

# Schlussbericht

## zum Vorhaben

Thema:

**Verbundprojekt: Flächendeckende Kommunikations- und Cloudnetze für Landwirtschaft 4.0 und den ländlichen Raum (Landnetz) - Teilvorhaben 3**

Zuwendungsempfänger:

**Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI,  
Zeunerstraße 38,  
01069 Dresden**

Förderkennzeichen:

**28DE101C18**

Laufzeit:

**01.09.2019 bis 31.12.2024**

Monat der Erstellung:

**04/2025**

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Landwirtschaft, Ernährung  
und Heimat

Projektträger



Bundesanstalt für  
Landwirtschaft und Ernährung

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
<b>Teil I: Kurzbericht .....</b>	<b>4</b>
<b>Teil II: Ausführliche Darstellung der Ergebnisse .....</b>	<b>7</b>
<b>Arbeitspaket 1: Analyse von Digitalisierungsanwendungen und deren technischen Anforderungen ..</b>	<b>7</b>
<b>Arbeitspaket 2: 5G-basiertes Experimentierfeld .....</b>	<b>7</b>
<b>Arbeitspaket 3: Erprobung und Demonstration digitaler Technologien und Anwendungen .....</b>	<b>10</b>
Demo 3: Autonome Fahrzeugtechnik im Garten-, Obst- und Weinbau .....	10
Demo 5: Daten-Hub basierter Informationsaustausch .....	11
Demo 6: Erprobung und Demonstration von Landmaschinenvernetzung .....	18
<b>Arbeitspaket 4: Partizipationsstrategien und Öffentlichkeitsarbeit .....</b>	<b>20</b>
<b>Arbeitspaket 5: Wertschöpfung, Bewertung, Transfer und Evaluation .....</b>	<b>23</b>
<b>Arbeitspaket 6: ON/OFF Road Safety .....</b>	<b>24</b>
<b>Veröffentlichungen .....</b>	<b>27</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: links Von Fraunhofer IVI entwickelte Interaktive Visualisierung mit 3D Datenanzeige für KPIs, rechts: für sekundäre Durchsatzmessungen .....	8
Abbildung 2 - Gemessene maximale UL-Datenraten bei Datenübertragung von Feldroboter zu edge-cloud im 5G Campus-Netz .....	9
Abbildung 3 - Gemessene maximale Latenzen bei Datenübertragung von Feldroboter zu edge-cloud im 5G Campus-Netz.....	9
Abbildung 4: links: mobiler helyOS Leitstand, rechts: Elwobot bei voll-automatischer Missions-Ausführung Pflanzenschutz .....	11
Abbildung 5: Visualisierung eines geplanten Pfades für die Ausführung einer Mission zwischen den Baumreihen der Obstplantage in der helyOS-Web-App.....	11
Abbildung 6 links: Ansicht eines Feldes im digitalen Zwilling, rechts: Übersichts-Seite des IDS connectors .....	13
Abbildung 7 Datenaustausch im AgriGaia Agrardatenraum .....	15
Abbildung 8 Elwobot II mit SAMSON Daten-Erfassungs-System in der Plantage Pillnitz .....	15
Abbildung 9: oben links: Eingesetzte Landmaschine bei Feldtest; oben rechts: ISOBUS-Terminal zum Versenden von Daten in der landwirtschaftlichen Zugmaschine, Mitte: Routen-Konfiguration im Agrirouter-System, unten links: Von Fraunhofer IVI entwickelte Software-Komponente zum Empfang der Daten, unten rechts: S3 Speicher mit empfangenen Daten .....	17
Abbildung 10 Funktionsmuster Roboter Fernüberwachung Obstroboter Elwobot in der Plantage des LfULG in Pillnitz: links Variante mit LIDAR-Übertragung, rechts Variante mit mehreren Live-Kamera-Bildern und Statusanzeige wichtiger Parameter .....	18
Abbildung 11 Elektrischer Feldroboter CERES auf dem Gelände des LVG Köllitsch bei Auffahrt auf Lade-Anhänger .....	19
Abbildung 12 Funktionsmuster der Roboter-Fernüberwachungs-Software für Feldroboter CERES während der Auffahrt auf Lade-Anhänger .....	19
Abbildung 13 Funktionsmuster Roboter Fernüberwachung Elwobot: Status Dashboard mit Live-Graphen zu Datendurchsatz und Batterie-Status .....	20
Abbildung 14: Konzept Kontakt- und Vermittlungsstelle zum Wissenstransfer nach Push- und Pull-Prinzip .....	22
Abbildung 15 Übersicht der häufigsten Unfallkonstellationen von landwirtschaftlichen Zugmaschinen .....	25
Abbildung 16: Tilsberk HUD im Motorradhelm und in Nahaufnahme (oben rechts).....	26
Abbildung 17: Anzeige des HUD bei Empfang der DENM mit Cause Code "Collision Risk". .....	26
Abbildung 18: V2X-Monitoring Applikation während der Demonstration in Pillnitz (links). Rechts zu sehen ist eine Detailaufnahme des Szenarios. Die beiden Punkte (Motorrad links oben bzw. Landmaschine rechts unten) symbolisieren die Kommunikationsteilnehmer. Auf Grund der Nähe des Motorrads zur Landmaschine wird eine DENM verschickt (Warnsymbol).....	27

# Teil I: Kurzbericht

## Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie der wissenschaftliche und technische Stand an den angeknüpft wurde

Die Digitalisierung der Landwirtschaft hängt maßgeblich von einer mobilen, breitbandigen und zuverlässigen Vernetzung ab. Leistungsstarke Mobilfunknetze sind in Deutschland jedoch vor allem in Städten verfügbar. Die Abdeckung in ländlichen Regionen ist weder flächendeckend noch zuverlässig verfügbar und oftmals nur mit niedrigen Datenraten möglich. Zudem sind Mobilfunk-Nutzer an einen Anbieter gebunden, und Daten werden meist über die Hersteller-Cloud übertragen, was zu Interessenkonflikten im Hinblick auf Datensouveränität führen kann. Ein Lösungsansatz kann die Übertragung des Konzepts lokaler privater Netze aus der Industrie auf die Landwirtschaft sein, jedoch fehlen hierfür klare Anforderungen. An diesen Punkt knüpfte das Experimentierfeld LANDNETZ an und stellte sich zur Aufgabe Strategien für eine durchgängige Vernetzung und ein effizientes Datenmanagement zu entwickeln und in der Folge ein digitales Testfeld zu schaffen, welches die notwendige Infrastruktur für eine drahtlose Datenübertragung auf Basis von 5G bereitstellt. Anhand einer Vielzahl von Anwendungen mit unterschiedlichen Kommunikationsanforderungen und -aspekten sollten im Testfeld digitale Kommunikations- und Cloudtechnologien im Hinblick auf ihre Anwendung und Nutzbarmachung in der Landwirtschaft erprobt und weiterentwickelt werden. Gleichzeitig sollte LANDNETZ den Konflikt zwischen Datenhoheit und Datenverwertung seitens der Maschinenhersteller adressieren und Alternativen aufzeigen. Die Ergebnisse und Angebote des Projekts sollten mit Hilfe eines gezielten Wissenstransfers sowohl der Fachwelt als auch der breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden, um somit einen effizienten Transfer von Wissen und Erkenntnis in die Praxis gewährleisten.

## Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben wurde als Verbundprojekt für 3 + 2 Jahre (2019 - 2024) geplant. Verbundpartner waren die Technische Universität Dresden (TUD), das Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme (IVI) sowie das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). Koordiniert wurde das Verbundprojekt von der TUD. Die Umsetzung erfolgte in sechs Arbeitspaketen, wobei die Verantwortung darüber jeweils dem Partner mit den meisten inhaltlichen Aufwänden oblag. Unter Einbeziehung von Partnerbetrieben wurden in sechs verschiedenen Demonstrationsvorhaben Technologien für unterschiedliche Digitalisierungsanwendungen erprobt.

Arbeitspaket (AP)	Verantwortung
AP 1: Analyse von Digitalisierungsanwendungen & deren technischen Anforderungen	TUD
AP 2: 5G-basiertes Experimentierfeld	TUD
AP 3: Erprobung & Demonstration digitaler Technologien & Anwendungen	siehe Demonstrationen
AP 4: Partizipationsstrategie	LfULG
AP 5: Wertschöpfung & Transfer	LfULG
AP 6: On/Off Road Safety	TUD

*Tabelle 1: Umsetzung des Projekts in 6 Arbeitspaketen.*

Demonstrationsvorhaben	Verantwortung
Demo 1: Digitalisierung und Vernetzung zur Prozessoptimierung im Pflanzenbau	LfULG
Demo 2: Digitalisierung und Vernetzung zur Prozessoptimierung in der Tierhaltung	LfULG
Demo 3: Autonome Fahrzeugtechnik im Garten-, Obst- und Weinbau	TUD
Demo 4: Bodenzustandsüberwachung	TUD
Demo 5: Daten-Hub-basierter Informationsaustausch	TUD
Demo 6: Erprobung & Demonstration von Landmaschinenvernetzung	TUD

*Tabelle 2: In 6 Demonstrationsvorhaben wurden digitale Technologien und Anwendungen erprobt.*

Aufgrund der Auswirkungen der Coronapandemie (u.a. Kontaktbeschränkungen, Lockdowns, Lieferengpässe) sowie aufgrund der marktseitigen Verfügbarkeit notwendiger 5G-fähiger Hardware kam es zu erheblichen Verzögerungen im ursprünglich geplanten Ablauf. Diese konnten jedoch im letzten Drittel der Projektlaufzeit aufgeholt werden.

### **Wesentliche Ergebnisse sowie ggf. Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Im Rahmen des Projekts wurden 40 Anwendungsfälle systematisch erfasst und die erforderlichen Kommunikationsbedarfe ermittelt. Dazu wurde ein Fragebogen entwickelt. Eine zentrale technische Umsetzung bestand in der Planung, Konzeption und erfolgreichen Bereitstellung der notwendigen Kommunikations- und Cloudinfrastruktur in Form von mobilen 5G-Campusnetzen. Alle sechs Demonstrationsvorhaben wurden erfolgreich umgesetzt. Zudem wurde ein umfassendes Konzept für die Öffentlichkeitsarbeit erarbeitet und angewendet. Dazu gehörte die Einrichtung einer Kontakt- und Vermittlungsstelle, die Organisation zahlreicher Veranstaltungen sowie die Veröffentlichung von Projektergebnissen über verschiedene Formate. Die regelmäßige interne und externe Evaluierung des Projekts erfolgte u.a. anhand quantifizierbarer Kriterien. Parallel wurden mögliche Geschäftsmodelle auf Basis einer Business Model Canvas betrachtet und Transferangebote bereitgestellt. Ein weiterer Schwerpunkt war die Entwicklung eines Road Safety Demonstrators auf Basis eines V2X-Kommunikationssystems. Das Projekt förderte zudem eine enge Zusammenarbeit mit anderen Experimentierfeldern sowie weiteren 5G-Projekten, um Synergien zu nutzen und den Wissenstransfer zu stärken.

# Teil II: Ausführliche Darstellung der Ergebnisse

## **Arbeitspaket 1: Analyse von Digitalisierungsanwendungen und deren technischen Anforderungen**

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurden Anwendungsfälle aus den verschiedenen Themengebieten der Demonstrationen, an denen das Fraunhofer IVI beteiligt war (s. Arbeitspaket 3), analysiert. Die Anforderungen hinsichtlich der Anforderungen an die Kommunikations-Infrastruktur wurden mit Hilfe des dort entwickelten Erfassungsbogen an den Projektpartner TU-Dresden übermittelt. Es wurden weiterhin Anforderungen an die Architektur des Agriculture Data Space zu ermittelt. Ein Schwerpunkt lag auf der Verteilung von Daten und Systemen zwischen Edge Cloud und Internet-Cloud bzw. Datenräumen. Im Zuge der Projektverlängerung wurden zusätzliche Anwendungsfälle hinsichtlich der Anforderungen bezüglich des Daten-Austauschs und der Daten-Speicherung berücksichtigt. Es wurde der tatsächliche Kommunikationsbedarf für die durchgeführten Anwendungsfälle analysiert. In diesem Zusammenhang wurden die auftretenden Datenraten, Latenzen und die in der Praxis erreichte Bandbreite des eingesetzten 5G-Netzes erfasst, im Hinblick auf eine Eignung der Infrastruktur zur Daten-Erfassung für cloudbasierte KI-Dienste im Rahmen von Gaia-X. Weitere Informationen finden sich in den nachfolgenden Kapiteln

## **Arbeitspaket 2: 5G-basiertes Experimentierfeld**

Die TUD hatte im Arbeitspaket 2 die Leitung inne. Details zu dem Aufbau der mobilen Netzwerk-Infrastruktur werden im Abschlussbericht des Projektpartners dargestellt.

Das Fraunhofer IVI befasste sich in diesem Arbeitspaket mit Konzepten für sicheren Datenaustausch und für die Fernüberwachung und -Steuerung von Robotern im landwirtschaftlichen Einsatz.

Zunächst wurden Konzepte zum Datenaustausch evaluiert. Bei der Recherche zu Beginn des Projekts Landnetz zeigte sich das Konzept der Datenräume und das IDS Referenz Architektur Modell vielversprechend. Es wurde im Projekt ein Konzept entwickelt, bei dem Daten zunächst innerhalb des 5G Campus-Netzes übertragen werden, in der an das 5G Campus Netz angeschlossenen edge-cloud vorverarbeitet werden und ebenfalls in der edge-cloud Datenraum-Komponenten integriert werden, die für die Kommunikation mit dem eigentlichen Datenraum zuständig sind. Teile dieser Konzepte wurden dann in AP3 Demo3 umgesetzt.

In der zweiten Phase des Projekts wurde eine erweiterte Datenraum Architektur verwendet. In diese GAIA-X Technologie flossen IDS-Konzepte ein, es beinhaltet auch neue Konzepte und Möglichkeiten, z.B. einen vollständig dezentralen Datenraum ohne zentrale Authentifizierungs-Instanzen. Bei der Konzeption für Landnetz stand der Anwendungsfall des Einsatzes von künstlicher Intelligenz im Obstbau mit einem zentral verwalteten Datenraum im Vordergrund. Auch dieses Konzept wurde in Demo3 umgesetzt und in der Praxis evaluiert.

Für die Konzeption des 5G Kommunikationsnetzes analysierte das Fraunhofer IVI verschiedene Szenarien und Anwendungsfälle mit Feldrobotern. Dabei ging es sowohl um die erfassten landwirtschaftlichen Daten als auch um die für die Missions-Durchführung nötige Datenübertragung, wie z.B. Steuer-Befehle und Video-Übertragungen für eine Fernüberwachung. Es wurden auch Werkzeuge entwickelt, um auf den Robotern die in der Praxis auftretenden Datenraten messen zu können und diese Geo-Information auswerten zu können. Messungen wurden auf dem Gelände des LVG Köllitsch mit dem dort verfügbaren 5G Campus-Netz durchgeführt. Weitere Messungen erfolgen in Pillnitz auf der Obstplantage des LfULG mit dem Elwobot II. Erste Feldversuche zur Video-Übertragung wurden mit dem Feldroboter Feldschwarm-Einheit II am LVG Köllitsch durchgeführt.

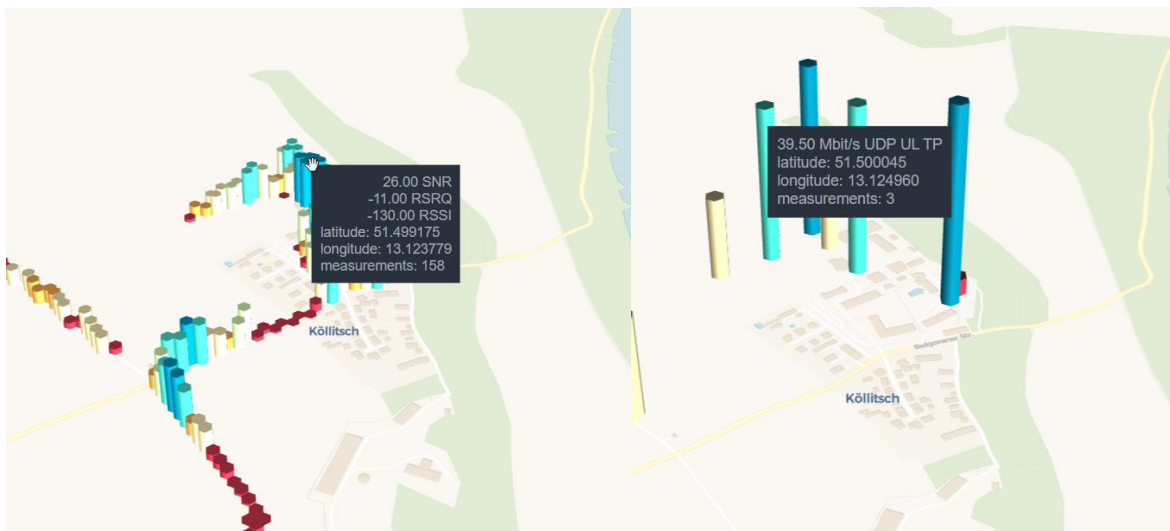


Abbildung 1: links Von Fraunhofer IVI entwickelte Interaktive Visualisierung mit 3D Datenanzeige für KPIs, rechts: für sekundäre Durchsatzmessungen

Für die Qualitäts-Bewertung von Mobilfunk-Werten gibt es zwei Arten von Parametern. Die ersten - Key-Performance-Indikatoren (KPIs) - bestehen aus Messwerten bezüglich der Empfangs- und Signalstärken der im Endgerät empfangenen Signale des Mobilfunknetzes. Zu diesen gehören beispielsweise das RSRP (reference-signal-received-power) und daraus abgeleitete Werte wie das RSRQ (reference-signal-received-quality). Diese bieten einen ersten Anhaltspunkt für die Mobilfunk-Qualität. Diese werden jedoch im downlink (DL) gemessen, d.h. in den Signalen, die von der Antenne der Basisstation an das Endgerät gesendet wird. Für die betrachteten Anwendungsfälle ist die Gegenrichtung (uplink – UL), d.h. vom Endgerät zur Basisstation und der angeschlossenen edge-cloud von größerer Bedeutung. Diese lassen sich mit den zweiten Parametern ermitteln, bei denen man auf einer höheren Schicht der Datenübertragungsprotokolle die erreichten Datenraten und Latenzen misst. Im Projekt wurden die primären KPIs mit Hilfe von Messwerkzeugen und durch Auslesen dieser Parameter aus den Mobilfunk-Endgeräten ermitteln. Die sekundären Werte wurden mit Hilfe von iperf3 bei Feldversuchen ermittelt.

Die Messungen in der Praxis zeigten dabei, dass die maximale Daten-Übertragung im Uplink in unmittelbarer Nähe der (mobilen) Basisstation über 100 Mbit/s betragen kann. Diese Datenraten sind jedoch nur unter idealen Bedingungen festzustellen. Im Abstand von einigen 100m werden

Übertragungswerte im Bereich von etwa 25 Mbit/s erreicht. Bei der Messung in Pillnitz werden für 80% der Messungen Datenraten von 10-30 Mbit/s erreicht (s. Abbildung 2). Bezüglich der Latenz wurden für 75% der Messungen Werte unter 22 ms für die round-trip-time (RTT), d.h. etwa 11 ms für eine Übertragung nur in eine Richtung auf Netzwerk-Ebene gemessen (Abbildung 3).

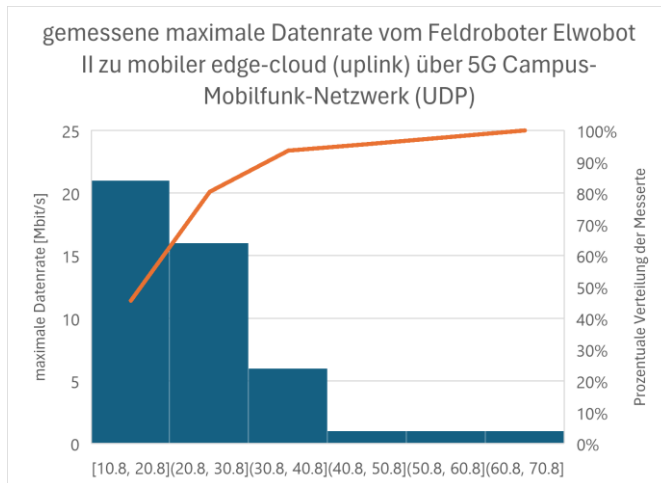


Abbildung 2 - Gemessene maximale UL-Datenraten bei Datenübertragung von Feldroboter zu edge-cloud im 5G Campus-Netz

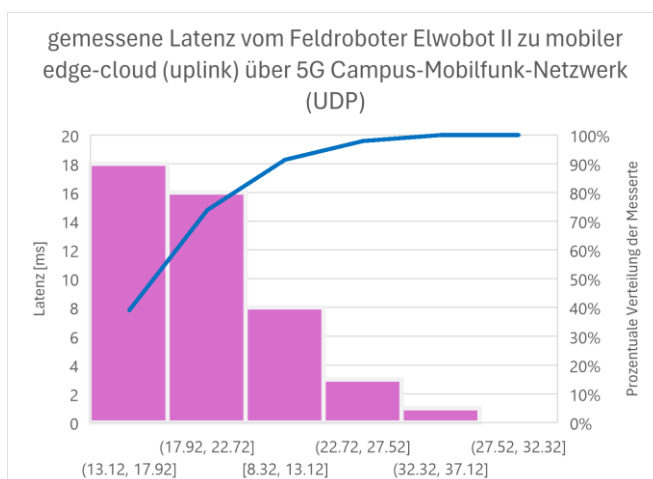


Abbildung 3 - Gemessene maximale Latenzen bei Datenübertragung von Feldroboter zu edge-cloud im 5G Campus-Netz

Die Datenraten verschiedener Sensoren des Elwobot sind in Tabelle 3 aufgeführt. Diese Werte wurden auf dem Fahrzeug ermittelt. Es zeigte sich, dass die vom 5G Mobilfunk-Netzwerk zur Verfügung gestellte Datenrate nicht ausreicht, um die Roh-Daten und alle Sensoren durchgängig zu übertragen. Bei der Roboter-Fernüberwachung in AP3 Demo 6 wurde dies berücksichtigt, in dem dort vor allem komprimierte Video-Ströme zur Datenübertragung eingesetzt wurden und die Aufsicht eine Auswahl treffen kann, welche der Video-Ströme übertragen werden sollen.

Tabelle 3: Datenraten verschiedener auf dem Roboter eingesetzter Sensoren

Sensor	Details	Datenrate
Elwobot Navigations-LIDAR	Für Navigation und Hindernis-Erkennung	6 Mbit/s
Elwobot Laubwand-LIDAR	Zum Scannen der Apfelbäume und Laubwand-Erkennung	48 Mbit/s
hochauflösende IDS- Kamera	Raw-Format	696 Mbit/s
komprimierte Kamerabilder	IDS- JPEG-Format Aus Raw IDS Kamerabild erzeugt	64 Mbit/s
h.264 Video-stream	Akzeptable Qualität	1 Mbit/s
h.264 Video-stream	Gute Qualität	8 Mbit/s

### Arbeitspaket 3: Erprobung und Demonstration digitaler Technologien und Anwendungen

Die Erprobung digitaler Anwendungen (Produkte, Prozesse, Dienstleistungen) und neuer Technologien für Vernetzung und Landtechnik, sowie im Bereich Tierhaltung und autonomer Fahrzeugtechnik im Garten-, Obst- und Weinbau und Bodenzustandsüberwachung.

#### Demo 3: Autonome Fahrzeugtechnik im Garten-, Obst- und Weinbau

In dieser Demonstration wurden Erprobungen mit einer autonomen Fahrzeugplattform mit Modulen zum Mulchen und für den Pflanzenschutz im Obstbau durchgeführt. Zum Einsatz kam der elektrisch angetriebenen Plantagenroboter „ELWOBOT II“, der in die LANDNETZ Kommunikations- und Cloud-Infrastruktur integriert wurde.

Das Fraunhofer IVI war dabei für die Pfad- und Missionsplanung verantwortlich. Die ebenfalls erprobte Fernüberwachung ist im Abschnitt Demo 6 aufgeführt.

Die Umsetzung des durch den Leitstand übermittelten Arbeitsauftrags im Fahrzeug und die kontinuierliche Erfassung der Positions- und Sensordaten erfordern klar definierte Kommunikationsschnittstellen zwischen Leitstand und Fahrzeugsteuerung. Teil des helyOS Frameworks ist die in Abbildung 4 dargestellte helyOS Agent SDK – eine python-Bibliothek, die alle notwendigen fahrzeugseitigen Funktionalitäten und Schnittstellen für die verschlüsselte Kommunikation via AMQP zwischen Fahrzeug und Leitstand implementiert. Da die an der Agrarsystemtechnik der TU Dresden implementierte Middleware der Fahrzeugautomatisierung maßgeblich auf dem Robot Operation System (ROS) beruht, wurde ein ROS Wrapper eingesetzt, der die Bedienung der SDK-Schnittstellen über ROS-Komponenten ermöglicht. Auf diese Weise können die vom Leitstand übermittelten Pfadkoordinaten und weitere Informationen, etwa die Kennzeichnung von Fahrgassen und Wendepfaden, in gängige ROS-Nachrichtentypen konvertiert und zur weiteren Verarbeitung durch die Pfadfolgeregelung und Prozesssteuerung übermittelt werden.

Der komplette Arbeitsablauf von der Missionserstellung in der Web-Applikation, über die Datenübertragung bis zur Ausführung der Mission auf dem Fahrzeug wurden erfolgreich bei Feldversuchen in Pillnitz und bei Veranstaltungen demonstriert.



Abbildung 4: links: mobiler helyOS Leitstand, rechts: Elwobot bei voll-automatischer Missionsausführung Pflanzenschutz



Abbildung 5: Visualisierung eines geplanten Pfades für die Ausführung einer Mission zwischen den Baumreihen der Obstplantage in der helyOS-Web-App

#### Demo 5: Daten-Hub basierter Informationsaustausch

Zielstellung dieses Teil-Projektes war die Evaluierung verschiedener Technologien für die Vernetzung der Akteure in landwirtschaftlichen Prozessen. Dabei wurden verschiedene Aspekte und Anwendungsfälle betrachtet, die von kommerziellen Produkten bis zum aktuellen Stand der Forschung reichen.

Zunächst wurden bestehende Prozess-Abläufe analysiert und Daten-Austausch-Anwendungsfälle und -Technologien klassifiziert und anschließend verschiedenen Praxis-Evaluationen durchgeführt.

### **Agrirouter**

Der in Deutschland am weitesten verbreitete kommerzielle Anbieter eines Daten-Hubs ist der Agrirouter der DKE-Data GmbH & Co. Für das Projekt wurde ein Zugang zu diesem System von der DKE-Data bereitgestellt. Die TUD evaluierte den Praxis-Einsatz von ISOBUS-Terminals, die auf dem Feld eingesetzt werden können und eine Anbindung an das Agrirouter-System ermöglichen. Details sind dem Bericht des Projektpartners zu entnehmen.

### **Datenräume**

Ein Datenraum ist ein geschützter virtueller Raum, in dem Daten sicher gespeichert, geteilt und analysiert werden können, während die Kontrolle über diese Daten beim Eigentümer bleibt. In der landwirtschaftlichen Domäne kann ein solcher Datenraum den Austausch von Informationen zwischen Landwirten, Agrarunternehmen, Dienstleistern und Forschungseinrichtungen verbessern, was zu datenbasierten Entscheidungen und effizienteren Prozessen führt. Die Initiativen IDS (International Data Spaces) und Gaia-X fördern die Datensouveränität und Interoperabilität in Europa.

**IDS (International Data Spaces)** ist eine Initiative, die einen Rahmen für den sicheren und souveränen Austausch von Daten in der digitalen Wirtschaft bietet. Sie ermöglicht es Organisationen, ihre Daten kontrolliert zu teilen, während sie die Kontrolle über ihre Informationen behalten. Der Fokus liegt auf der Schaffung von Vertrauensverhältnissen zwischen Datenanbietern und -nutzern durch standardisierte Schnittstellen und Sicherheitsmechanismen.

**Gaia-X** ist ein europäisches Projekt, das ein föderiertes und sicheres digitales Ökosystem schafft, in dem Daten in vertrauenswürdigen Räumen ausgetauscht werden können. Die wesentlichen Elemente umfassen gemeinsame Standards, Interoperabilität, Datensouveränität und Transparenz mit dem Ziel, Europas digitale Souveränität zu stärken, indem es eine offene und transparente Datenwirtschaft unterstützt.

Eine zentrale Rolle in Datenräumen hat der sogenannte **Connector**, indem er den sicheren und souveränen Austausch von Daten zwischen verschiedenen Teilnehmern des Datenraums ermöglicht. Er stellt sicher, dass Daten nur unter Einhaltung festgelegter Richtlinien und Verträge übertragen werden und trennt Metadaten und eigentliche Datenübertragungen. Jeder Teilnehmer des Datenraums verwendet solch einen Connector, um sich mit anderen Teilnehmern des Raumes zu verbinden. Daten werden dabei direkt ausgetauscht und nicht in einer zentralen Plattform zwischengespeichert. Je nach Ausprägung des Datenraums gibt es weitere zentrale Dienste, z.B. für Authentifizierung und Identitäts-Management. Ein anderer Ansatz, der in Gaia-X verfolgt wird, sind Self-Sovereign Identities (SSI). Diese ermöglichen es Einzelpersonen, Organisationen oder Maschinen, eine digitale Identität zu erstellen und selbständig zu kontrollieren, ohne dass ein Vermittler oder eine zentrale Partei erforderlich ist.

Im Projekt Landnetz wurde die zu dem damaligen Stand (2021) aktuelle Technologie für Daten-Austausch in Datenräumen für die Demonstration verwendet. Es handelt sich dabei um die Referenz-Architektur des IDS der von den Mitgliedern der Organisation International Data Spaces Association (IDSA) entwickelt wurde.

Für die Demonstration wurde zunächst der Anwendungsfall eines Feldroboters ausgewählt, der automatisch Daten während der Ausführung seiner Arbeit erhebt und in einen cloud-basierten Datenspeicher unter der Hoheit des Landwirts überträgt. Da zu dem Zeitpunkt der Umsetzung dieses Teilprojektes die im Gesamtprojekt integrierten realen Feldroboter nicht zur Verfügung standen, wurde für die Umsetzung ein simulativer Ansatz gewählt. Auch gab es zu diesem Zeitpunkt noch keinen öffentlich zugänglichen landwirtschaftlichen Datenraum. Deshalb wurden vom Fraunhofer IVI für diese Demonstration virtuelle Feldroboter verwendet, die mit Hilfe des HelyOS-Systems angewiesen werden können, Missionen durchzuführen (s.a. Demo 3). Diese virtuellen Roboter melden kontinuierlich ihre Position und den Prozess-Fortschritt an das Hintergrund-System. Für diesen Teil der Daten-Übertragung wurde derselbe Nachrichten-Broker verwendet, der später auch mit den realen Robotern verwendet wurde. Dieses RabbitMQ-System ermöglicht zum einen eine genaue Zugangskontrolle und ist auch für die Übertragung der Daten im Mobilfunk-Netz gut geeignet. Für die Anbindung an den Datenraum wurde der Data Space Connector (DSC<sup>\*</sup>) der IDSA eingesetzt und in das System integriert. In einer Software-Komponente wurden die Daten exemplarisch aggregiert und nach abgeschlossener Mission mit Hilfe dieses integrierten IDS-Connectors an einen zweiten IDS-Connector übertragen. Dieser zweite Connector war an einen digitalen Zwilling angeschlossen – einem Prototyp für einen digitalen Speicher unter der Kontrolle des Landwirts.

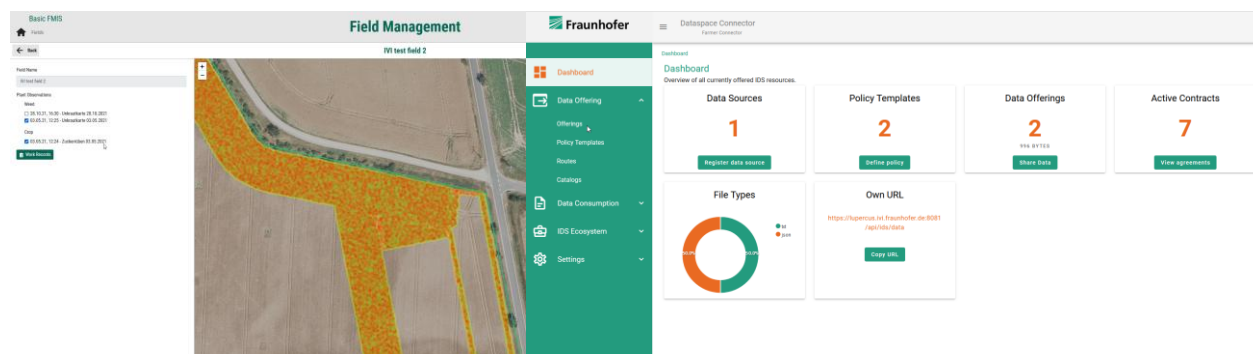


Abbildung 6 links: Ansicht eines Feldes im digitalen Zwilling, rechts: Übersichts-Seite des IDS connectors

Anschließend wurde vom Fraunhofer IVI ein weiterer Anwendungsfall für den IDS-basierten sicheren Datenaustausch umgesetzt. Bei diesem Anwendungsfall verfügt der Landwirt über eine Telemetrie-Plattform, auf der live die Positionen seiner Maschinen verfolgt und angezeigt werden. Nun möchte er die Live-Positionen temporär für einen Lohnunternehmer freigeben. Um einen sicheren und reibungslosen Betrieb zu gewährleisten, ist es von Vorteil, wenn der Lohnunternehmer in der

\* <https://github.com/International-Data-Spaces-Association/DataspaceConnector>

Fernüberwachungs-Software die aktuellen Positionen der anderen Fahrzeuge zur Verfügung gestellt bekommt, so dass potenzielle Kollisionen und Gefahren-Situationen erkannt werden können. Für diesen Anwendungsfall wurde ein IDS-Connector an das Telemetrie-System angeschlossen, welches am LVG Köllitsch erprobt wird. Über diesen Connector hat der Landwirt die Möglichkeit, den Zugangspunkt für die Live-Daten mit einem anderen IDS-Teilnehmer zu teilen. Dabei kann er den anderen Connector dediziert auswählen und auch den Zeitraum der Freigabe wählen. In der Feldroboter-Fernüberwachungssoftware des Fraunhofer IVI (s.a. Demo 6) wurde ein zweiter IDS-Connector integriert, und ein Adapter entwickelt, der die Live-Positions-Daten aus dem Telemetrie-System empfängt und weiterverarbeiten kann. Damit konnte ein automatischer Austausch der Positions-Daten der realen Fahrzeuge mit Hilfe der IDS-Technologien demonstriert werden.

In der letzten Phase des Projekts wurde vom Fraunhofer IVI ein Daten-Austausch mit Gaia-X Technologie und dem landwirtschaftlichen Datenraum Agri-Gaia demonstriert.

Dafür wurde folgender Anwendungsfall aus dem Obstbau konzipiert und der Daten-Austausch entsprechend umgesetzt. Ein Obstbauer hat eine Plantage mit Apfelbäumen und möchte einen Dienst nutzen, der künstliche Intelligenz verwendet, um eine Prognose der zur erwartenden Ernte zu bekommen. Als Datengrundlage wurden vom Fraunhofer IVI zunächst manuell Bilder von Bäumen in verschiedenen Phasen der Saison aufgenommen. Diese Bilder wurden kategorisiert und Meta-Daten hinzugefügt.

Bei dem Agri-Gaia Datenraum handelt es sich um einen Agrar-Datenraum, der Gaia-X Technologie nutzt und vom Konsortium des Agri-Gaia Projektes\* entwickelt und betrieben wird.

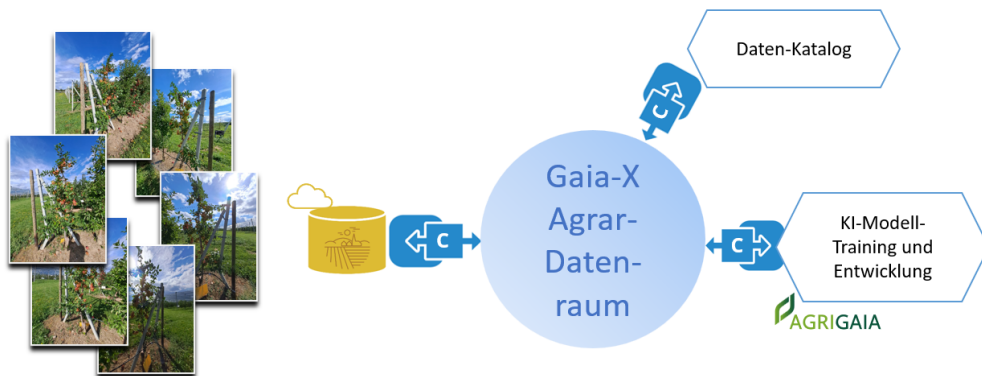
Für den Daten-Austausch wurde ein Gaia-X Connector am Rechenzentrum des Fraunhofer IVI in Betrieb genommen. Es handelt sich dabei um den Eclipse-Dataspace-Connector (EDC). Der EDC besteht aus open-source Software-Komponenten, die unter der Obhut der Eclipse Foundation entwickelt wird und ist eine Weiterentwicklung des DSC. Um mit dem Agri-Gaia Datenraum Daten austauschen zu können, wurde die für diesen Datenraum festgelegte Connector-Version für die Demonstration verwendet. Nach der Inbetriebnahme und der Integration in den Agri-Gaia-Datenraum konnten Landnetz-Datensätze über den Connector im Datenraum bereitgestellt und von anderen Teilnehmern des Datenraums abgerufen werden. Dabei werden die lokalen Datensätze in einem sogenannten S3-Datenspeicher vorgehalten. Der Connector wird entsprechend konfiguriert, um die eigentlichen Daten nach dem Aushandeln einer Vereinbarung zu den vom Datengeber für die Daten vorgegebenen Konditionen der Datennutzung von diesem Speicher aus freizugeben.

---

\* <https://www.agri-gaia.de/>

## Gaia-X basierter Datenaustausch mit AgriGaia

Bereitstellung von Trainingsdaten über Datenraum



*Abbildung 7 Datenaustausch im AgriGaia Agrardatenraum*

Im Kontext des Anwendungsfalles Obstbau fand auch ein enger Austausch mit anderen Projekten statt. Neben einem regelmäßigen Austausch zum aktuellen Stand der Forschung konnte mit dem Projekt SAMSON\* eine automatische Erfassung der Apfelbäume mit Hilfe des Elwobot II-Roboters in der Plantage des LfULG in Pillnitz demonstriert werden.



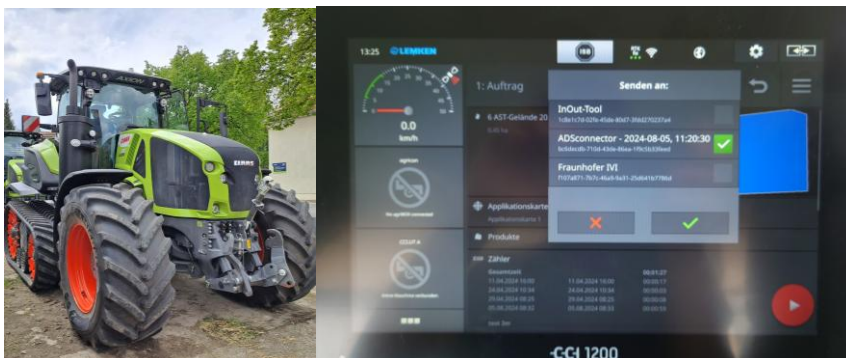
*Abbildung 8 Elwobot II mit SAMSON Daten-Erfassungs-System in der Plantage Pillnitz*

Ebenso wurde eine Kooperation mit dem Projekt NaLamKI etabliert. Bei diesem Projekt steht die Anwendung von KI in Diensten für landwirtschaftliche Fragestellungen im Vordergrund, während der Schwerpunkt im Projekt Agri-Gaia auf der Entwicklung und Verbesserung von KI-Modellen liegt. Die in NaLamKI entwickelten KI-Algorithmen zur Apfel-Erkennung wurden auf in Landnetz erhobene Daten angewendet und die Landnetz-Daten konnten verwendet werden, um die Algorithmen zu verbessern.

\* <https://www.ifam.fraunhofer.de/de/Presse/SAMSON.html>

## Agrirouter mit Datenraum-Integration

Um die Vorteile der beiden untersuchten Konzepte von kommerziellem Daten-Router (Agrirouter) und Datenraum (Agri-Gaia) kombinieren zu können, implementierte das Fraunhofer IVI eine Agrirouter-Anbindung. Dafür wurde ein von der DKE-Data öffentlich bereitgestelltes Software-Development-Kit (SDK) verwendet. Mit diesem konnte ein Endpunkt geschaffen werden, an den Daten von anderen (auch kommerziell verfügbaren) Terminals und Software-Lösungen über das Agrirouter-System geschickt werden können. Dieser Endpunkt wurde als Web-Applikation entwickelt und am Fraunhofer IVI Rechenzentrum in Betrieb genommen. Im Laufe des Projekts wurde die Implementierung mehrmals, basierend auf agiler iterativer Herangehensweise, verbessert. So wurden im Laufe der Projekts verschiedene Versionen des SDKs verwendet und die Applikation stufenweise verbessert und fortlaufend in Kooperation mit der TU Dresden erprobt. In der letzten Version werden empfangene Daten vollautomatisch in den auch vom EDC-Connector verwendeten S3-Speicher gespeichert, so dass ein Landwirt die Möglichkeit hat, alle versendeten Daten per Routen-Konfiguration im Agrirouter-System in einen Datenspeicher unter seiner Hoheit zu schicken und bei Bedarf diese z.B. für Forschungszwecke über den Agri-Gaia Datenraum anderen zur Verfügung zu stellen. Diese Version konnte im Herbst 2024 erfolgreich in das Agrirouter-System eingebunden und Daten von zwei der durch die TU Dresden evaluierten ISOBUS-Telemetrie-Einheiten (CCI 1200 und ISOConnect) empfangen und gespeichert werden.



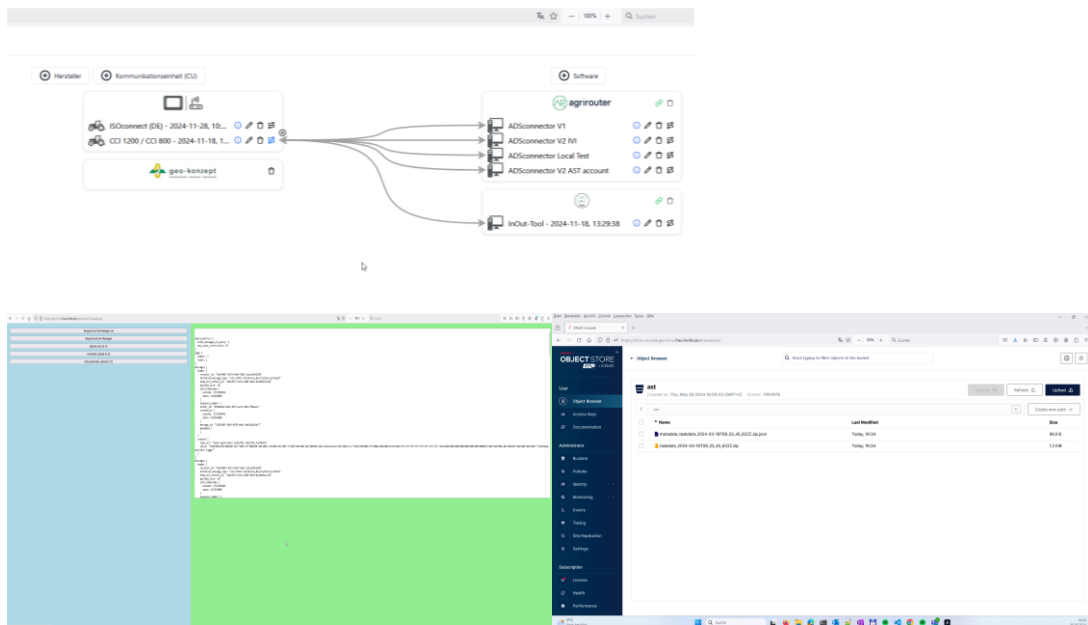


Abbildung 9: oben links: Eingesetzte Landmaschine bei Feldtest; oben rechts: ISOBUS-Terminal zum Versenden von Daten in der landwirtschaftlichen Zugmaschine, Mitte: Routen-Konfiguration im Agrirouter-System, unten links: Von Fraunhofer IVI entwickelte Software-Komponente zum Empfang der Daten, unten rechts: S3 Speicher mit empfangenen Daten

In der Demo 5 wurden verschiedene Technologien zum Daten-Austausch untersucht. Marktreife Produkte wie der Agrirouter konnten dabei in bestehende Prozesse auf dem Partnerbetrieb integriert werden und so Arbeitsaufwand reduziert werden. Für eine reibungslose Integration ganz ohne manuelle Zwischenschritte ist allerdings eine Unterstützung des Systems in allen verwendeten Komponenten und Programmen nötig, die in der Praxis selten erreicht wird. Die Datenübertragung über den Daten-Hub ist für den innerbetrieblichen Austausch gut geeignet, ein Daten-Austausch zwischen verschiedenen Accounts konnte nicht realisiert werden.

In den Demonstrationen zu Datenräumen konnten IDS und GAIA-X Technologien evaluiert werden. Dabei sind Konzepte des IDSA inzwischen in GAIA-X eingeflossen und der Fokus der Community liegt nun bei GAIA-X. Ursprüngliche IDS-Komponenten können für die Kommunikation in GAIA-X Datenräumen nicht mehr eingesetzt werden, weil diese nicht zu 100% mit GAIA-X Protokollen kompatibel sind. Doch auch innerhalb von GAIA-X ist nicht immer eine Abwärtskompatibilität gegeben, so dass z.B. verschiedene Versionen der GAIA-X Connectoren nicht automatisch miteinander kommunizieren können. Das Konzept der Datenräume bietet einige Verbesserungen hinsichtlich Daten-Souveränität, sorgt aber auch für eine erhöhte Komplexität. Der Einsatz eines Agrardatenraums führt zu einem höheren Integrations- und Pflege-Aufwand der Software. Dieser höhere Aufwand ist für einen einmaligen und innerbetrieblichen Daten-Austausch zu hoch und eignet sich besser dafür, Daten einmalig anzulegen und anschließend mit verschiedenen Akteuren, z.B. KI-Dienstleistern zu teilen. Es bleibt abzuwarten, wie das Betreibermodell für einen produktiv genutzten Agrar-Datenraum aussieht und ob sich dieser auf europäischer Ebene - z.B. für die Nutzung von KI-basierten Diensten – etablieren wird.

## Demo 6: Erprobung und Demonstration von Landmaschinenvernetzung

### Fernüberwachung autonomer Maschinen

In diesem Teilprojekt wurde vom Fraunhofer IVI exemplarisch ein Funktionsmuster für ein Feldroboter-Überwachungs-System zur Anzeige von Umfeld und Statusdaten eines Feldroboters umgesetzt.

Aktuell benötigen die meisten kommerziell verfügbaren Feldroboter noch eine 1:1 Betreuung einer Person, die diesen überwacht und sich auch in unmittelbarer Nähe des Fahrzeugs aufhält. In Zukunft werden Roboter mehr und kompliziertere Aufgaben allein durchführen können, jedoch werden Sie in gewissen Situationen nicht eigenständige Entscheidungen treffen können. Dies betrifft vor allem kritische Situationen, oder Situationen, in denen die Selbstüberwachung des Roboters erkannt hat, dass diese außerhalb des definierten Betriebsbereiches liegen. Im Regelbetrieb können Kameras dazu verwendet werden, die aktuelle Arbeitsaufgabe des Roboters aus der Ferne begutachten zu können.

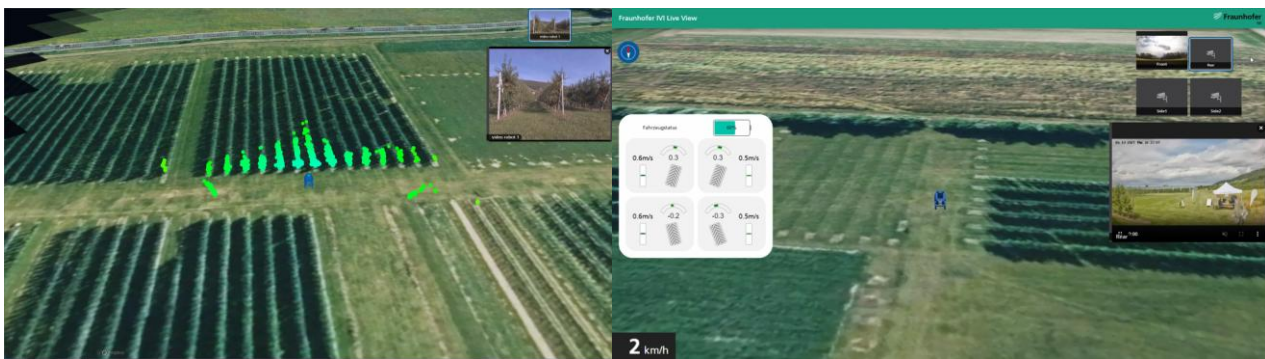


Abbildung 10 Funktionsmuster Roboter Fernüberwachung Obstroboter Elwobot in der Plantage des LfULG in Pillnitz: links Variante mit LIDAR-Übertragung, rechts Variante mit mehreren Live-Kamera-Bildern und Statusanzeige wichtiger Parameter

Die Roboter CERES und Elwobot II wurden in das Überwachungs-System integriert, welches eine Erweiterung des HelyOS-Systems zur Steuerung der Roboter darstellt. Unter dem Aspekt der Interoperabilität wurde dabei auf offene Standards gesetzt. Beide Roboter verwenden für die Kommunikation von Komponenten innerhalb des Fahrzeugs das Robot-Operating-System\* (ROS). Dieses ist nicht für die Kommunikation über Mobilfunk-Verbindungen und für mehrere Fahrzeuge geeignet. Für die Datenübertragung, die über das 5G Campus-Netz erfolgt, wurde deshalb das AMQP-Protokoll verwendet und für die Nachrichtenspezifikation HelyOS verwendet, das inzwischen auch als Open Source Software veröffentlicht wurde<sup>†</sup> (s.a. Demo3).

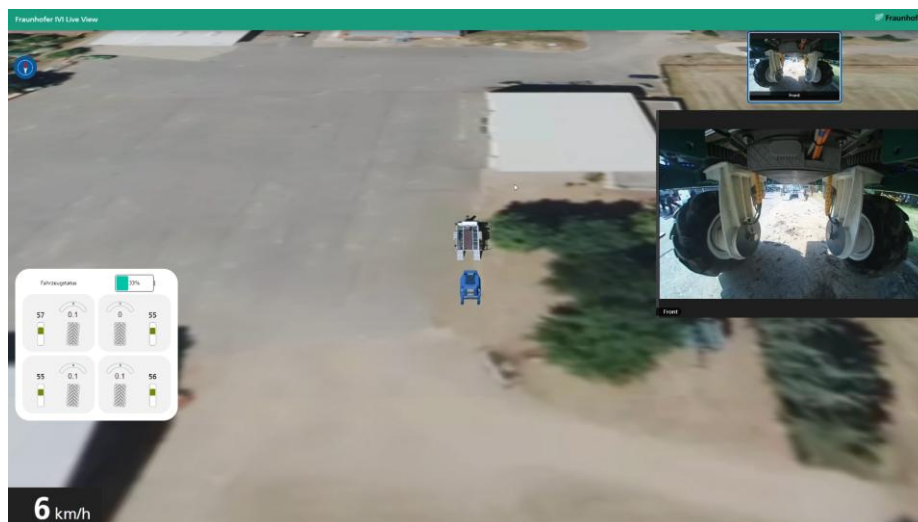
\* <https://ros.org/>

† <https://helyos-manual.readthedocs.io/en/latest/>



*Abbildung 11 Elektrischer Feldroboter CERES auf dem Gelände des LVG Köllitsch bei Auffahrt auf Lade-Anhänger*

Auf den Robotern wurden 5G Router eingesetzt, die eine Verbindung in das 5G Campus-Netz bereitstellen. Die Überwachungs-Software wurde als Web-Applikation entwickelt, so dass diese auch auf mobilen Geräten, die in das Campus-Netz eingewählt sind, angezeigt werden kann. Die Software-Komponenten wurden dabei als Software-Container in der Edge-Cloud des mobilen 5G Campus Netzes betrieben.



*Abbildung 12 Funktionsmuster der Roboter-Fernüberwachungs-Software für Feldroboter CERES während der Auffahrt auf Lade-Anhänger*

Für die Datenübertragung wurden je nach Daten verschiedene Formate evaluiert. Es wurde eine Software-Komponente entwickelt, die es ermöglicht, auf dem Fahrzeug aufgenommenen LIDAR-Punktwolken über das 5G Campus-Netz zu übertragen. Für die Bild-Übertragung wurden zunächst einzelne Bilder übertragen und diese später durch etablierte komprimierte Video-Übertragungs-Formate ersetzt. Bei den Kameras wurden verschiedene Kameras eingesetzt, von hochauflösenden IDS-Kameras, die auch vom Roboter für die Navigation verwendet werden, zu

zusätzlichen Kameras, die komprimierte Video-Ströme bereitstellen. Bei den Status-Daten wurden neben Parametern wie die aktuelle Position und Geschwindigkeit auch detaillierte Status-Daten zum Batterie-Zustand übertragen.

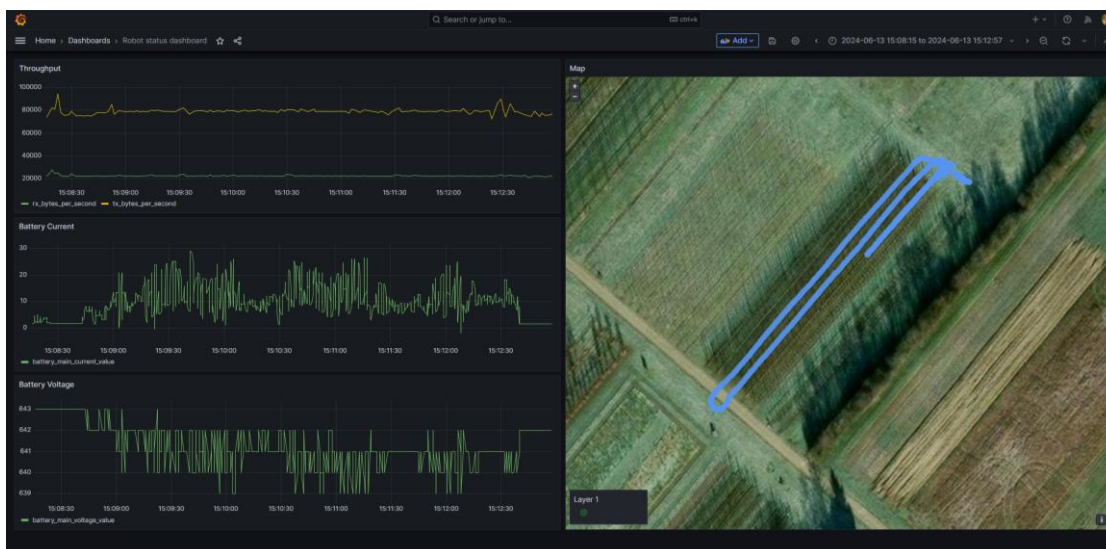


Abbildung 13 Funktionsmuster Roboter Fernüberwachung Elwobot: Status Dashboard mit Live-Graphen zu Datendurchsatz und Batterie-Status

Es konnte in diesem Teilprojekt gezeigt werden, wie die Verwendung von offenen Standards die Integration von verschiedenen Robotern in eine Fernüberwachungs-Leitstelle ermöglichen und wie diese zukünftig eine effiziente Überwachung mit weniger Personal-Einsatz ermöglichen können. Die in das Campus-Netz integrierte Edge-Cloud eignet sich gut, um die Software-Lösungen zu betreiben und die Daten zu verarbeiten zu sicher zu speichern. Allerdings wird dafür eine Person benötigt, die diese IT-Administration durchführt und die Software muss so implementiert sein, dass diese sich auf der Edge-Cloud installieren und betreiben lässt. Dies ist bei kommerzieller Software selten der Fall.

## Arbeitspaket 4: Partizipationsstrategien und Öffentlichkeitsarbeit

Öffentlichkeitsarbeit und Wissenstransfer waren im Experimentierfeld LANDNETZ zentral. In Kooperation mit dem Themenverbund Digitalisierung Landwirtschaft Sachsen (TDL-LfULG) wurden verschiedene Aspekte der landwirtschaftlichen Digitalisierung beleuchtet. Das LfULG entwickelte das vorliegende Konzept, das als Leitfaden für Wissenstransfer und Öffentlichkeitsarbeit dient.

Die Kommunikation erfolgte über zwei Kanäle: das webbasierte Informationsportal [landnetz.eu](http://landnetz.eu) und eine Kontakt- sowie Vermittlungsstelle. Das Konzept richtete sich an folgende Zielgruppen:

- Landwirtschaftliche Praxis
- Fachöffentlichkeit (Beratung, Lehrkräfte, Forschung, Wirtschaft, Behörden)
- Zukünftige Fachöffentlichkeit und landwirtschaftlicher Praxis (Auszubildende, Schüler, Studenten)

- Entscheidungsträger und Multiplikatoren (in Fachverbänden, in der Bundes-, Landes- und Kommunalpolitik auf Landkreis-, Städte- und Gemeindeebene sowie in Bundes- und Landesbehörden)
- Aus der breiten Öffentlichkeit: Verbraucher und Anwohner
- Presse (regionale sächsische Medien, überregionale Medien, Fachmedien)

Landwirtschaftliche Betriebe stellten für das Landnetz-Projekt die wichtigste Zielgruppe dar und standen folglich im Mittelpunkt der Aktivitäten zur Kommunikation der Projektarbeit und des Wissenstransfer der Projektergebnisse. Die Zusammenarbeit mit den aktiv im Projekt eingebundenen Partnerbetrieben wurde durch gemeinsame Seminare, Workshops, Info-Veranstaltungen und Feldtage unterstützt.

Um eine Übersicht über die Transferangebote zu erlangen, wurden die verschiedenen Wirkungspfade im Rahmen von Veröffentlichungen, Veranstaltungen und Interaktionen fortlaufend dokumentiert. Im Projekt wurden sieben Betriebe eingebunden und 6 Demonstrationsvorhaben geplant und umgesetzt, die digitale Lösungen für die landwirtschaftliche Praxis veranschaulichen. Fachvorträge, hybride und Online-Veranstaltungen, Feldtage und Fachforen erreichten ein breites Publikum. Über die Homepage sowie den regelmäßig veröffentlichten Infodienst und Newsletter wurden Interessierte kontinuierlich informiert.

Zusätzlich kamen soziale Medien wie „X“ und YouTube als Informationskanäle zum Einsatz. Besonders in der Projektverlängerung wurden zahlreiche Veranstaltungen gemeinsam mit anderen Experimentierfeldern geplant und durchgeführt. Die Bewerbung über Partnerkanäle half, die Reichweite zu steigern – sowohl in sozialen Netzwerken als auch auf offiziellen Informationsplattformen.

Zur Koordination der Aktivitäten wurde eine zentrale Kontakt- und Vermittlungsstelle für digitale Technologien in der Landwirtschaft etabliert. Um die Arbeitseffizienz maximieren zu können, fanden hier Strukturen aus SIH- und TDL-Projekten Anwendung und wurden entsprechend der veränderten Bedürfnisse angepasst. Der schematische Aufbau des etablierten Konzeptes ist in nachstehender Abbildung dargestellt.

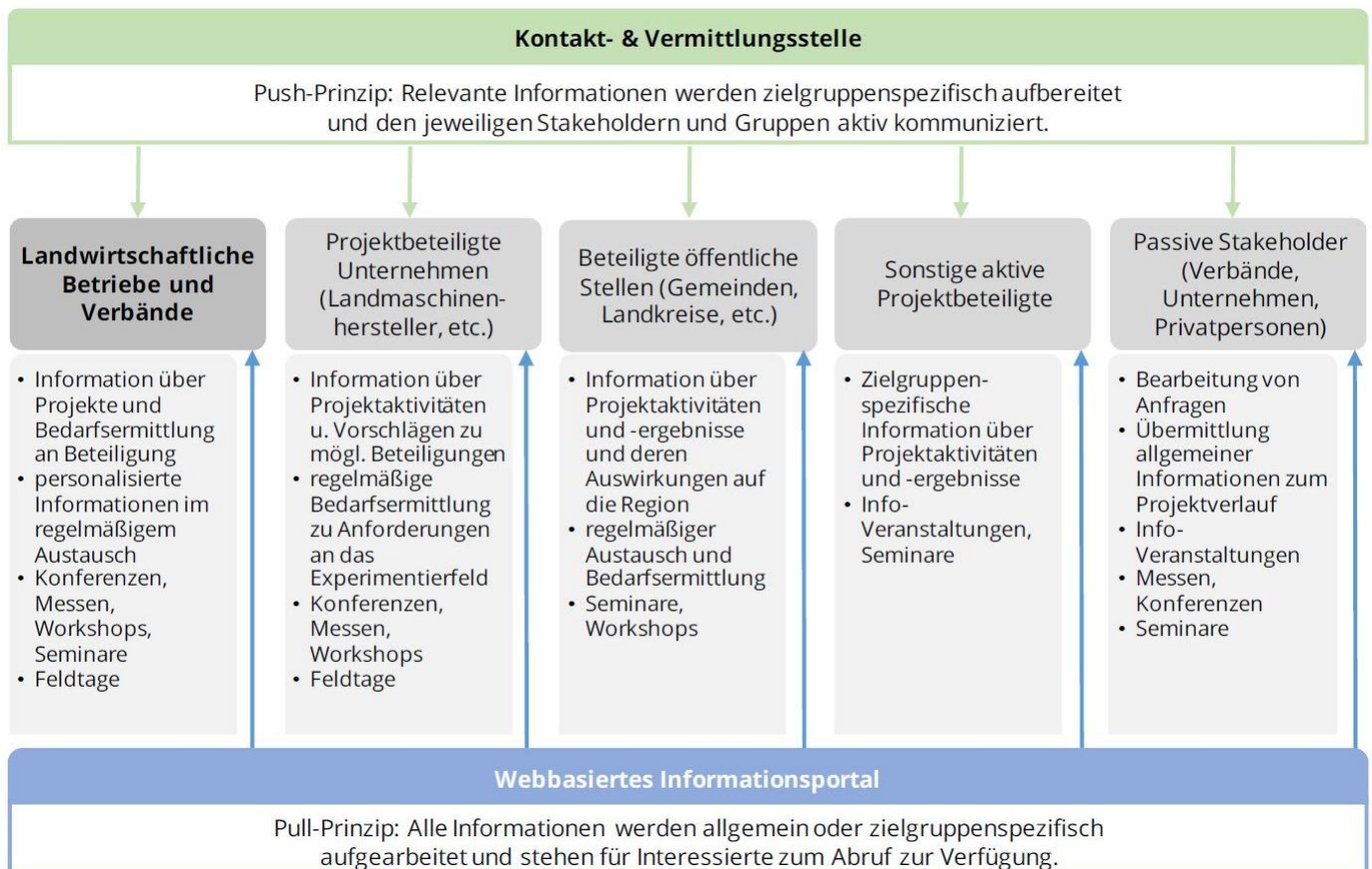


Abbildung 14: Konzept Kontakt- und Vermittlungsstelle zum Wissenstransfer nach Push- und Pull-Prinzip

Der Austausch mit anderen Experimentierfeldern war wertvoll für den Wissenstransfer. Inhalte aus den LANDNETZ-Erprobungen wurden regelmäßig auf der Online-Plattform FARMWISSEN (BeSt-SH) bereitgestellt. Gemeinsame Fachveranstaltungen fanden mit CattleHub und DigiMilch statt, während mit EXPRESS über Wetterdatenerhebung, Drohneneinsatz und Bestandsmonitoring diskutiert wurde. Erfahrungen im Bereich Feldrobotik, insbesondere zum Feldroboter DINO wurden mit Agro-Nordwest geteilt. Mit CattleHub wurde ein Untersuchungsrahmen für digitale Technologien in der Tierhaltung entwickelt und künftige Stallkonzepte erarbeitet, die in Bauvorhaben am LVG Köllitsch und Haus Düsse einfließen sollen.

Die Projektverlängerung förderte Wissenstransfer und Öffentlichkeitsarbeit, die flexibel an gesellschaftliche Anforderungen angepasst wurden. Während der Pandemie verlagerte sich der Fokus auf digitale Formate, später wurden hybride und Präsenzveranstaltungen wieder verstärkt genutzt. Der „Experimentierfeld-Talk“ erwies sich als erfolgreiches hybrides Veranstaltungsformat, das weitergeführt werden soll.

Präsenzveranstaltungen profitieren von Praxisbezug, weshalb aktive Betriebe als Veranstaltungsorte bevorzugt wurden. Dies erleichterte den Austausch und steigerte die Teilnehmezahlen.

Ein interaktiver „Touch-Tisch“ bereicherte den Wissenstransfer erheblich. Er ermöglichte es Gruppen, Inhalte spielerisch zu erschließen, und erwies sich auf Messen als Publikumsmagnet. Mit vielseitigen Einsatzmöglichkeiten unterstützte er die anschauliche Vermittlung digitaler Technologien und erhöhte das Interesse an Demonstrationen.

## **Arbeitspaket 5: Wertschöpfung, Bewertung, Transfer und Evaluation**

### **Wertschöpfung**

Die in den Demonstrationen erprobten Digitalisierungslösungen bieten Potential die Wertschöpfung landwirtschaftlicher Betriebe zu steigern. Sie können zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit, des Tierwohls und der Nachhaltigkeit der Landwirtschaft beitragen. Einzelne Ansätze könnten die Grundlage für neue Geschäftsmodelle wie z.B. digitale Dienstleistungen bilden. Zielstellung war Anwendungsfälle/ Produkte als Geschäftsmodelle zu projizieren. Auf Basis der Projektergebnisse wurde eine Business-Model-Canvas exemplarisch am Beispiel des Geschäftsmodells „Private Netzwerke für ländliche Räume“ erstellt. Dazu wurde die Expertise des TUD | Excellence Center for Innovation, Transfer and Entrepreneurship (TUD|excite) in Anspruch genommen. Durch die graphische Darstellung der verschiedenen Kompetenzen eines Geschäftsmodells mit dem jeweiligen Produkt als Ausgangspunkt, wurde zum einen die Dokumentation des Ist-Standes vorgenommen und auch die Weiterentwicklung vorangetrieben. Dabei sind Komponenten wie Nutzungsversprechen, Infrastruktur, oder auch Zielgruppen eingeflossen.

Die Modellierung verlegte den Fokus von der alleinigen Produktidee hingehend zur Konzipierung eines Geschäftsmodells. Jedoch ist diese Darstellungsweise sehr statisch, sodass eine fortlaufende Weiterentwicklung, mit jeweils neuer Reflektion notwendig ist, um sich ändernde Rahmenbedingungen einfließen zu lassen. Um diese Entwicklungen und insbesondere die Bewusstseinsbildung für diesen Sachverhalt bei den Untersuchenden zu verstärken, wurde in einem zweiten Seminar mit Workshopcharakter, vertiefend auf die Weiterentwicklung des Modells eingegangen.

### **Evaluation und Bewertung**

Im Projekt wurden zwei externe Evaluationen durchgeführt. Die erste Evaluation erfolgte im November 2021 und wurde durch die Wirtschaftsprüfungsgesellschaft Pricewaterhouse Coopers GmbH (PwC) im Rahmen der laufenden Evaluierung des simul+ Innovations Hub (SIH) durchgeführt. Die Kosten wurden vom Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL) getragen. PwC analysierte und bewertete schwerpunktmäßig den Status Quos des Projekts im zweiten Jahr der Projektlaufzeit sowie das vorgegebene Indikatoren-Set, welches im Rahmen der Zielerreichung jährlich erhoben und an den Fördermittelgeber übermittelt wurde. Die zweite externe Evaluation erfolgte 2023 durch den Pflanzenbauberater Bernd Lessner und zielte auf die Bewertung der Projektziele und gesetzten Schwerpunkte sowie deren Relevanz für die landwirtschaftliche Praxis ab. Die Kosten wurden durch Projektmittel getragen.

Die interne Evaluation baute auf zwei Säulen auf: Zum einen wurde fortlaufend eine Selbstevaluation vorgenommen. Dabei wurde der Untersuchungsrahmen vor einem Kriterienkatalog reflektiert und mit jeder neuen Erkenntnis überdacht. Die zweite Säule bildet die externe Reflexion. Dazu wurde eine Vergabe vorgenommen.

Zur Bewertung und Vergleichbarkeit, der im LANDNETZ Projekt erprobten und demonstrierten Digitalisierungslösungen wurde eine Bewertungsmatrix mit 14 Bewertungskriterien erarbeitet. Die Bewertungskriterien decken dabei verschiedene Aspekte wie z.B. die Anwendbarkeit und Integration in landwirtschaftliche Prozesse, Umweltwirkung, Wertschöpfung sowie Einflüsse auf den Arbeitsplatz und das landwirtschaftliche Umfeld ab. Für jedes Kriterium gibt drei Stufen mit unterschiedlicher Punktzahl, Kriterium „trifft zu“ (2 Punkte), „trifft teilweise zu“ (1 Punkt) oder „trifft nicht zu“ (0 Punkte). Da nicht alle Kriterien in jeder Erprobung getestet wurden, gibt es für nicht untersuchte Kriterien 0 Punkte. Theoretisch sind maximal 28 Punkte erreichbar. Die Bewertung der einzelnen Kriterien basiert auf Erfahrungen aus Sicht der Anwender und Ergebnissen aus der praktischen Nutzung während der Erprobungszeit.

## **Arbeitspaket 6: ON/OFF Road Safety**

Im Jahr 2021 wurde das Teilprojekt „On/Off Road Safety“ ins Leben gerufen, welches mit einem Kick-Off Treffen aller beteiligten Partner begann. Ziel des Projektes war die Analyse von Unfällen, mit Beteiligung von landwirtschaftlichen Zugmaschinen, um spezifische Sicherheits- und Gegenmaßnahmen zu entwickeln, um schwere Unfälle zu vermeiden.

### **Analyse der Unfalldaten**

Zu Beginn des Projekts wurden Unfälle, an denen landwirtschaftliche Zugmaschinen beteiligt waren, in der Unfalldatenbank des Fraunhofer IVI analysiert. Anhand des Vergleichs von etwa 6.500 Unfällen mit Beteiligung von landwirtschaftlichen Zugmaschinen zum allgemeinen Unfallgeschehen, konnten Besonderheiten und Auffälligkeiten identifizieren werden, welche einen potenziellen Einfluss auf die Experimentierfelder und Kommunikationsinhalte haben könnten. Neben der Konzentration der Unfälle an Kreuzungen, Einmündungen und Zufahrten und auf Strecken des nichtklassifizierten Straßennetzes, waren im Besonderen die höhere Verletzungsschwere der Unfallbeteiligten und der hohe Anteil an Unfallverursachung seitens der Fahrer von landwirtschaftlichen Zugmaschinen auffällig.

Zudem wurden anhand der aufgezeichneten Unfallmerkmale verschiedene Unfallkonstellationen abgeleitet, um die häufigsten Szenarien sowie die vorherrschenden Randbedingungen und Unfallursachen zu identifizieren. Entsprechend ihrer Häufigkeit wurden folgende typische Unfallkonstellationen bestimmt (vgl. *Abbildung 15*):

- Missachtung des bevorrechtigten Verkehrs von links oder rechts seitens des Fahrers der landwirtschaftlichen Zugmaschine beim Auffahren auf die bevorrechtigte Straße
- Auffahrunfall durch Fehleinschätzung der Geschwindigkeit der landwirtschaftlichen Zugmaschine seitens des nachfolgenden Kfz-Verkehrs im Längsverkehr
- Auffahrunfall durch Fehleinschätzung der Breite der landwirtschaftlichen Zugmaschine seitens des entgegenkommenden Kfz-Verkehrs
- Auffahrunfall durch Missachtung der Geschwindigkeitsreduzierung der landwirtschaftlichen Zugmaschine während des Abbiegemanövers seitens des nachfolgenden Kfz-Verkehrs

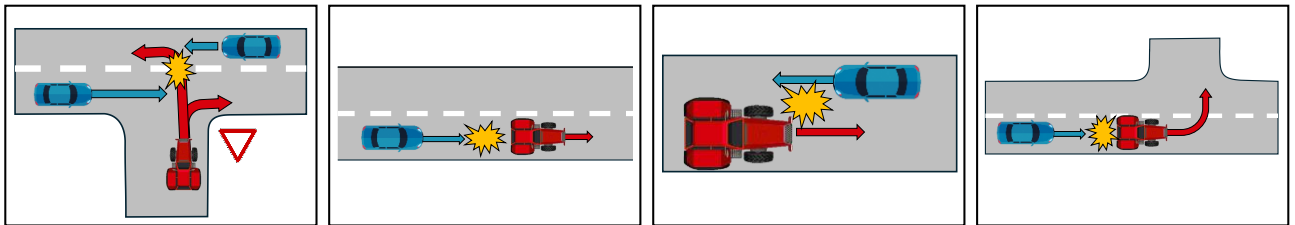


Abbildung 15 Übersicht der häufigsten Unfallkonstellationen von landwirtschaftlichen Zugmaschinen

Diese Analysen bildeten die Grundlage für die Entwicklung spezifischer Versuchsaufbauten.

### Demonstration der Ergebnisse

Im Herbst 2022 fand auf dem Gelände der LVG Köllitsch eine Demonstration der bisherigen Projektergebnisse statt. Hier wurde der Versand von Warnmeldungen von Landmaschinen an umliegende Verkehrsteilnehmer präsentiert, um diese über potenzielle Unfallgefahren zu informieren.

In einem ersten Szenario bewegten sich die Landmaschinen im öffentlichen Straßenbereich, während sie zu ihren Einsatzorten auf dem Feld fuhren. In einem zweiten Szenario wurden die Verkehrsteilnehmer über mögliche Sichtbehinderungen während der Feldarbeit informiert. Der Versand dieser Warnmeldungen erfolgte über ein mobiles 5G-Campusnetz mit Edge-Cloud-Komponenten, bereitgestellt vom Lehrstuhl TU-Dresden Vodafone.

Das Fraunhofer IVI integrierte Warnmeldungen gemäß dem ETSI-G5 Standard (DENM) mit Szenarien, die auf langsam fahrende und überbreite Fahrzeuge sowie auf Sichtbehinderungen durch Staub hinwiesen. Diese Meldungen wurden automatisiert basierend auf der Georeferenzierung und den Arbeitsschritten der Feldmaschinen versendet. Permanente Statusmeldungen über die Positionen der Landmaschinen sowie aller Fahrzeuge im 5G-Netz wurden durch die Cooperative Awareness Message (CAM) realisiert.

Die Berichterstattung im MDR-Radio und Fernsehen, darunter eine Zusammenfassung im MDR-Sachsenspiegel, sorgte zusätzlich für eine breite Öffentlichkeit.

Im Jahr 2023 konzentrierte sich das Fraunhofer IVI auf die Portierung der V2X-Nachrichten in das 5G-Campusnetz. Diese Lösung, obwohl proprietär und nicht standardisiert, ermöglichte die Nutzung der Vorteile des 5G-Campusnetzes. Der Fokus verschob sich jedoch auf die Implementierung der Kommunikation im standardisierten C-V2X (LTE-V2X, perspektivisch 5G-V2X). Die Implementierung begann zunächst mit LTE-V2X, da kommerziell verfügbare Module für 5G-V2X noch nicht verfügbar waren. Bereits Mitte 2023 konnte erfolgreich eine Kommunikation mittels C-V2X demonstriert werden.

Erste Interoperabilitätstests im Rahmen der Demonstration des Motorcycle Consortiums zeigten weiteres Entwicklungspotenzial, so dass im letzten Teil des Projektes die Integration eines Head-Up-Displays (HUD) für Motorradfahrer erfolgte, sodass diese auch von den von Landmaschinen versendeten Warnnachrichten (DENM) profitieren können. Die Kommunikation erfolgte dabei über standardisiertes C-V2X (3GPP Release 14, LTE PC5). Neben CAM (Cooperative Awareness

Message), die vor allem Information zur Position und Dynamik der jeweiligen Fahrzeuge enthalten, wurden außerdem zusätzlich DENM (Decentralized Environmental Notification Message) mit der Warnung (Cause Code) "Collision Risk" versendet, sobald sich das Motorrad der Landmaschine näherte. Zur Visualisierung der Warnung wurde ein spezielles HUD (Head-Up-Display) für Motorradfahrer von Tilsberk benutzt (vgl. Abbildung ...), welches bei Empfang einer entsprechenden DENM von der Landmaschine eine Warnung ausgab (vgl. Abbildung ...).



Abbildung 16: Tilsberk HUD im Motorradhelm und in Nahaufnahme (oben rechts).

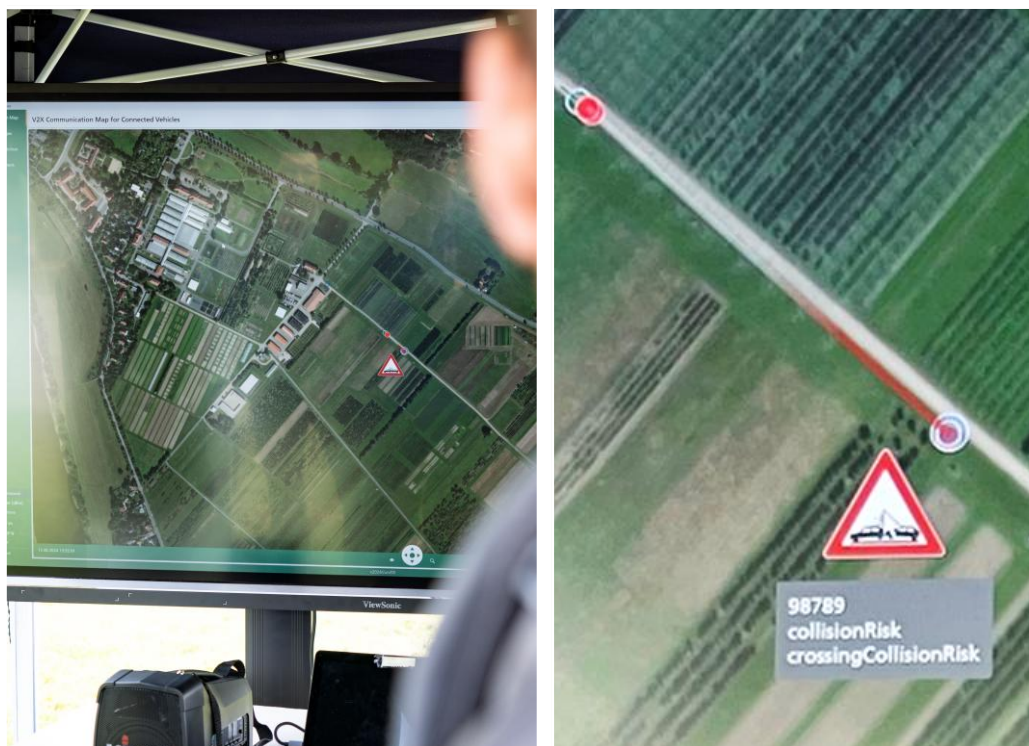


Abbildung 17: Anzeige des HUD bei Empfang der DENM mit Cause Code "Collision Risk".

Das HUD wurde dabei direkt per BLE (Bluetooth Low Energy) mit der Cohda MK6 verbunden und die Anzeige von dort gesteuert. Das entsprechende Protokoll sowie Beispielcode wurden dabei von Tilsberk dankenswerterweise bereitgestellt. Neben der direkten Anzeige im HUD wurden für Demonstrationszwecke sämtlich V2X-Kommunikationsdaten über öffentliche Mobilfunkverbindungen (ebenfalls auf der Cohda MK6 vorhanden) in ein Backend gestreamt und konnten von dort ebenfalls visualisiert werden (vgl. Abbildung ...).

Obwohl die Demonstration aktuell nur Motorräder als Unfallgegner adressiert, lässt sich eine identische Lösung auch für andere KFZ umsetzen (vergleiche auch die Demonstration in Köllitzsch). Ziel der Demonstration war, neben der Nutzung von standardisiertem C-V2X, aufzuzeigen, dass

auch Fahrzeuge mit tendenziell geringem Platzangebot wie Motorräder, aber potenziell auch Fahrräder und Roller, von V2X-Informationen profitieren können.



*Abbildung 18: V2X-Monitoring Applikation während der Demonstration in Pillnitz (links). Rechts zu sehen ist eine Detailaufnahme des Szenarios. Die beiden Punkte (Motorrad links oben bzw. Landmaschine rechts unten) symbolisieren die Kommunikationsteilnehmer. Auf Grund der Nähe des Motorrads zur Landmaschine wird eine DENM verschickt (Warnsymbol).*

Interessierte Gäste konnten die Projektergebnisse bei der Abschluss-Demonstration bei der Regionalkonferenz live auf den Landmaschinen oder via Tablets verfolgen oder die Präsentation auf einem großen Bildschirm mitverfolgen.

## **Fazit**

Das Teilprojekt „On/Off Road Safety“ hat bedeutende Fortschritte in der Analyse und Verbesserung der Sicherheit von landwirtschaftlichen Zugmaschinen erzielt. Die gewonnenen Erkenntnisse und Entwicklungen werden weiterhin zur Optimierung der Verkehrssicherheit und zur Reduzierung von Unfällen beitragen.

## **Veröffentlichungen**

Im Folgendem werden die durchgeführten und geplanten Veröffentlichungen, an denen das Fraunhofer IVI beteiligt war, aufgeführt

### **Fortlaufende Auftritte**

- Landnetz Webseite
- Social Media

### **Fachbeiträge und Veröffentlichungen**

- 22.11.2022 AgEng-LAND.TECHNIK 2022, Beitrag „Aspects on Applying and Operating Campus Networks in Agriculture“
- 17.01.2023 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, Beitrag „helyOS: A customized off-the-shelf solution for autonomous driving applications in delimited areas“
- 13.02.2023 GIL-Tagung, Beitrag „Data sovereignty needs in agricultural use cases“
- Landnetz Impulse

### **Eingereichte Veröffentlichungen**

- Angenommene Veröffentlichung für KI-gestützte Erfassung von Äpfeln in Zusammenarbeit mit Fraunhofer HHI auf der IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2025 „AppleGrowthVision: A large-scale stereo dataset for phenological analysis, fruit detection, and 3D reconstruction in apple orchards“

### **Fachvorträge/ Messeauftritte/ Gremien**

- 21.04.2022 – 24.04.2022 Agra Leipzig, Aussteller
- 03.05.2022 PatchCROP Feldrobotik-Workshop, Aussteller
- 19.05.2022 1. Köllitscher Feldrobotiktag, Aussteller
- 29.11.2022 Vortrag im Rahmen von Landnetz Impulse, „Landwirtschaftliche Datenräume – Wie können Daten in Zukunft sicher und effektiv genutzt werden?“
- 13.02.2023 GIL-Tagung, Vorstellung Veröffentlichung
- 28.04.2023 Experimentierfelder-Konferenz 2023, Vorträge zu Road Safety und Landwirtschaftliche Datenräumen
- 09.05.2023 - 10.05.2023 6G Summit, Aussteller und Demo Elwobot
- 20.06.2023 DigiTier Workshop, Vortrag „Datenaustausch in der Landwirtschaft – Anforderungen bezüglich Daten-Souveränität in exemplarischen Anwendungsfällen“
- 25.01.2024 Grüne Woche Berlin, Vortrag „Experimentierfeld Landnetz – ein KI-Anwendungsfall aus dem Obstbau“
- 13.06.2024 EF-Abschlusskonferenz, Vortrag „Daten- und Schnittstellenmanagement in Tierhaltung und Pflanzenbau, Methodiken und Erfahrungen aus den Projekten TiPP und LANDNETZ“
- 17.09.2022 2. Köllitscher Feldrobotiktag, Aussteller – Demonstration von Fernüberwachung des Feldroboters CERES mit Hilfe von Campus-Mobilfunk-Netzwerk, Vortrag „Betriebliche und Funktionale Sicherheit von autonomen Maschinen“