

Zuwendungsempfänger	Technische Universität Kaiserslautern (TUKL)
Förderkennzeichen	16KIS0707
Verbundvorhaben	- AMMCOA - Autonomous Mobile Machine Communication for Off-Road Applications Hochzuverlässige und echtzeitfähige Vernetzung für Land- und Baumaschinen
Teilvorhaben	Off-Road Net Autonome Vernetzung und Lokalisierung mobiler Arbeitsmaschinen
Laufzeit des Vorhabens	01.04.2017 bis 30.09.2020
Berichtszeitraum	01.04.2017 bis 30.09.2020

Inhaltsverzeichnis

1.	Kurze Darstellung	2
1.1	Aufgabenstellung	2
1.2	Voraussetzungen	2
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	3
1.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand	4
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	5
2.	Eingehende Darstellung	6
2.1	Erzielte Ergebnisse	6
2.1.1	AP 1: Anwendungs- und Anforderungsanalyse aus relevanten Anwendungsfällen	6
2.1.2	AP 2: Entwurf eines Gesamtarchitekturmodells	8
2.1.3	AP 3: Infrastrukturlose 5G-Inseln	8
2.1.4	AP 4: 5G Luftschnittstellenentwicklung und Integration für taktile 5G Kommunikation	17
2.1.5	AP 5: Entwicklung der OBU und Inbetriebnahme der infrastrukturlosen 5G-Insel	18
2.1.6	AP 6: Verifikation der Performance von Kommunikation und Positionserfassung	18
2.1.7	AP 7: Demonstrator für das autonome, vernetzte, kooperative Arbeiten	20
2.2	Voraussichtlicher Nutzen	21
2.2.1	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten	21
2.2.2	Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit	21
2.3	Bekannt gewordene Fortschritte durch Dritte	21
2.4	Veröffentlichungen	21
	Quellen	22

1. Kurze Darstellung

1.1 Aufgabenstellung

Im Rahmen dieses Teilvorhabens hat der Lehrstuhl für Funkkommunikation und Navigation (WICON) der TU Kaiserslautern im Wesentlichen zwei Themenschwerpunkte bearbeitet. Zum einen die Vernetzung der Maschinen innerhalb lokaler 5G-Inseln sowie deren Anbindung an das Weitverkehrsnetz und zum anderen die Lokalisation der Maschinen untereinander.

Im Gegensatz zu sogenannten On-Road Szenarien, in denen digitalisierte Straßenkarten und eine Abdeckung mit zellularen Mobilfunknetzen zur Verfügung steht, sind in der Landwirtschaft, dem Straßenbau und allgemein vielen Szenarien in denen Nutzmaschinen eingesetzt werden, selten digitalisierte Karten verfügbar und kann auch von einer Abdeckung mit Mobilfunknetzen nicht ausgegangen werden. Dies gilt umso mehr als Fahrzeuge für Landwirtschaft und Bau ein wichtiges Exportgut sind, das auch in Ländern eingesetzt werden soll, die nicht über eine Infrastruktur nach dem Standard von Industrieländern verfügen. Auf der anderen Seite sind die Anforderungen oft höher und immer komplexer als im On-Road Fall. Neben einer hohen Verfügbarkeit und niedrigen Latenz sind auch Anforderungen bezüglich komplexer Vernetzung, relativer und absoluter Lokalisierung, der Abdeckung großer Flächen und der Unterstützung unterschiedlichster Dienste zu erfüllen.

Als Lösungsansatz wird in diesem Teilvorhaben das Konzept der infrastrukturlosen 5G-Inseln eingeführt, die zwischen einer Reihe in der Regel mobiler Einheiten (Baumaschinen, landwirtschaftliche Maschinen und andere Einheiten) eine Vernetzung zur Verfügung stellt, die zum einen möglichst weitgehend 5G Funktionalitäten zur Verfügung stellt und zum anderen eine Einbindung dieser „5G Inseln“ in die Weitverkehrsnetze ermöglicht. Im Themenfeld der Lokalisation wurden Algorithmen zur Integration von relativen Positionen der untereinander vernetzten Maschinen und Messungen absoluter Positionen erarbeitet.

1.2 Voraussetzungen

Heutige landwirtschaftliche Prozesse wie z.B. Ernteprozesse können mehr und mehr mit industriellen Fertigungsprozessen verglichen werden: Sie beruhen auf einer komplexen Orchestrierung der Maschinenflotten. Die Koordination und Kooperation von Fahrzeugen muss perfekt ineinander greifen und aufeinander abgestimmt werden, um den Prozess in effektiver Form auszuführen. Äußere Einflüsse wie Wetter oder Änderungen von Verkehrsbedingungen können die Prozesse beeinflussen ebenso wie Schäden an den Maschinen selbst. Die relative und präzise Positionierung und Steuerung im Verbund, beispielsweise bei Überladevorgängen, ist eine explizite Anforderung. Des Weiteren muss eine zuverlässige Kommunikation der Maschinen untereinander für ein übergreifendes Flotten Monitoring gewährleistet sein, ebenso hinsichtlich Synchronisierung der Maschinen und für die Prozesssteuerung sollte eine stabile Datentransfertechnologie vorhanden sein.

Aus dem heutigen Stand der Forschung und Technik stellt die vollständige Automatisierung von Nutzfahrzeugen ein noch nicht lösbares Problem dar. Zum einen wäre aufgrund der Komplexität autonomer Systeme eine Umsetzung auf Nutzfahrzeuge zur Zeit wenig wirtschaftlich, zum anderen ist die Forderung, sichere und zuverlässige Nutzfahrzeuge aufzubauen, auch ausgehend von den heute verwendeten wissenschaftlichen Methoden ein nur teilweise gelöstes Problem. Aus der jetzigen Sicht heraus ist es sicherlich sinnvoller, teilautonome oder kooperierende Nutzfahrzeuge zu entwickeln, bei denen vor allem für die Situationsbewertung, für die Sicherheit bei Navigations- und Manipulationsaufgaben sowie für die Steuerung komplexer Abläufe Bedienpersonal eingesetzt wird. Durch die Kooperation mit weiteren autonom oder manuell gesteuerten Arbeitsmaschinen kann sowohl eine Kostenreduktion (z.B.

durch Personaleinsparung und Mehrschichtbetrieb) als auch eine Optimierung der Arbeitsprozesse erfolgen. Für die zuvor beschriebene Kooperation ist eine hinreichend genaue relative Lokalisation der Maschinen untereinander erforderlich.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die von der TU Kaiserslautern durchgeführten Arbeiten gliedern sich in: einem Arbeitspaket (AP 1) für die Anforderungsanalyse und 6 technische (AP 2 bis AP 7) Arbeitspakete. Der Projektplan ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

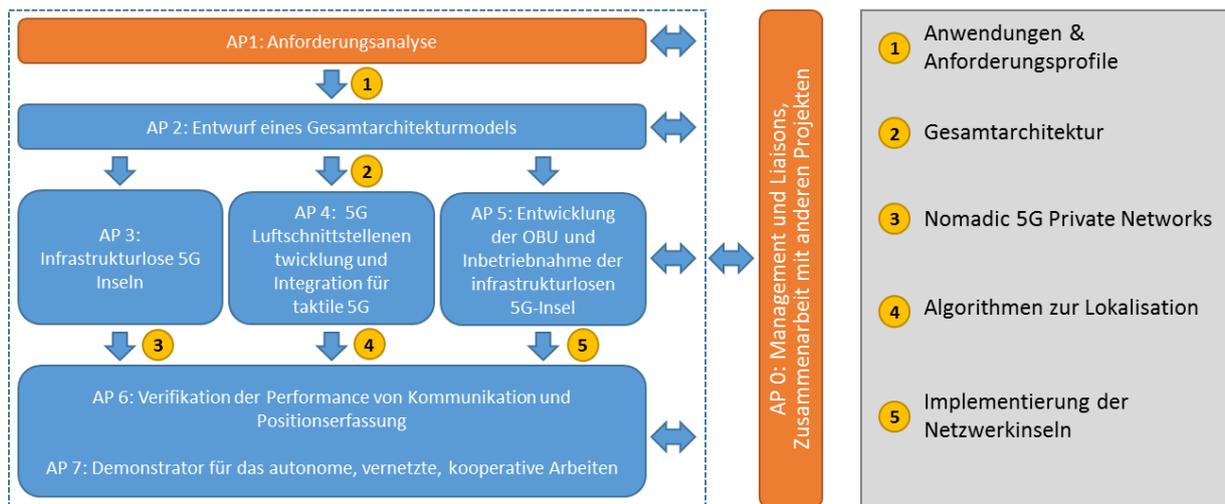


Abbildung 1: Projektplan

Die Arbeiten sind, zusammengefasst, im Einzelnen aufgelistet:

1. Es wurden Anwendungsfälle aus der Landwirtschaft und dem Straßenbau identifiziert und charakterisiert. Diese wurden danach den Arbeitsschritten des übergeordneten Anwendungsfalls zugeordnet.
2. Es wurde eine Systemarchitektur entworfen, die das Konzept der Trustzone aufgreift, diese zu einem 5G-Insel Konzept verallgemeinert und mit Elementen aus dem Bereich der privaten Netze (5G private network) erweitert. Daraus resultiert ein Systementwurf der am besten als „Nomadic 5G Private Networks“ bezeichnet werden kann, da hier der Aspekt der Mobilität mit berücksichtigt wird.
3. Es wurde eine prototypische Implementierung eines solchen 5G-Inselnetzwerks durchgeführt mit derer die RAT-Umschaltung auf der Applikationsebene erprobt wurde. Dabei wurden zwei Netzwerkebenen parallel betrieben: Primäre Verbindung: 5G und Sekundäre Verbindung: LoRa. Diese Implementierung ist Bestandteil des Teildemonstrators welcher bei der Abschlussdemonstration zum Einsatz kam.
4. Es wurde ein Algorithmus entworfen um die relativen und absoluten Positionsdaten der mobilen Einheiten zu integrieren um damit eine genauere Lokalisation zu ermöglichen als es einer mobilen Einheit alleine möglich wäre.

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Für die im Rahmen dieses Projekts fokussierten Anwendungsszenarien sind auf dem Markt bereits einzelne Lösungen zur Kommunikation und Lokalisierung verfügbar. Vermehrt werden dabei Applikationen auf Smartphones und Tablets zum Einsatz kommen, z.B. zur AdHoc-Wartung von Landmaschinen [1]. Produkte wie das AFS Connect [2] erlauben die Steuerung ganzer Farmbetriebe per Tablet, sind jedoch vollständig auf die Verbindung zu einem GSM Netzwerk angewiesen, welches in ländlichen Gegenden (z.B. in den USA) nicht immer verfügbar ist. Systeme wie Vehicle Sync von Trimble [3] ermöglichen Landmaschinen den drahtlosen Austausch von Daten wie Standort, Geschwindigkeit, Führungslinien, Karten, Ertrag- und Tankdaten etc. Diese Systeme sind aktuell auf maximal 6 Fahrzeuge beschränkt und haben bei direkter Sichtverbindung zwischen den Fahrzeugen eine Reichweite von maximal 300 m. Satellitenbasierte Lokalisierungssysteme mit Genauigkeiten im cm-Bereich sind bereits verfügbar, in Echtzeit und ohne lokale Basisstationen oder telemetrischen Verbindungen [4]. Im Bereich der Baumaschinen, wie z.B. Straßenfertiger ist jedoch die erreichbare Genauigkeit mit GPS nicht ausreichend und zu ungenau, da dort Werte im Millimeterbereich gefordert sind [5]. Im Bereich der Landmaschinen werden Sensorsysteme basierend auf Ultraschall, Laser, Infrarot oder 3D-Kameras eingesetzt, um beispielsweise einen Häcksler während des Überladens auf einem nebenher fahrenden Wagen abzustimmen.

Die steigende Anzahl an Sensoren und computergesteuerter Systeme in Land- und Baumaschinen wird zukünftig den Bedarf an hohen Datenraten steigern. Die bestehende Netzinfrastruktur ist außerhalb von Ballungsgebieten dafür nicht ausreichend performant [6] 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 mmW 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 [7].

Schutzrechte,

Schutzrechte, die eine Realisierung des Projektes behindern könnten, waren zum Zeitpunkt der Antragstellung und wurden auch im Verlaufe des Projektes nicht bekannt.

Quellen

- [1] Alcalá, Felix, and Matthias Rothmund. "Kabellose AdHoc-Wartung von Landmaschinen per Smartphone." GI-Jahrestagung. 2013.
- [2] <http://www.caseih.com/northamerica/en-us/products/advanced-farming-systems/afs-connect>
- [3] <http://www.trimble.com/Agriculture/vehicle-sync.aspx>
- [4] <http://www.omnistar.com/SubscriptionServices/OmniSTARHP.aspx>
- [5] Meyer, Henning. "Systeme zur leitdrahtlosen Nivellierung von Straßenfertigern." (2002).
- [6] Alcalá, Felix, and Johann Lecker. "Mobiles Internet auf dem Ackerschlag: Analyse empirischer Langzeitdaten." GIL Jahrestagung. 2012.
- [7] Essen, H., et al. "Polarimetric millimetre wave SAR for precision farming applications." Remote Sensing. International Society for Optics and Photonics, 2010.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen des Verbundprojektes ergaben sich vielfältige Gelegenheiten der Zusammenarbeit zwischen der TU Kaiserslautern und allen Projektpartnern. Insbesondere ist hier die Zusammenarbeit mit Infineon während der Anforderungsanalyse und der Erstellung der Anforderungsprofile zu nennen.

2. Eingehende Darstellung

2.1 Erzielte Ergebnisse

2.1.1 AP 1: Anwendungs- und Anforderungsanalyse aus relevanten Anwendungsfällen

Die Anforderungsanalyse gliedert sich in die folgenden Teilaufgaben:

- Identifizierung von Anwendungsfällen
- Zusammenfassung und Zuordnung in einen Arbeitsschritt des übergeordneten Anwendungsfalls

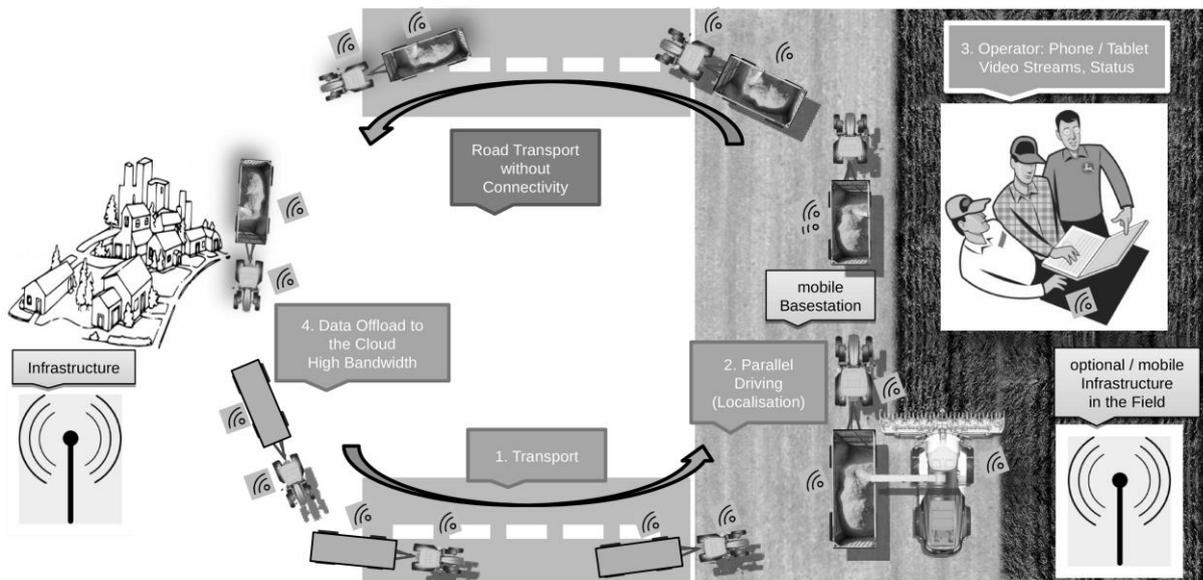


Abbildung 2: Landwirtschaftlicher Anwendungsfall

Es wurden Anwendungsfälle aus der Landwirtschaft und dem Straßenbau identifiziert und charakterisiert. Im Bereich der Landwirtschaft ist der übergeordnete Anwendungsfall in Abbildung 2 illustriert. Die nachfolgenden Tabellen listen die einzelnen Anwendungsfälle sowohl für die Landwirtschaft (Tabelle 1) als auch für den Straßenbau (Tabelle 2) auf. Die IDs in Tabelle 1 korrespondieren mit der Nummerierung in Abbildung 2 und ordnen damit die einzelnen Fälle den jeweiligen Arbeitsschritten zu. Der Arbeitszyklus startet damit, dass eine Maschine den Netzabdeckungsbereich verlässt und dem lokalen Netzwerk der Arbeitsgruppe bei Ankunft beiträgt. Dabei begibt sich diese in die Kontrolle der koordinierenden Maschine. Ein Operator kann die Maschine vor Ort im Arbeitsbereich fernsteuern oder Telemetriedaten überprüfen. Wenn die Beladungskapazität erreicht ist, verlässt sie wieder den Arbeitsbereich um die Ladung abzuliefern. Sobald die Maschine einen Bereich mit Netzabdeckung erreicht können gesammelte Daten mit der lokalen Cloud synchronisiert werden.

Tabelle 1: Anwendungsfälle in der Landwirtschaft

ID	Anwendungsfall	Beschreibung	Bereich	Reichweite	Datenrate	Latenz	Applikation
1	Transport auf Straße (mit Empfang)	Fernbedienung bei Anbindung an die Infrastruktur	global	N/A	10Mbps	100ms	Navigation, Status Informationen
1b	Transport auf Straße (ohne Empfang)	Kommunikation unter kooperierenden Maschinen	lokal	100m	1Mbps	10ms	Sensor Daten

2	Paralleles Fahren	Kommunikation unter kooperierenden Maschinen	lokal	100m	1Mbps	10ms	Sensor Daten
3	Lokale Steuerung	Ohne Anbindung an die Infrastruktur, Operator kann lokal auf Daten der Maschine zugreifen	lokal	500m	1Gbps	1ms	Fernsteuerung, Telemetrie, Video
4	Data Offload in locale Cloud	Maschine sendet Daten an lokale Cloud	lokal / global	100m	1Gbps	100ms	Synchronisation mit Cloud
5	Fernsteuerung	Anbindung an die Infrastruktur, Operator kann global auf Daten der Maschine zugreifen	global	N/A	100Mbps	10ms	Fernsteuerung, Telemetrie, Video

Für den Bereich der Straßenfertigung ist ein sehr ähnlicher Arbeitszyklus definiert. Hierbei verlassen Straßenwalzen den Arbeitsbereich um ihre Wassertanks nachzufüllen und kehren sodann zum Einsatzort zurück. Auch hier ist von einem Übergang zwischen Bereichen mit und ohne Netzabdeckung auszugehen.

Tabelle 2: Anwendungsfälle im Straßenbau

ID	Anwendungsfall	Bereich	Reichweite	Datenrate	Latenz	Applikation
6	Autonomes Verdichten	lokal	300m	1Gbps	10ms	Sensor Daten / Autonomie Planung: Abstände, Karten, Trajektorien
7	Wasserbetankung	lokal	5km	256kbps	1s	Ungefähre Positions- und Statusinformationen
8	Bauleitung vor Ort	lokal	100m	150Mbps	50ms	Telemetrie / Konfiguration
9	Bauleitung abwesent	global	N/A	150Mbps	1s	Telemetrie

2.1.2 AP 2: Entwurf eines Gesamtarchitekturmodells

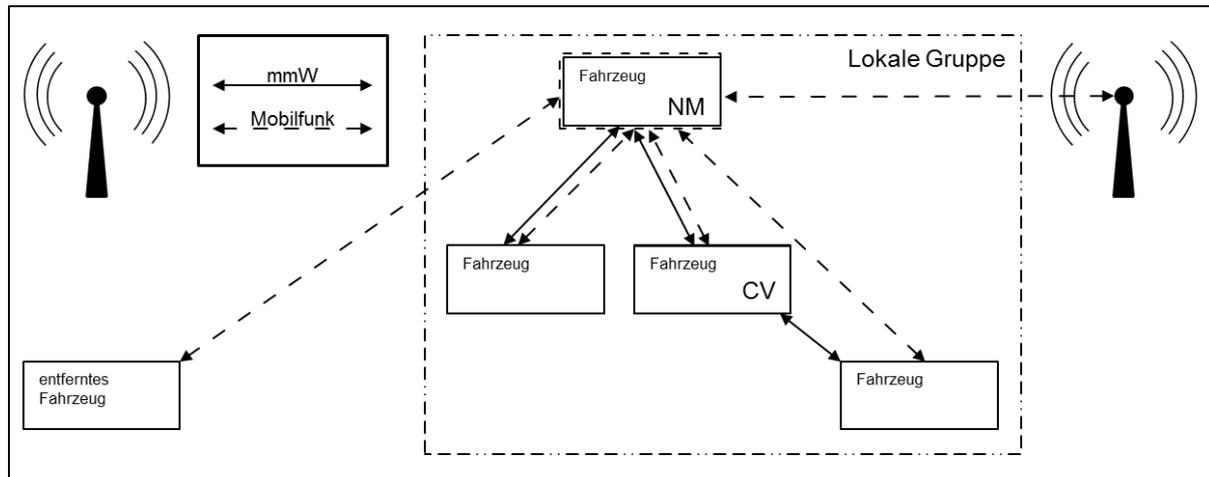


Abbildung 3: Illustration der AMMCOA Netzwerk Architektur

In Abbildung 3 ist die Netzwerk Architektur illustriert welche des Konzept der Trust Zone (TZ) aufgreift, diese verallgemeinert und im Folgenden als 5G-Insel bezeichnet wird. Innerhalb einer lokalen Gruppe übernimmt einer der Fahrzeuge die Rolle des Netzwerk-Masters (NM). Alle anderen Fahrzeuge verbinden sich mit diesem.

Der NM fungiert als Basis Station während alle anderen Fahrzeuge die Rolle eines User Equipment (UE) einnehmen. Im Allgemeinen sind der NM und das Koordinierende Fahrzeug (CV) nicht identisch. Dies sind separate Rollen und Verantwortlichkeiten. Das CV koordiniert oder steuert die anderen Fahrzeuge um als Gruppe zusammenzuarbeiten. Wenn das hier gezeigte entfernte Fahrzeug eine wesentlich bessere Netzabdeckung hat, kann es vorteilhaft sein dieses Fahrzeug in die Rolle des NM zu befördern um der gesamten Gruppe eine Verbindung mit höherer Bandbreite zu ermöglichen. Der neue NM fungiert dabei als Gateway zur Infrastruktur und würde damit Teil zur lokalen Gruppe werden. In einem solchen Szenario ändert sich die lokale Netzwerk Hierarchie und einige Handover Vorgänge müssen möglichst ohne Unterbrechung durchgeführt werden. Die Verbindung zur Infrastruktur Netzen ist hier optional und das lokale Netzwerk muss im Stande sein auch ohne diese zu operieren. Die Verbindungen hoher Bandbreite über kurze Distanzen werden mittels Punkt zu Punkt mmW Links im 26GHz band implementiert. Um zwischen den Kommunikationspartnern umzuschalten wird eine Reihe von gerichteten Antennen verwendet.

2.1.3 AP 3: Infrastrukturlose 5G-Inseln

Es wurde ein Konzept für die autonome Mobilität von virtuellen Netzwerkfunktionen (VNF) erarbeitet. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um ein Edge Cloud Konzept zur lokalen Bereitstellung von Netzwerkfunktionen die Ursprünglich innerhalb der ortsgebundenen Netzwerkinfrastruktur verortet waren, und wird im Folgenden als 5G-Insel bezeichnet.

Im Falle einer Unterbrechung der Verbindung zur zentralen Infrastruktur soll die 5G-Insel autonom eine temporäre Backuplösung Bereitstellen um eine minimale Verfügbarkeit aufrecht zu erhalten. Dabei können zentrale Netzwerkdienste aus verschiedenen Gründen unerreichbar sein. Im Rahmen dieses Vorhabens sind dabei vor allem zwei Szenarien von besonderem Interesse:

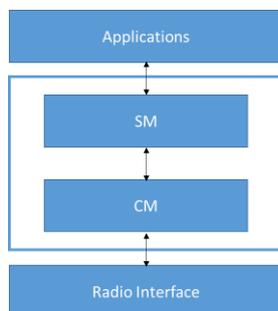
- 1) geplante Ereignisse bei dem bewusst der Bereich der Netzabdeckung verlassen wird

- 2) ungeplante Ereignisse, Netz ist unerwartet nicht erreichbar auf Grund von z.B. Abschattung oder nicht im Voraus bekannten Lücken der Netzabdeckung

In diesen Fällen soll die 5G-Insel Lösung die minimal Notwendigen Netzwerkfunktionen in die lokale Cloud transferieren und temporär übernehmen. Da der Funktionstransfer eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt muss dieser vorbereitet werden um eine Unterbrechung des entsprechenden Dienstes zu vermeiden. Daher ist es erforderlich die Wahrscheinlichkeit für den Verlust der Backhaul Verbindung für ein bestimmtes Zeitfenster vorherzusagen. Diese setzt sich im Allgemeinen aus dem Produkt folgender Wahrscheinlichkeiten zusammen:

$$P_{\text{outage}} = \int_0^T f_{\text{arrival}}(t) \int_0^{T-t} f_{\text{stay}}(\tau) f_{\text{error}}(\tau) d\tau dt$$

- $f_{\text{arrival}}(t)$: Gerät kommt innerhalb t an der 5G-Insel an
- $f_{\text{stay}}(\tau)$: Gerät verbleibt für τ in der 5G-Insel
- $f_{\text{error}}(\tau)$: eine bestimmte VNF wird innerhalb τ unzuverlässig



Das nebenstehende Schaubild zeigt die Software Architektur welche die Mobilität der Netzwerkfunktionen unterstützt. Das Radio Interface stellt dem Connection Monitor (CM) die nötigen Informationen zur Verfügung um die Ausfallwahrscheinlichkeiten bestimmter Netzwerkdienste vorherzusagen. Diese Informationen werden wiederum vom Subscription Manager (SM) genutzt um die jeweiligen lokalen Applikationen und Dienste über einen möglichen Zustandswechsel zu informieren. Die Applikationen und Dienste treffen sodann die nötigen Vorbereitungen um die entsprechende Netzwerkfunktion aufrecht zu erhalten.

5G-Insel

Das Konzept der 5G-Insel ist eine Generalisierung einer Idee die als Trust Zone (TZ) bezeichnet wird. Virtuelle Netzwerkfunktionen (VNF) werden dabei je nach Bedarf im Core Netzwerk oder auf der Edge Cloud ausgeführt. Dabei richtet sich die lokale Instanziierung einer VNF nach einer Kostenfunktion, die es zu minimieren gilt. Wenn die Opportunitätskosten einer VNF größer als deren Implementationskosten sind wird diese in der lokalen Edge Cloud instanziiert.

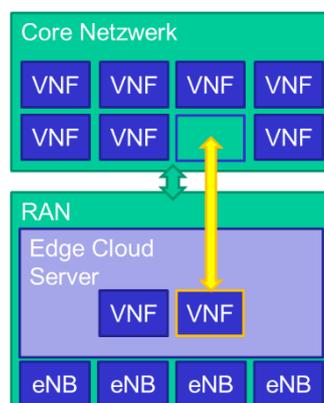
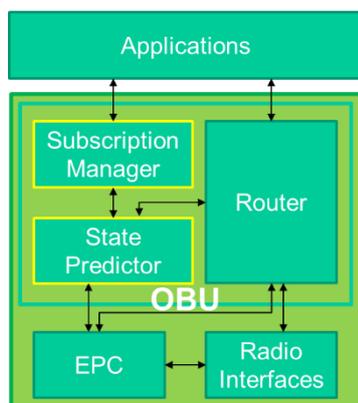


Abbildung 4: Nomadic 5G Private Network, links: Applikationssicht, recht: Netzwerksicht

5G Private Networks

Dieses Konzept beschreibt ein vollständig unabhängiges privates Netzwerk welches auch ein Core- und Access Netzwerk sowie

einen Home Subscriber Server (HSS) beinhaltet. Der HSS hält die nötigen Daten bereit um die privaten Benutzer zu bedienen. Hiermit lassen sich z.B. eigene abgeschlossene Mobilfunknetze innerhalb eines Firmencampus aufspannen. Die beiden wesentlichen Aspekte beider Ansätze, die Mobilität der VNFs sowie die Unabhängigkeit und Privatheit, werden in dem Konzept des *Nomadic 5G Private Network*

vereint. Weiterhin ist dieses Netzwerk beweglich und damit sich ständig ändernden Ausbreitungsbedingungen unterworfen. Die Abbildung 4 zeigt das Konzept aus der Netzwerksicht und der Applikationssicht. Die Netzwerksicht beschreibt die Mobilität der VNFs zwischen Core Netzwerk und lokaler Edge Cloud. Die Applikationssicht beschreibt die geplante Software Architektur des Verbindungsmanagement innerhalb der On Board Unit (OBU) welches die Applikationen über bevorstehende Zustandswechsel informiert.

LoRa Grundlagen

In dieser Sektion wird eine grobe Übersicht über Modulation, Reichweiten, Frequenzen und vergleichbare Parameter, also die Kernelemente der Long Range (LoRa) Kommunikation, gegeben.

Long Range (LoRa) ist ein proprietäres und patentiertes Verfahren zur Datenübertragung der Firma Semtech Corporation. Ziel der Technologie ist eine Datenübertragung bei geringer Leistung und hoher Reichweite. Dabei kommt eine Chirp Spread Spectrum Modulation zum Einsatz. Die Erweiterung zu LoRa stellt das Long Range Wide Area Network (LoRaWAN) da. Die nötigen Spezifikationen dazu werden von der LoRa Alliance festgelegt und sind frei verfügbar. Die Kernpunkte von LoRa sind eine asymmetrische Kommunikation von bis zu 10 km mit einer Datenübertragung von 292 bit/s bis 50 kbit/s. LoRa stellt eine technische Basis für Drahtlosekommunikation in dem Bereich IoT da. Die Kommunikation findet in den IMS oder SRD Bändern statt, für Europa zulässig sind 433,05 bis 434,79 MHz, ISM-Band Region 1 und von 863 bis 870 MHz, SRD-Band Europa [1]. Auf der Basis der LoRa-Modulation baut das LoRaWAN und Symphony Link auf. Eine Übersicht von Wireless IoT Lösung wird in Tabelle 3 gegeben.

Tabelle 3: Übersicht, Low Power Wide Area Network

Technologienname	Beschreibung
LoRaWAN [1]	basiert auf LoRa-Modulation von der LoRa Alliance
Symphony Link [2]	basiert auf LoRa-Modulation
LTE-M [3]	basiert auf LTE Advanced von 3GPP
NarrowBand-IoT (NB-IoT) [4]	von 3GPP
Weightless-N [5]	offener Standard der Weightless Special Interest Group (Weightless SIG) für Ultranarrow-Bandtechnologie
Weightless-P [5]	offener Standard der Weightless SIG für bessere Leistung
Weightless-W [5]	offener Standard der Weightless SIG im White Space
Wi-Fi HaLow [6]	offener Standard der WiFi Alliance (IEEE 802.11ah)
Mioty [7]	ein Standard des Fraunhofer-Instituts

Im Rahmen des Ammcoa Projekts wurde LoRa als Modulationsbasis gewählt, es wurde keiner der beiden auf LoRa basierenden Standards gewählt, aus dem Grund, dass Grundlagenanforderungen erarbeitet werden können für Autonome Systeme in Bezug auf die Kommunikation. Ein weiterer Grund stellt die Anforderung eines Inselbetriebes für das gesamt System da.

Wie in der Übersicht deutlich wird, stellt LoRa eine gute sekundäre Ebene in der Kommunikation dar. Die Vorzüge für die Forschung und den Use-Cases wird in der nächsten Sektion aufgeführt.

LoRa in Ammcoa

Im Ammcoa Projekt wird die LoRa Technologie in seiner Basisform genutzt, das heißt es werden keine Erweiterungen genutzt wie LoRa Wide Area Network. LoRa dient im Ammcoa Projekt zur Erweiterung der Reichweite in der Insellösung. Als Kommunikationsinsel wird in diesem Zusammenhang ein Funknetzwerk definiert, das in der Lage ist mit allen Teilnehmern zu interagieren ohne dass ein Uplink zu weiterer Infrastruktur nötig ist. Die Kommunikationsinsel ist ein in sich abgeschlossenes System, die potentiellen Teilnehmer stehen im Vorfeld fest, es kommen keine Teilnehmer dynamisch dazu, es werden keine Teilnehmer dynamisch dem Netzwerk entzogen. Die Gesamtheit der Kommunikationsinsel besteht aus zwei Funknetzwerken die sich Überlagern. Diese beiden Funknetzwerke unterscheiden sich in ihren Kerndaten, dass eine Funknetzwerk wird für hohe Datenraten verwendet und wird im Weiteren als primeres Funknetz bezeichnet. Das zweite Funknetz wird auf der Grundlage der hohen Reichweiten bei einfacher Infrastruktur genutzt, es wird als sekundäres Funknetz betrachtet. Dieses sekundäre Netzwerk zeichnet sich durch geringe Datenraten aus und sehr große Reichweite. Beide Funknetz nutzen unterschiedliche Funkfrequenzen, die sich nicht überschneiden. Im Weiteren wird der Begriff LoRa Ammcoa genutzt, um eine klare Abgrenzung zur Übertragungstechnik LoRa und dem Wide Area Network LoRaWAN herzustellen. LoRa Ammcoa nutzt LoRa zur Übermittlung von Daten auf einer der höheren Ebenen, der logischen Netzwerkebene. Die Abbildung 8 gibt einen Überblick über die verschiedenen Schichten in der Kommunikation.

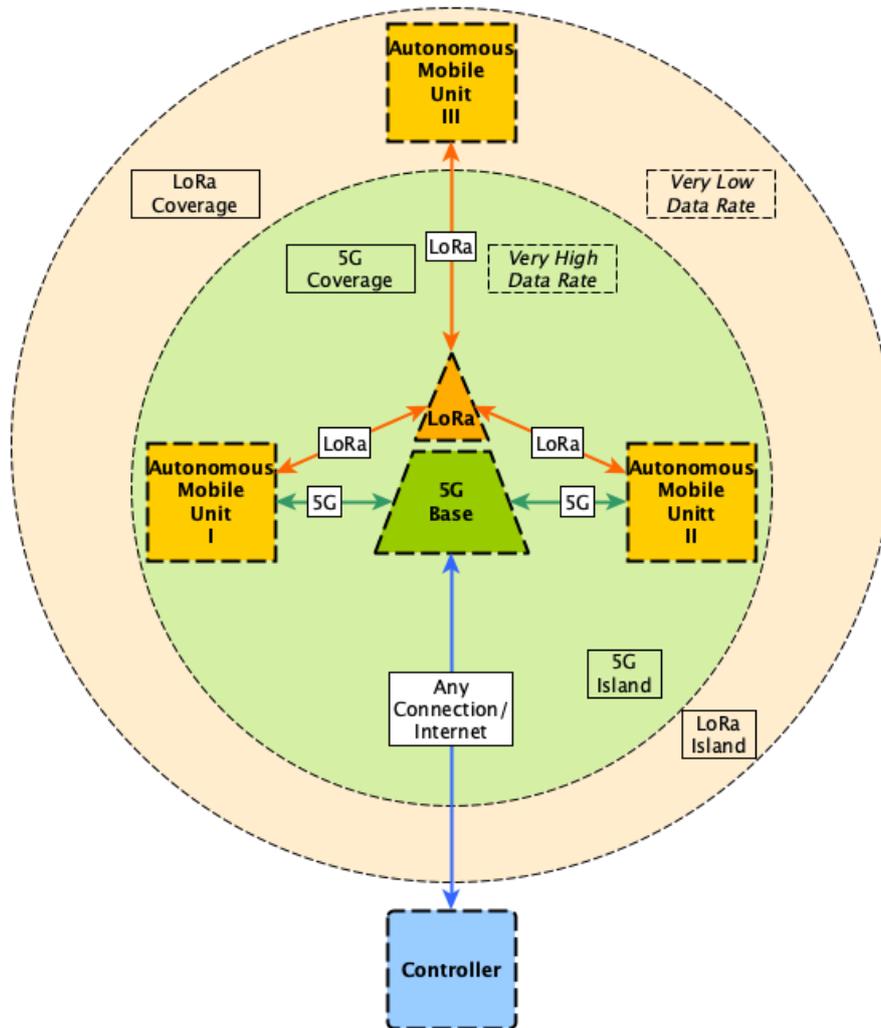


Abbildung 5: Netzwerkinsel

Die Netzwerktopologie wird schematisch in Abbildung 5 dargestellt. Die beiden separaten Funknetzwerke bilden zusammen eine sich überlagernde Insellösung. Diese Insel setzt sich zusammen aus dem Kern mit dem 5G Funknetzwerk, das durch hohe Datenraten und geringe Latenzen charakterisiert ist. In der Basis steht dafür ein gesamter Evolved Packet Core mit Insel-Konfiguration zur Verfügung, das HHI nutzt für das Projekt ein OpenEPC in der Version 7. Zudem steht ein LoRa Funknetzwerk zur Verfügung, das sich durch hohe Reichweite, sehr geringen Energieverbrauch und geringe Datenraten definiert. Die Insel verfügt über ein Primärknoten im Zentrum der Topologie, aufgeteilt nach den Funktechnologien 5G und LoRa, sowie über mehrere Sekundärknoten, in diesem Fall die Autonome Mobile Einheiten. In jedem Knoten ist eine Management-Software zur Kontrolle des Datenflusses enthalten und zum Wechsel der Funktechnologie. Die genutzte Funktechnologie unterliegt einer Priorisierung, 5G erhält den Vorzug vor LoRa. Weiterhin verfügen alle Netzwerkknoten auch über WiFi als Funknetzwerk.

LoRa stellt eine Erweiterung der Reichweite für das 5G Netz da und ist für die Fälle gedacht das eine hohe Datenrate nicht nötig ist für die Maschinenführung, sich Maschinen sicher außerhalb der 5G Abdeckung bewegen können und müssen, Absicherung im Falle des Ausfalls des 5G Inselnetz.

Einen zentralen Grundgedanken stellt die Regel dar, sobald ein Funknetzwerk verfügbar ist wird eine Verbindung darüber zur Basis aufgebaut, im Fall von LoRa Ammcoa wird diese Verbindung in Intervallen für die Basis und dem einzelnen Knoten geprüft. Bei der Verbindungsprüfung wird für Sender

und Empfänger die Verbindungsqualität übermittelt in dem Received Signal Strength Indicator (RSSI). Aus den RSSI Anhängen ergibt sich ein Tupel auf Sender RSSI und Empfänger RSSI.

Grundlagen der LoRa Ammcoa Kommunikation

In dieser Sektion wird die Basis für die LoRa Ammcoa Kommunikation erläutert. Im spezifischen wird auf die Wahl der Protokollelemente eingegangen und die Abgrenzung zu anderen Elementen aus der Perspektive der Entwicklung.

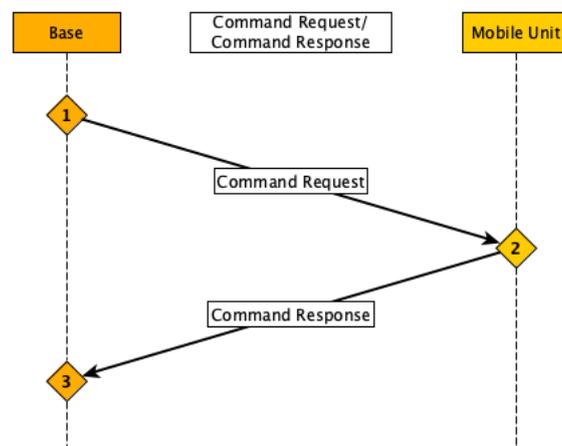


Abbildung 6: LoRa Ammcoa Base Request - Response Model

Als Grundlage der Nachrichtenstruktur wurde das Request – Response Model gewählt. Auf jeden Request erfolgen ein oder mehrere Response Nachrichten. Da eine sternförmige Netzwerkinfrastruktur vorliegt, wird die Basis in das Zentrum gesetzt und die Knoten am Rand stellen die autonomen mobilen Fahrzeuge da. Damit ergeben sich in der Struktur zwei Knotenarten, beide Arten (Basis und Fahrzeuge) nutzen das Request und Response Model. Auf einer höheren Ebene der Kommunikation werden die Inhalte der Request und Response Nachrichten der spezifischen Knotenart logisch getrennt. Die Abbildung 6 und Abbildung 7 illustrieren das zugrundeliegende Nachrichten-Model.

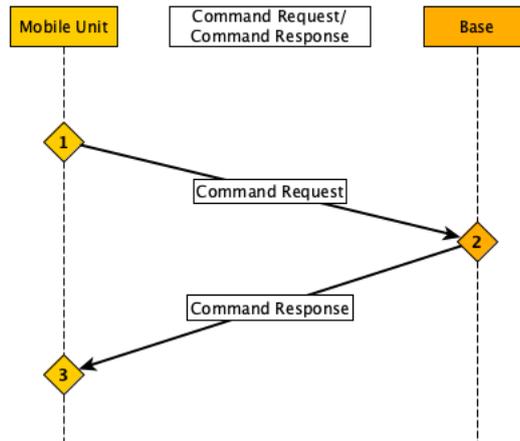


Abbildung 7: LoRa Ammcoa Mobile Unit Request - Response Model

Auf der Grundlage des Request – Response Model aufsetzend sind spezifische Nachrichten implementiert, diese sind angepasst an das Ammcoa Projekt. Im weiteren Verlauf werden die Nachrichten als Command bezeichnet. Ein Command ist im generellen in einer Dreiteilung aufgebaut, die Command ID, RSSI Feld und wenn nötig die Payload bzw. Command Data. Die Command ID sowie das RSSI Feld werden mit dem Datentype String UTF-8 codiert, das Feld für die Daten ist ein Byte Feld, kann aber auch als Datentype String UTF-8 genutzt werden. Die gesamte Länge eines Paketes in Byte richtet sich nach der maximalen Länge des LoRa System. Eine Aufteilung einer Nachricht auf mehrere Pakete ist nicht vorgesehen in LoRa Ammcoa. Die Abbildung 9 listet alle Formate der Commands auf, sowie die dazugehörigen Response Nachrichten, deren Längen, Teilelementen und die Anzahl der möglichen Antworten.

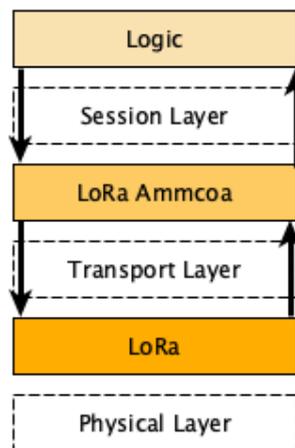


Abbildung 8: LoRa Ammcoa Layer

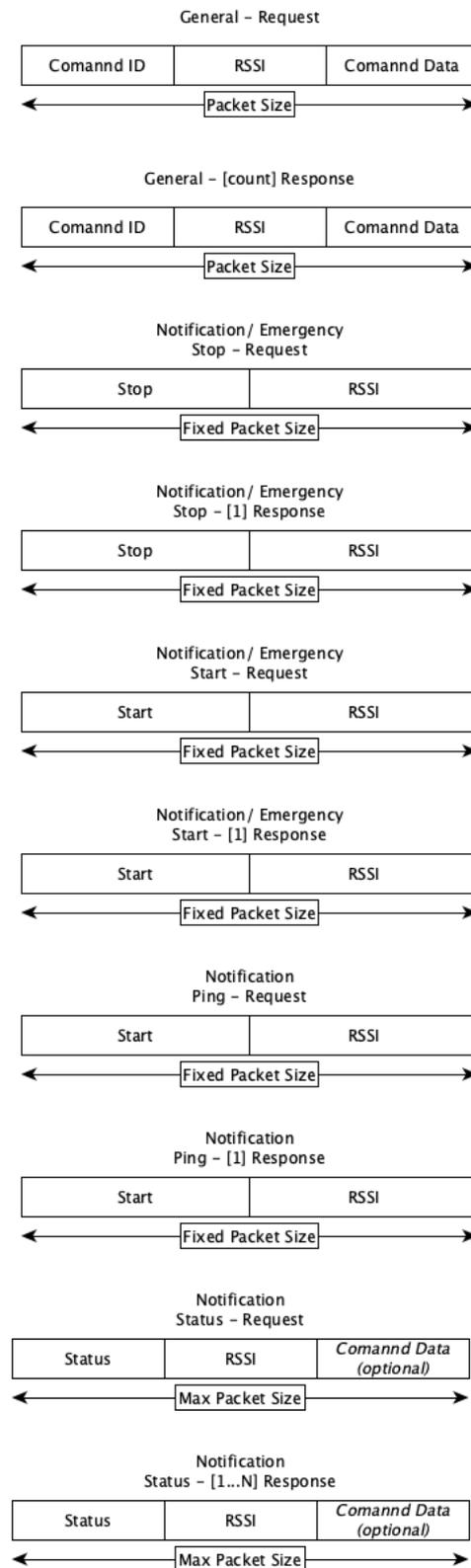


Abbildung 9: LoRa Ammcoa Packet Format

Auf der logischen Ebene, siehe Abbildung 8, sind die einzelnen Commands in ihrer Bedeutung abhängig von der Senderichtung. Dabei wird zwischen den Senderichtungen „Base to Mobile Unit“ und „Mobile

Unit to Base“ unterschieden. Diese Commands sind dem Projekt spezifisch und dienen der Demonstration von möglichen Anwendungen. Die Tabelle 4 und Tabelle 5 geben eine Übersicht über die einzelnen Nachrichten. Eine Ausnahme stellt der „Ping“ Command da, dieser wird später noch genauer besprochen.

Tabelle 4: LoRa Ammcoa Base Commands

Command	Beschreibung
Ping	Request zur regelmäßigen Überprüfung der Verbindung.
Status	Request zur Abfrage des aktuellen Status in der Maschine.
Stop Engine	Request zum sofortigen Stopp der Maschine. Der Command ist auch als Notfall-Nachricht nutzbar.
Start Engine	Request zur Freigabe der autonomen Arbeit der Maschine. Der Command ist auch als Notfall-Nachricht nutzbar

Tabelle 5: LoRa Ammcoa Mobile Units Commands

Command	Beschreibung
Status	Request zur Übermittlung einer Statusänderung.
Stop Engine	Request zur Übermittlung des eigenständigen Stopps der Maschine. Der Command ist keine Notfall-Nachricht.
Start Engine	Request zur Übermittlung des eigenständigen Stopps der Maschine. Der Command ist keine Notfall-Nachricht.

Die hier angegebenen Commands gliedern sich in drei Kategorien, Status Übermittlung, Notfall Aktionen und Prüfung der Verbindungsqualität. Jede Nachricht enthält ein RSSI Feld, sollte über ein bestimmtes Intervall keine Nachricht gesendet oder bei der Basis angekommen sein, wird von der Basis ein „Ping“ Request gesendet und auf ein „Ping“ Response gewartet. Dies dient ausschließlich der Überprüfung der Verbindung. Jeder Knoten im Netzwerk enthält eine logische Ebene die über die Verbindungsart, 5G oder LoRa, entscheidet. Über die verfügbare Verbindung mit der höchsten Priorität werden die Applikationsdaten ausgetauscht. Hierbei wird die 5G Verbindung als primär angesehen und LoRa als sekundär. Die sekundäre Verbindung wird auch im Fall einer primären Verbindung aufrechterhalten.

Für LoRa Ammcoa bestehen drei Möglichkeiten den Abbruch der Verbindung festzustellen. Auf der Signalebene wird dabei vom RSSI Wert ausgegangen, unterschreitet der RSSI Wert eine Schwelle wird die Verbindung in ihrer Qualität nicht mehr als hinreichend eingestuft. Auf der Logischen Ebene kann ein Abbruch der Verbindung durch das X-malige Ausbleiben einer Response Nachricht auf ein Request festgestellt werden. Die dritte Möglichkeit einen Verbindungsabbruch festzustellen ist dadurch gegeben, dass die Basis in periodischen Intervallen eine Nachricht an alle Teilnehmer sendet. Sollte ein Teilnehmer über einen Zeitraum Y keine Nachrichten mehr erhalten, kann die Verbindung als unterbrochen angenommen werden.

Auf folgende Protokollelemente wird nicht eingegangen, Adressierung von Knoten, Transportsicherheit (Datenverlust), Registrierung an der Basis sowie Datensicherheit. Dies sind zwar zentrale Elemente der Nachrichtenübertragung aber im Versuchsfeld von LoRa Ammcoa nicht nötig, diese Elemente werden durch LoRaWAN abgedeckt und spielen bei der Betrachtung der Tauglichkeit von LoRa als sekundäres Funknetzwerk in den Versuchen keine tragende Rolle.

2.1.4 AP 4: 5G Luftschnittstellenentwicklung und Integration für taktile 5G Kommunikation

Es wurde ein Konzept zur Sensordatenfusion erstellt um die Lokalisierungsfunktionalität bereit zu stellen. Der Algorithmus sieht vor mehrere Informationsquellen für die Lokalisierung, sowohl innerhalb eines Fahrzeuges (Inertialsensorik, Aktuatoren, rel. Distanz und Winkel und GPS Daten), als auch diejenigen der anderen Fahrzeuge zu verknüpfen um eine insgesamt genauere Position bestimmen zu können als es nur mit einem Fahrzeug allein möglich wäre.

Wie in Abbildung 10 zu sehen ist, werden im erstem, dem Prädiktionsschritt, die Positionsschätzungen aller der zur Gruppe gehörenden Fahrzeuge, unter denen auch eine relative Winkel und Distanzmessung

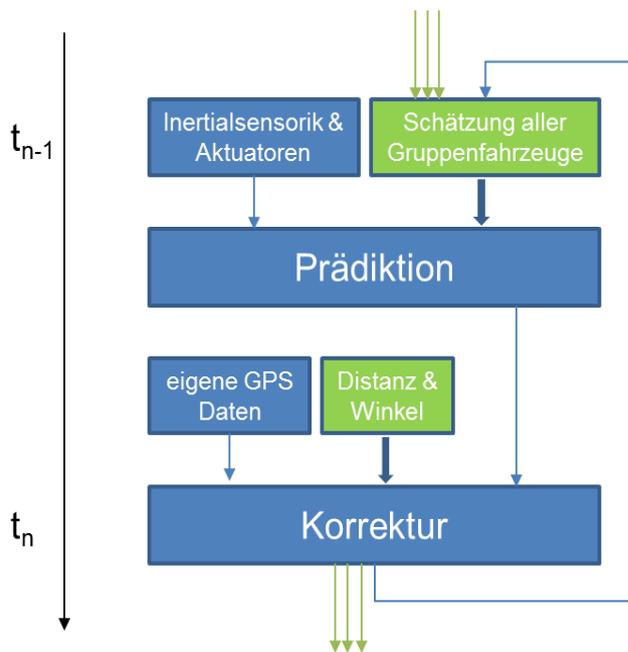


Abbildung 10: Algorithmus zur fahrzeugübergreifenden Datenfusion

möglich ist, abgefragt und zusammen mit den fahrzeuginternen Inertial- und Aktuatordaten der Prädiktion zugeführt. Daraus bestimmt sich die fahrzeuginterne Positionsschätzung, welche wiederum im zweiten Schritt, dem Update, einer Korrektur unterworfen wird. In die Korrektur fließen schließlich die internen Sensordaten für die absolute Position (GPS) und die relativen Distanz und Winkelmessungen ein.

Im Wesentlichen wird hier das Prinzip, die Varianz der Schätzung durch die Integration mehrerer Sensordaten schrittweise zu reduzieren, auf eine Gruppe von Fahrzeugen erweitert. Dies bietet sich insbesondere im Rahmen dieses Projektes an, da neben den absoluten Positionsdaten auch eine

relative Lokalisierung der Fahrzeuge untereinander erfolgt und damit die ansonsten voneinander statistisch unabhängigen absolut Positionen einzelner Fahrzeuge durch die relativen Messungen gekoppelt werden können. Diese Kopplung erlaubt somit die Einbeziehung der Positionsschätzungen der gesamten Fahrzeuggruppe. Dazu werden diese Schätzungen mittels der relativen Messungen in das Koordinatensystem des jeweiligen Fahrzeugs transformiert. Hierzu müssen die Messunsicherheiten der relativen Messungen auf die zu transformierenden Daten angewendet werden um eine korrekte Fusion aller Mess- und Schätzwerte zu gewährleisten. In Abbildung 11 ist dieser Zusammenhang schematisch dargestellt. Dabei repräsentieren die Kreisradien und Abstands- und Winkelsektoren qualitativ die Varianz von jeweils beiden absolut GPS-Positionen und der der relativen Lokalisierung. Der gepunktet gezeichnete Kreis repräsentiert hier die Positionsschätzung unter Einbeziehung der transformierten fahrzeugfremden Schätzung.

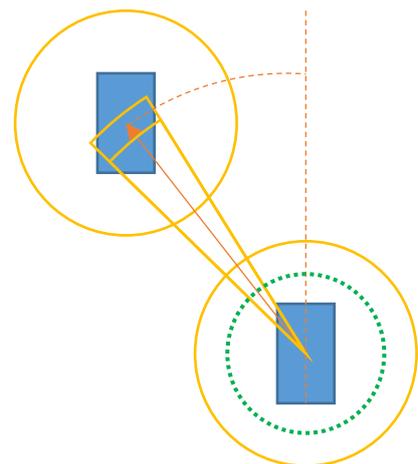


Abbildung 11: Schematische Darstellung der Varianz der Absolut- und Relativpositionen

2.1.5 AP 5: Entwicklung der OBU und Inbetriebnahme der infrastrukturlosen 5G-Insel

Elemente und Aufbau der 5G-Insel Implementierung

Für den Versuchsaufbau wurden folgende Elemente genutzt, Base, Roller bzw. landwirtschaftliche Maschine, Controller, LoRa und 5G.

Base, diese wird durch ein Raspberry Pi 4 bzw. durch die Onboard Unit von STW dargestellt. Die Aufgabe der Base ist die Kontrolle der Verbindungen, sowie das Umschalten zwischen den beiden Funknetzwerken. Zusätzlich hat die Base die Aufgabe die Werte für die Verbindungsqualität zu erfassen und für Analysezwecke zu speichern.

Der Roller bzw. die landwirtschaftliche Maschine, diese stellen die autonomen mobilen Maschinen dar, da die Autonomie dieser Maschinen nicht im Zentrum der LoRa Ammcoa Betrachtungen stehen wurden sie durch vereinfachte Modelle ersetzt. Für Versuchszwecke wurden die mobilen Einheiten mit „Heltec esp32 lora“ Devboards ausgestattet. Auf diesen Boards befinden sich die Netzwerklogik sowie das Funknetzwerk LoRa und WiFi.

LoRa, das Funknetzwerk wird mit Hilfe der STW Onboard Unit bzw. dem „Heltec esp32 lora“ aufgespannt. Die Hardware für Sender und Empfänger bzw. für Base und den mobilen Einheiten ist identisch, es bestehen nur Unterschiede in der Programmierung der Identität in Bezug auf die gewählte Rolle und damit auf die Kommandos.

5G, das Funknetzwerk 5G an sich selbst spielt bei der Betrachtung von LoRa keine entscheidende Rolle, da die 5G Komponenten in der Entwicklung dem HHI unterliegen und während der Covid-19 Pandemie eine enge und persönliche Zusammenarbeit nicht ohne Risiken möglich war, wird dieses durch WiFi ersetzt in der Entwicklung. Es wird für WiFi das ISM Band bei 2,4 GHz genutzt.

Controller, genutzt als zentrale Überwachungsstelle, dabei wird eine Web-GUI genutzt die durch eine Django Webserver bereitgestellt wird. Der Webserver an sich wird auf der Base ausgeführt.

2.1.6 AP 6: Verifikation der Performance von Kommunikation und Positionserfassung

Durchführung der Versuche

Grundlegend ist der Versuch wie im folgenden Abschnitt aufgebaut. Für die Versuche werden die Elemente Base mit WiFi und LoRa, Mobile Einheit mit Wifi und LoRa, sowie der Controller genutzt. Sämtliche Insel Komponenten verfügen damit über zwei Funknetzwerke, diese entsprechen dem beschreibenden Charakter einer Ammcoa Insel. Für den Umschaltmoment wird ein Wert, in den Experimenten unterschiedlich, gewählt. Hierbei werden die drei Stufen des Verbindungsstatus wie folgt unterschieden:

- beide Funknetzwerke mit hinreichender Signalqualität vorhanden;
- WiFi Funknetzwerk ohne hinreichende Signalqualität, LoRa hinreichende Signalqualität;
- Beide Funknetzwerke ohne hinreichende Signalqualität.

Der Fall mit WiFi hinreichende Signalqualität und LoRa ohne hinreichende Signalqualität wurde nicht beobachtet und ist in der Insellösung kein annehmbarer Zustand.

Der Startzustand der Versuche ist definiert, alle Komponenten sind über WiFi und LoRa verbunden. Die Basis Station erfasst die RSSI Werte für WiFi und LoRa und reicht diese weiter an den Controller zur visuellen Kontrolle. Die Versuche sind gezielt ausgerichtet auf den Moment des Umschaltens zwischen den Zuständen.

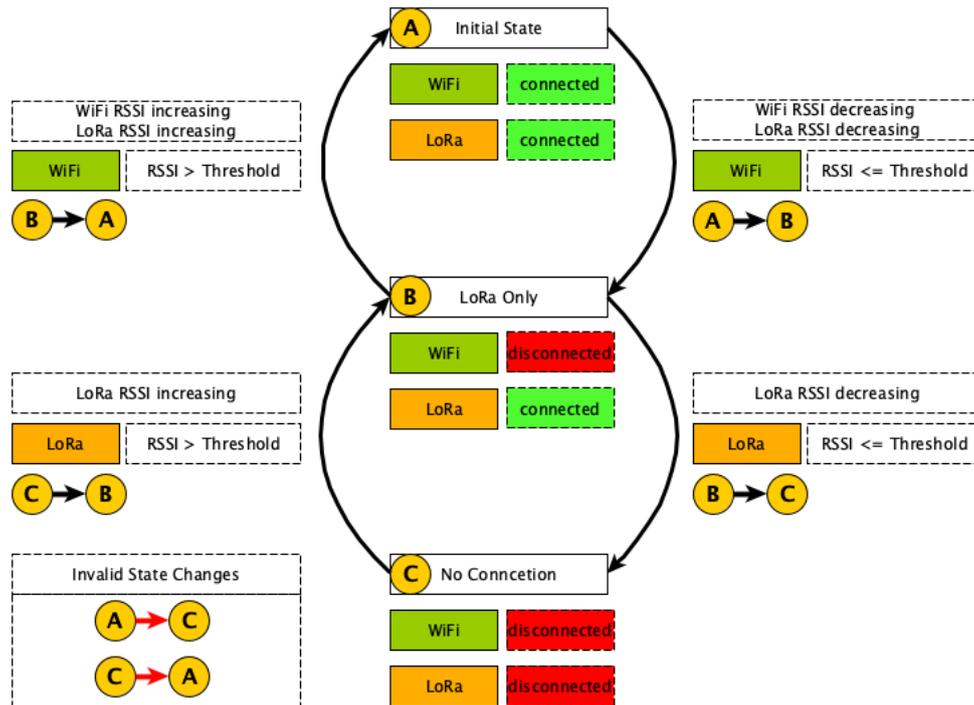


Abbildung 12: LoRa Ammcoa State Change

Der Zustand des Umschaltens wird durch die Verringerung der Signalstärke erreicht, dazu wurden zwei Methoden verwendet, zum einen Software basiert Reduktion des RSSI Wertes und zum anderen physikalische Reduktion durch entfernen der Mobilen Einheit von der Basis. Beide Methoden der Reduktion ergeben eine klare Änderung des RSSI und ein daraus resultierendes klares Umschalten. Der Umstand das es zu Schwingverhalten zwischen den Zuständen kommt kann, verursacht durch einmalige Sprünge in den RSSI Werten, wird eine einfache Glättungsfunktion auf die RSSI Werte angewendet. Die Glättung erfolgt durch ein FIFO Speicher mit zehn Speicherplätzen über den ein Durchschnittswert gebildet wird. Dieser Durchschnittswert wird gegen den definierten Grenzwert abgeglichen. In den Versuchen wurde die Abtastrate von 1 Hz und 2 Hz verwendet. Die Geschwindigkeit der Mobilen Einheiten wird mit einer Schrittgeschwindigkeit von 10 km/h bzw. 2,8 m/s angenommen. Bei der geringsten Abtastrate kann es in einem extremen Fall der Wertverteilung zu einer unkontrollierten Distanz von 28 Metern durch eine Mobile Einheit kommen. Die Abtastraten sollten gesondert betrachtet werden, besonders in dem Zusammenhang mit einer Überabtastung im Zusammenhang von Funkschatten. Ein Schutzmechanismus auf logischer Ebene kann, nach dem X-maligen Ausbleiben einer Response Nachricht auf ein Request, den Verbindungsabbruch feststellen.

Ergebnisse

Die Versuche zeigten, dass ein Umschalten zwischen den beiden Funknetzwerken möglich ist. Durch ein System-Event bzw. ein Trigger in der PCEF im 5G Netzwerk lassen sich die Datenströme einschränken oder gar Unterbrechen. Dem autonomen System kann zu jeder Zeit der Zustand des genutzten Netzwerks übermittelt werden. Das Umschalten zwischen den Zuständen war ohne Probleme möglich, besonders in dem Zusammenhang das die LoRa Verbindung auch im 5G, bzw. WiFi Fall, aktiv bleibt. Aus dem Zustand des gesamten Verbindungsverlust, WiFi und LoRa nicht verbunden, muss sich eine Handlungsanweisung an das autonome System resultieren, in etwa ein STOPP der Maschine. Eine Rückkehr in den Grundzustand und dem Zustand LoRa Only ist problemlos möglich.

In den Versuchen haben sich die Grenzwerte für das Umschalten der Verbindung ergeben,

- WiFi RSSI -50 dB,
- LoRa Base RSSI -90 db und LoRa Roller -90 db.

Die Versuche wurden in geschlossenen Gebäuden durchgeführt. Versuche im freien Feld ergaben gleiche Ergebnisse, der Unterschied war hier nur die größere Strecke, die benötigt wurden, um die Grenzwerte zu erreichen. In den meisten Versuchen wurde eine RSSI Abtastung von 1 Hz verwendet. Es konnte kein Unterschied zur 2 Hz RSSI Abtastung festgestellt werden.

Bei den Versuchen wurden keine Fahrzeuge genutzt, die Empfänger wurden von Menschen in Schrittgeschwindigkeit bewegt.

Fazit

Die Verwendung von LoRa als Erweiterung einer Insellösung mit hohen Datenraten ist möglich. LoRa an sich stellt keine hohen Datenraten, aber ermöglicht es den Zustand der Maschine zu übertragen. Im Weiteren sollte LoRaWAN als Erweiterung der Insellösung untersucht werden. Hier mit dem Fokus auf Datensicherheit, Transportsicherheit und Adressierung.

Auch sollten Untersuchungen mit LoRaWAN in Bezug auf eigenständige Inseln durchgeführt werden, aber auch die Nutzung von vorhandenen kommerziellen LoRaWAN Netzwerken.

Weiterhin bietet sich an, die Netzwerk Layer zu einem umfassenden Netzwerk Modell zu überarbeiten und dabei eine mögliche Integration in vorhandene IoT Controller zu prüfen.

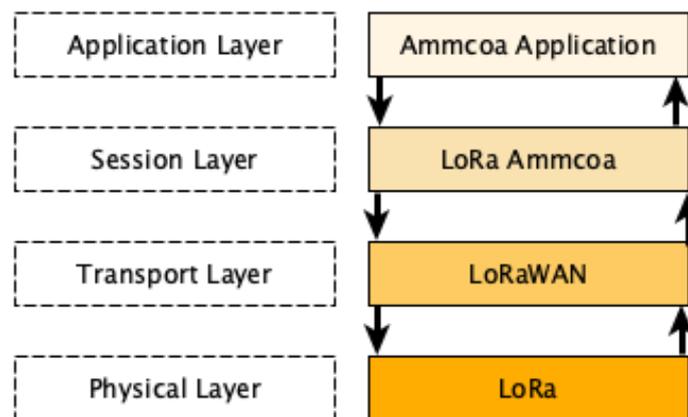


Abbildung 13: LoRaWAN Ammcoa Layer

Die drei gewählten Methoden zur Feststellung des Verbindungszustands haben sich in den Versuchen, bis zu einer Geschwindigkeit von 10 km/h, bewährt. In weiteren Versuchen sollten die Methoden unter der Bedingung von höheren Geschwindigkeiten der mobilen Einheiten, auch im Zusammenhang mit dem Auftreten von Funkschatten, getestet werden.

2.1.7 AP 7: Demonstrator für das autonome, vernetzte, kooperative Arbeiten

Entsprechend den Ergebnissen aus AP5 und AP6 wurde ein Teildemonstrator aufgebaut welcher im Rahmen des Abschlusstreffens vorgestellt und dessen Funktion erfolgreich demonstriert wurde.

2.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die durchgeführten Forschungsarbeiten entsprachen der im Projektantrag formulierten Planung mit Ausnahme einiger Integrationsarbeiten die im Zuge der Covid-19 Pandemie nicht unter Einhaltung der zu diesem Zeitpunkt gültigen Infektionsschutzmaßnahmen durchführbar waren. Die Integrationstiefe blieb daher hinter dem ursprünglich anvisierten Ziel zurück und es wurde auf individuelle Teildemonstrationen ausgewichen. Die durchgeführten Arbeiten waren daher notwendig und angemessen.

2.3 Voraussichtlicher Nutzen

Die in diesem Projekt entwickelten Konzepte und Lösungen stellen einen wichtigen Baustein zur Digitalisierung der Landwirtschaft im Allgemein dar. Gerade die Möglichkeit von Netzabdeckung unabhängig operieren und einen koordinierten Flottenbetrieb planen und ausführen zu können wird in der mittelfristigen Zukunft an Bedeutung gewinnen. Eine resiliente Vernetzung der Arbeitsmaschinen ist die Voraussetzung um die Effizienzziele hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Emissionen zu erreichen.

2.3.1 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Die Zusammensetzung des Konsortiums mit seinen namhaften Industriepartnern und komplementären Kompetenzen stellt sicher, dass die im Projekt erarbeiteten Lösungen und Innovationen hohe Akzeptanz finden werden bzw. produktnah umgesetzt werden können und die Markteinführung neuer Lösungen durch die vertretenen Partner erleichtert bzw. unterstützt wird.

2.3.2 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Die Projektergebnisse wurden durch den Antragssteller im Rahmen seiner wissenschaftlichen Arbeit verwertet (siehe Abschnitt „Veröffentlichungen“).

Die Projektergebnisse sind neben ihrer Forschungsrelevanz auch von großem didaktischem Nutzen, da sie einen systematischeren Zugang zur Beschreibung der entwickelten Architekturen erlauben und somit die Vermittlung einer Methodik zum „System-Engineering“ unterstützen, eine bedeutende Kernkompetenz für heutige Ingenieure. Eine erfolgreiche Verwendung der Ergebnisse in der Lehre kann also als sehr realistisch und äußerst als gewinnbringend angesehen werden.

Neben den theoretisch-konzeptionellen Projektergebnissen (beispielsweise im Bereich Systemarchitektur) wird auch die Modellierung der Systemkomponenten und die zu entwickelnde Evaluierungsmethodik in der Lehre Verwendung finden, insbesondere im Rahmen der Vorlesungen „Wireless Communications“ sowie „Wireless Systems“.

2.4 Bekannt gewordene Fortschritte durch Dritte

Bezüglich der für das Teilvorhaben relevanten Arbeiten sind dem Antragsteller zur Projektlaufzeit keine Aktivitäten bekannt geworden.

2.5 Veröffentlichungen

Im Rahmen des Projektes wurde die folgende Veröffentlichung publiziert:

Jacob Kochems and Hans D. Schotten. “AMMCOA - Nomadic 5G Private Networks”, 23. VDE/ITG Fachtagung Mobilkommunikation, Osnabrück, Mai 2018.

Quellen

- [1] LoRa Alliance, „docs.wixstatic.com,“ 28 10 2020. [Online]. Available: https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a_ed71ea1cd969417493c74e4a13c55685.pdf.
- [2] Link Labs, 28 10 2020. [Online]. Available: <https://www.link-labs.com/symphony>.
- [3] Sequans, 28 10 2020. [Online]. Available: <http://www.sequans.com/road-lte-m-importance-category-1-lte-chipsets/>.
- [4] 3GPP, 28 10 2020. [Online]. Available: <https://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1733-niot>.
- [5] Weightless, „Weightless,“ 28 10 2020. [Online]. Available: <http://www.weightless.org/>.
- [6] IEEE, „IEEE,“ 28 10 2020. [Online]. Available: https://standards.ieee.org/standard/802_11ah-2016.html.
- [7] IIS Fraunhofer, „ISS Fraunhofer,“ 28 10 2020. [Online]. Available: <https://www.iis.fraunhofer.de/de/ff/lv/net/telemetry.html>.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Schlussbericht - AMMCOA	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Kochems, Jacob Schotten, Hans D.	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.09.2020
	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Technische Universität Kaiserslautern Lehrstuhl für Funkkommunikation und Navigation Gottlieb Daimler Straße 67663 Kaiserslautern	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 16KIS0707
	11. Seitenzahl
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben
	14. Tabellen
	15. Abbildungen
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Im Rahmen des Projektes „AMMCOA“ hat die TU Kaiserslautern folgende Arbeiten durchgeführt: <ol style="list-style-type: none"> 1. Es wurden Anwendungsfälle aus der Landwirtschaft und dem Straßenbau identifiziert und charakterisiert. Diese wurden danach den Arbeitsschritten des übergeordneten Anwendungsfalls zugeordnet. 2. Es wurde eine Systemarchitektur entworfen, die das Konzept der Trustzone aufgreift, diese zu einem 5G-Insel Konzept verallgemeinert und mit Elementen aus dem Bereich der privaten Netze (5G private network) erweitert. Daraus resultiert ein Systementwurf der am besten als „Nomadic 5G Private Networks“ bezeichnet werden kann, da hier der Aspekt der Mobilität mit berücksichtigt wird. 3. Es wurde eine prototypische Implementierung eines solchen 5G-Inselnetzwerks durchgeführt mit derer die RAT-Umschaltung auf der Applikationsebene erprobt wurde. Dabei wurden zwei Netzwerkebenen parallel betrieben: Primäre Verbindung: 5G und Sekundäre Verbindung: LoRa. Diese Implementierung ist Bestandteil des Teildemonstrators welcher bei der Abschlussdemonstration zum Einsatz kam. 4. Es wurde ein Algorithmus entworfen um die relativen und absoluten Positionsdaten der mobilen Einheiten zu integrieren um damit eine genauere Lokalisation zu ermöglichen als es einer mobilen Einheit alleine möglich wäre. 	
19. Schlagwörter Ad Hoc Vernetzung, Funkvernetzung, integrierte Lokalisierung, Unterstützung autonomer Betriebsformen, 5G Nomadic Networks, Selbstorganisation	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Schlussbericht
3. title Schlussbericht - AMMCOA	
4. author(s) (family name, first name(s)) Kochems, Jacob Schotten, Hans D.	5. end of project 30.09.2018
	6. publication date
	7. form of publication
8. performing organization(s) (name, address) Technische Universität Kaiserslautern Lehrstuhl für Funkkommunikation und Navigation Gottlieb Daimler Straße 67663 Kaiserslautern	9. originator's report no.
	10. reference no. 16KIS0707
	11. no. of pages
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
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract In the course of the project „SBDist“, the University of Kaiserslautern has successfully performed the following tasks:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Use Cases for the following domains have been identified and characterized: agricultural and road construction. These Use-Cases have than been mapped to the appropriate step in the workflow of the respective super user case. 2. A system architecture has been developed which takes the concept of the trust zone and generalizes it into the 5G-Island concept. This is than expanded upon with elements of 5G private networks. The result is an architecture which could best be described as “Nomadic 5G Private Networks” because mobility support has to be considered here too. 3. A prototype implementation of said network concept has been developed with which a RAT selection scheme build in the application layer has been tested. This scheme uses two parallel networking layers: primary connection: 5G and secondary connection: LoRa. This implementation is part of the individual demonstrator which was used at the final demo. 4. An algorithm has been developed to integrate relative and absolute position measurements of the individual mobile units to improve accuracy which would otherwise not be achievable by each individual mobile unit by its own. 	
19. keywords Ad hoc networking, wireless networking, integrated localization, autonomous operation, 5G Nomadic Networks, self organisation	
20. publisher	21. price