

Abschlussbericht zum Verbundvorhaben



Thema

Autonomous Mobile Machine Communication for Off-Road Applications -
Hochzuverlässige und echtzeitfähige Vernetzung für Land- und Baumaschinen
Teilvorhaben: Landwirtschaftlicher Anwendungsfall und Verifizierung im Off-Road
Einsatzbereich

Zuwendungsempfänger

John Deere GmbH & Co. KG

Förderkennzeichen

16KIS0704

Autor

Dr. Nicolai Tarasinski, Prof. Dr. Peter Pickel, Johannes Bosch, Sandra Becker

Projektleiter

Prof. Dr. Peter Pickel / Dr. Nicolai Tarasinski

Berichtsdatum: 30.06.2021

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Inhaltsverzeichnis

I. ERGEBNISBERICHT - KURZDARSTELLUNG	4
1. Aufgabenstellung	4
2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	5
3. Planung und Ablauf des Vorhabens	6
4. Stand der Wissenschaft und Technik	6
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	8
II. ERGEBNISBERICHT – EINGEHENDE DARSTELLUNG	8
Definition der Anwendungsfälle und Ableitung der Anforderungen	9
Entwurf eines Gesamtarchitekturmodells	12
Verifikation der Performance von Kommunikation und Positionserfassung	14
Umsetzung des definierten Testaufbaus zur Positionserfassung (Referenzsystem)	15
Demonstrator für das autonome, vernetzte, kooperative Arbeiten	18
6. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	33
7. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	33
8. Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	33
9. Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	33
10. Erfolgte oder geplante Veröffentlichung des Ergebnisses	34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung der Arbeitspakete von John Deere in Anlehnung an VDI-Richtlinie 2206.....	6
Abbildung 2: Use-Case für Demonstrator: Feldhäckselkette (hier Mais-Ernte).....	12
Abbildung 3: AMMCOA Architektur Top-Level Hardware (Master).....	13
Abbildung 4: AMMCOA Architektur Top-Level Hardware (Slave).....	14
Abbildung 5: Übertragungsprinzip Kameradaten.....	14
Abbildung 6: Mobiler Testaufbau für Vergleichsmessungen.....	15
Abbildung 7: John Deere Starfire 6000 mit RTK Radio 869MHz.....	16
Abbildung 8: Referenzmessaufbau mit Seilzugsensoren.....	16
Abbildung 9: Prinzipdarstellung Kamerabasierte Ortung.....	17
Abbildung 10: Dachträger zur Aufnahme von Versuchskomponenten.....	18
Abbildung 11: Skizze des Versuchsaufbaus.....	19
Abbildung 12: Infineon mmWelle-Antenne.....	21
Abbildung 13: Infineon Switch Module.....	21
Abbildung 14: HHI-Modem.....	22
Abbildung 15: STW HPCx Box.....	22
Abbildung 16: STW Radio Board.....	23
Abbildung 17: Mascot Wechselrichter.....	24
Abbildung 18: Dachträger, Ansicht von vorne rechts.....	25
Abbildung 19: Dachträger, Ansicht von vorne links.....	25
Abbildung 20: Dachträger, Ansicht von oben.....	26
Abbildung 21: Komponenten der AMMCOA-EdgeCloud.....	27
Abbildung 22: Mobile LTE/5G-Basisstation mit integrierter Edge-Cloud auf der Agritechnica 2019 („Mobile Communication Center – MCC“).....	29
Abbildung 23: Mobile LTE-Basisstation mit integrierter Edge-Cloud im Feldeinsatz.....	30
Abbildung 24: Satellitenbasiertes Internet-Backhaul.....	31
Abbildung 25: Sendemast mit Basisstationen und Sektorantennen.....	32

I. Ergebnisbericht - Kurzdarstellung

1. Aufgabenstellung

Der Betrieb von Bau- und Landmaschinen unterliegt besonders hohen Anforderungen an Effizienz, Präzision und Sicherheit. Automatisiertes und perspektivisch auch autonomes Arbeiten sind hierbei wichtige Konzepte, deren Umsetzung für die Zukunftsfähigkeit einschlägiger Produkte entscheidend werden kann. Der Betrieb von Bau- und Landmaschinen unterscheidet sich hierbei in verschiedenerlei Hinsicht von dem Anwendungsfeld „Autonomes und vernetztes Fahren“ im Straßenverkehr auf digitalisierten Straßen, so dass eine separate, aber koordinierte Betrachtung dieses Anwendungsfeldes notwendig wird. Besonderheiten des Anwendungsfeldes Bau- und Landmaschinen sind unter anderem die Nichtverfügbarkeit digitalisierter Karten, die Notwendigkeit eine sehr genaue relative und absolute Lokalisierung zur Verfügung zu stellen, die sehr hohe Bedeutung koordinierter Einsätze von Fahrzeugflotten (mit weit über Platooning hinaus gehenden Anforderungen) und die Notwendigkeit, auch bei unzureichender Funknetzabdeckung durch Netzbetreiber (oder bei nicht kooperierenden Netzbetreibern) eine lokale „5G“ Kommunikationsinfrastruktur zur Verfügung zu stellen, welche autark aber auch eingebunden in Weitverkehrsnetze arbeiten kann. Letzteres ist zum Beispiel für die Erschließung von Exportmärkten eine wichtige Anforderung. Der Begriff „5G“ umfasst hier die Gesamtmenge aller zellularen Technologien also Edge (Enhanced Data Rates for GSM Evolution), HSDPA (High Speed Downlink Packet Access), LTE (Long Term Evolution), LTE-A (LTE-Advanced) und die neuen 5G Luftschnittstellen. Gleichzeitig muss jedoch die Anforderung an niedrige Latenzzeiten bei gleichzeitig hoher Zuverlässigkeit erfüllt werden, was die Verwendung von zentralisierten Netzwerkinfrastrukturen ausschließt.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Aufgrund der Bekanntmachung BMBF-Ausschreibung „5G: Taktiler Internet“ im Rahmen des Förderprogramms „IKT 2020 – Forschung für Innovationen“ reichte ein 8-köpfiges Konsortium innerhalb eines 2-stufigen Verfahrens (Einreichung Projektskizze 19.02.2016 – Einreichung Vollantrag 19.09.2016) seine Projektidee „5G-AMMCOA“ beim Projektträger VDI/VDE Innovation + Technik GmbH ein. Das Projekt wurde mit einer dreijährigen Laufzeit im Bearbeitungszeitraum 01.04.2017 – 31.03.2020 genehmigt. Nach einer kostenneutralen Verlängerung um weitere sechs Monate wurden die Arbeiten zum 30.09.2020 erfolgreich abgeschlossen. Ziel des Projektes "5G-AMMCOA" war es, neben typischen landwirtschaftlichen Anwendungsfällen, Maschinenkonzepte und Einsatzszenarien für zukünftige Landmaschinen zu entwerfen und zu untersuchen. Hierzu gehören insbesondere teil- und vollautonome mobile Maschinen bzw. Maschinensysteme bis hin zu Maschinenschwärmen, die nur mit einer breitbandigen Kommunikation in Verbindung mit hochpräziser Ortung und Umfelderkassung betrieben werden können.

In diesem Sinne werden die Anforderungen an neue Kommunikations- und Ortungsdienste und die Kommunikationsarchitektur für zukünftige Landmaschinen, Maschinensysteme und Einsatzszenarien aufgestellt. Weiterhin wird die Schnittstellenfunktionalität für landwirtschaftliche Arbeitsmaschinen für eine breitbandige und permanente Kommunikation des Maschinen- und Infrastruktursystems definiert und anschließend die entwickelten 5G-Architekturkomponenten auf entsprechende Landmaschinen oder Funktionsträger implementiert. Ferner wird eine neuartige Methodik zur präzisen Evaluierung der Eigenschaften des im Projekt entstandenen Systems unter realen Bedingungen entwickelt. Die Einsetzbarkeit der neuen Kommunikations- und Ortungsdienste wird evaluiert und experimentell verifiziert.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Arbeiten des Projektes wurden in sieben Arbeitspakete aufgeteilt. Das Zusammenspiel der Arbeitspakete ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

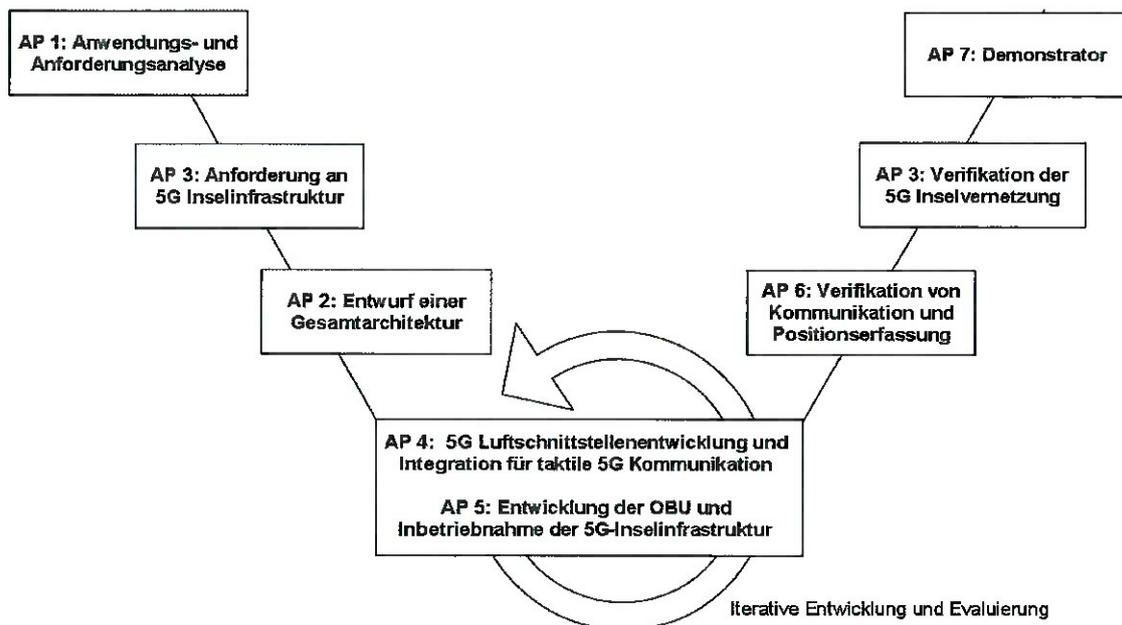


Abbildung 1: Darstellung der Arbeitspakete von John Deere in Anlehnung an VDI-Richtlinie 2206

Im Laufe des Projekts fanden sieben große Konsortialtreffen sowie zahlreiche zusätzlich Treffen statt. Die zusätzlichen Treffen fanden bilateral oder innerhalb der Untergruppen statt, insbesondere in der Phase der Implementierung.

4. Stand der Wissenschaft und Technik

Für die im Rahmen dieses Projekts fokussierten Anwendungsszenarien sind auf dem Markt bereits vereinzelte Lösungen zur Kommunikation und Lokalisierung verfügbar. Vermehrt werden dabei Applikationen auf Smartphones und Tablets zum Einsatz kommen, z.B. zur AdHoc-Wartung von Landmaschinen. Flottenmanagement-Produkte wie AFS Connect™ des Herstellers Case IH erlauben die Steuerung ganzer Farmbetriebe per Tablet, sind jedoch vollständig auf die Verbindung zu einem GSM (Global System for Mobile Communications) Netzwerk angewiesen, welches in ländlichen Gegenden (z.B. in den USA) nicht immer verfügbar ist. Systeme wie Vehicle Sync von Trimble ermöglichen Landmaschinen den drahtlosen Austausch von Daten

wie Standort, Geschwindigkeit, Führungslinien, Karten, Ertrag- und Tankdaten etc. Diese Systeme sind aktuell auf maximal sechs Fahrzeuge beschränkt und haben bei direkter Sichtverbindung zwischen den Fahrzeugen eine Reichweite von maximal 300 m. Satellitenbasierte Lokalisierungssysteme mit Genauigkeiten cm-Bereich sind bereits verfügbar, in Echtzeit und ohne lokale Basisstationen oder telemetrischen Verbindungen. Im Bereich der Baumaschinen, wie z.B. Straßenfertiger ist jedoch die erreichbare Genauigkeit mit GPS (Global Position System) nicht ausreichend und zu ungenau, da dort Werte im Millimeterbereich gefordert sind. Im Bereich der Landmaschinen werden Sensorsysteme basierend auf Ultraschall, Laser, Infrarot oder 3D-Kameras eingesetzt, um beispielsweise einen Häcksler entlang der optisch bestimmten Bestandslinie automatisch zu führen oder die Fahrgeschwindigkeit und Position des nebenherfahrenden Traktors mit Anhänger während des Überladevorgangs an die Geschwindigkeit der Erntemaschine anzupassen.

Die steigende Anzahl an Sensoren und computergesteuerter Systeme in Land- und Baumaschinen, sowie ein Trend zur nicht maschinengebundenen Datenverarbeitung bzw. -auswertung, wird zukünftig den Bedarf an hohen Datenraten steigern. Die bestehende Netzinfrastruktur ist außerhalb von Ballungsgebieten dafür nicht ausreichend performant und kann nur teilweise mit speziellen Datenkompressionsmethoden und schmalbandiger Kommunikation bewältigt werden. Im Projekt AMMCOA planen wir die Errichtung eines lokalen und mobilen Kommunikationsnetzes mit hoher Bandbreite auf Basis von Millimeterwellen-Funkkommunikation mit niedriger Latenz und sehr hohen Datenraten über einige hundert Meter bei Sichtverbindung. Weiterreichende Funkkommunikation über einige Kilometer und bei Abschattungen soll mit lokal mitgeführten Adhoc-Funkkommunikationsmodulen im Frequenzbereich unter 1 GHz realisiert werden.

Neben der Kommunikation bieten Millimeterwellen zudem die Möglichkeit den Abstand zwischen Fahrzeugen oder zwischen Fahrzeugen und Referenzpunkten zu ermitteln. Komplementär und redundant zur bestehenden Lokalisierungssensorik am Fahrzeug kann durch Datenfusion die Zuverlässigkeit der Positionsdaten und somit die Sicherheit erhöht werden. Zudem gibt es Untersuchungen zur Nutzung von bildgebendem Millimeterwellen-Radar für Precision Farming-Anwendungen.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die sehr gute Zusammenarbeit des acht Partner umfassenden-köpfigen Konsortiums, bestehend aus unserem Konsortialführer Infineon Technologies AG, BOMAG GmbH, Core Network Dynamics GmbH, Fraunhofer HHI, John Deere GmbH & Co. KG, Robot Makers GmbH, TU Kaiserslautern & Sensor-Technik Wiedemann, fand in regelmäßigen Telefonkonferenzen, bilateralen arbeitsplanabhängigen Gesprächen und den großen Konsortialtreffen statt, zu denen der Projektträger eingeladen wurde. Die gute Zusammenarbeit mit unserem fachlich zuständigen Kontakt des Projektträgers, Dimitar Kroushkov & Constanze Bohla wissen wir zu schätzen und bedanken uns sehr für die jahrelange gute Zusammenarbeit.

Über den Projektpartner HHI wurde ein fachlicher Austausch mit dem Parallelprojekt 5G-Netmobile ermöglicht. Durch die Projektpartner TU Kaiserslautern und John Deere fließen die Projekterkenntnisse in weitergehende Betrachtungen und Projektarbeiten im Forschungsumfeld der Lehr- und Versuchsanstalt Hofgut Neumühle, einem der landwirtschaftlichen Experimentierfelder des Bundeslandwirtschaftsministeriums mit ein.

II. Ergebnisbericht – Eingehende Darstellung

Gemeinsam mit Bomag repräsentiert John Deere im Projekt die Anwendungsseite für 5G-Technologie zur Autonomisierung von Outdoor-Applikationen wie Land- und Baumaschinen. Die erzielten Entwicklungsergebnisse sind grundsätzlich generisch, können also auf weitere Sektoren übertragen werden.

Als Anwender (und nicht Entwickler) von 5G-Technologie lagen die Schwerpunkte der John Deere-Arbeiten an den oberen Enden der Schenkel des sog. V-Modells für die Entwicklung von mechatronischen Systemen nach VDI-Richtlinie 2206, also in den Bereichen Systementwurf und Systemintegration, wobei im dazwischen liegenden Bereich des Domänen-spezifischen Entwurfs naturgemäß ergänzende Arbeiten angefallen sind. Für die spezifischen Aufgaben des Teilvorhabens von John Deere lässt sich wiederum ein eigenes V-Modell aufbauen, das in Abbildung 1 auf Seite 6 dargestellt ist. Die nachfolgenden Ausführungen orientieren sich an dem dort grafisch dargestellten Ablauf.

Definition der Anwendungsfälle und Ableitung der Anforderungen

Im Bereich Systementwurf – also bei Identifikation, Analyse und Klassifikation relevanter Anwendungsfälle und möglicher Autonomisierungsansätze - entwickelte und untersuchte John Deere Maschinenkonzepte und Einsatzszenarien für zukünftige Landmaschinen. Hierzu gehören insbesondere teilautonome und autonome mobile Maschinen bzw. Maschinensysteme bis hin zu Maschinenschwärmen, die nur mit einer breitbandigen Kommunikation in Verbindung mit hochpräziser Ortung und Umfeld erfassung betrieben werden können.

Die Anforderungen Maschinenkonzepte und Einsatzszenarien für zukünftige Landmaschinen wurden hinsichtlich Positionsgenauigkeit, zeitlicher Auflösung und Bandbreite der Ortungsdienste, sowie der Bandbreite der Kommunikation für die verschiedenen landtechnischen Applikationen abgeleitet und in Verbindung mit einer Machbarkeitsstudie als Applikationsspezifikation für Landmaschinen dokumentiert. Die daraus resultierenden notwendigen Netzwerkfunktionalitäten und die entsprechende Netzperformanz wurden geclustert und spezifiziert, die erforderlichen Bandbreiten und die Anforderungen an deterministische Kommunikation wurde definiert.

Folgenden fünf Szenarien stehen als typisch und relevant eingestufte Anwendungsfälle im Fokus:

- Lokalisierung auf dem Feld (1 Maschine soll auf parallelen Fahrspuren mit dem Abstand der Arbeitsbreite ein Feld bearbeiten; betrifft Lokalisierung)
- Koordiniertes Fahren (2 Maschinen fahren nebeneinander auf einer parallelen Spur; betrifft Kommunikation und Lokalisierung)
- Echtzeitfähige Kommunikation (insbesondere für Anwendungsfall Koordiniertes Fahren; betrifft Kommunikation)
- Datenübertragung (auf Maschine werden während der Arbeitsausführung erzeugte Daten erzeugt und gegebenenfalls gespeichert; Die Daten sollen möglichst kontinuierlich und unterbrechungsfrei drahtlos übertragen und in Cloudsystemen gespeichert werden; betrifft Kommunikation)
- Anwendungsfall Logistik (Teilnehmer: 8 Traktoren, 8 Anhänger, 1 Feldhäcksler, 1 Tablet / Handy; betrifft Lokalisierung und Kommunikation)

In den John Deere Anwendungsfällen wurden insgesamt drei Maschinenkonzepte und fünf Einsatzszenarien für zukünftige Landmaschinen entwickelt und untersucht. Vier Einsatzszenarien betreffen den Kommunikationsaspekt und drei Einsatzszenarien wurden hinsichtlich Ortung festgelegt. Die fünf Anwendungsfälle liegen dem Zwischenbericht für den Berichtszeitraum vom 01.04.2017 bis 31.12.2017 als Anhang bei. Weiter wurden die erforderliche Genauigkeit, Auflösung und Bandbreite der Ortungsdienste sowie der Bandbreite der Kommunikation für verschiedene landtechnischen Applikationen ermittelt. Dabei wurden vorrangig Anforderungen für zukünftige Maschinensysteme und Einsatzszenarien zukünftiger autonomer Landmaschinen berücksichtigt. Die Ergebnisse sind nachfolgend in Tabelle 1 und Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 1 - Lokalisierung:

Genauigkeit	Applikation
10 m	<ul style="list-style-type: none">- Logistik, Position bzw. Standort der Fahrzeuge und Anbaugeräte- Dokumentation
1 m	<ul style="list-style-type: none">- Lenkunterstützung bei Arbeitsbreiten >30 m, z.B. Düngerstreuen
10 cm	<ul style="list-style-type: none">- Automatisierte Lenkung für Arbeitsbreiten von 3-15 m (Bodenbearbeitung, Ernte)- Automatisierte Parallelfahrt von Fahrzeugen- Auffinden von Ackergrenzen
1 cm	<ul style="list-style-type: none">- Bearbeitung von Reihenkulturen mit Reihenabstand von 10 bis 100 cm
1 mm	<ul style="list-style-type: none">- Bearbeitung von Einzelpflanzen, z.B. Hacken zum Entfernen von Unkraut

Tabelle 2 - Kommunikation:

Auflösung / Bandbreite	Applikation
250 kbit/s	<ul style="list-style-type: none"> - ISOBUS (CAN-Bus) zu Anbaugeräten: Automatisierung, Dokumentation - Maschinenzustand für Service und Support
100 Mbit/s	<ul style="list-style-type: none"> - Kamerabilder - Anbindung an Infrastruktur (Internet) - Real-time Ethernet für Automatisierung (Servoanwendungen, verteiltes Sensornetzwerk) - Sicherheitsrelevante Kommunikation zur Remotesteuerung des Fahrzeuges - Übertragen von Korrekturdaten für GPS-Systeme - Modulare selbstfahrende Arbeitsmaschine als Teil eines Verbundes; Anbindung des Bordnetzes an übergeordnete Steuerung - Datentransfer zur Dokumentation komplexer agronomischer Daten und Arbeitsaufträge - Software-Updates
1 Gbit/s	<ul style="list-style-type: none"> - High resolution cameras - 3D field mapping

Ebenso fand im Projekt die Definition der erforderlichen Bandbreite und der Anforderung an deterministische Kommunikation statt. Maßgebend sind hier in Zukunft sicherheitstechnische Anforderungen, die aus dem Betrieb von Flotten autonomer oder teilautonomer Maschinen, sog. Maschinenschwärme, entstehen. Es ist davon auszugehen, dass ein Nothalt aller Maschinen eines Schwarms innerhalb von 200 ms sichergestellt sein muss.

Für die gewünschte relative Genauigkeit der Positionsmessung wurden +/- 2 mm und eine absolute Genauigkeit von +/- 3 cm als Grundlage der Arbeiten angenommen. Das Ziel war dabei, langfristig eine hochpräzise Aktuatorik mit einer Low-Cost Positionierung zu realisieren. Eine entsprechend hohe Messgüte konnte im weiteren Verlauf des Projektes nicht realisiert werden. Das ursprüngliche Ziel wurde somit zwar nicht bzw. nur eingeschränkt erreicht, allerdings lassen die im Projekt entworfenen Referenzmesssysteme eine Verbesserung der Positioniergenauigkeit von RTK (Real

Time Kinematics) zu, was später beschrieben wird. Dies trifft insbesondere auf die kamerabasierte Lösung in Verbindung mit 5G-Konnektivität zu (s. S. 17,

Option 3: Kamerabasierte Lokalisierung)17.

Abschließend wurde das Demonstrator-Szenario festgelegt, das in Abbildung 2 dargestellt ist.

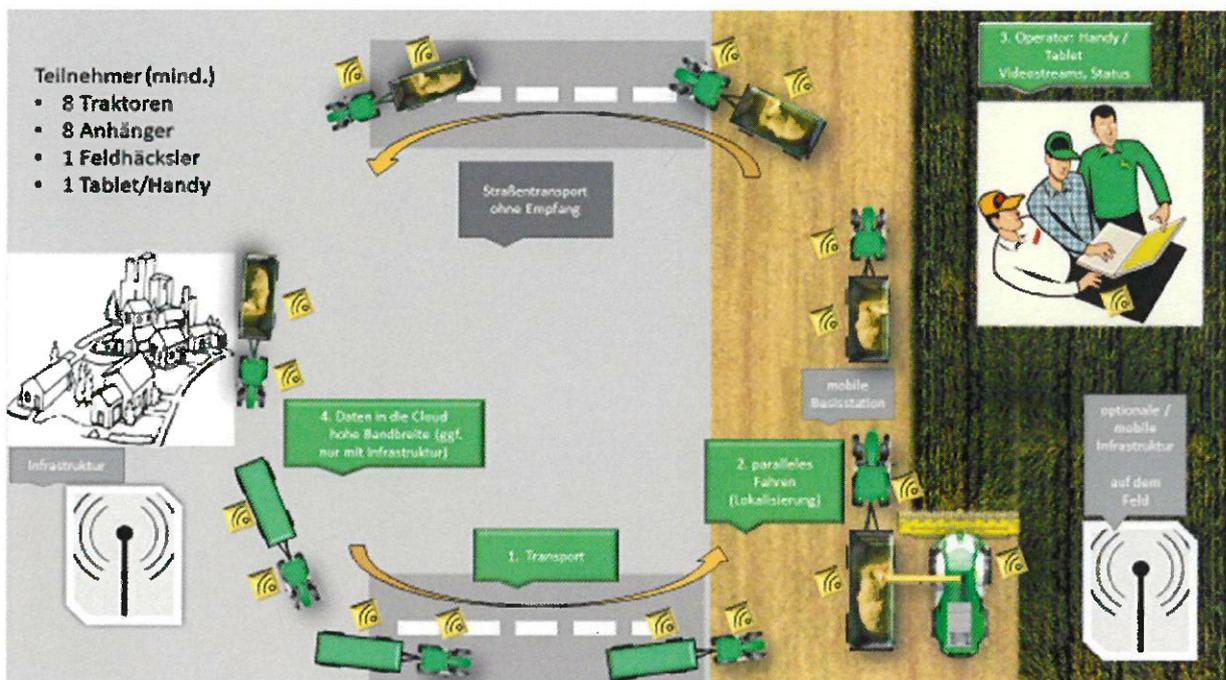


Abbildung 2: Use-Case für Demonstrator: Feldhäckselkette (hier Mais-Ernte)

Entwurf eines Gesamtarchitekturmodells

Das Gesamtarchitekturmodell wurde gemeinsam mit den Projektpartnern entworfen, wobei John Deere im Wesentlichen die Aspekte, die die Landmaschinen mit ihren spezifischen Schnittstellen und Anforderungen direkt betreffen, bearbeitet hat. Die Maschinenschnittstellenanforderungen für Ethernet und CAN-Bus wurden in die Spezifikation der Onboard-Unit (OBU) aufgenommen. Damit wurde auch der in naher Zukunft zu erwartendem Wechsel des „physical Layers“ des ISOBUS (ISO 1183) von CAN auf BroadR Reach berücksichtigt. Zur Analyse der Übertragungslatenz wurde bei der Schnittstellen- und Hardwaredefinition ein besonderes Augenmerk auf die zeitliche

Synchronität gelegt; dies kann mit Zeitstempeln erfolgen, die beispielsweise von GPS-synchronisierten Uhren abgeleitet werden.

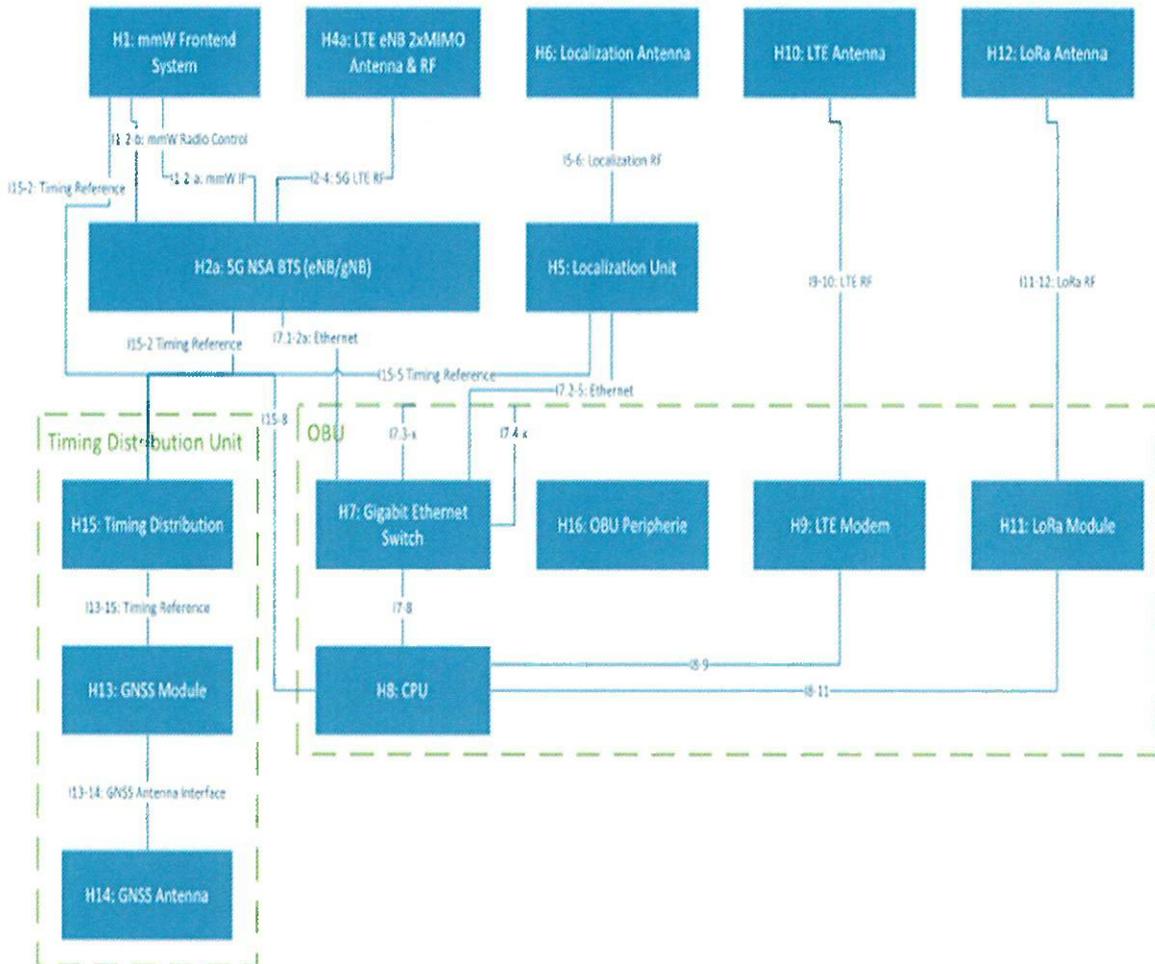


Abbildung 3: AMMCOA Architektur Top-Level Hardware (Master)

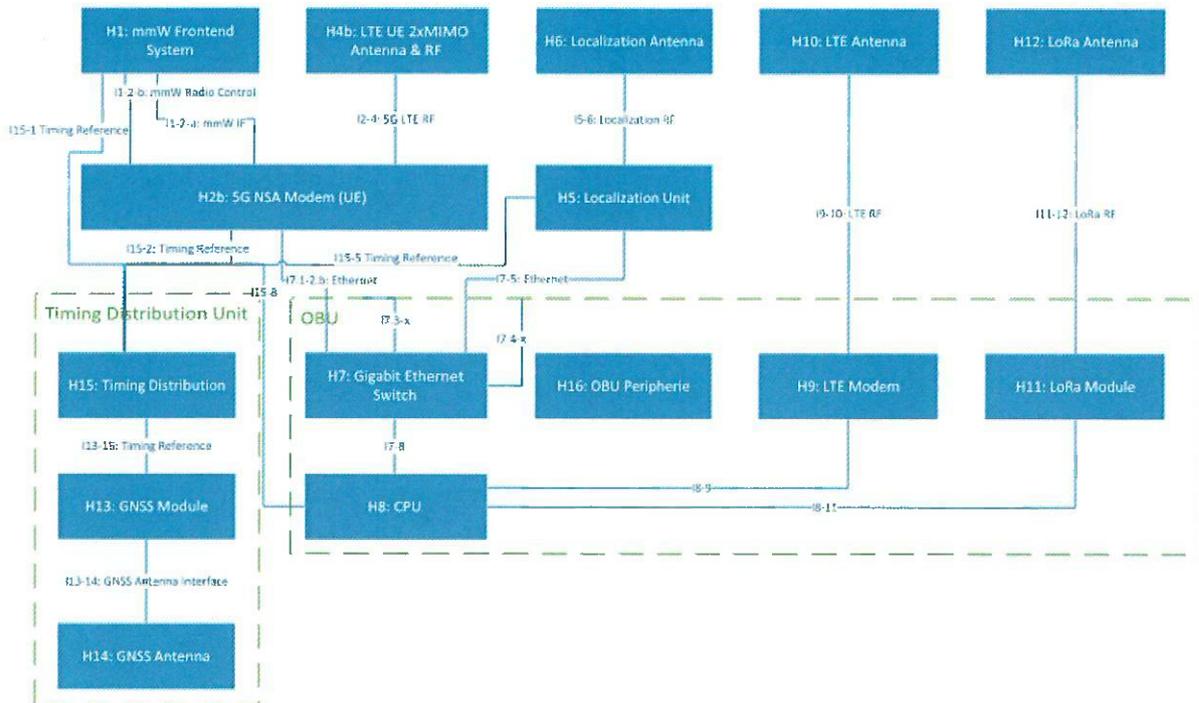


Abbildung 4: AMMCOA Architektur Top-Level Hardware (Slave)

Verifikation der Performance von Kommunikation und Positionserfassung

Für erste Performance-Tests wurde eine Konnektivitätsumgebung auf der Basis von WLAN bzw. Wifi eingesetzt. Um die Netzwerkleistung zu testen, wurde eine Streaming-Software für Standard Automobil-Kameras entwickelt, die es dem Nutzer ermöglicht, bis zu vier Kameras mit unterschiedlichen Bildraten und Bildqualitäten gleichzeitig zu streamen (siehe Abbildung 5).

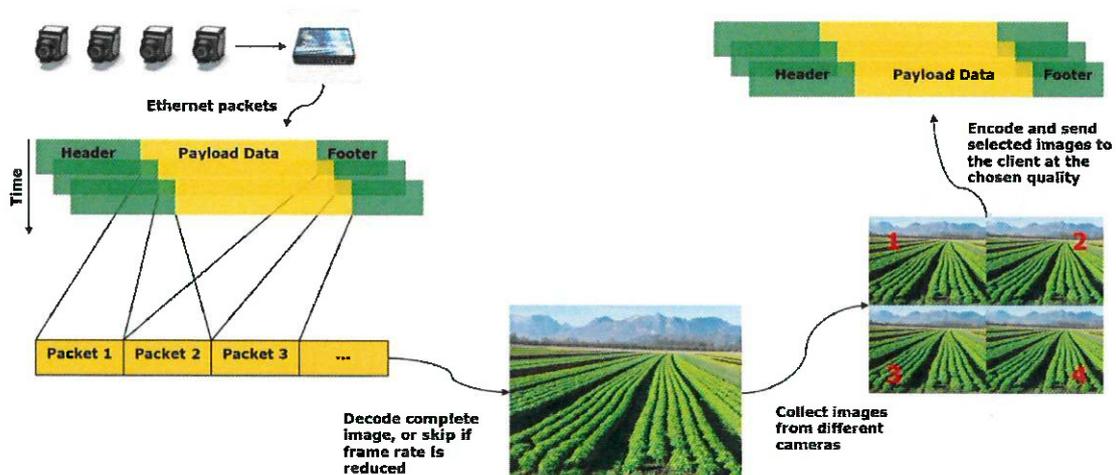


Abbildung 5: Übertragungsprinzip Kameradaten

Der Kamera-Streaming-Server auf dem Fahrzeug liest die Kameradaten mit höchster Bildrate aus und kann diese dann benutzerdefiniert reduzieren. Die Bildqualität kann ebenfalls durch den Benutzer eingestellt werden. Hier gilt: je höher die Bildrate/Bildqualität, desto mehr Bandbreite wird benötigt. Der Benutzer kann die Parameter entsprechend einstellen, um ein stabiles Streaming Ergebnis zu erhalten. Der Test in Laborumgebung mit WiFi erreichte eine Bildrate von 15 Bildern pro Sekunde mit einer Bildqualität von 90% JPEG-Kompression. Die Outdoor-Tests erfolgten mittels WiFi und wurden im ersten Schritt stationär durchgeführt. Die WiFi-Übertragung in Gelände und größeren Entfernungen zeigte sich als fehleranfällig. Daher wurden weitere Tests auch zum Vergleich von WiFi, LTE und Private LTE (CBRS – Citizens Broadband Radio Service) erwogen und ein Testaufbau hierfür vorbereitet, der wie in Abbildung 6, auf einem Testfahrzeug installiert werden kann.



Abbildung 6: Mobiler Testaufbau für Vergleichsmessungen

Umsetzung des definierten Testaufbaus zur Positionserfassung (Referenzsystem)

Für das Teilziel der Positionserfassung über die drahtlose Kommunikation wurde eine Reihe in Frage kommender Sensoren für Referenzsystems ausgewählt und ihre prinzipielle Eignung für das Testsystems wurde erfolgreich experimentell untersucht.

Für die Sensorik wurden entsprechende Hard- und Softwareschnittstellen implementiert.

Die Referenzsysteme sollten Abstand und Lage anderer Maschinen ermitteln. Nachfolgend sind die drei fertig entwickelten Lösungen dargestellt.

Option 1: Seilzugsensoren mit 40 m Länge

- Konfiguration zum Messen aller 6 Freiheitsgrade, stabiler mechanischer Aufbau
- Auflösung der Sensoren: <1 mm
- Abtastrate: 1 kHz
- Sensoren kommunizieren mit der Realtimesteuerung
- Nur in begrenzten Räumen/Abständen einsetzbar
- Nachgewiesene Winkelmessgenauigkeit <0,5°
- Abstandsmessfehler in drei Richtungen < 2,5 mm

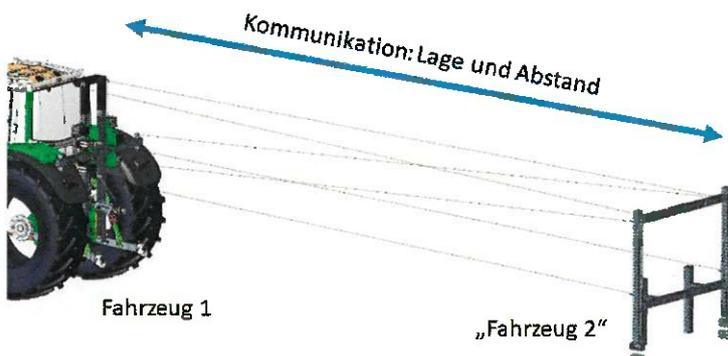


Abbildung 8: Referenzmessaufbau mit Seilzugsensoren

Option 2: RTK-GPS

- +/-2cm Genauigkeit in der Ebene
- Praktisch unbegrenzte Reichweite (in Abhängigkeit des verwendeten RTK Dienstes und der Übertragungstechnik)
- Absolute Position
- Status: John Deere Serienprodukt



Abbildung 7: John Deere Starfire 6000 mit RTK Radio 869MHz

Option 3: Kamerabasierte Lokalisierung

- Nutzung lokaler Features als Referenz
- Bis zu: 300 Hz, 1 cm Auflösung
- Absolute Position
- Status: In der Evaluierung

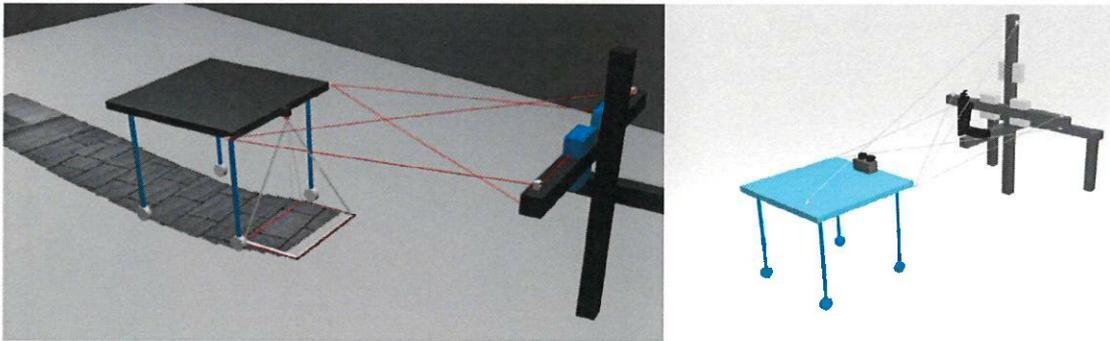


Abbildung 9: Prinzipdarstellung Kamerabasierte Ortung

Die gemäß Abbildung 9 zu vermessenden Referenzpunkte sollte mit Computer-Vision-Verfahren erfasst werden.

- Extraktion der Merkmale aus Bildern
- Matchen der Merkmale
- Erstellen der Karte

Grundsätzlich erlaubt das System eine schnelle praxisgerechte Erkennung von bekannten Objekten (Maschinen) einschließlich einer Lokalisierung. Problematisch erscheint aus heutiger Sicht noch die hohe benötigte Rechenleistung. Mit 5G-Technik, wie in AMMCOA im weiteren Verlauf entwickelt, lässt sich die Rechenleistung off-board anbieten. Man erreicht damit zwar nicht die Genauigkeiten, die in AMMCOA ursprünglich angestrebt wurden, allerdings liegen die erreichbaren ± 1 cm deutlich besser als bei heute verfügbaren RTK-Systemen. Die als relative Angaben vorliegenden Positionen stellen insbesondere für zukünftige Maschinenschwärme einen hochinteressanten und vielversprechenden Ansatz und somit eine Alternative zum ursprünglichen AMMCOA-Antrag dar, nach dem die Entfernungs- und Lage-Information aus der gerichteten Funkstrecke zwischen Sendern und Empfängern abgeleitet werden sollte.

Demonstrator für das autonome, vernetzte, kooperative Arbeiten

Die Demonstration der mmWellen-Übertragungsstrecke sollte im Projekt AMMCOA zwischen zwei John Deere Traktoren stattfinden. Hierfür mussten alle Komponenten, wie in Abbildung 10 gezeigt, auf einem Dachträger befestigt werden und individuelle Befestigungskonzepte berücksichtigt werden.



Abbildung 10: Dachträger zur Aufnahme von Versuchskomponenten

In Abstimmung mit den Projektpartnern wurde der folgende Versuchsaufbau definiert: Zwei John Deere Traktoren dienen als Versuchsträger für die mmWellen-Übertragungsstrecke. Dabei bewegen sich diese über einen Acker und tauschen Daten aus. Die im Projekt AMMCOA entwickelten Komponenten befinden sich jeweils auf dem Dach der Versuchsfahrzeuge (siehe Abbildung 11: Skizze des Versuchsaufbaus). Die Position der Versuchsfahrzeuge und ihre Orientierung wird durch John Deere GPS-Empfänger bestimmt.

Dabei ist insbesondere die freie Sichtverbindung zwischen den mmWellen-Antennen der Übertragungsstrecke relevant. Durch die erhöhte Position und den Einsatz von vier an den Seiten zentrierten Antennen wird eine unterbrechungsfreie Kommunikation ermöglicht. Für die Durchführung der Versuche war es erforderlich alle Komponenten auf einer gemeinsamen mechanischen Basis zu befestigen. Dies ermöglicht eine Kalibrierung der Antennenpositionen in einem Vorversuch. Zudem muss in diesem Fall

die zeitaufwändige Verkabelung, insbesondere der mechanisch empfindlichen Hochfrequenzkabel nur einmalig durchgeführt werden.

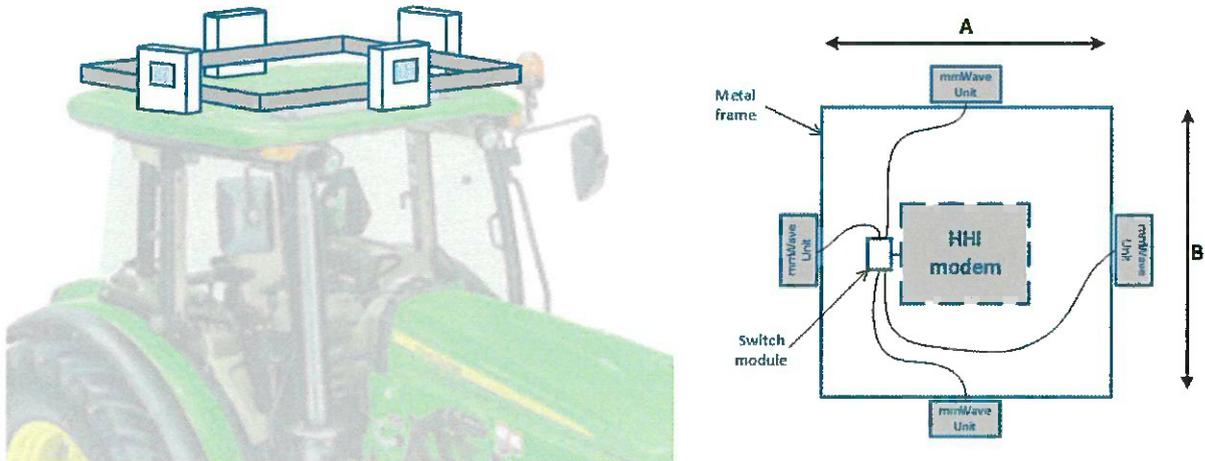


Abbildung 11: Skizze des Versuchsaufbaus

Aus den geplanten Feldtests wurden die folgenden Anforderungen für den Dachträger abgeleitet:

- 1) Aufnahme aller Komponenten auf einem einzigen Träger
- 2) Ausreichender Platz für alle Steckverbinder. Insbesondere sind die Freiräume für das Stecken freizuhalten
- 3) Ausreichende Anzahl von Befestigungsmöglichkeiten für Kabel
- 4) Steife Ausführung des Halters: Die relativen Antennenpositionen dürfen sich nicht verändern
- 5) Einfache Montage auf dem Traktordach: Dies erfordert eine leichte Ausführung der Konstruktion, da die erforderlichen Komponenten für die Übertragungsstrecke bereits mehrere Kilogramm wiegen.
- 6) Kranösen als Anschlagpunkte für die Aufnahme mittels eines Kranes
- 7) Die Abmaße und das Gewicht des Trägers müssen so klein sein, dass ein Transport in einem Transporter (z. B. Sprinter) möglich ist

- 8) Kompatibilität zu den Traktormodellen John Deere 6210R und John Deere 6250R. Dies betrifft insbesondere die Form der Dachverkleidung and die Anbindungspunkte an den Kabinenrahmen
- 9) Berücksichtigung aller dynamisch auftretenden Kräfte für einen Fahrbetrieb bis 40 km/h
- 10) Regenschutz für die beteiligten Komponenten
- 11) Witterungsbeständige Oberflächenbeschichtung: Farbe schwarz
- 12) Montage ohne Spezialwerkzeug
- 13) Keine scharfen Kanten

Die erforderlichen Komponenten für die Übertragungstrecke wurden in Absprache mit den Projektpartnern festgelegt. Für die Konstruktion wurden CAD-Modelle der einzelnen Übertragungskomponenten vom jeweiligen Partner zur Verfügung gestellt. Die Verkabelung für hochfrequent arbeitenden Komponenten erforderte im Vergleich zur „üblichen“ Fahrzeugverkabelung relativ steife Kabel und ausreichend Platz für die Montage der Steckverbinder.

Die zentralen Komponenten des Aufbaus stellen die mmWellen-Antennen (siehe Abbildung 12: Infineon mmWelle-Antenne) dar. Diese müssen mittig an allen vier Außenkanten des Daches positioniert werden. Dies ermöglicht eine optimale Sichtverbindung zum korrespondierenden Kommunikationspartner unabhängig von der Orientierung der Fahrzeuge zueinander. Die Antennen müssen aufrecht und entsprechen der Richtcharakteristik orientiert werden. Die relative Position der Antennen zueinander darf sich im Betrieb nicht verändern, um die Sende- und Empfangseigenschaften nicht zu beeinflussen. Die elektrischen Anschlüsse befinden sich an der Unterseite der Antenne.

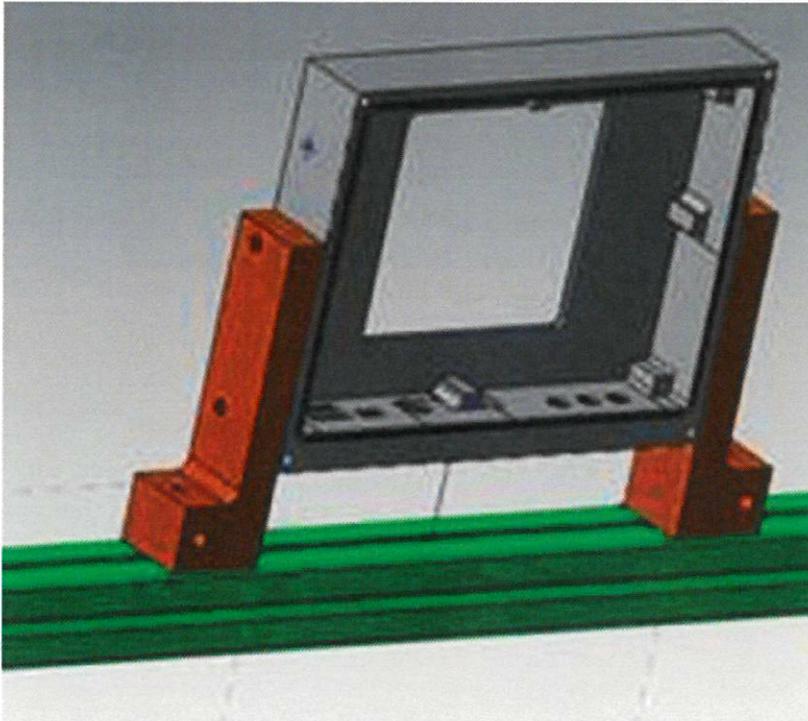


Abbildung 12: Infineon mmWelle-Antenne

Die Signale der Antennen werden in einer zentralen Einheit zusammengeführt (siehe Abbildung 13: Infineon Switch Module). Diese Komponente soll mittig angeordnet sein. Für die zahlreichen Steckverbinder ist ein ausreichender Freiraum vorzusehen.



Abbildung 13: Infineon Switch Module

Die Datenverarbeitung erfolgt im Modem (siehe Abbildung 14: HHI-Modem). Diese Komponente ist ein Laborgerät im 19 Zoll Rackformat und belegt 4 HE (Höheneinheiten). Diese Gehäuseform wird normalerweise an den seitlichen Laschen verschraubt. In diesem Fall wird das Gehäuse zusätzlich auf eine Gummimatte gelegt und durch einen Bügel gegen diese verspannt. Diese Modifikation ermöglicht die Aufnahme der geforderten dynamischen Kräfte. Alle Anschlüsse befinden sich auf der Vorderseite.

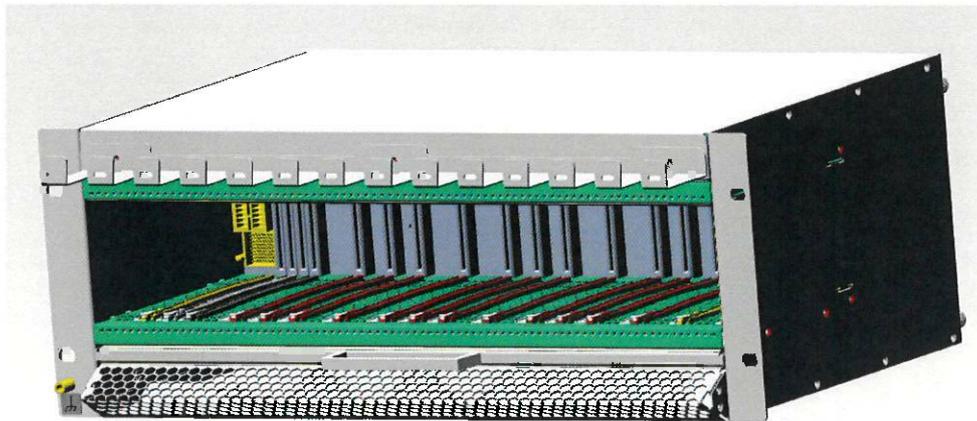


Abbildung 14: HHI-Modem

Als zentrale Steuereinheit wird die HPCx Box der Firma STW eingesetzt (siehe Abbildung 15: STW HPCx Box). Diese wird mit dem HHI Modem und dem Radio Board verbunden.



Abbildung 15: STW HPCx Box

Eine Kommunikation der Fahrzeuge untereinander kann über verschiedene Schnittstellen (LoRa (Long Range Wide Area Network), WLAN, 4G) des Radio Boards (siehe Abbildung 16: STW Radio Board) erfolgen. Diese Komponente verfügt über externe Antennen mit magnetischen Füßen. Die Länge der Anschlusskabel beträgt 1,5 m.

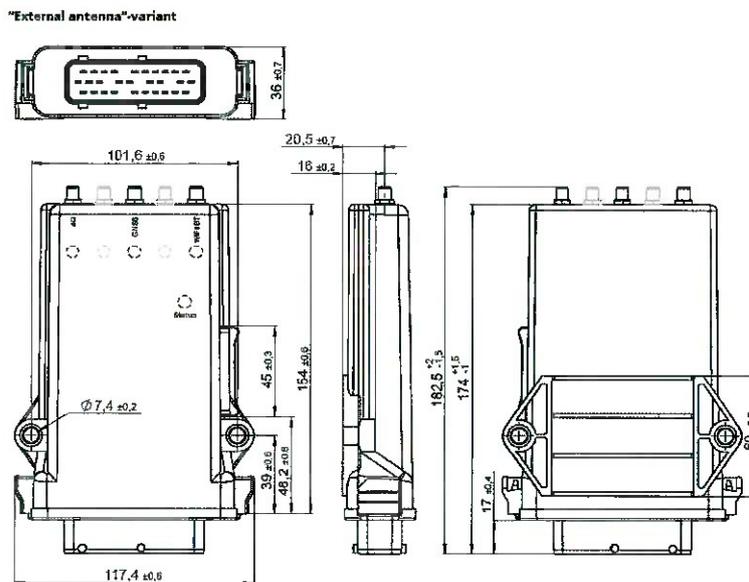


Abbildung 16: STW Radio Board

Die Position der Versuchsfahrzeuge wird über zwei John Deere Starfire 6000 GPS-Empfänger mit einem integrierten Radio RTK 869MHz Empfänger realisiert (siehe Abbildung 7: John Deere Starfire 6000). Diese werden mit ausreichendem Abstand auf dem Dachträger befestigt. Aus der relativen Position der Empfänger kann die Orientierung des Fahrzeugs (und damit der zu testenden mmWellen-Antennen) auch im Stand berechnet werden (dies wäre bei der Verwendung nur eines GPS-Empfängers nur während der Fahrt zuverlässig möglich).

Für die Versorgung des HHI Modems wird ein Wechselrichter Mascot 600W verwendet (siehe Abbildung 17: Mascot Wechselrichter). Dieser erzeugt aus der Traktorbordnetzspannung von 12 V DC eine Wechselspannung von 230V AC. Diese Komponente wurde vorab getestet, da insbesondere während des Einschaltens von 230V-Netzteilen eine Lastspitze erzeugt wird, welche nicht von allen Wandlern gedeckt werden kann. Diese Komponenten wurden als kompatibel identifiziert.

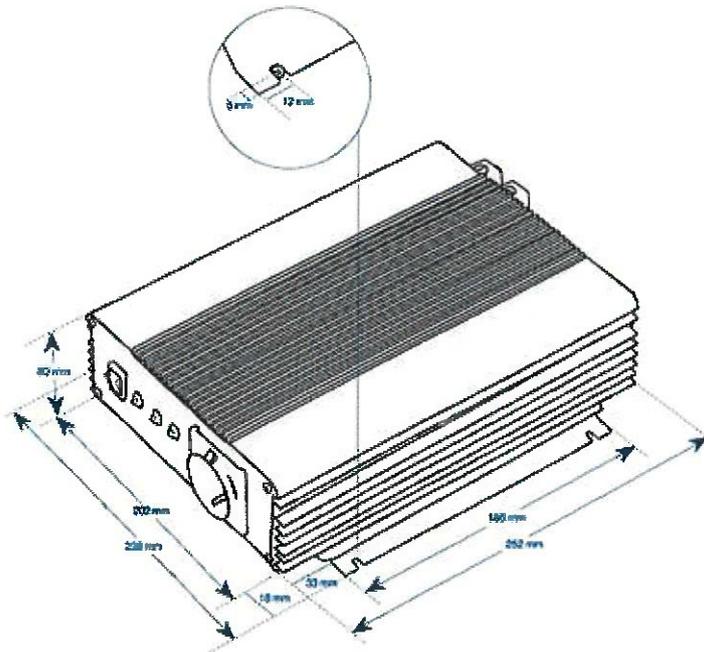


Abbildung 17: Mascot Wechselrichter

Die finale Konstruktion des Dachträgers wurde als Schweißbaugruppe ausgeführt. Ein stabiler Rahmen aus Vierkantprofilen wird mittels einstellbarer gummierter Füße auf das Traktordach gelegt und mittels zweier Schrauben an der Kabine befestigt. Die mmWellen-Antennen befinden sich jeweils mittig an den Seiten und verfügen über eine freie Sichtverbindung. Die Datenverarbeitungskomponenten befinden sich in der Mitte des Aufbaus. Die Steckverbinder sind gut zugänglich. Die GPS-Empfänger haben einen großen Abstand, der sich positiv auf die Genauigkeit der Orientierungsberechnung auswirkt. Die vorliegende Konstruktion ist leicht, transportabel und zugleich steif ausgeführt. Die Kranösen an den Seiten ermöglichen eine einfache Montage mittels eines geeigneten Hebezeugs auf dem Fahrzeugdach.

Die folgenden Darstellungen zeigen den Dachträger in drei Ansichten:

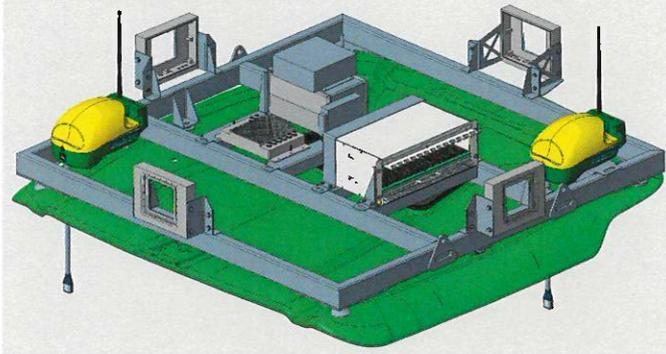


Abbildung 18: Dachträger, Ansicht von vorne rechts

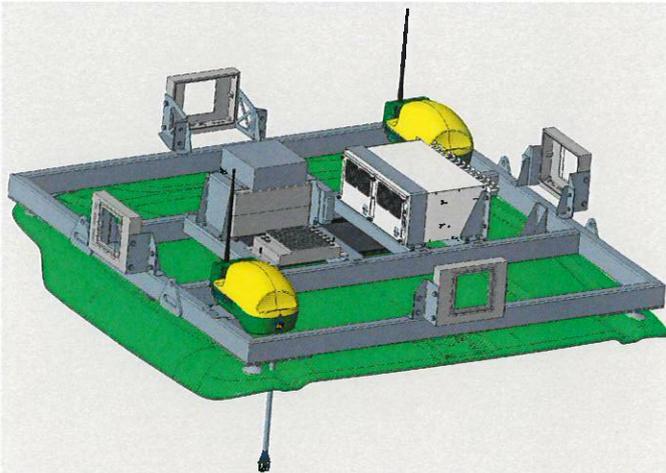


Abbildung 19: Dachträger, Ansicht von vorne links

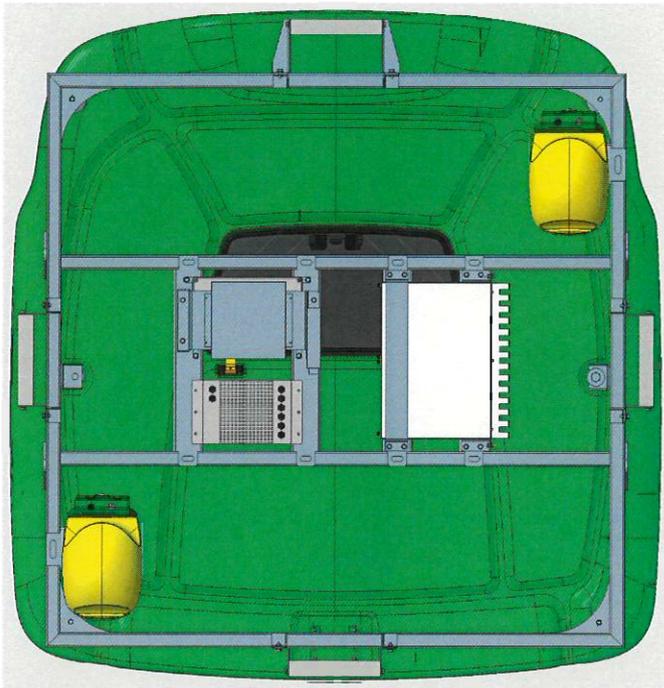


Abbildung 20: Dachträger, Ansicht von oben

Im Projekt wurde der Infrastrukturbedarf und die Positionierung von Sendeeinrichtungen evaluiert und notwendige Infrastruktur zum Aufbau privater LTE (pLTE) bzw. zukünftiger 5G Netzwerke für zwei Versuchsstandorte, darunter die Lehr- und Versuchsanstalt Hofgut Neumühle beschafft. Testlizenzen wurden für das Frequenzband 3.600-3.700 MHz und für den Bereich 3.720-3.740 MHz bis Juni 2019 beantragt und von der BNetzA zugeteilt. Auf Grund vorhandener Infrastruktur, wie Gebäude und Stromversorgung, konnten schnelle Erfolge im Aufbau eines Stand-Alone-Netzwerkes erreicht werden und eine Betriebsbereitschaft hergestellt werden. Neben der EdgeCloud-Infrastruktur wurden auch Mobiltelefone und Fahrzeugmodems in das pLTE Netzwerk integriert.

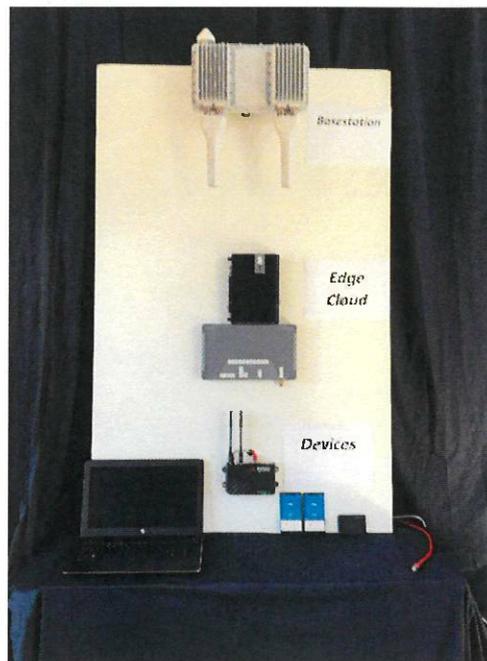


Abbildung 21: Komponenten der AMMCOA-EdgeCloud

Die gesamte Anlage besteht aus einem Stand-Alone-EdgeCloud-Server, an den bis zu zwei Basisstationen angeschlossen werden können. Die beiden in Abbildung 21 Antennen sind Omnidirektoren (Rundstrahlantennen). Zusätzlich wurden Sektorantennen beschafft und im Vergleich zu den Omnidirektoren getestet. Es ergaben sich die erwarteten Leistungseigenschaften bzw. -Unterschiede: So konnte die Rundstrahlantenne nur sehr geringe Reichweiten bis 1km abdecken auch geringste Hindernisse wie Büsche bzw. Baumreihen oder Häuser verhinderten eine Signalausbreitung. Wie Tabelle 3 zeigt, konnte mit den Sektorantennen hingegen unter Line-of-Sight-Bedingungen Reichweiten bis 8km erzielt werden. Gute Zellenperformance wurde innerhalb eines Radius bis 4km beobachtet. Dabei waren Latenzzeiten von unter 15 ms Roundtrip (Device – Basestation – EdgeCloud – Basestation – Device) erreichbar. Im Download wurden bis zu 36 Mbit/s und im Upload zu 8Mbit/s möglich. Wobei die softwareseitige Einstellung die Uploadkapazitäten noch erhöhen kann. Ein Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems durch die begrenzt verfügbaren bzw. nicht vollständig ausgereiften Fahrzeugmodems bzw. mobilen Endgeräte kann nicht ausgeschlossen werden.

Tabelle 3: Durchsatzmessung EdgeCloud mit Basestation und zwei 4-Port-Sektorantennen (17,5 dB, Beamwidth 67°, 2,5° Tilt; 3.600-3.640 MHz)

Entfernung [km]	0.1	0,7	2.6	3	3.4	8
Throughput [Mbit/s]	8	-	-	-	-	-
Throughput UL [Mbit/s]	-	2	8	8	8	0.5
ThroughputDL/Mbps	-	18	33	36	31	n. b.

Im Rahmen des ersten Hardwareaufbaus wurden neben den ersten Funktionstests auch Usecase Anwendungen durchgeführt. Insbesondere HD-Videostreaming (Device to Device) und MachineSync-Funktionen, also eine Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation in Verbindung mit bestehender serienmäßiger On-Board-Kommunikationshardware der Traktoren wurde erfolgreich durchgeführt. Fahrzeug-Gateways und nicht-pLTE-Mobiltelefone wurden mittels WiFi- Thethering mit dem pLTE Modem verbunden und konnten so in die EdgeCloud integriert werden. In weiteren Schritten wurde die Hardware am zweiten Standort, dem Hofgut Neumühle aufgebaut. Dazu wurden weitergehende Infrastrukturarbeiten getätigt (Dachmasten, Erdarbeiten für Glasfaserverlegung, etc.). Ziel der Erweiterung war es, eine gesamte Farm mit ihren komplexen geografischen Anforderungen und vielfältigen Arbeitsabläufen mit einem Funksignal zu versorgen. Die im Projekt errichtete Infrastrukturen zum Betreiben privater LTE (pLTE) bzw. zukünftiger 5G Netzwerke wurden im Betrieb getestet bzw. in einer weitergehenden Konzeptstudie untersucht. Die Arbeiten an den stationären Anlagen waren von zahlreichen technischen Unzulänglichkeiten, wie Kabelbrüchen, Hardwarefehlern oder auch Backhaul-Problemen gehemmt und konnten aber im Rahmen der verlängerten Projektlaufzeit erfolgreich abgeschlossen werden. Vielmehr zeigten die im praktischen Einsatz erfahrenen Handhabungsschwierigkeiten die Herausforderungen, die durch einen Rollenwechsel vom Anwender (Landwirt) zum Netzwerkbetreiber entstehen. Es ist zu erwarten, dass eine Technologieakzeptanz und somit eine erfolgreiche Produkt- und Technologieeinführung eng mit der Überwindung dieser Herausforderungen verbunden sein wird. Neben den permanenten, stationären Systemen sollte zur Überwindung fehlender Infrastruktur (Masten, Backhaulverbindung) und kürzerer Reichweiten der stationären Antennenanlagen im zukünftigen 5G Spektrum um 3,7

GHz die Möglichkeit einer mobilen Feldrandstation untersucht werden. Hierzu wurde auf eine mobile Trägereinheit die EdgeCloud und die Sende-/Empfangseinheiten bzw. Antennenkomponenten installiert. Prinzipiell können auf der mobilen Einheit auch andere funkbasierte Übertragungssysteme oder Referenzstationen zur Bereitstellung eines Differential-GPS Signals installiert und mit der LTE und EdgeCloud-Technologie kombiniert werden. Der Prototyp, der die in AMMCOA beschafften pLTE Komponenten beinhaltet, wurde als Konzept einem breiten Publikum auf der Agritechnica 2019, der weltweit größten Messe für Agrartechnik vorgestellt. Abbildung 22 und Abbildung 23 zeigen den mobilen Feldrandknoten, der auf seiner Rückseite eine Aufnahme zum Transport in standardisierten Front- oder Heckkraftheber nach ISO 730 eines Traktors aufweist. Ebenfalls kann er mittels Anhänger bzw. Gabelstapler versetzt werden.



Abbildung 22: Mobile LTE/5G-Basisstation mit integrierter Edge-Cloud auf der Agritechnica 2019 („Mobile Communication Center – MCC“)



Abbildung 23: Mobile LTE-Basisstation mit integrierter Edge-Cloud im Feldeinsatz

Durch die Möglichkeit, im Frontkraftheber eines Traktors transportiert werden zu können, müssen aus zulassungstechnischen Gründen sowohl Kamerasysteme zur seitlichen Hinderniserfassung als auch die Wiederholung möglicherweise verdeckter Fahrzeugbeleuchtung in den Feldknoten integriert werden. Daneben verfügt er über eine autarke Energieversorgung, und eine Internet-Backhaulverbindung über Satellitenfunk. Alternativ können sowohl Elektrizität als auch Internetverbindung über kabelbasierte Netzanschlüsse bezogen werden.

Das Satellitensystem (**Abbildung 24**) baut eine Internet-Verbindung über geostationäre Satelliten auf, benötigt daher eine freie Sichtverbindung in südlicher Himmelsrichtung.

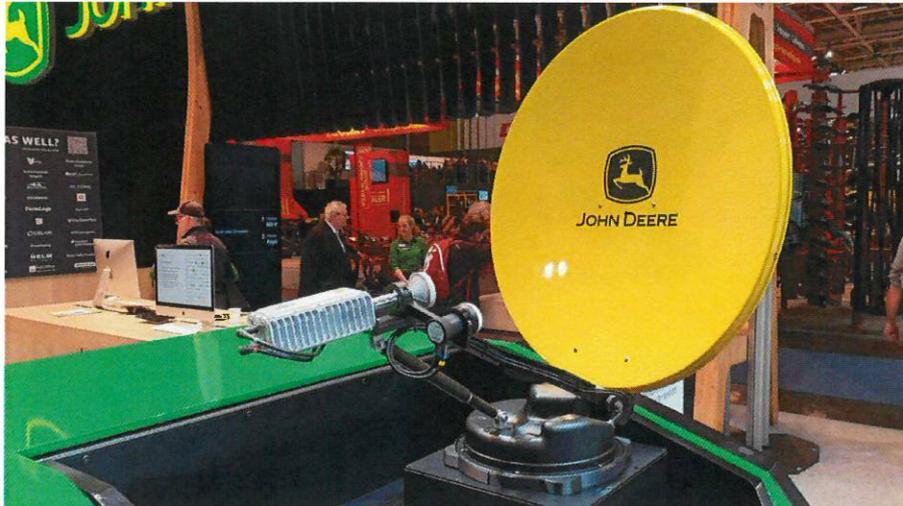


Abbildung 24: Satellitenbasiertes Internet-Backhaul

Der Reflektor richtet sich automatisch aus und findet an jeder Position die geeigneten Satelliten. Insgesamt kann eine Backhaul-Datenrate von ca. 40 Mbit im Downlink und bis zu 3 Mbit/s im Uplink zur Verfügung gestellt werden. Auch hier kann mit neueren Systemen eine Leistungssteigerung erzielt werden.

Der in **Abbildung 25** gezeigte Mast kann bis auf eine maximale Höhe von 10m ausgefahren werden. Das gewählte Basisstations- und das Antennen-Set-Up beinhalten die gleichen Komponenten wie die stationären Installationen und sind auf maximale Reichweite ausgelegt. Neuere 5G oder pLTE Systeme würden die Anforderungen an Bauraum und Kopflast bereits reduzieren. Die mit diesem System sehr flexibel und zeitlich schnell wechselnde Möglichkeit zur Aufspannung eines pLTE-Netzes veranschaulicht die regulatorischen Herausforderungen für einen richtlinienkonformen Betrieb des Systems.

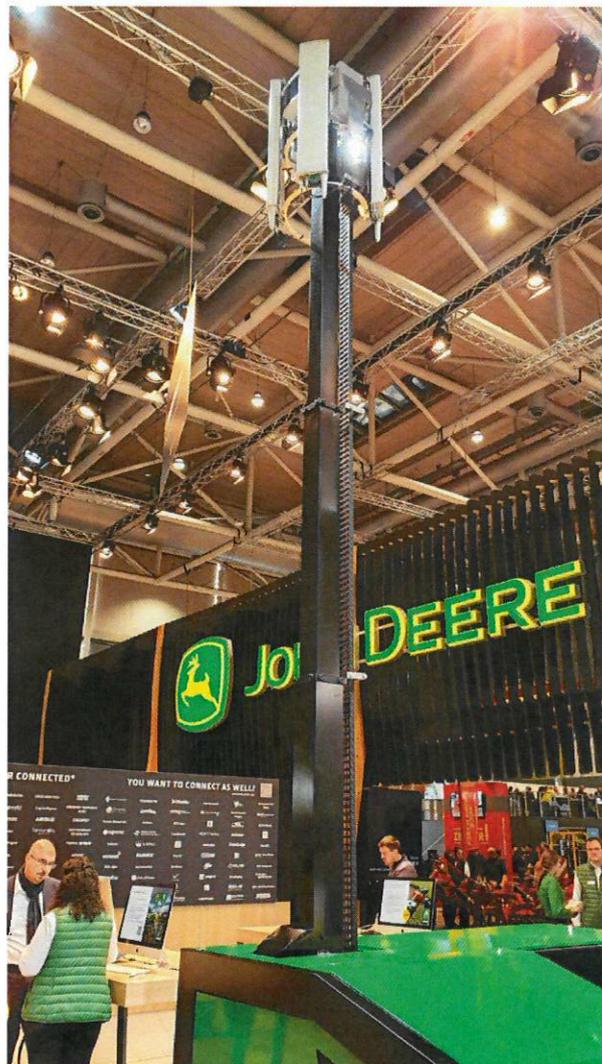


Abbildung 25: Sendemast mit Basisstationen und Sektorantennen

So könnte das System nicht durch Endkunden flexibel eingesetzt werden, da Ortsangaben der Betriebsstätten ständig wechseln. Systeme, die die zu einem Betrieb nötigen flexiblen oder auch dynamisch anfallenden Standort- und Betriebsinformationen digitalisiert oder sogar teilautonom innerhalb eines Antrags- und Genehmigungsprozess auszutauschen ermöglichen, sollten in weitergehenden Forschungsvorhaben untersucht oder entwickelt werden.

6. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Im Rahmen der Durchführung des Projektes sind Kosten in Form von Materialkosten, Fe-Kosten, Personalkosten, Reisekosten und sonstige Vorhabenskosten entstanden. Ausführungen zum zahlenmäßigen Nachweis sind dem Verwendungsnachweis zu entnehmen. Die Mittel wurden ausschließlich für Aufwendungen ausgegeben, die unmittelbar in Zusammenhang mit dem bewilligten Projektaufgaben laut Antragstellung stehen.

7. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Das Forschungsvorhaben wurde in Kooperation aus Industrie und Wissenschaft bearbeitet. Als rein wissenschaftliches Forschungsprojekt hätten keine hinreichenden Ergebnisse gewährleistet werden können, da zukünftige Neuentwicklungen in der Industrie im freien Wettbewerb um die effizienteste Lösung entstehen. Die beantragte Zuwendung hatte somit die Anreizeffekte, dass in kürzerer Zeit die angestrebten Ergebnisse erreicht wurden. Ebenso haben diese einen höheren Grad an Sicherheit, da sie durch umfänglichere Forschung fundiert sind. Außerdem gehen die durchgeführten Arbeiten in wichtigen Bereichen über das hinaus, was ohne Beihilfe erreicht würde.

8. Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Erkenntnisse aus dem Projekt sind durch die Einordnung eigener Aktivitäten in einen größeren Rahmen als sinnstiftend und außerordentlich gewinnbringend für die Produktplanung, die Arbeit in Verbänden, das Marketing und die Planung weiterer Forschung zu bewerten. Außerdem lässt sich anhand der getätigten bzw. geplanten Veröffentlichungen das breite Interesse der interessierten Öffentlichkeit an den Ergebnissen ablesen.

9. Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Während der Projektbearbeitung sind keine Ergebnisse Dritter bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens von Relevanz sind.

10. Erfolgte oder geplante Veröffentlichung des Ergebnisses

Die wichtigsten Ergebnisse aus AMMCOA wurden auf der Agritechnica im November 2019 gezeigt (siehe Abbildung 22). Die mobile LTE/5G-Basisstation bildete ein zentrales Ausstellungsstück, das auch im Nachgang von Prof. Dr. Peter Pickel in zahlreichen Präsentationen als Kernkomponente in einem zukünftigen Smart-Farming-System präsentiert wurde.

Es ist geplant, die Ausstellung auf der nächsten Agritechnica zu wiederholen. Allerdings ist derzeit nicht klar, ob John Deere aufgrund der Pandemiesituation überhaupt an der Messe teilnehmen wird.

Der Ausstellungs- und Felddemonstrator wurde und wird in zahlreichen Vorträgen und Präsentationen als „Key Enabling“ Technologie für Agriculture 4.0 eingebunden bzw. gezeigt.

Außerdem hat sich John Deere mit zwei Stellungnahmen zur Anhörung der Bundesnetzagentur (BNetzA) zu den Frequenzvergaben im Jahr 2018 beteiligt. Die erste Stellungnahme ist mit dem VDMA abgestimmt. Die zweite Stellungnahme geht aufgrund der Zwischenergebnisse aus 5G-AMMCOA noch darüber hinaus. Hier die wichtigen ergänzenden Aspekte, die für 5G-AMMCOA mit dem DFKI abgestimmt wurden:

- Ermöglichung "nomadischer" Netze mit nicht-stationären Sendern und Ad-Hoc-Netzwerke
- Erweiterung des Scopes der VDMA-Stellungnahme auf Bau-, Forst- u.a. mobile Arbeitsmaschinen
- Große Masthöhen
- Querverweis auf Bundesministerin Klöckner (BMEL) – also auf die große nationale Bedeutung von 5G-Technologie für die digitale Landwirtschaft

30.7.21 Pet Pickel

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Autonomous Mobile Machine Communication for Off-Road Applications - Hochzuverlässige und echtzeitfähige Vernetzung für Land- und Baumaschinen <u>Teilvorhaben:</u> Landwirtschaftlicher Anwendungsfall und Verifizierung im Off-Road Einsatzbereich	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Tarasinski, Nikolai Pickel, Peter Bosch, Johannes Becker, Sandra	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.09.2020
	6. Veröffentlichungsdatum 30.06.2021
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) John Deere GmbH & Co. KG European Technology Innovation Center Straßburger Allee 3 67657 Kaiserslautern	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 16KIS0704
	11. Seitenzahl 34
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben
	14. Tabellen
	15. Abbildungen 25
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Projektträger für das Bundesministerium für Bildung und Forschung Vernetzung und Sicherheit digitaler Systeme, Steinplatz 1, 10623 Berlin, Germany	
18. Kurzfassung John Deere beabsichtigt im Projekt neben typischen landwirtschaftlichen Anwendungsfällen, Maschinenkonzepte und Einsatzszenarien für zukünftige Landmaschinen zu entwerfen und zu untersuchen. Hierzu gehören insbesondere teilautonome und autonome mobile Maschinen bzw. Maschinensysteme bis hin zu Maschinenschwärmen, die nur mit einer breitbandigen Kommunikation in Verbindung mit hochpräziser Ortung und Umfeld-erfassung betrieben werden können. In diesem Sinne werden die Anforderungen an neue Kommunikations- und Ortungsdienste und die Kommunikationsarchitektur für zukünftige Landmaschinen, Maschinensysteme und Einsatzszenarien aufgestellt. Weiterhin wird die Schnittstellenfunktionalität für landwirtschaftliche Arbeitsmaschinen für eine breitbandige und permanente Kommunikation des Maschinen- und Infrastruktursystems definiert und anschließend die entwickelten 5G-Architekturkomponenten auf entsprechende Landmaschinen oder Funktionsträger implementiert. Ferner wird eine neuartige Methodik zur präzisen Evaluierung der Eigenschaften des im Projekt entstandenen Systems unter realen Bedingungen entwickelt. Die Einsetzbarkeit der neuen Kommunikations- und Ortungsdienste wird evaluiert und experimentell verifiziert.	
19. Schlagwörter autonomes Fahren (off-road), taktiles Internet für Land- und Baumaschinen, Ad Hoc Vernetzung, Funkvernetzung, integrierte Lokalisierung, Unterstützung autonomer Betriebsformen, Platooning und Flottenbetrieb, Integration in 5G Netze, Small Cell Betrieb, Echtzeitfähigkeit, hohe Zuverlässigkeit, Selbstorganisation, Mission Critical Vernetzung, Moving Cells, On-Board Unit (OBU)	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final research report
3. title Autonomous Mobile Machine Communication for Off-Road Applications - Highly reliable and real-time capable networking for agricultural and construction machinery <u>Sub-project</u> : Agricultural application and verification in the off-road application area	
4. author(s) (family name, first name(s)) Tarasinski, Nikolai Pickel, Peter Bosch, Johannes Becker, Sandra	5. end of project 30.09.2020
	6. publication date 30.06.2021
	7. form of publication
8. performing organization(s) (name, address) John Deere GmbH & Co. KG European Technology Innovation Center Straßburger Allee 3 67657 Kaiserslautern	9. originator's report no.
	10. reference no. 16KIS0704
	11. no. of pages 34
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references
	14. no. of tables
	15. no. of figures 25
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract In the project, John Deere intends to design and examine typical agricultural use cases, machine concepts and application scenarios for future agricultural machinery. These include, in particular, semi-autonomous and autonomous mobile machines or machine systems through to swarms of machines that can only be operated with broadband communication in conjunction with high-precision location and environment detection. With this in mind, the requirements for new communication and location services and the communication architecture for future agricultural machinery, machine systems and application scenarios are established. Furthermore, the interface functionality for agricultural machines for broadband and permanent communication of the machine and infrastructure system is defined and then the developed 5G architecture components are implemented on corresponding agricultural machines or functionalities. Furthermore, a new methodology for the precise evaluation of the properties of the system created in the project under real conditions is being developed. The usability of the new communication and location services will be evaluated and verified experimentally.	
19. keywords Autonomous driving (off-road), tactile internet for agricultural and construction machinery, ad hoc networking, radio networking, integrated localization, support of autonomous operating forms, platooning and fleet operation, integration in 5G networks, small cell operation, real-time capability, high reliability, self-organization, mission Critical networking, moving cells, on-board unit (OBU)	
20. publisher	21. price