

<p style="text-align: center;">Projekt AMMCOA:</p> <p style="text-align: center;">Autonome Vernetzung und Lokalisierung mobiler Arbeitsmaschinen</p> <p style="text-align: center;">(Abschlussbericht)</p>	
<p>Zuwendungsempfänger: Technische Universität Kaiserslautern Gottlieb-Daimler-Straße 47 67663 Kaiserslautern</p>	<p>Förderkennzeichen: 16KIS0708</p>
<p>Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt: Autonomous Mobile Machine Communication for Off-Road Applications Hochzuverlässige und echtzeitfähige Vernetzung für Land- und Baumaschinen Teilvorhaben: Autonome Vernetzung und Lokalisierung mobiler Arbeitsmaschinen</p>	
<p>Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2017 bis 31.03.2020 und verlängert bis 30.09.2020</p>	
<p>Berichtszeitraum 01.04.2017 bis 30.09.2020</p>	
<p>Berichtsdatum 28. Feb 2021</p>	
<p>Vorgelegt beim Projektträger: VDI/VDE Innovation + Technik GmbH Steinplatz 1 Berlin 10623</p> <p>Ansprechpartner: Dr. Dimitar Kroushkov</p>	
<p>Vorgelegt durch: Prof. Dr. rer. nat. Karsten Berns Lehrstuhl für Robotersysteme (RRLAB), TU Kaiserslautern Gottlieb-Daimler-Str. 48 67663 Kaiserslautern Telefon: +49 631 205 2613 E-mail: berns@cs.uni-kl.de</p>	

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzbeschreibung	2
1.1	Aufgabenstellung.....	2
	Gesamtprojekt.....	2
	Teilvorhaben	3
1.2	Voraussetzungen	4
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	4
	Implementation einer Simulationsumgebung für die Entwicklung autonomer mobiler Nutzfahrzeuge.....	6
	Schaffung der Voraussetzungen für eine Autonomie an der Maschine	7
	Erforschung und Implementation der konkreten Autonomie für den Anwendungsfall.....	7
1.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Projektbeginn	8
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen im Laufe des Projektes	9
2	Wissenschaftlich-technische Ergebnisse im Vergleich zur Planung.....	10
2.1	Anwendungs- und Anforderungsanalyse aus relevanten Anwendungsfällen (AP1)	10
2.2	Entwurf eines Gesamtarchitekturmodells (AP2)	10
	Schwarmebene	11
	Maschinenebene.....	11
	Komponentenebene	12
2.3	Infrastrukturlose 5G Inseln (AP3)	14
2.4	5G Luftschnittstellenentwicklung und Integration für taktile 5G Kommunikation (AP4)	14
2.5	Entwicklung der OBU und Inbetriebnahme der infrastrukturlosen 5G-Insel (AP5)...	14
2.6	Verifikation der Performance von Kommunikation und Positionserfassung (AP6)...	14
2.7	Demonstrator für das autonome, vernetzte, kooperative Arbeiten (AP7)	14
	Abschlussdemonstration	19
3	Wichtigste Positionen der zahlenmäßigen Nachweise	21
4	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	22
5	Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	23
6	Fortschritt bei anderen Stellen.....	24
7	Veröffentlichungen	25
7.1	Erfolgte Veröffentlichungen	25
7.2	Geplante Veröffentlichungen	25
8	Literaturverzeichnis	26

1 Kurzbeschreibung

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 von koordiniertem Einsatz 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, HSDPA, LTE, LTE-A und die neuen 5G Luftschnittstellen. Gleichzeitig muss jedoch die Anforderung an niedrige Latenzzeiten bei gleichzeitig hoher Zuverlässigkeit erfüllt werden, was die Verwendung von zentralisierten Netzwerk-Infrastrukturen ausschließt.

1.1 Aufgabenstellung

Gesamtprojekt

Ziel des Projektes war es eine lokale, mobil mitführbare und infrastrukturlose „Taktile Internet“-Vernetzungslösung zu erforschen,

- die lokal dieselben Anforderungen erfüllt wie das „5G Taktile Internet“, inkl. niedriger Latenzzeiten,
- sich automatisch als Erweiterung in bestehende Weitverkehrsnetze einfügt und somit eine dynamische und bedarfsangepasste Erweiterung des 5G Netzes darstellt,
- zusätzlich integrierte hochpräzise Lokalisierungslösungen zur Verfügung stellt und
- die besonderen Anforderungen der adressierten Anwendungen unterstützt.

Die entwickelte Lösung sollte als bedarfsangepasste lokale Erweiterung der 5G Netze von Mobilfunkbetreibern dienen und somit nicht nur in den adressierten Anwendungsfällen sondern in allen Fällen zum Einsatz kommen, in denen schnell, gegebenenfalls zeitlich temporär und möglicherweise unabhängig von lokalen Netzwerken eine 5G-artige Vernetzung zwischen Fahrzeugen und örtlichen platzierten Maschinen benötigt wird. Das 5G-AMMCOA Vernetzungskonzept ist somit auch eine Schlüsselkomponente für 5G-enabled Exportprodukte aller Industrieausstatter, Fahrzeughersteller und Medizinproduktehersteller.

Die 5G-AMMCOA Lösung sollte in Form von On-Board Units in Fahrzeugen implementiert werden, die sich in derartigen Anwendungsszenarien selbständig vernetzen können und um dann hochgradig vernetzte Arbeitsprozesse zwischen mobilen Maschinen zu realisieren. Als Anwendungsfälle sollen zwei verschiedene Szenarien untersucht werden.

Zum einen sollten landwirtschaftliche Parallelfahrprozesse, wie sie beispielsweise beim Abernten zwischen Mähdrescher und Traktor vorkommen, untersucht werden. Hierbei muss eine genaue relative Positionierung erfolgen. Des Weiteren erfordert das Wechseln der Transportfahrzeuge eine genaue zeitliche und örtliche Abstimmung der Fahrzeuge sowie eine effiziente Bewegungsplanung der Fahrzeuge, wie z.B. das gleichmäßige Laden bei einem Überladevorgang.



Abbildung 1: Anwendungsfall 1 landwirtschaftlicher Parallelfahrprozess.

In einer zweiten Anwendung soll ein Straßenfertigungsszenario untersucht werden. Dabei besteht die Herausforderung in der Koordinierung der unterschiedlichen Baumaschinen wie Straßenfertiger, Beschicker, Walzen und LKWs. Da der Straßenfertiger einen kontinuierlichen Massenstrom benötigt, müssen der Beschicker und die LKWs entsprechend koordiniert werden. Basierend auf der Bewegung des Straßenfertigers sollen der Beschicker und die Straßenwalzen zur Verdichtung des Materials autonom gesteuert werden.



Abbildung 2: Anwendungsfall 2 Straßenfertigungsszenario.

Teilvorhaben

Der Hauptfokus des Teilvorhabens liegt auf eben jener autonomen Steuerung der Straßenwalzen. Hierzu sollte an der Entwicklung von Algorithmen zur kooperativen Aufgabenerfüllung mehrerer (teil-) autonomer Nutzfahrzeuge unter Verwendung der in diesem

Projekt gewonnenen Kommunikations- und Lokalisationslösungen gearbeitet werden. Die direkte Übertragung in praxis- und industrienahen Einsatzszenarien sollte sowohl ein kontinuierliches Feedback während der Entwicklung als auch eine realistische Evaluation der Ergebnisse ermöglichen.

Dazu sollte ein Straßenfertigungsszenario betrachtet werden, in dem heterogene (Arbeits-) Maschinen kooperieren müssen um das Gesamtziel zu erreichen. Um einen sicheren und zuverlässigen Betrieb zu ermöglichen müssen verschiedene Themenbereiche wie Umweltperzeption, Lokale Karten, Kollisionsvermeidung, Bahnplanung und Steuerung sowie Kooperationsplanung untersucht werden. Im Rahmen dieses Projektes sollte der Fokus jedoch auf die Kollisionsvermeidung, Bahnplanung und Steuerung sowie Kooperationsplanung gelegt werden und Ergebnisse aus anderen Projekten für die eigentliche Perzeption herangezogen werden.

1.2 Voraussetzungen

Der Lehrstuhl Robotersysteme des Fachbereichs Informatik wird von Prof. Berns geleitet, der in Personalunion auch Sprecher des Zentrums für Nutzfahrzeugtechnologie war. Der Lehrstuhl Robotersysteme erforscht die Realisierung komplexer autonomer Roboter, wie radgetriebene Indoor- und Outdoor-Fahrzeuge und Kletterroboter. Um die Komplexität der Systeme zu beherrschen, wurden in den letzten Jahren Werkzeuge zum Aufbau von eingebetteten Systemen und zur Entwicklung von komplexen, verhaltensbasierten Steuerungssystemen realisiert. Mit dem Roboterframework Finroc wurde darüber hinaus eine sehr leistungsfähige Middleware entwickelt, die die Implementierung von sicheren und zuverlässigen Robotersteuerungen unterstützt. Durch die Mitgliedschaft des Lehrstuhls Robotersysteme im Landesschwerpunkt „Zentrum für Nutzfahrzeugtechnologie“ (ZNT) der TU Kaiserslautern fließen darüber hinaus weitere Grundlagenforschungsergebnisse im Bereich der Nutzfahrzeuge in das Projekt mit ein. Im Bereich der Outdoor-Robotik bestehen zahlreiche Kooperationen mit Nutzfahrzeugherstellern wie John Deere und Volvo, bei denen Assistenzsysteme zum autonomen Verrichten verschiedenster Aufgaben erforscht und entwickelt werden. In diesem Umfeld wurde beispielsweise ein Bagger automatisiert, um typische Grabe- und Ladeprozesse selbstständig durchführen zu können. In einem EU Rescue-Projekt wurde ein 4t schweres Fahrzeug mit Multifunktions-Arm aufgebaut, um Lokalisations- und Navigationsprobleme in Katastrophenszenarien zu untersuchen. Am Beispiel eines Müllfahrzeugs wird derzeit ein Konzept zur zuverlässigen Umwelterkennung unter verschiedenen Wetterbedingungen entwickelt. Erste Ansätze zur Steuerung kooperierender Fahrzeuge werden in einem vom Wirtschaftsministerium Rheinland-Pfalz unterstützten Projekt in einer Simulationsumgebung untersucht. Ein Hauptforschungsfeld des Lehrstuhls Robotersysteme liegt in der Lokalisierung, der Kartenerstellung und Umweltperzeption sowie Lösungen für die Navigation in unstrukturiertem Gelände.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Für das Projekt war eine Aufteilung der geplanten Arbeiten in sieben Arbeitspakete vorgesehen. Das Zusammenspiel der Arbeitspakete ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

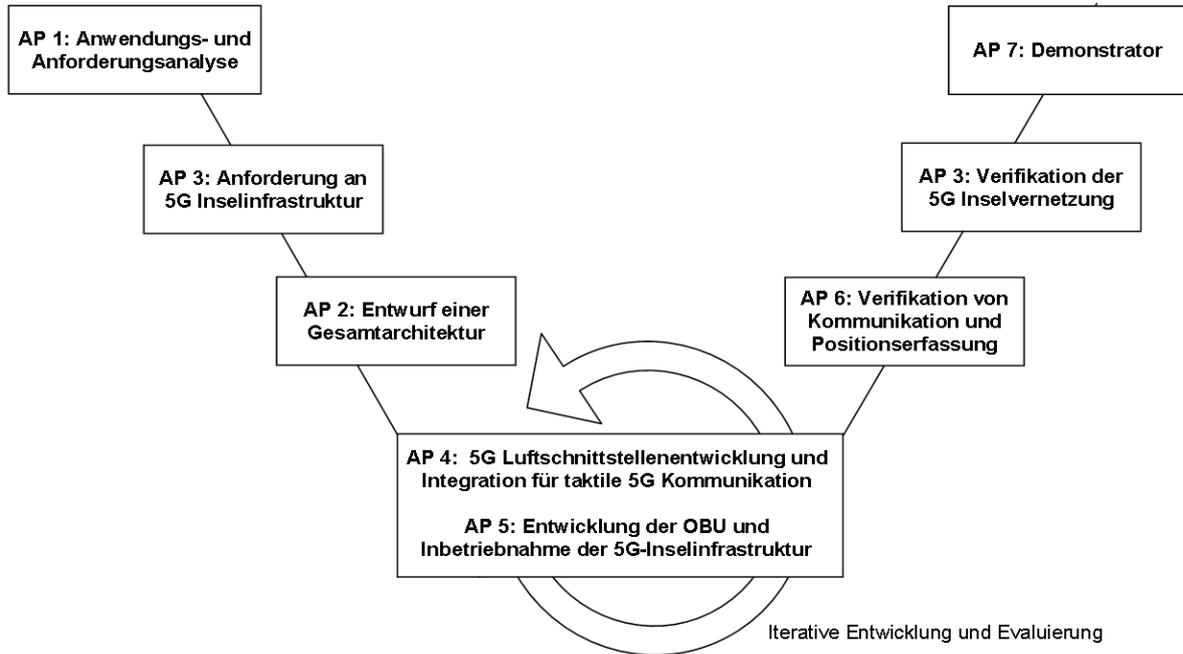


Abbildung 3: Arbeitsplan

Im Laufe des Projekts waren 7 große Konsortialtreffen sowie zusätzlich Treffen geplant. Die zusätzlichen Treffen werden bilateral oder innerhalb der Untergruppen stattfinden und sind im Besonderen für die Phase der Implementierung vorgesehen. Nachfolgend werden die einzelnen Arbeitspakete inklusive ihrer Tasks, wechselseitigen Abhängigkeiten, der Schwerpunkte der Partner, der Ressourcenallokation und den Ergebnissen genauer beschrieben.

	Jahr 1				Jahr 2				Jahr 3			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
AP 0: Management und Liaisons, Zusammenarbeit mit anderen Projekten												
a. Management des Projektes (Kontakt zu BMBF und Projektträger, Organisation der Workshops und Telefonkonferenzen, des Projekt-Wikis und der -homepage, Editierung von White-Papern, usw.)												
b. Liaisons zu externen Stakeholdern (z.B. Industrieforen)												
c. Kooperation mit anderen Projekten												
AP 1: Anwendungs- und Anforderungsanalyse aus relevanten Anwendungsfällen												
a. Identifikation, Analyse und Klassifikation relevanter Anwendungsfälle und möglicher Autonomisierungsansätze												
b. Spezifikation der Anwendungsanforderungen und resultierenden Fähigkeitsanforderungen an die Vernetzung												
c. Clustering und Spezifikation der notwendigen Netzwerkfunktionalitäten und –performanz												
d. Spezifikation einer Methodik zur Validierung der Projektergebnisse, Definition quantitativer KPIs												
e. Spezifikation des Demonstrator-Szenarios												
AP 2: Entwurf eines Gesamtarchitekturmodells												
a. Analyse bereits definierter Architekturmodelle, Funktionalitäten und „Quality of Service“ Konzepte für Industrie 4.0 und 5G												
b. Identifikation der Funktionalitäten sowie zusätzlicher Funktionen und Schnittstellen sowie Abschätzung der benötigten Performanz												
c. Spezifikation eines Gesamtarchitekturmodells für die infrastrukturloses 5G-Kommunikation und Positionierung												
d. Spezifikation der benötigten Schnittstellen und neuartigen Funktionalitäten												
AP 3: Infrastrukturlose 5G Inseln												
a. Entwicklung und Spezifikation eines 5G Insel Konzepts mit Identifikation aller benötigten Netzwerkfunktionen												
b. Dienstperspektive - Entwicklung der Netzwerkfunktionen und des Plattformkonzepts, die für die AMM-COA spezifische Dienstunterstützung benötigt werden (inkl. Dienste-Terminierung in 5G Inseln)												
c. Netzwerkperspektive – Entwicklung und Spezifikation der Netzwerkfunktionen und Algorithmen (außer AI, RRM und Lokalisierung), die für die Konfiguration, die autonome Kontrolle, die dynamische Rekonfiguration und das Management der Vernetzung benötigt werden.												
d. Entwicklung und Spezifikation der Netzwerkfunktionen und Schnittstellen, die für die Einbindung in (5G) Weitverkehrsnetze und Network Slicing benötigt werden												
AP 4: 5G Luftschnittstellenentwicklung und Integration für taktile 5G Kommunikation												
a. Evaluierung schon diskutierter 5G Luftschnittstellenvarianten												

Schaffung der Voraussetzungen für eine Autonomie an der Maschine

Eine Voraussetzung für die Autonomie ist die Umfelderkennung und -interpretation. Hierfür wird zusätzlich notwendige Sensorik spezifizieren und in der Maschine implementieren, sowie alle weiteren Hard- und Softwareschnittstellen zwischen der Maschine, OBU und weiteren Aufbauten geschaffen. Das Ergebnis ist eine digital ansteuerbare Baumaschine, die für einen autonomen Einsatz vorgerüstet ist.

Erforschung und Implementation der konkreten Autonomie für den Anwendungsfall

Die Erforschung und Implementation der Autonomie gliedert sich in mehrere teilabhängige Unteraufgaben.

a) Kommunikation und Fusion lokaler Karten

Es wird die Implikationen der 5G Kommunikation auf die Erstellung, den Austausch und die Fusion von lokalen Karten untersucht, welche als Grundlage für die Navigation dienen. Dazu werden unterschiedliche Arten von Karten betrachtet sowie verschiedene Skalierungen und Abstraktionsebenen um die zur Verfügung stehende Bandbreite möglichst sinnvoll zu nutzen. Des Weiteren sollen Qualitätsinformationen integriert werden, um eine geeignete Fusion unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Ansichten der verschiedenen Baumaschinen zu entwickeln. Für die benötigte Interpretation der Sensorwerte zur Umweltperzeption wird auf bereits vorhandene Ergebnisse aus anderen Projekten zurückgegriffen.

b) Kollisionsvermeidungsstrategien

Des Weiteren werden Kollisionsvermeidungsstrategien unter Verwendung der Echtzeitkommunikation sowie lokalen Fallbackmöglichkeiten entwickelt. Dazu sollen unterschiedliche Sensoren für die Erfassung der benötigten Abstandsdaten genutzt werden. Die Kommunikation von Positionen und möglichen Trajektorien der Baumaschinen im Verbund soll optimale Ausweichstrategien ermöglichen. Da während der kooperativen Aufgabenerfüllung bestimmte relative Anordnungen bzw. Trajektorien zwischen den Teilnehmenden Baumaschinen eingehalten werden müssen sollen diese Randbedingungen in die Kollisionsvermeidung integriert werden

c) Autonome Navigation

Auf den Kollisionsvermeidungsstrategien aufbauend wird als Grundlage für die anwendungsbezogene autonome Kooperation ggf. heterogener Maschinenverbunde eine autonome Navigation entwickelt, welche die Bahnplanung und Steuerung einzelner Maschinen umfasst. Dafür müssen Bewegungsmodelle für die Maschinenverbände entwickelt werden, welche die unterschiedlichen Funktionalitäten und Eigenschaften der einzelnen Fahrzeuge berücksichtigt.

d) Steuerungskonzept zur kooperativen Aufgabenerfüllung

Essentieller Bestandteil dieser kooperativen autonomen Aufgabenerfüllung ist die Planung und Implementation des Steuerungskonzeptes für die Kooperation. Hierzu soll eine aufgabenorientierte Planungsarchitektur entwickelt werden, die unterschiedliche Rollen und Gruppierungen unterstützt und damit ein hohes Maß an Erweiterbarkeit und Flexibilität ermöglicht. Die grundlegenden zu entwickelnden Algorithmen können generisch für 5G Autonomie-Anwendungen implementiert werden. Nur die konkret anwendungsbezogene Maschinenkooperation muss speziell auf das Demonstratorszenario angepasst werden.

e) Durchführung der Demonstration und abschließende Evaluation

Die genannten Teilaspekte der Gesamtimplementation werden dokumentiert und evaluiert, sowie Handlungsempfehlungen für die Weiterentwicklung des 5G Konzepts und der Positionserfassung abgeleitet.

Anhand eines Straßenfertigungsszenarios werden die oben genannten Teilaspekte ausführlich evaluiert. Die in der Simulation getesteten Algorithmen und Steuerungsansätze werden unter realen Einsatzbedingungen am Beispiel von 2 Straßenwalzen erprobt. Besonderes Augenmerk soll auf eine adäquate Reaktion bei Störungen, sowie die Genauigkeit und Effizienz der Kooperation gelegt werden.

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Projektbeginn

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 [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 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 nebenherfahrenden 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].



Eine detaillierte Liste der verwendeten Verfahren und Fachliteratur, einschließlich einer thematischen Einordnung kann in den in Kapitel 7 genannten Veröffentlichungen nachgelesen werden.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen im Laufe des Projektes

Im Laufe des Projektes wurde, neben der Zusammenarbeit mit den Konsortialpartnern, eng mit der „Zentrale Abfallwirtschaft Kaiserslautern - gemeinsame kommunale Anstalt der Stadt und des Landkreises Kaiserslautern (ZAK)“, welche als ein potentieller Endanwender der erforschten Lösungen identifiziert wurde zusammengearbeitet. Insbesondere für das Straßenfertigungsszenario wurde hier ein Testareal zur Verfügung gestellt.

2 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse im Vergleich zur Planung

2.1 Anwendungs- und Anforderungsanalyse aus relevanten Anwendungsfällen (AP1)

Im Rahmen von AP1.a wurde zusammen mit den Projektpartnern die Identifikation, Analyse und Klassifikation relevanter Anwendungsfälle und möglicher Autonomisierungsansätze erarbeitet. Es wurden 3 typische Szenarien im Asphaltbau beschrieben sowie die Anforderungen an die Positionierung und Datenübertragung spezifiziert. Das erste Szenario beschreibt die autonome Rückwärtsfahrt. Die Walze fährt während der Verdichtungsfahrt einzelne Bahnen in Richtung des Fertigers, reversiert, und fährt dieselbe Bahn zurück. Diese einfache Fahrt kann mit Hilfe aufgenommener Positionen z.B. aus GPS Daten sowie visueller Odometrie erfolgen und erlaubt so einen technischen Durchstich zur Validierung wichtiger Teilaspekte wie Lokalisation, Ansteuerung der Maschine sowie kinematisches und dynamisches Modell. Szenario 2 beschreibt die Autonome Hauptverdichtung, in der mehrere Walzen koordiniert fahren um eine optimale Dichte herzustellen. Dazu stellt der Fertiger Informationen über die eingebaute Straße zur Verfügung, welche als Grundlage für die Planung der Walzenschemata dienen. Außerdem kommunizieren die Walzen ihre aktuellen Zustände sowie geplante Aktivitäten zur Koordination. Durch die Bereitstellung all dieser Daten wird nicht nur die Sicherheit auf der Baustelle erhöht, sondern auch eine bessere Protokollierung und höhere Effizienz und damit Qualität des Straßenbaus ermöglicht. Das dritte Szenario beschreibt das autonome Kantenandrücken. Unbefestigte Ränder müssen angedrückt werden um Wassereindringen zu verhindern. Hierzu muss die Walze die Kante erkennen und mit dem Kanten-Schneide-Gerät eine vorgegebene Strecke abfahren. Die Nebenbedingungen für die einzelnen Szenarien sowie die Bewertungsmatrix sind in der Tabelle in Anhang 5.1 angegeben.

Außerdem wurden verschiedene Sensor- und Rechnersysteme verglichen und auf Eignung für die ermittelten Szenarien überprüft. Entsprechend wurde mit Hilfe der Simulationsumgebung eine passende Sensorkonfiguration und Positionierung festgelegt.

2.2 Entwurf eines Gesamtarchitekturmodells (AP2)

Basierend auf den ermittelten Anwendungsfällen aus AP 1 wurde eine Spezifikation des Gesamtarchitekturmodells der Autonomie-Steuerung sowohl auf Hardware-, als auch auf Softwareebene erstellt. Dazu wurden sowohl die Schnittstellen zu den ermittelten Sensorsystemen spezifiziert, als auch Hardwareanforderungen zur Auswertung der Sensordaten und Berechnung der Steuerungsalgorithmen. Im Folgenden wird die Architektur auf den unterschiedlichen Abstraktionsebenen angefangen mit der Schwarmebene über die Maschinenebene bis runter zur Komponentenebene beschrieben:

Schwarmebene

Die Steuerungssoftware im Schwarm ist so strukturiert, dass auf dem Embedded PC jedes Fahrzeugs eine Instanz läuft. Die Software auf einem Embedded PC übernimmt dabei die Rolle des Koordinators. Im Fall des Straßenfertigungsszenarios ist der Koordinator PC bspw. auf dem Fertiger installiert worden. Die Aufgabe des Koordinators ist es, den einzelnen Steuerungen ihre Aufgabe im Schwarm zuzuweisen. Die einzelnen Teilnehmer führen die Aufgaben unabhängig vom Koordinator auf und senden gemessene Daten an den Koordinator. Der Koordinator aktualisiert anhand der Daten der Walzen das Straßenmodell. Ein Beispiel einer solchen Struktur ist in Abbildung 5: Struktur der Steuerungssoftware dargestellt. Dieses zeigt die Struktur für fünf Embedded PCs. Das Ganze ist so ausgelegt, dass Steuerungen beliebig dynamisch hinzugefügt oder weggenommen werden können. Um dies dementsprechend umzusetzen, wurde das Robotikframework finroc® um entsprechende Funktionalitäten erweitert.

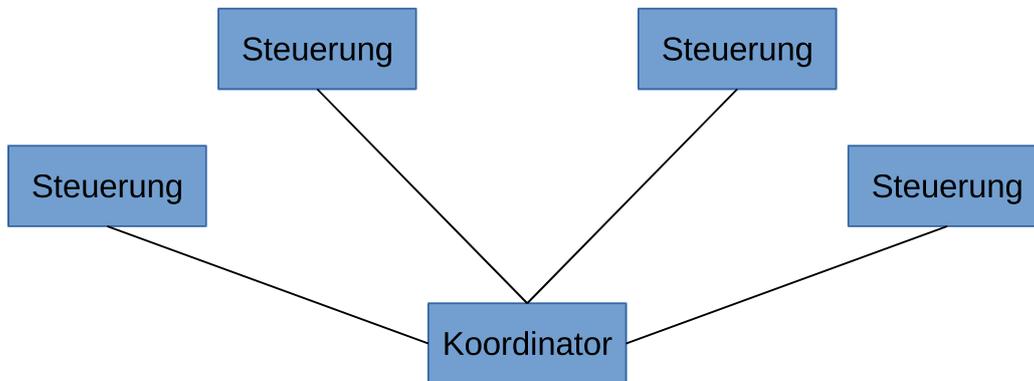


Abbildung 5: Struktur der Steuerungssoftware

Maschinenebene

Die geplante Software Struktur auf Maschinenebene, d.h. die Struktur der Software, die auf einem Embedded PC läuft, ist in Abbildung 6: Software Struktur auf Maschinenebene dargestellt. Die „WLAN“ Komponente ist dabei schraffiert, da sie lediglich dem Testen dienen sollte und im späteren Projektverlauf durch die Lokalisierungsdaten der OBU ersetzt werden sollte. Die beiden dargestellten „Parts“ repräsentieren eigenständig laufende Softwarekomponenten, die so ausgelegt sind, dass „Part A“ für aufwendige Berechnungen in Bezug auf Verarbeitung der Umweltsensoren, sowie der Planung genutzt wird. „Part B“ ist hingegen so effizient und ressourcenschonend ausgelegt, dass er nach Projektende auf eine kostengünstige Embedded Hardware portiert werden kann. Dabei soll er die grundlegende Maschinensteuerung sowie das Protokollieren der Arbeitsschritte übernehmen können. Im weiteren Projektverlauf werden auch Aspekte der Planung in diesen Part portiert.

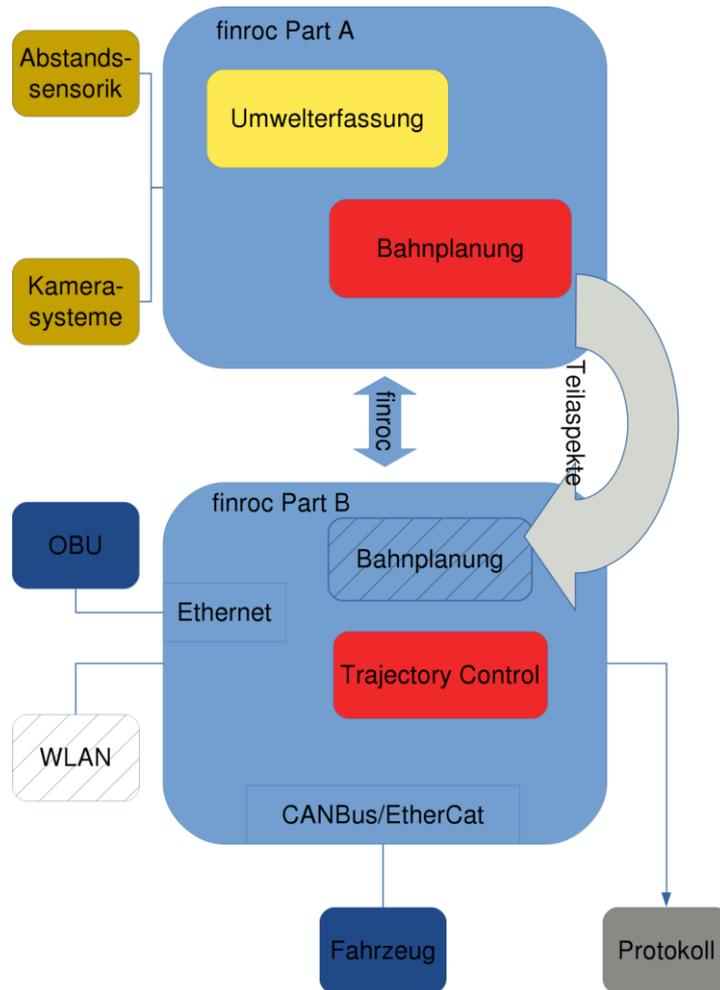


Abbildung 6: Software Struktur auf Maschinenebene

Komponentenebene

Die Software Struktur auf Komponentenebene ist in Abbildung 7: Software Struktur auf Komponentenebene dargestellt. Das Gesamtsystem unterteilt sich in die folgenden Funktionsaspekte:

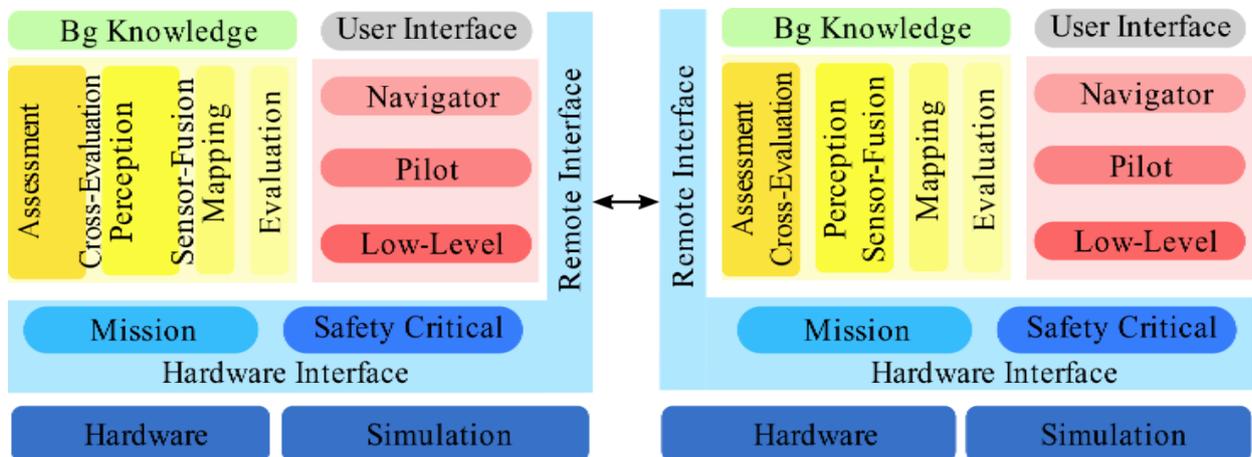


Abbildung 7: Software Struktur auf Komponentenebene

- Hardware Abstraktion: setzt die zur Verfügung gestellten Schnittstellen der Arbeitsmaschine sowie der OBU in für das Software Framework Finroc nutzbare Datenports um.
- Fail-Safe: Unterste Sicherheitsschicht, die hardwarenah eine reaktive Kollisionsvermeidung implementiert sowie die eine rudimentäre Zustandsüberwachung des Gesamtsystems mit geeigneten Maßnahmen zur Schadensreduktion und – Vermeidung zur Verfügung stellt.
- Perzeption: Umfelderkennung unter Berücksichtigung von Qualitätsinformationen zu den aufgenommenen Sensordaten. Führt unterschiedliche Bewertungen der Sensordaten basierend auf zeitlicher Plausibilitätsprüfung sowie Kreuzvalidierung mit unterschiedlichen Sensorsystemen durch um eine Einschätzung der Qualität zu liefern. Des Weiteren werden hier Sensorfusion sowie Kartierung und die Befahrbarkeitsanalyse bzw. Hinderniserkennung durchgeführt. Dabei wird eine Wissensbasis in Form von Karten angelegt, welche mit Hilfe der 5G Kommunikation zwischen den Fahrzeugen ausgetauscht werden können.
- Steuerung: Die Steuerung unterteilt sich in 3 Hierarchieebenen. Die unterste Ebene (Low-Level) behandelt weitere Sicherheitsaspekte in reaktiver Form. Im Unterschied zur Fail-Safe Komponente werden hier jedoch auf stärker verarbeitete Informationen aus dem Perzeptionssystem zurückgegriffen. Dadurch werden aus dem Arbeitsprozess heraus sinnvollere Reaktionen auf kritische Ereignisse ermöglicht. Die „Pilot“ Ebene führt die Pläne aus, die von der „Navigator“ Ebene erstellt werden. Die „Pilot“ Ebene implementiert dafür unter anderem Steuerungen zur gezielten Punktanfahrt und das Abfahren von vorgegebenen Trajektorien. Ein Hauptaspekt der Steuerung ist im Rahmen dieses Projektes die „Navigator“ Ebene, welche für die Koordination der Verbundfahrzeuge zuständig ist. Hier findet die Aufgabengenerierung, Verteilung, und Überwachung statt.
- Hintergrundwissen: Die Kartengenerierung sowie die Aufgabenplanung kann durch Hintergrundwissen wie z.B. öffentliche Karten, aber auch Modelle der Arbeitsmaschinen unterstützt werden.
- Benutzerschnittstelle: Um die Ausführung und den internen Zustand der Maschine und des Steuerungssystems überwachen zu können wird eine Benutzerschnittstelle implementiert, die neben der Überwachung auch das aktive Eingreifen ermöglicht.

Um eine bessere Unterstützung der Kommunikation, welche im Fokus dieses Projektes liegt, zu erzielen wurde das Hardware Interface um ein Remote Interface erweitert, welches die eigentliche Kommunikation kapselt und so eine nahtlose Integration in alle Steuerungs- und Perzeptionsebenen erlaubt.

2.3 Infrastrukturlose 5G Inseln (AP3)

An diesem Arbeitspaket hat der Lehrstuhl für Robotersysteme nicht direkt mitgewirkt. Synergien und Einflüsse auf andere APs sind dort eingeflossen.

2.4 5G Luftschnittstellenentwicklung und Integration für taktile 5G Kommunikation (AP4)

An diesem Arbeitspaket hat der Lehrstuhl für Robotersysteme nicht direkt mitgewirkt. Synergien und Einflüsse auf andere APs sind dort eingeflossen.

2.5 Entwicklung der OBU und Inbetriebnahme der infrastrukturlosen 5G-Insel (AP5)

An diesem Arbeitspaket hat der Lehrstuhl für Robotersysteme nicht direkt mitgewirkt. Synergien und Einflüsse auf andere APs sind dort eingeflossen.

2.6 Verifikation der Performance von Kommunikation und Positionserfassung (AP6)

An diesem Arbeitspaket hat der Lehrstuhl für Robotersysteme nicht direkt mitgewirkt. Synergien und Einflüsse auf andere APs sind dort eingeflossen.

2.7 Demonstrator für das autonome, vernetzte, kooperative Arbeiten (AP7)

Im Rahmen von AP7.a (Implementation einer Simulationsumgebung für die Entwicklung autonomer mobiler Nutzfahrzeuge) wurde auf Basis der Unreal Game Engine¹ sowie dem Finroc² Robot Control Framework eine Simulationsumgebung zur Unterstützung der Entwicklung der autonomen Steuerung erstellt. Dabei wurde neben der detaillierten kinematischen und dynamischen Modellierung der Arbeitsmaschinen eine realitätsnahe virtuelle Abbildung von Teilen der B10 erstellt und mit Aufzeichnungen einer realen Baustelle validiert.



Abbildung 8: Simulation B10 - Fertiger

¹<https://www.unrealengine.com/en-US/what-is-unreal-engine-4>

²<https://www.finroc.org>



Abbildung 9: Simulation B10 - Tandemwalzen

Zur Schaffung der Voraussetzungen für eine Autonomie an der Maschine wurden im Rahmen von AP7.b zwei unterschiedliche Walzen der Typen BW 154 AP-4 AM und BW 174 AP-4 AM von und mit dem Projektpartner BOMAG mit den in AP1 festgelegten Sensorsystemen ausgerüstet. Außerdem wurden die Walzen in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Robot Makers an den Steuerungsrechner angebunden und eine Schnittstelle an das Softwareframework geschaffen.

Als Sensoren für die Umgebungs- und Hinderniserkennung kommen hier jeweils zwei Intel Realsense ZR300 Stereo Kameras für den Nahbereich bis 10m, eine Stereolabs ZED Stereokamera mit größerer Baseline für den Fernbereich bis 25m, sowie 4 Laserscanner vom Typ SICK TIM 561, welche als Sicherheitssensoren dienen und virtuelle Bumper realisieren, zum Einsatz. Die Lokalisation wird mit Hilfe eines hochgenauen RTK-GPS durchgeführt und durch weitere Verfahren wie Odometrie, visuelle Odometrie durch die Stereokameras und eine IMU unterstützt. Als Rechnersystem wurde ein leistungsfähiger embedded PC für den rauen Industrieinsatz ausgewählt, der auf der einen Seite genug Leistung für die komplexen Algorithmen hat, auf der anderen Seite aber auch robust genug ist um mit den starken Temperaturschwankungen und Vibrationen zurecht zu kommen.



Abbildung 10: Sensorik Odometrie (Oben), Laserscanner (Unten links) Stereokamera (Unten rechts)

Da während des Projekts noch keine Prototypen des 5G Kommunikations- und Lokalisationssystems zur Verfügung stehen wurde die Kommunikation in der Entwicklungszeit mit ASUS RT-AC5300 802.11ac WLAN-Routern realisiert. Diese deckt nur den Nahbereich ab, reicht jedoch aus um die Kommunikation in den Testszenarien zu bewerkstelligen.

Um die Sicherheit während der Entwicklung und Demonstrationen gewährleisten zu können wurde ein Funknotaussystem der Firma GrossFunk installiert und von BOMAG entsprechend in die Maschinensteuerung eingebunden.

Damit sind die Arbeitspakete 7.a und 7.b fristgerecht abgeschlossen worden.



Abbildung 11: Montage Hardware (Fernsteuerungseinheit)



Abbildung 12: Montage Hardware (Recheneinheiten und Netzwerklösung)



Abbildung 13: Evaluation: Notstop

Im Rahmen von AP7.c (Erforschung und Implementierung der konkreten Autonomie an der Maschine wurden folgende Teilaspekte bearbeitet:

7.c.1: Die übertragungsratenangepasste Kommunikation von Sensordaten und lokalen Karten wurde entwickelt und die Ergebnisse veröffentlicht.

7.c.2: Es wurden verschiedene Kollisionsvermeidungsstrategien entwickelt, die abhängig vom Zustand der Maschine in dem aktuellen Arbeitsprozess eine sichere Navigation ohne Gefährdung des Prozesses ermöglicht. Die Forschungs- und Entwicklungsergebnisse wurden im Rahmen einer wissenschaftlichen Konferenz veröffentlicht. Es wurden reaktive Sicherheitsverhalten in das System eingebettet. Darüber hinaus wurden auf höheren Steuerungsebenen kartenbasierte Kollisionsvermeidungsstrategien entwickelt, die basierend auf der Fahrzeugkinematik und Dynamik sichere Trajektorien evaluieren.

7.c.4: Um die heterogenen Fahrzeuge aufgabengerecht einsetzen zu können und eine möglichst effiziente Bearbeitung der anstehenden Aufgaben zu ermöglichen wurde eine aufgabenorientierte Planungsarchitektur entwickelt. Dabei dient ein Straßenfertiger als Führungsfahrzeug, welches basierend auf den gefertigten Abschnitten verschiedene Aufgaben wie Verdichten, Kantenandrücken, usw. erstellt. Dabei werden auch Prioritäten der Aufgaben basierend auf der geschätzten Asphalttemperatur, dem aktuellen Verdichtungsstand und Abhängigkeiten zwischen den Aufgaben ermittelt. Aufgrund der unterschiedlichen Bauweise und Ausstattung der Walzen, aber auch verschiedener Füllstände der Wasser- und Treibstofftanks eignet sich nicht jede Walze gleich gut für bestimmte Aufgaben. Daher erstellt jede frei verfügbare Walze (idle) eine Abschätzung wie gut sie für die aktuellen Tasks geeignet ist und bewirbt sich damit beim Fertiger. Der Fertiger verteilt dementsprechend die Aufgaben. Beim Erstellen der Fahrzeugarchitektur wurde berücksichtigt, dass je nach Szenario die Anzahl der Fertiger und Walzen variieren kann. Dadurch ist die Verwendung der Planungsarchitektur unabhängig von der Flottengröße möglich. Die Ergebnisse wurden zur Veröffentlichung auf einer Konferenz eingereicht und

veröffentlicht. Die zuvor entwickelten Kollisionsvermeidungsstrategien wurden in die Aufgabenbearbeitung integriert.

Das gesamte Konzept wurde bezüglich der zuvor in AP 1a spezifizierten Anwendungsfällen betrachtet. Für die drei Szenarien „autonome Rückwärtsfahrt“, „autonome Hauptverdichtung“ und „autonomes Kantenandrücken“ wurden die Steuerungskonzepte realisiert und in der Simulation getestet. In Scenario 2 wurden zusätzlich zu den Verdichtungsaufgaben weitere Aufgaben zur Betankung der Walzen mit Kraftstoff und Wasser hinzugefügt. Hierfür werden die aktuellen Füllstände überwacht und die Walzen fahren bei Bedarf an eine Nachfüllstation, deren Position vordefiniert ist. Außerdem wurde die Einstellung des Vibrationsmodus und der Berieselungsanlage automatisiert. Diese werden je nach gemessenen Straßeneigenschaften eingestellt. Die resultierenden Trajektorien und der erreichten Verdichtungswerte wurde anhand von Szenarien mit unterschiedlichen Straßenbreiten und Fahrzeugflotten evaluiert und im Rahmen einer wissenschaftlichen Konferenz veröffentlicht.

Abschlussdemonstration

Auf der Abschlussdemonstration wurden Scenario 1 „autonome Rückwärtsfahrt“ und Scenario 2 „autonome Hauptverdichtung“ auf den zwei autonomen Walzen präsentiert. Da die Demonstration unter einem Hallendach stattgefunden hat, war es nicht möglich die Lokalisation über die dafür vorgesehenen GNSS Systeme zu machen. Stattdessen wurden auf den Walzen jeweils ein Velodyne Lidar Sensor installiert und die Lokalisation anhand eines ICP Algorithmus (Iterative Closest Point) realisiert.



Abbildung 14: Abschlussdemo Szenario 1 "Autonome Rückwärtsfahrt"



Abbildung 15: Abschlussdemo Scenario 2 "Autonome Hauptverdichtung"

3 Wichtigste Positionen der zahlenmäßigen Nachweise

Das RRLAB war im Rahmen des Projektes für die Implementierung unterschiedlicher Kollisionsvermeidungsstrategien, und autonomer Steuerungsalgorithmen, der Entwicklung eines Steuerungskonzeptes sowie einer Simulationsumgebung, und am Aufbau der Straßenbaudemonstratoren beteiligt. Daher ist der Großteil der Projektgelder in Personal geflossen (über 90%). Die restlichen Beträge wurden für Hardware für die Demonstratoren und geringfügig als Reisemittel investiert.

4 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Durch die Förderung des AMMCOA Projektes durch das BMBF war es möglich, sich intensiv mit der Untersuchung von Konzepten für eine autonome Steuerung und Kollisionsvermeidungsstrategien von Baumaschinen zu beschäftigen. Dadurch konnte dieser Forschungsbereich ausgebaut, neue Ansätze untersucht und weiterentwickelt sowie Software-Werkzeuge erstellt werden, die die Grundlagen für weitere Forschungsaktivitäten bilden. Darüber hinaus wurden innovative Kooperationstrategien für Baumaschinen untersucht, was als Basis für ähnliche Forschungsvorhaben dient. Ohne die bereitgestellten Mittel wäre dies nicht möglich.

5 Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Alle vom RRLAB durchgeführten Forschungsarbeiten wurden in Kooperation mit dem Projektkonsortium und besonders eng mit der BOMAG GmbH und der Robot Makers GmbH durchgeführt. Die hierbei entwickelten System- und Softwarekomponenten wurden direkt in die Prototypen, teilweise seriennahe Produkte, der beteiligten Firmen integriert. Da die Firmen eine Umsetzung dieser Ergebnisse in weitere Produktentwicklung, für die bereits ein großes Marktpotential besteht, geplant haben, ist ein wirtschaftlicher Erfolg absehbar. Dadurch tragen unsere Forschungsarbeiten indirekt auch zu einem wirtschaftlichen Erfolg bei.

Die vom RRLAB durchgeführten Forschungsarbeiten, die sich im Wesentlichen auf die Gebiete der autonomen Steuerung konzentriert haben, haben sowohl neue Methoden als auch innovative technische Lösungen hervorgebracht. Dies zeigt sich u.a. an der Vielzahl von Veröffentlichungen, die im Rahmen des AMMCOA Projektes vom RRLAB durchgeführt wurden. Beispielsweise konnten allgemein auf Nutzfahrzeug übertragbare verhaltensbasierte Steuerungskonzepte entwickelt werden, die mit den besten der Forschung vergleichbar sind. Konzepte dieser Art haben den Vorteil, dass auf spontane Störungen reagiert werden kann. Die Reaktion erfolgt durch zeitgleich ablaufenden konkurrierende Verhalten ähnlich wie des bei einem Menschen passiert. Eine übertragbare Form ermöglicht eine Validierung in verschiedenen Anwendungsszenarien, was unabdingbar für eine Implementierung in Serie und einer damit einhergehenden Lizenzierung ist.

Die entwickelten Steuerungskonzepte wurden mittlerweile auch in anderen Forschungsprojekten verwandt, bei denen ähnliche Fragestellungen wie im AMMCOA Projekt behandelt werden. Der große wissenschaftliche Erfolg zeigt sich auch darin, dass im Rahmen des AMMCOA Projektes bezüglich der Validierung von Steuerungskonzepten eine Promotion abgeschlossen wurde (Dr. Thorsten Ropertz), und eine Promotion zu Verfahren der biologisch motivierten Perzeption kurz vor dem Abschluss steht. Die wissenschaftlichen Ergebnisse sind auch für unterschiedliche Lehrveranstaltungen aufbereitet worden, wie in die Vorlesungen „Grundlagen der Robotik“ und „Autonome mobile Systeme“ sowie in unserem Masterprojekt „Service Robots and Assistance Systems“. Dadurch werden die Ergebnisse auch in den wissenschaftlichen Nachwuchs transferiert.

6 Fortschritt bei anderen Stellen

Im RRLAB wurden seit Projektstart vier weitere Verbundprojekte, davon 3 mit Industriebeteiligung, eingeworben, bei denen die wissenschaftlichen Ergebnisse des AMMCOA Projektes einfließen und weiter untersucht und verbessert werden sollen. Im Projekt Experimentierfeld Südwest, das am 03.09.2020 gestartet ist, sowie im Projekt NaLamKI (Nachhaltige Landwirtschaft mittels KI), das zum 01.01.2021 gestartet ist werden Automatisierungsaspekte im Gemüse-, Obst-, und Weinbau untersucht. Eine Digitalisierung, was eine Voraussetzung für eine Automatisierung, von Infrastrukturbauvorhaben ist, wird im Infra-Bau 4.0 Projekt, das im Mai 2020 gestartet ist, weiterverfolgt. In der 5G-Modellregion Kaiserslautern das im Herbst 2019 gestartet ist, werden 5G-Anwendung unter Realbedingungen untersucht. Durch die sehr guten Ergebnisse im AMMCOA Projekt konnten weitere Industriepartner wie beispielsweise Zentrale Abfallwirtschaft Kaiserslautern - gemeinsame kommunale Anstalt der Stadt und des Landkreises Kaiserslautern (ZAK) und Daimler AG gewonnen werden, die großes Interesse an der Weiterführung der Arbeiten haben.

7 Veröffentlichungen

7.1 Erfolgte Veröffentlichungen

Die Ergebnisse aus den Arbeitspaketen AP1, AP2, und AP7 bestehend aus den Demonstrationsszenarien, Anforderungen der Szenarien, sowie Architektur zur Lösung der auftretenden Probleme wurden bereits zur Veröffentlichung auf industrienahen wissenschaftlichen Konferenzen eingereicht und angenommen:

T. Ropertz, P. Wolf, K. Berns, J. Hirth, P. Decker: Cooperation and Communication of Autonomous Tandem Rollers in Street Construction Scenarios; 5. Internationales Commercial Vehicle Technology Symposium Kaiserslautern, 2018

K. Berns, P. Wolf, P. Decker: Auf dem Weg zur autonomen Straßenfertigung. Kooperation und Kommunikation von vollautomatisierten Nutzfahrzeugen in der Baustelle von morgen am Beispiel von BOMAG Tandemwalzen;

T. Ropertz, P. Wolf, K. Berns: Behavior-Based Low-Level Control for (Semi-) Autonomous Vehicles in Rough Terrain; Proceedings of ISR 2018: 50th International Symposium on Robotics, VDE VERLAG GMBH, pp. 386--393, 2018, June 20--21, Munich, Germany, ISBN: 978-3-8007-4699-6. in CVC News, vol. 1, pp. 12--15, 2018, Juni

P. Wolf, T. Ropertz, K. Berns, P. Decker: White Paper: High Quality Road Construction using 5G-AMMCOA. Autonomous Mobile Machine Communication for Off-Road Applications; in, pp. 1--7, 2019, February, presented along the 4. International VDI Conference - Connected Off-Highway Machines, 14--15 May, 2019, Düsseldorf, Germany

P. Wolf, T. Ropertz, A. Matheis, K. Berns, P. Decker Distributed Coordination and Task Assignment of Autonomous Tandem Rollers in Road Construction Scenarios; 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2019), pp. 953-960, 2019, May 21--24, Fairmont Banff Springs Hotel, Banff, AB, Canada, DOI: 10.22260/ISARC2019/0127

J. Husemann, P. Wolf, A. Vierling, K. Berns, P. Decker: Towards High-Quality Road Construction: Using Autonomous Tandem Rollers for Asphalt Compaction Optimization; 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2020), pp 90-97, 2020, October 27--28, Kitakyushu, Japan, DOI: 10.22260/ISARC2020/0015

P. Wolf, A. Vierling, J. Husemann, K. Berns, P. Decker: Extending Skills of Autonomous Off-Road Robots on the Example of Behavior-Based Edge Compaction in a Road Construction Scenario; 6. Internationales Commercial Vehicle Technology Symposium Kaiserslautern, 2021

7.2 Geplante Veröffentlichungen

Es sind momentan keine weiteren Veröffentlichungen auf Konferenzen geplant.

8 Literaturverzeichnis

- [1] F. Alcalá und F. 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>,“ [Online].
- [3] „<http://www.trimble.com/Agriculture/vehicle-sync.aspx>,“ [Online].
- [4] „<http://www.omnistar.com/SubscriptionServices/OmniSTARHP.aspx>,“ [Online].
- [5] H. Meyer, Systeme zur leitdrahtlosen Nivellierung von Straßenfertigern, 2002.
- [6] F. Alcalá und J. Lecker, „Mobiles Internet auf dem Ackerschlag: Analyse empirischer Langzeitdaten,“ *GIL Jahrestagung*, 2012.
- [7] H. Essen, D. Nüßler, C. Krebs, H. Schimpf, W. Johannes und A. Wahlen, „Polarimetric millimetre wave SAR for precision farming applications.,“ *Remote Sensing. International Society for Optics and Photonics*, 2010.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Projekt AMMCOA: Autonome Vernetzung und Lokalisierung mobiler Arbeitsmaschinen	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Berns, Karsten Husemann, Jörg Ropertz, Thorsten Vierling, Axel Wolf, Patrick	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.09.2020
	6. Veröffentlichungsdatum geplant
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Technische Universität Kaiserslautern, Gottlieb-Daimler-Str., 67663 Kaiserslautern	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 16KIS0708
	11. Seitenzahl 27
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 7
	14. Tabellen 0
	15. Abbildungen 15
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) VDI/VDE Innovation + Technik GmbH: Projektträger für das Bundesministerium für Bildung und Forschung, Berlin, 31.03.2021	
18. Kurzfassung Die Erhöhung der Autonomie von Nutzfahrzeugen benötigt andere Lösungen wie autonome Fahrzeuge auf der Straße. Insbesondere beim kooperierendem Betrieb von Nutzfahrzeugen. Hauptherausforderungen sind hier die Notwendigkeit eines mobilen 5G-Netzes um eine Datenreiche und sichere Kommunikation zu ermöglichen, sowie Probleme der Lokalisation und Kartierung welche nur mit innovativen Lösungsansätzen behoben werden können. Ziel des Projekts war ein Beitrag zum autonomen kooperierendem Fahren von Nutzfahrzeugen zu leisten. Hierzu wurden entsprechende Kommunikationssysteme, Sensorsysteme und Algorithmen untersucht und entwickelt. Eine Evaluation fand in einer Simulation sowie auf realen Maschinen statt.	
19. Schlagwörter Autonomes Fahren, Nutzfahrzeuge, 5G, Kooperation, Sensorevaluation	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN scheduled	2. type of document (e.g. report, publication) report
3. title Projekt AMMCOA: Autonome Vernetzung und Lokalisierung mobiler Arbeitsmaschinen	
4. author(s) (family name, first name(s)) Berns, Karsten Husemann, Jörg Ropertz, Thorsten Vierling, Axel Wolf, Patrick	5. end of project 30.09.2020
	6. publication date scheduled
	7. form of publication
8. performing organization(s) (name, address) Technische Universität Kaiserslautern, Gottlieb-Daimler-Str., 67663 Kaiserslautern	9. originator's report no.
	10. reference no. 16KIS0708
	11. no. of pages 27
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 7
	14. no. of tables 0
	15. no. of figures 15
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date) VDI/VDE Innovation + Technik GmbH: Projektträger für das Bundesministerium für Bildung und Forschung, Berlin, 31.03.2021	
18. abstract Increasing the level of autonomy of Commercial Vehicles requires different solution approaches as autonomous driving on the street. This becomes especially apparent when cooperation between commercial vehicles is taken into account. One of the main challenges is the necessity of mobile 5G networks to ensure a high bandwidth and robust communication. Another main challenge is the localization and mapping which needs innovative solution approaches which fit the specific needs of the application. The main goal of the project was therefore to make a contribution towards autonomous cooperative driving of commercial vehicles. Communication systems, sensor systems, and algorithms were developed and analyzed. A final evaluation was done in simulation as well as on real machines.	
19. keywords Autonomous Driving, Commercial Vehicles, 5G, Cooperation, Sensor evaluation	
20. publisher	21. price