriebsmittel effizienter eingesetzt und Umweltbelastungen reduziert werden können.

Darüber hinaus arbeitet Hansenhof in Kooperation mit ENAS bereits an einer miniaturisierten Variante des PLANtAR-Konzepts, die sich speziell an Privatanwender richtet.

Dieses System ermöglicht den Einsatz drahtloser Sensorstäbe in privaten Gewächshäusern, Gärten

oder sogar in Wohnräumen. Ziel ist es, den Anbau von Lebensmitteln mit möglichst hohem Ertrag auch für Nutzer ohne landwirtschaftliche Vorkenntnisse zu erleichtern. Diese Weiterentwicklung eröffnet neben den landwirtschaftlichen Kunden eine zusätzliche Zielgruppe für die Hansenhof _electronic eigene Plattform Odokus (FMIS) und unterstützt damit die Marktposition von Hansenhof.

Die entwickelten Softwarekomponenten zur Datenvisualisierung von Sensordaten werden in einer angepassten Version in die nächste Version von Odokus integriert. Damit stehen die Visualisierungsmöglichkeiten nicht nur den Nutzern des PLANtAR-Systems zur Verfügung, sondern auch allen Bestands- und Neukunden von Odokus. Dies erweitert die Möglichkeiten zur Überwachung stationärer Sensordaten an Feldern und Feldgrenzen erheblich und schafft neue Anwendungen in der digitalen Landwirtschaft, da sowohl historisch als auch derzeit standardisierte Sensorsysteme in der Datenaufzeichnung zeitlich begrenzt nur entlang der Fahrspuren während der motorisierten Feldarbeit möglich war und ist.

Das energieeffiziente Datenübertragungsprotokoll zwischen den eGrain-Sensorsystemen und dem Datenbackend bildet zudem eine technologische Grundlage für zukünftige Entwicklungen im Bereich drahtloser, autonomer Sensornetzwerke. Besonders relevant ist dies für die Integration von ISO11783-konformen Daten in die Odokus-Plattform. Während ISOBUS-Applikationen traditionell kabelgebunden sind, eröffnet das neue Protokoll die Möglichkeit, auch drahtlose Sensordaten von autonomen Fahrzeugen oder anderen mobilen landwirtschaftlichen Systemen zu erfassen. Dies stellt einen bedeutenden Fortschritt dar, da es eine flexible, drahtlose Integration von Sensortechnik in bestehende landwirtschaftliche Betriebsabläufe ermöglicht.

Architektur des PLANtAR Demonstrators (Backend)

Die Architektur des PLANtAR-Demonstrators wurde entwickelt, um eine effiziente und zuverlässige Erfassung, Verarbeitung und Bereitstellung agronomischer Sensordaten zu gewährleisten. Der Datenfluss beginnt mit den eGrains, die über ein proprietäres Übertragungsverfahren zyklisch Messwerte senden und endet mit der strukturierten Speicherung und Bereitstellung dieser Daten über eine API (Advanced Programmer Interface) für nachgelagerte Anwendungen. Die zentrale Struktur besteht aus drei Hauptkomponenten: **eGrain-Sensoren, PLANtAR Gateway und das Backend-System.**

Datenübertragung durch eGrains

Die eGrains senden ihre Messdaten gemäß dem von Hansenhof entwickelten Übertragungsprotokoll, das einem **UDP-ähnlichen Best-Effort-Verfahren** folgt. Dieses Verfahren verzichtet auf explizite Empfangsbestätigungen und ermöglicht eine schnelle und energiesparende Übertragung. Die Sensordaten werden über ein **Bluetooth Low Energy (BLE)-ähnliches, jedoch proprietäres Funkprotokoll** zyklisch ausgesendet. Die Frequenz und Struktur der ausgesendeten Datentelegramme wurden optimiert, um eine hohe Effizienz und robuste Datenübermittlung sicherzustellen. Da die eGrains keine eigene Netzwerkanbindung besitzen, sind sie vollständig auf das Empfangssystem des Gateways angewiesen.

Erfassung und Pufferung der Sensordaten im PLANtAR Gateway

Das **Hansenhof PLANtAR Gateway** fungiert als zentrale Sammelstelle für alle in seinem Empfangsbereich befindlichen eGrains. Es empfängt sämtliche **Datentelegramme**, verarbeitet diese zu vollständigen Datensätzen und speichert sie temporär in einem **Pufferspeicher**. Das Gateway führt hierbei eine Vorverarbeitung durch, die:

- **Datenpakete aus mehreren Fragmenten rekonstruiert,**
- **Duplikate filtert,** und
- **die erfassten Werte auf Plausibilität überprüft.**

Diese Aufbereitung minimiert Fehler und ermöglicht eine effizientere Weiterverarbeitung im Backend.

Weiterleitung der Daten an den Nest.JS Annahme-Server

In zyklischen Intervallen werden die gesammelten und aufbereiteten Datensätze vom Gateway an einen speziell entwickelten **Datenannahme-Server auf Basis von Nest.JS** übermittelt. Dieser Server übernimmt folgende Aufgaben:

- **Parsing der eingegangenen Datensätze,** um deren Struktur zu validieren und fehlerhafte Pakete auszuschließen.
- **Aufbereitung der Daten in das ISO11783-Format,** damit sie den Standards der digitalen Landwirtschaft entsprechen und mit bestehenden Systemen kompatibel sind.
- **Überprüfung, ob der Absender (eGrain) bereits im Backend registriert ist.**

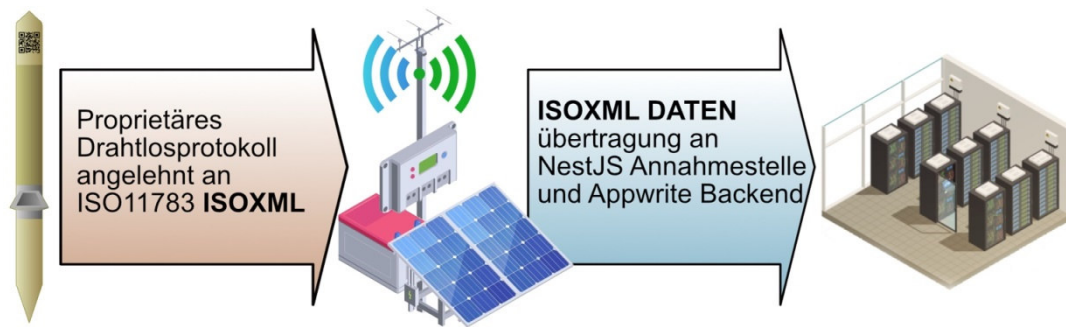
Sollte ein eGrain im System noch nicht bekannt sein, erfolgt **autonom eine Registrierung einer neuen eGrain-Instanz** mit den übermittelten Identifikationsdaten. Dies gewährleistet eine vollständige Nachverfolgbarkeit der Sensordaten auch dann, wenn der eGrain vom Endanwender noch nicht registriert wurde, aber bereits auf dem Feld eingesetzt wird.

Speicherung und Bereitstellung der Daten im Backend-System

Der Nest.JS Annahme-Server leitet die geprüften und validierten Daten an den **Backend-Server** weiter. Dort werden sie in einer **Datenbank persistiert**, um für spätere Analysen und Abrufe zur Verfügung zu stehen. Das Backend speichert nicht nur die aktuellen Sensordaten, sondern verwaltet auch **historische Messwerte**, um langfristige Entwicklungen und Muster in den agronomischen Daten zu erkennen.

Das Backend stellt über eine **RESTful API** verschiedene Schnittstellen für den Zugriff auf die gespeicherten Daten bereit. Diese ermöglichen:

- **Abruf von Sensordaten** für Visualisierungs- und Analysezwecke im Frontend,
- **Änderung von eGrain-Konfigurationen** wie Kalibrierungswerte oder Messintervalle,
- **Integration der Daten in PLANtAR Frontend oder Farm-Management-Systeme (FMIS)** für eine automatisierte Prozesssteuerung z.B. innerhalb Odokus.



Software-Module des PLANtAR Demonstrators (Frontend)

Im Rahmen des PLANtAR-Projekts wurden verschiedene Software-Module entwickelt, die eine zentrale Rolle bei der Erfassung, Visualisierung und Analyse agronomischer Sensordaten spielen. Diese Module werden nicht nur im Demonstrator des Projekts eingesetzt, sondern finden zukünftig auch in weiteren Systemen wie Odokus 3 Anwendung. Jedes dieser Module wurde gezielt für den PLANtAR Demonstrator konzipiert, um eine bestimmte Aufgabe innerhalb der digitalen Agrarwirtschaft zu erfüllen und die Effizienz der Datennutzung zu verbessern. Im Folgenden werden die einzelnen Software-Komponenten detailliert beschrieben.

eGrain Inspector

Das Modul eGrain Inspector dient als zentrale Schnittstelle zur Visualisierung der eGrain-Sensorsysteme. Die interaktive Karte ermöglicht eine intuitive Darstellung aller eingesetzten Sensorsysteme innerhalb ihrer jeweiligen Management-Zonen (Felder / Teilschläge). Diese visuelle Übersicht erleichtert die Überwachung der Sensorträgerstandorte und trägt dazu bei, agronomische Entscheidungsprozesse datenbasiert zu unterstützen. Neben der reinen Standortanzeige erweitert das Modul die Funktionalität durch die Integration von Echtzeit-Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD). So können Landwirte nicht nur den Status ihrer Sensornetze einsehen, sondern auch klimatische Bedingungen in ihre Analyse einbeziehen. Zusätzlich ermöglicht ein spezieller Kartenlayer die Identifikation von Überschneidungen mit Natur-, Vogel- und Wasserschutzgebieten. Diese Funktion dient der nachhaltigen Planung landwirtschaftlicher Maßnahmen unter Berücksichtigung bestehender Umweltauflagen.



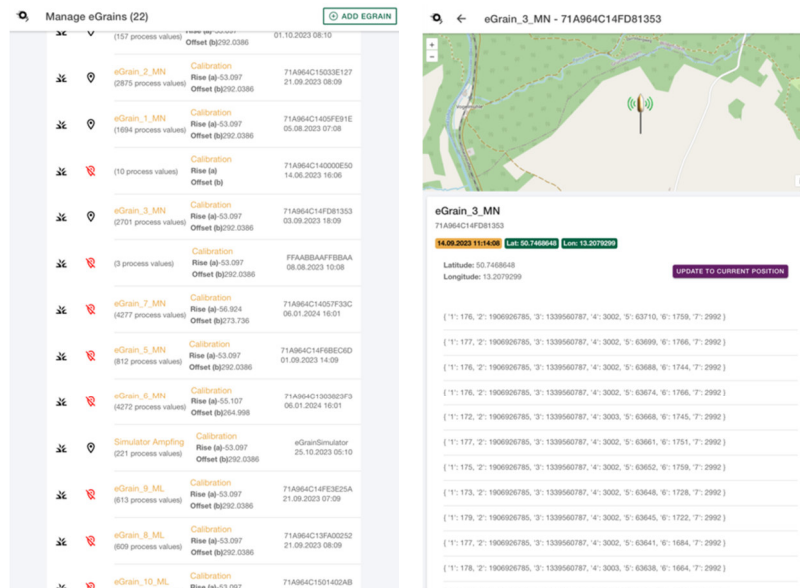
Datenvisualisierung und Weiterverarbeitung

Die eGrain Datenvisualisierung bietet eine detaillierte grafische Darstellung der Sensordaten je verfügbaren Sensor des Sensorsystems (eGrain), die über einen individuell wählbaren Zeitraum analysiert werden können. Durch die flexible Auswahl des Zeitbereichs erhalten Landwirte tiefgehende Einblicke in die Entwicklung agronomischer Parameter wie Bodenfeuchte, Bodentemperatur, Blattfeuchte, Luftfeuchtigkeit, Umgebungstemperatur und Nitratgehalt des Bodens. Die Sensordaten werden als Linien- oder Balkendiagramme aufbereitet, sodass Trends und Anomalien leicht erkannt werden können. Zu den erfassten Messwerten gehören unter anderem die Empfangsstärke der Sensoren, die Versorgungsspannung sowie eine variable Anzahl umweltrelevanter Sensoren, je nach Bestückung des Sensorsystems (eGrain). Besonders relevant ist zudem die Erfassung des Nitratgehalts, der sowohl als kalibrierter Wert als auch in Form von Rohdaten abrufbar ist. Ergänzend dazu stellt das Modul eine Downloadfunktion bereit, die sowohl den Export einzelner Messwerte als auch den gesamten Sensordatensatz für Archivierungszwecke oder der Weiterverarbeitung in alternativen Softwares ermöglicht.

Die ISOXML Analyse visualisiert auf einer Karte die bereits geleisteten Feldarbeiten auf Basis der durch die Landtechnik aufgezeichneten Daten (Ausbringraten, Ausbringmengen) innerhalb der jeweiligen Feldgrenzen. Die entsprechenden ISO-XML Daten können direkt aus Odokus importiert oder als .ZIP Archiv zur PLANtAR Demonstrator Plattform hochgeladen werden.

eGrain Manager

Der eGrain Manager stellt eine Verwaltungsseite für alle eGrain-Sensorsysteme bereit. Nutzer können sowohl eine tabellarische Übersicht aller Sensoren abrufen, als auch eine visuelle Darstellung auf einer interaktiven Karte nutzen. Diese doppelte Präsentation ermöglicht eine schnelle Orientierung und gezielte Interaktion mit den Sensoren. Eine der zentralen Funktionen des eGrain Managers ist die Anpassung der Sensorausbringpositionen. Änderungen an der Position können direkt über das Interface vorgenommen und in das System übernommen werden. Darüber hinaus ermöglicht das Modul das Einsehen der von den Sensoren übertragenen Rohwerte, die in einem JSON-Format gespeichert sind und sich am standardisierten Datenübertragungsprotokoll orientieren. Neben diesen Grundfunktionen erlaubt der eGrain Manager auch die detaillierte Einsicht in die Nitrat-Kalibrationsparameter und geografischen Koordinaten der eingesetzten eGrains. Ergänzt wird diese Verwaltung durch die Bereitstellung relevanter Metadaten, wie die Anzahl empfangener Datensätze je eGrain, dessen Seriennummer sowie das Datum und die Uhrzeit der Inbetriebnahme. Dabei werden eGrains automatisch im System erfasst, sobald ein Hansenhof _electronic Telemetry Gateway erstmals Daten erhält, sodass Sensordaten auch schon vor der Konfiguration im eGrain Manager aufgezeichnet und persistiert werden.



PLANTAR QR Scanner

Der PLANTAR QR Scanner erleichtert die Registrierung und Verortung der eGrain-Sensorstäbe im Feld. Um ein Sensorsystem korrekt zu installieren, wird der Sensorstab im Boden platziert. Anschließend kann der QR-Code auf dem Sensorstab mit der PLANTAR-App gescannt werden, woraufhin die Positionsdaten automatisiert an das Backend übermittelt werden. Dieser Prozess stellt sicher, dass jeder Sensor präzise im System registriert wird und in den nachfolgenden Analysen korrekt verortet ist. Die Nutzung des QR Scanners reduziert potenzielle Fehlerquellen bei der händischen Dateneingabe und beschleunigt die Einsatzbereitschaft der Sensoren im Feld. Zur Positionserfassung dient innerhalb der QR Scanner App das Smartphone-eigene GPS-Signal.

Field Manager

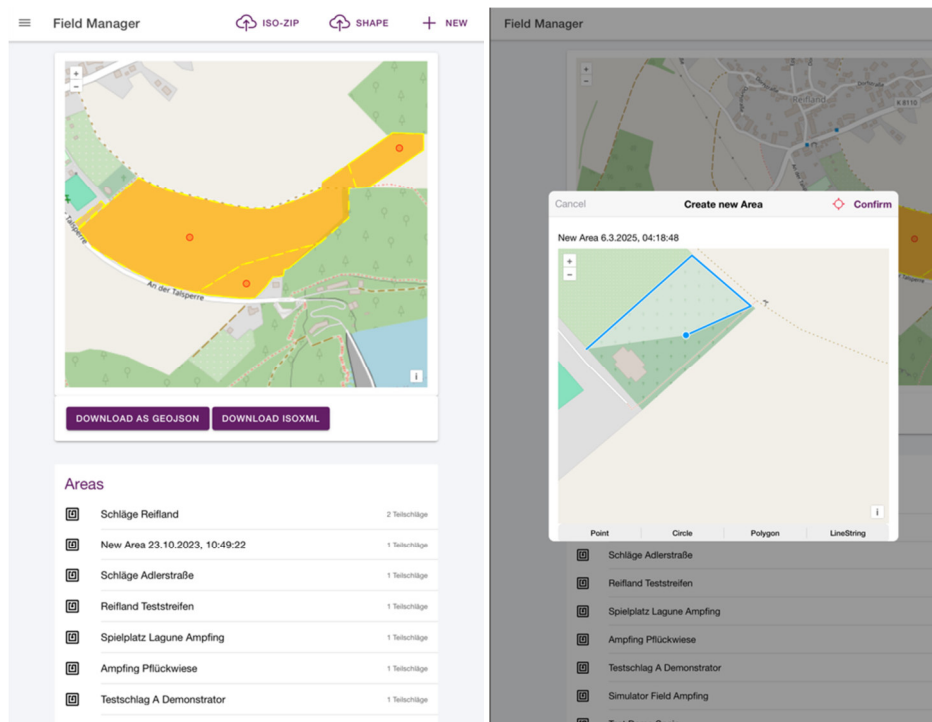
Mit dem Field Manager wird die Verwaltung landwirtschaftlicher Nutzflächen erheblich vereinfacht. Nutzer können neue Feldgrenzen und Teilschläge auf verschiedene Weisen erstellen:

- Durch manuelles Zeichnen auf einer interaktiven Karte,
- durch den Import standardisierter Shape-Dateien oder
- durch die direkte Integration von ISO11783-konformen Felddaten. (Upload)

Diese Flexibilität erlaubt eine nahtlose Einbindung in bestehende Systeme und Prozesse, egal ob der Nutzer bereits über ein ISO11783 konformes FMIS verfügt oder nicht.

Darüber hinaus ermöglicht das Modul den Export der erfassten Flächen in Formaten wie GEO-JSON oder ISOXML, sodass eine Kompatibilität mit gängigen Farm-Management-Systemen (FMIS) gewährleistet ist.

Um Landwirten eine präzise Übersicht zu bieten, werden alle erfassten Feldumrisse visuell auf einer interaktiven Karte dargestellt, was eine gezielte Planung und Organisation der landwirtschaftlichen Flächen unterstützt.

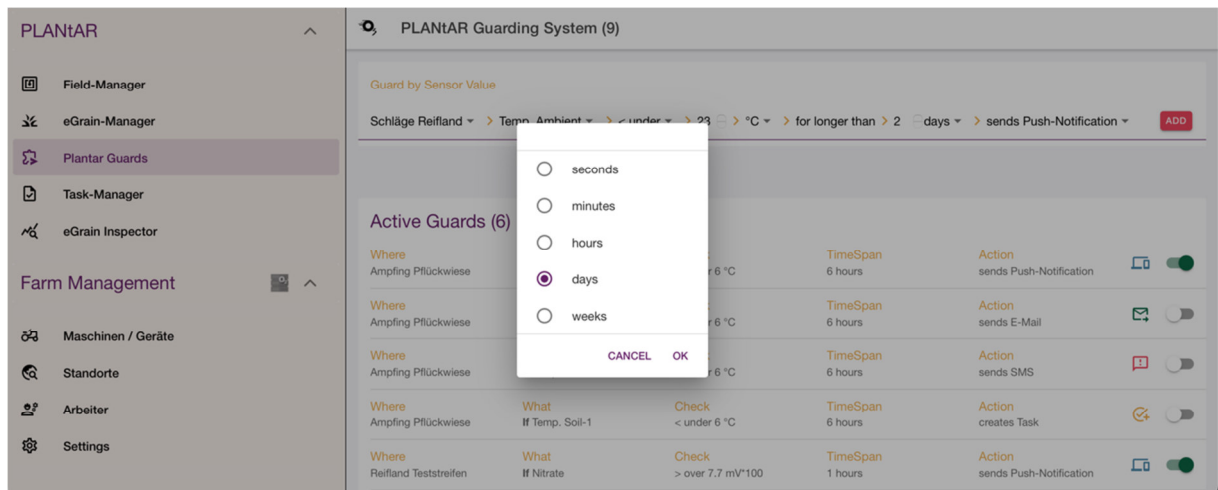


PLANTAR Guards

Das Modul PLANTAR Guards bietet eine leistungsfähige Überwachungsfunktion für kritische Sensordaten. Nutzer können individuelle Überwachungsprofile – sogenannte Guards – erstellen, die bestimmte Sensorwerte kontinuierlich kontrollieren. Wird ein festgelegter Grenzwert über- oder unterschritten, löst das System eine Alarmierung über den gesetzten Kommunikationskanal aus. Die Benachrichtigung kann wahlweise per E-Mail, Push-Notification oder SMS (Guthaben erforderlich) erfolgen, um eine schnelle Reaktion auf Probleme zu ermöglichen. Besonders hervorzuheben ist die Funktion, mehrere Guards zu kombinieren, um komplexe Zusammenhänge zu erkennen.

Ein praktisches Anwendungsbeispiel des PLANTAR Demonstrators ist die Überwachung der Gefahr einer Phytophthora-Erkrankung im Kartoffelanbau:

Durch die parallele Beobachtung von Temperatur- und Blattfeuchtwerten über einen längeren Zeitraum kann das System frühzeitig vor einer potenziellen Infektion warnen. Die automatisierte Alarmierung hilft Landwirten, präventive Maßnahmen rechtzeitig zu ergreifen und Ertragsverluste ökologisch schonend zu minimieren.

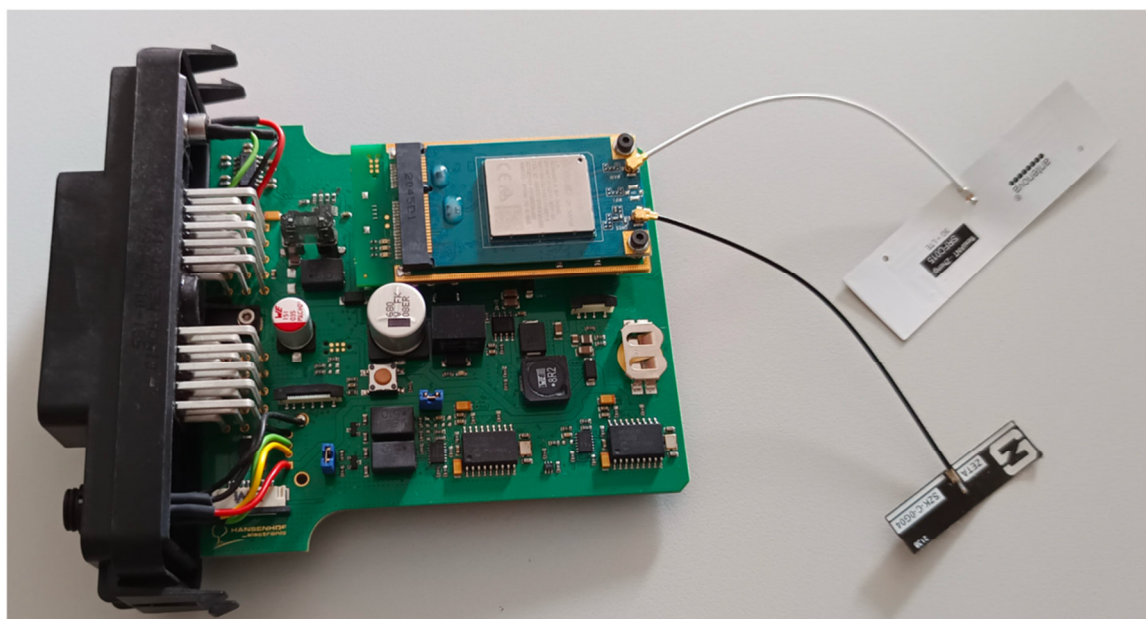


Die im PLANtAR-Projekt entwickelten Software-Module bieten eine vielseitige und praxisnahe Lösung für die moderne Landwirtschaft. Durch die Kombination interaktiver Karten, umfassender Sensordatenerfassung und automatisierter Warnsysteme entsteht ein leistungsfähiges digitales Werkzeug zur Unterstützung agronomischer Entscheidungen. Die intuitive Benutzerführung und die nahtlose Integration in bestehende landwirtschaftliche Systeme tragen dazu bei, die Effizienz der Datennutzung zu maximieren und nachhaltige Anbauprozesse zu fördern.

Hardware-Entwicklung im PLANtAR-Projekt

Entwicklung und Implementierung des Sensor-Gateways

Ein zentraler Bestandteil der Hardware-Entwicklung im PLANtAR-Projekt war die Konzeption und Realisierung eines leistungsfähigen **Sensor-Gateways**. Dieses System bildet die Schnittstelle zwischen den eGrain-Sensorknoten und der cloudbasierten Software-Infrastruktur. Ziel war es, eine zuverlässige Übertragungsplattform für die Sensordaten zu schaffen, die den spezifischen Anforderungen der landwirtschaftlichen Nutzung gerecht wird.



Design und Funktionalität des Gateways

Das Sensor-Gateway wurde mit Blick auf eine flexible und erweiterbare Nutzung entwickelt. Durch das modulare Design kann es an verschiedene Anwendungsfälle angepasst werden, was eine hohe Skalierbarkeit ermöglicht. Die Datenübertragung erfolgt in Echtzeit und wird über ein LTE- oder LPWA-Modul realisiert. Dadurch wird sichergestellt, dass die Sensordaten kontinuierlich an das Backend übermittelt werden.

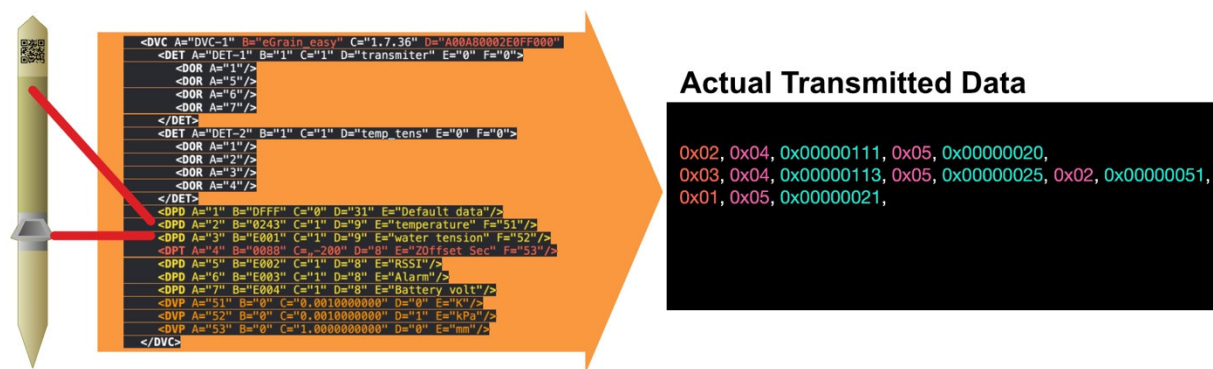
Ein besonderer Fokus lag auf der Energieeffizienz. Um einen autarken Betrieb über längere Zeiträume zu gewährleisten, wurde eine optimierte Schaltungsarchitektur implementiert. Dies ermöglicht eine ressourcenschonende Nutzung und trägt dazu bei, dass das Gateway unabhängig von stationären Stromquellen funktioniert. Ergänzend dazu wurde eine robuste Bauweise gewählt, die das System widerstandsfähig gegenüber Witterungseinflüssen macht. Gleichzeitig wurden Mechanismen integriert, die eine frühzeitige Erkennung und Behebung von Fehlern ermöglichen.

Die Kommunikation zwischen Sensorknoten und Gateway basiert auf einem speziell entwickelten Kommunikationsprotokoll, das eine effiziente Datenübertragung gewährleistet. Dieses Protokoll wurde an die ISO11783-Standards für agronomische Systeme angelehnt, um eine nahtlose Integration in bestehende Infrastrukturen zu ermöglichen.

Kommunikation zwischen Sensorknoten und Gateway

Ein wichtiger Aspekt der Hardware-Entwicklung war die Implementierung eines effizienten und robusten Kommunikationsprotokolls, das die zuverlässige Übertragung von Sensordaten zwischen den eGrain-Knoten und dem Gateway ermöglicht. Hierbei wurde ein Ansatz gewählt, der sowohl die Struktur der übertragenen Daten als auch die Optimierung des Energieverbrauchs berücksichtigt.

Zu Beginn der Datenübertragung sendet das Gateway für jeden Sensorknoten eine detaillierte Beschreibung dessen Konfiguration an das Backend, seine „Gerätebeschreibung“. Diese enthält Informationen zu den verbauten Sensoren, deren Positionierung innerhalb des eGrains sowie die Art der erfassten Messwerte. Die einmalige Übermittlung dieser Gerätebeschreibung ermöglicht es dem System, die Struktur der einzelnen Sensorknoten zu kennen, ohne dass diese Informationen bei jeder Datenübertragung erneut übermittelt werden müssen.



Nach dieser Initialisierung erfolgt die eigentliche Übertragung der Messwerte. Hierbei werden ausschließlich relevante Daten weitergeleitet, wodurch der Energieverbrauch der Sensorknoten minimiert wird. Das Kommunikationsprotokoll ist so konzipiert, dass Daten in komprimierter binärer Form übertragen werden, um die benötigte Bandbreite möglichst gering zu halten. Gleichzeitig

gewährleistet ein Prüfsummenverfahren, dass die gesendeten Daten fehlerfrei im Gateway ankommen und dort korrekt verarbeitet werden können.

Die Übertragung der Sensordaten erfolgt über verschiedene Technologien, je nach den gegebenen Rahmenbedingungen im landwirtschaftlichen Einsatzgebiet. Die Sensorknoten kommunizieren per proprietärem Bluetooth Low Energy (Link Layer BLE) oder über eine direkte Verbindung mittels Narrowband IoT (NB-IoT) bzw. LTE-M direkt mit dem NestJS Server. Von dort werden die Daten über eine RESTful API in JSON-Format oder über eine ISO11783-konforme Schnittstelle an das Backend weitergeleitet. Um mögliche Verbindungsprobleme abzufangen, wurde zudem ein Mechanismus implementiert, die es ermöglicht, Sensordaten zwischenspeichern und zu einem späteren Zeitpunkt zu übermitteln, wenn eine stabile Verbindung verfügbar ist.

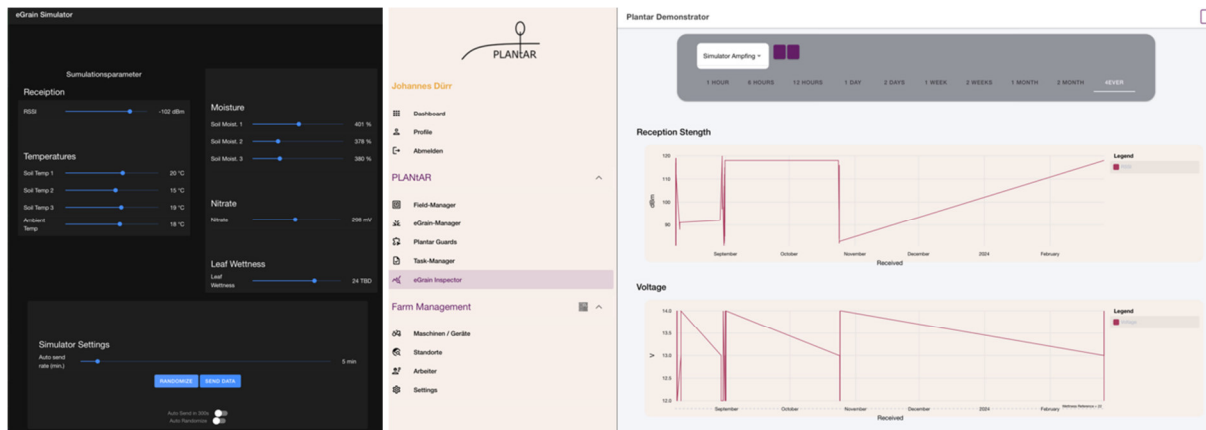
Da die eGrain-Sensorknoten batteriebetrieben sind, wurde bei der Entwicklung des Protokolls großer Wert auf Energieeffizienz gelegt. Die eGrains senden nur für sehr kurze Zeitsegmente und fallen nach der Übertragung in einen „Tiefschlafmodus“. Das Gateway empfängt zwar dauerhaft Daten, sendet jedoch nicht zwingend sofort nach Dateneingang die Botschaften an das Backend weiter, da der Sendevorgang über das Mobilfunknetz stromverbrauchsintensiver als der Empfang ist. Hierfür wurde eine adaptive Steuerung der Sendeintervalle im Gateway entwickelt, die abhängig von der Art der Sensorwerte und deren Veränderung die Häufigkeit der Übertragungen variieren kann. In stabilen Umgebungen kann das Gateway bei Bedarf nur dann neue Werte senden, wenn sich die gemessenen Parameter signifikant ändern. Durch diese eventgesteuerte Kommunikation kann der Energieverbrauch erheblich reduziert werden, das Protokoll agiert adaptiv.

Neben der reinen Datenübertragung wurde protokollseitig auch die Möglichkeit geschaffen, Konfigurationsupdates zu versenden. Dadurch können Anpassungen, wie die Veränderung von Messintervallen oder das Setzen von Alarmgrenzen, direkt über das Gateway weitergeleitet werden, wenn Kommunikationsteilnehmer einen Datenempfang unterstützen. Weiterhin erlaubt das System eine exakte Zuweisung der Sensorknoten zu bestimmten Management-Zonen, sodass eine präzise Kartierung und Zuordnung der Messwerte erfolgen kann.

Durch die Entwicklung dieses Kommunikationsprotokolls konnte eine verlässliche und effiziente Lösung zur Erfassung und Übertragung agronomischer Sensordaten geschaffen werden. Es stellt sicher, dass die Sensorknoten energieeffizient arbeiten und dennoch kontinuierlich Daten liefern, die über das Gateway in die zentrale Datenverarbeitung integriert werden. Die Anpassungsfähigkeit des Systems erlaubt es zudem, die Protokollstruktur bei Bedarf zu erweitern, um zukünftige Anforderungen im landwirtschaftlichen Einsatz abzudecken. Dazu ist lediglich die Erstellung einer entsprechenden ISOXML Gerätebeschreibung nötig.

Prototypische Testphase und Optimierung

Die entwickelte Hardware wurde im Rahmen mehrerer Testreihen umfassend evaluiert. Zunächst erfolgten Simulationen der Sensordaten, um die Stabilität und Funktionalität der Datenübertragung sicherzustellen. In der darauf folgenden Phase wurden erste Prototypen auf landwirtschaftlichen Testfeldern eingesetzt.



Die Tests zeigten, dass die Datenübertragung zuverlässig funktionierte und über mehrere Wochen hinweg eine fehlerfreie Betriebsweise möglich war. In seltenen Fällen wurden unerwartete Systemausfälle beobachtet, deren Ursache jedoch noch nicht eindeutig identifiziert werden konnte. Dies führte zur Einführung eines Monitoring-Systems, das Betriebsparameter erfasst und eine gezielte Fehleranalyse ermöglicht.

Ein weiterer wichtiger Aspekt war die Energieversorgung. Durch den Einsatz von Solarzellen konnte das Gateway auch in abgelegenen Gebieten unabhängig betrieben werden. Hierbei zeigte sich, dass das System in der Lage war, sich selbstständig an unterschiedliche Umweltbedingungen anzupassen und eine konstante Leistung zu gewährleisten.

Herausforderungen und Weiterentwicklungen

Im Verlauf der Testphasen wurden verschiedene Herausforderungen identifiziert, die nun gezielt angegangen werden. So stellte sich heraus, dass die Netzwerkanbindung in landwirtschaftlichen Regionen stark variieren kann, weshalb unterschiedliche Modems getestet wurden, um eine bestmögliche Abdeckung zu erreichen.

Zudem wurde das Design des Gateways weiter optimiert, um die Kompatibilität mit zusätzlichen Sensorknoten und Datenquellen zu verbessern. Auch der Schutz der Hardware vor äußeren Einflüssen wurde überarbeitet, da insbesondere die Witterungsbeständigkeit eine entscheidende Rolle für den langfristigen Einsatz spielt.

Integration in das Gesamtsystem

Durch die enge Verzahnung mit der Software-Plattform könnte eine stabile Datenkommunikation zwischen den Sensorknoten und dem Backend realisiert werden. Für weitere Entwicklungsmöglichkeit wurde am Gateway ebenso eine bidirektionale Möglichkeit der Kommunikation vorgesehen. Dies würde nicht nur die Erfassung, sondern auch die Rückübermittlung von Daten zur weiteren Analyse und Steuerung zukünftiger Sensorknoten, die eine bidirektionale Kommunikation unterstützen, ermöglichen. Das Sensor-Gateway fungiert somit als zentrale Brücke zwischen den Sensoren und der cloudbasierten Datenverarbeitung und spielt eine wesentliche Rolle im gesamten PLANtAR-Demonstrator der Hansenhof_electronic.

Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass das entwickelte Gateway den gestellten Anforderungen gerecht wird. Die kontinuierliche Weiterentwicklung zielt darauf ab, die Effizienz, Robustheit und

Anpassungsfähigkeit weiter zu verbessern. Dies wird insbesondere durch die geplante Skalierung des Systems sowie die Integration neuer Kommunikationsmodule vorangetrieben.

Die Hardware-Entwicklung im PLANtAR-Projekt hat wesentliche Fortschritte erzielt. Mit dem prototypischen Sensor-Gateway wurde eine leistungsfähige, modulare und robuste Lösung geschaffen, die als Grundlage für eine präzise, datengetriebene Landwirtschaft dient. Die bisherigen Tests haben wertvolle Erkenntnisse geliefert, die in die weitere Optimierung einfließen. Dadurch wird sichergestellt, dass die Hardware in der Praxis reibungslos funktioniert und einen nachhaltigen Mehrwert für landwirtschaftliche Betriebe bietet.



Feldtest und Anwendungsszenarien

Phytophthora-Früherkennung im Kartoffelanbau

Im Rahmen der Feldtests wurde der PLANtAR-Demonstrator zur Früherkennung von Phytophthora im Kartoffelanbau eingesetzt. Ziel war es, durch eine langfristige und engmaschige Überwachung agronomischer Parameter frühzeitig kritische Bedingungen für den Ausbruch der Krankheit zu identifizieren.

Mithilfe der PLANtAR Guards konnte eine kontinuierliche Erfassung der Blattfeuchte und Temperatur auf dem Kartoffelfeld realisiert werden. Sobald die Sensordaten auf eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für die Entstehung von Phytophthora hindeuteten, wurde eine automatische Benachrichtigung ausgelöst (Push Notification). Dadurch konnten gezielt präventive Maßnahmen eingeleitet werden, insbesondere der gezielte Einsatz von Pflanzenschutzmitteln gegen Pilzbefall, bevor eine Infektion erfolgen und sich großflächig ausbreiten konnte.

Ein besonderer Vorteil des Systems lag in der präzisen Temperaturüberwachung, die durch mehrere Temperatursensoren an den eGrain-Sensorstäben ermöglicht wurde. Diese Sensoren erfassten sowohl die Bodentemperatur als auch die Umgebungstemperatur oberhalb des Bodens, wodurch ein detailliertes Mikroklimaprofil des Feldes erstellt werden konnte. Dies erlaubte eine fundierte Analyse der klimatischen Bedingungen, die für das Auftreten und die Verbreitung des Erregers von Bedeutung sind.

Eine Herausforderung während der Durchführung des Feldtests war die Verfügbarkeit eines geeigneten Blattfeuchtesensors. Der ursprünglich geplante Sensor in biodegradierbarer Bauweise konnte nicht rechtzeitig für die Aussaat und den Beginn der Feldarbeiten bereitgestellt werden. Um dennoch eine effektive Messung der Blattfeuchte zu gewährleisten, wurde von Fraunhofer ENAS ein proprietärer Prototyp eines ebenfalls biodegradierbaren Blattfeuchtesensors bereitgestellt, der in das System integriert wurde. Aufgrund dieser Anpassung konnte die geplante Überwachung der Blattfeuchte erfolgreich durchgeführt werden.

Die Ergebnisse des Tests zeigten, dass die Erkennung der Phytophthora-Gefahr äußerst zuverlässig funktionierte. Durch die Kombination aus präziser Datenerfassung und automatisierter Benachrichtigung wurde eine effiziente Entscheidungsunterstützung bereitgestellt.

Trinkwasserschutz Saidenbachtalsperre

Ein weiteres Anwendungsgebiet des PLANtAR-Demonstrators war die Überwachung des Stickstoffmanagements in Teilen von Trinkwasserschutzgebieten an der Saidenbachtalsperre. In diesen Gebieten sollte nicht die übliche empfohlene Menge an Stickstoff ausgebracht werden, um eine Belastung des Trinkwassers mit Nitrat zu vermeiden. Diese Düngebedarfsermittlung erfolgt zum Beispiel mit der Software BESyD des Landesamtes Sachsen, welches unter anderem auf Bodenanalysen basiert. Die Nitratmessung während der Vegetationsperiode gibt Auskunft, ob oder in welcher Menge eine weitere Stickstoffapplikation erfolgen kann, ohne einen Nitratreintrag in das Trinkwasser zu riskieren.

Die Nutzung der eGrains zur Überwachung des Stickstoffgehalts im Boden erwies sich als durchführbar, stellte jedoch einige praktische Herausforderungen dar. Auf Grünlandflächen, auf denen die maschinelle Düngung mit Schlitzgeräten erfolgt, konnte der direkte Einsatz der Sensoren nicht stattfinden. Die mechanische Bearbeitung des Bodens hätte die eGrains zerstört, während eine temporäre Entnahme und erneute Platzierung die Messreihen verfälscht hätte. Eine alternative Platzierung außerhalb der gedüngten Fläche wäre ebenfalls nicht zielführend gewesen, da die Messwerte dann keine Aussage über den tatsächlichen Stickstoffgehalt in der betroffenen Fläche ermöglichen hätten.

Im Bereich des Rapsanbaus innerhalb des Trinkwasserschutzgebietes konnte das System hingegen erfolgreich eingesetzt werden. Hier wird der Stickstoff über Mineraldünger per Schleuderstreuer ausgebracht, wodurch eine ungestörte Platzierung der eGrains zur kontinuierlichen Überwachung möglich war. Ziel war es, sicherzustellen, dass die Obergrenze der Stickstoffausbringung nicht überschritten wird und somit sowohl eine Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben als auch eine Optimierung der Düngemenge erreicht wurde.

Die Messungen zeigten, dass der PLANtAR-Demonstrator in der Lage war, die Stickstoffkonzentration im Boden zu erfassen, allerdings noch mit Einschränkungen hinsichtlich der Genauigkeit.

Optimierung Nitratgehalt im Bodensubstrat

Ein weiterer zentraler Anwendungsfall war der Einsatz der eGrains zur Optimierung des Nitratgehalts im Bodensubstrat, insbesondere im Anbau von Braugerste und -weizen. Während bei

vielen Kulturen die Maximierung des Ertrags im Vordergrund steht, ist dies bei Braugetreide nicht das alleinige Ziel. Hier kommt es vielmehr darauf an, ein qualitativ hochwertiges Korn zu erzeugen, das optimal für die Verwendung in der Brauindustrie geeignet ist.

Die Qualität des Braugetreides hängt unter anderem vom Stickstoffgehalt im Boden ab. Während die Pflanzen für ein gesundes Wachstum eine ausreichende Menge an Nitrat benötigen, sollte dieser Wert im Vergleich zu regulärem Getreide in der letzten Wachstumsphase um 26–31 % reduziert sein, um eine optimale Malzqualität zu gewährleisten.

Ohne den Einsatz von eGrains erfolgt die Entscheidung über die Höhe einer möglichen zweiten Gabe von Stickstoffdünger oft auf Grundlage von Erfahrungswerten und Schätzungen durch den Landwirt. Durch die kontinuierliche Überwachung des Nitratgehalts im Boden mit eGrains konnte jedoch eine präzisere Steuerung der Stickstoffversorgung erreicht werden. Die Sensoren ermöglichten eine Aufzeichnung der Veränderung des Nitratgehalts nach der ersten Düngung und lieferten wertvolle Daten darüber, wie sich die Nährstoffverfügbarkeit im Verlauf mehrerer Tage und Wochen entwickelte.

Dank dieser Messungen konnte bestimmt werden, ob und in welcher Höhe eine zweite Gabe von Stickstoff erforderlich war und damit, ob sonst bei Standard-Düngung die Qualität des Braugetreides negativ beeinflusst worden wäre. Dadurch ließ sich die Stickstoffausbringung optimal steuern, sodass einerseits die erforderliche Qualität des Braugetreides gesichert und andererseits übermäßige Düngung vermieden wurde. Dies führte nicht nur zu einer verbesserten Wirtschaftlichkeit für den Landwirt, sondern leistete auch einen Beitrag zur umweltfreundlichen Landwirtschaft durch die Vermeidung unnötiger Stickstoffeinträge.

Im Vergleich zum Einsatz der eGrains in Teilen des Trinkwasserschutzgebietes Saidenbachtalsperre erwiesen sich die Messungen zur Optimierung des Nitratgehalts im Bodensubstrat als effektiver. Während es im Trinkwasserschutzgebiet notwendig war, präzise absolute Nitratwerte zu bestimmen, lag der Fokus in diesem Szenario auf der Veränderung der Nitratmenge über die Zeit. Da die Messung der relativen Stickstoffveränderung weniger hohe Anforderungen an die absolute Messgenauigkeit stellte, konnten die eGrains hier ihre Stärken ausspielen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Einsatz der eGrains zur Steuerung der Stickstoffzufuhr in Braugerste und -weizenfeldern erfolgreich war. Die Kombination aus Langzeitüberwachung und datenbasierter Entscheidungsunterstützung ermöglicht eine gezielte und wirtschaftlich optimierte Stickstoffversorgung, die sowohl den Ertrag als auch die gewünschte Kornqualität verbesserte. Eine genaue und statistisch abgesicherte Angabe des Erfolges des Verfahrens würde einen aufwändigen Feldversuch mit mehreren Wiederholungen erfordern, was nicht Inhalt des Projektes war.

Ausblick und wünschenswerte Weiterentwicklung

Die bisherigen Feldtests haben gezeigt, dass die eGrains wertvolle Erkenntnisse für die Optimierung agronomischer Prozesse liefern können. Dennoch gibt es mehrere Bereiche, in denen eine Weiterentwicklung der Sensortechnologie entscheidende Vorteile bringen würde. Insbesondere die Verbesserung der Bodenfeuchtemessung könnte dazu beitragen, eine noch genauere Analyse der Stickstoffverfügbarkeit im Boden zu ermöglichen. Dies wäre insbesondere für Anwendungen im

Trinkwasserschutzgebiet relevant, wo eine präzise Dokumentation der Stickstoffmengen für eine rechtssichere Nachweisführung interessant wäre.

Ein weiterer Fokus für zukünftige Entwicklungen liegt in der Miniaturisierung der eGrains und der Erhöhung der Langzeitstabilität der Messgenauigkeit. Eine robustere Bauweise würde den Einsatz in intensiver bewirtschafteten Feldern erleichtern und auch die Anwendung auf Grünlandflächen verbessern. Zudem könnte eine Erweiterung der Sensorik um weitere agronomische Parameter, wie die Erfassung von pH-Werten oder Bodenleitfähigkeit, zusätzliche wertvolle Daten für die Bewirtschaftung liefern.

Durch diese technologischen Weiterentwicklungen könnten die eGrains in Zukunft noch breiter eingesetzt werden und eine präzisere Steuerung der Düngung, Bewässerung und Pflanzenschutzmaßnahmen ermöglichen. Dies würde nicht nur die Wirtschaftlichkeit der landwirtschaftlichen Betriebe weiter steigern, sondern auch einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Landwirtschaft leisten, indem Ressourcen gezielt und bedarfsgerecht eingesetzt werden.

Öffentlichkeitsarbeit und Veröffentlichungen

Die Verbreitung der Projektergebnisse und der Austausch mit relevanten Akteuren spielte im Rahmen des PLANtAR-Projekts eine große Rolle. In diesem Zusammenhang wurden mehrere Veranstaltungen durchgeführt, auf denen die entwickelten Technologien präsentiert, demonstriert und diskutiert wurden.

PLANtAR Talsperrenführung in Reifland

Ein herausragendes Ereignis war die **Talsperrenführung in Reifland**, bei der das PLANtAR-Projektteam gemeinsam mit Experten die Einsatzmöglichkeiten der eGrain-Sensorik im Bereich des Trinkwasserschutzes untersuchte. Diese Veranstaltung bot die Gelegenheit, die Vorteile der Sensordatenüberwachung für Wasserschutzgebiete zu diskutieren und mit Fachleuten aus der Wasserwirtschaft in den Austausch zu treten.



Interessengemeinschaft Trinkwasserschutz

Darüber hinaus stellte die **Hansenhof _electronic** das PLANtAR-Projekt bei der **Interessengemeinschaft Trinkwasserschutz (IG Talsperre Saidenbach)** vor. Im Rahmen dieser Präsentation wurden die Möglichkeiten zur Überwachung und Steuerung von agronomischen Prozessen in unmittelbarer Nähe von Trinkwasserschutzgebieten erörtert. Das Feedback der Teilnehmer zeigte ein großes Interesse an den Sensorkonzepten, insbesondere hinsichtlich der Möglichkeit, Nitratgehalte und Bodenfeuchte in Wassereinzugsgebieten kontinuierlich zu überwachen.



Feldtag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)

Ein weiteres bedeutendes Ereignis war die **Vorstellung und Demonstration von PLANtAR auf dem Feldtag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) am 6. Juni 2023 in Löbnitz**. Dieser Feldtag, der sich den „Anforderungen und Möglichkeiten bei der Ausbringung flüssiger organischer Dünger“ widmete, bot eine Plattform zur Präsentation der PLANtAR-Sensortechnik. Die Veranstaltung richtete sich an Landwirte, Berater und Fachleute aus der Agrartechnik und behandelte unter anderem die neuesten Entwicklungen in der Sensortechnik zur optimierten Gülledüngung. Im Rahmen der technischen Vorführungen demonstrierte Steffen Schmieder von Hansenhof _electronic die Integration und den praktischen Einsatz der eGrain-Sensorik zur Überwachung und Steuerung der Düngerausbringung.

Neben diesen Veranstaltungen wurden die Projektergebnisse auch über weitere Kanäle kommuniziert. Darüber hinaus sind weitere Veröffentlichungen in Fachzeitschriften geplant, um die Erkenntnisse des Projekts einer noch größeren Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen.



Bild: PLANtAR Stand Gülletag

Die Öffentlichkeitsarbeit hat maßgeblich dazu beigetragen, das Interesse an der PLANtAR-Technologie in der landwirtschaftlichen Praxis zu steigern. Die positiven Rückmeldungen von Landwirten, Umweltbehörden und technischen Fachkräften zeigen, dass die entwickelten Lösungen eine hohe Relevanz für die zukünftige Digitalisierung und Effizienzsteigerung in der Agrarwirtschaft besitzen.

Penta Innovation Award 2024

Das PLANtAR-Projekt wurde im Rahmen der Xecs Matchmaking-Veranstaltung am 15. Oktober 2024 in Hamburg mit dem renommierten **Penta Innovation Award 2024** ausgezeichnet. Diese Ehrung würdigt die herausragende Arbeit des Projekts im Bereich Smart Farming und nachhaltiger Landwirtschaft für die Entwicklung kosteneffizienter, miniaturisierter und biokompatibler Sensortechnologien, die eine präzise Überwachung von Schädlingen, Pflanzenkrankheiten, Bodenfeuchte, Nitratgehalt im Boden, CO₂-Werten und weiteren Umweltparametern ermöglichen.

