KARIS PRO – Autonomer Materialtransport für flexible Intralogistik

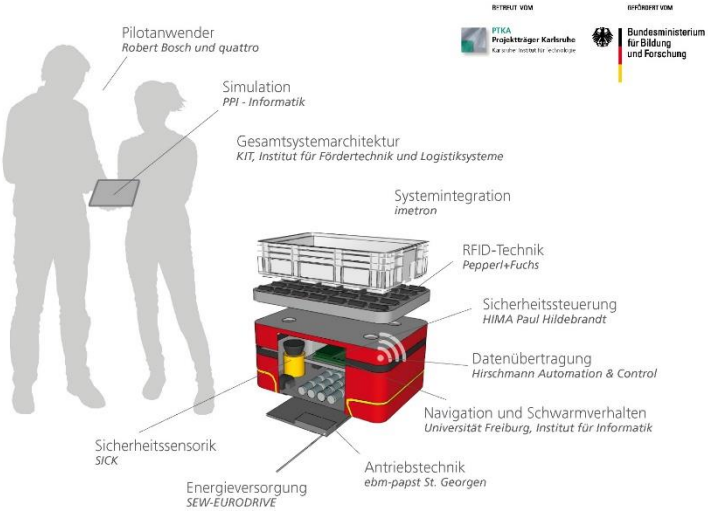
Abschlussbericht des BMBF-Verbundforschungsprojektes

Video zum Projekt:
www.karispro.de

Projektinformationen

Laufzeit: Oktober 2013 bis Ende 2016

Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.



Weiterführende Informationen: www.karispro.de

Projektpartner:

- ebm-papst St. Georgen GmbH & Co. KG
- HIMA Paul Hildebrandt GmbH
- Hirschmann Automation & Control GmbH
- imetron Gesellschaft für industrielle Mechatronik mbH
- Institut für Informatik (IIF), Universität Freiburg
- Pepperl+Fuchs GmbH
- PPI-Informatik – Dr. Prautsch & Partner Ingenieure
- Audi Sport GmbH
- Robert Bosch GmbH
- SEW-Eurodrive GmbH & Co. KG
- Sick AG

Inhalt

Projektinformationen 3

Einleitung 6

Nutzung in Pilotanwendungen: Aus dem Labor in die Industrieumgebung 6

Pilotanwendung bei Bosch in Feuerbach 7

Pilotanwendung bei Audi Sport 10

Systembeschreibung KARIS PRO 13

Ladestationen 13

Multi-Robot-Verhalten / Schwarmintelligenz 14

Dezentrale FTS-Leitsteuerung 16

Auftragsgenerierung 17

Auftragsvergabe 18

Einfache Inbetriebnahme durch „Teach-In“ 19

Simulation 21

KARIS PRO Bausteinbibliothek 21

Das KARIS PRO-Fahrzeug 27

Grundaufbau Mechanik 27

Bauraumkonzept 27

Funktionsmodell mit Komponenten 29

Chassis Detailkonstruktion 29

Designstudie 30

Wechselmodul-System 32

Wechselmodul-Connektor 32

KLT-Transportmodul und Konsolen 33

Rollenförderer-Modul 33

Hubvorrichtung 34
Kinematik 35
Sicherheitsarchitektur 37
Komponenten 39
Sicherheitssteuerung 39
Safety-Laserscanner und Feinpositionierung 40
Lokalisierung und Pfadplanung 44
Softwarearchitektur / Auftragsausführung 47
Energieversorgung 51
Fahr-Lenk-Einheiten mit integrierter Sicherheits-steuerung 52
WLAN-Kommunikation 55
Ladungsträgeridentifikation 58
Zusammenfassung 65

Einleitung

Durch kundenindividuelle Produkte und steigende Variantenvielfalt sind Produktions- und zugehörige Logistikprozesse besonderen Wandlungsanforderungen ausgesetzt: Produktionsanlagen und deren innerbetrieblichen Logistiksysteme müssen schnell und einfach angepasst werden. Heutige Logistik- und Materialflusssysteme sind jedoch überwiegend starr in Layout, Durchsatz und den zu fördernden Ladungsträgern. Ihr Umbau ist sehr zeit- und kostenintensiv und wird bisher überwiegend manuell durchgeführt. Hier setzt KARIS PRO an: Das System soll in der Produktion den Materialtransport bewältigen, sowie in produktionsnahen Bereichen, z. B. im Wareneingang, einsetzbar sein. KARIS PRO begegnet den Herausforderungen durch dezentrale Steuerung und Verfahren zur autonomen Bewältigung von intralogistischen Aufgaben. Das System folgt Plug&Work-Ansatz: es kann schnell und ohne Anpassungen der Infrastruktur direkt vom Kunden in Betrieb genommen werden und ist robust gegenüber Veränderungen in der Umgebung. Als cyber-physisches System der Intralogistik ist KARIS PRO Teil des Zukunftsprojekts „Industrie 4.0“.

Nutzung in Pilotanwendungen: Aus dem Labor in die Industrieumgebung

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde KARIS PRO entwickelt und unter Realbedingungen im Industrieumfeld eingesetzt. Parallel zur Erarbeitung der Pilotszenarien wurde auch das Fahrzeugdesign erarbeitet, wodurch die Anwendungen direkten Einfluss auf die Konzepte von KARIS PRO hatten.

Pilotanwendung bei Bosch in Feuerbach

Na Wang, Hanno Tritschler, Daniel Glinka und Gregor Körkel (Bosch)

Das Robert Bosch Werk Feuerbach ist einer der größten Hersteller von Dieseleinspritzpumpen weltweit. Es handelt sich dabei um eine hocheffiziente Großserienproduktion von hochpräzisen Erzeugnissen unter hohem Kostendruck, bei hoher und weiter zunehmender Varianz an Pumpentypen und Bauteilen. In diesem Umfeld wurde das autonome Transportsystem KARIS PRO getestet und validiert.

Die Use-Cases von autonomen Transportsystemen werden dabei getrieben von den Prinzipien der schlanken Produktion zur Verringerung der gefertigten und transportierten Losgrößen sowie der Erhöhung der An- und Ablieferfrequenzen, ohne dabei hohen personellen Mehraufwand in Kauf nehmen zu müssen.

Als Use-Case für die Pilotanwendung wurden verschiedene Einsatzbereiche im Werk untersucht:

- Transport des Pumpen-Gehäuses von der Gehäusefertigung zur Montagelinie
- Transport von montierten Pumpen zwischen Barriereprüfung und Verpackungsstation.
- Transport von Messteilen (z.B. Gehäuse und Zylinderkopf) zwischen Fertigungsbereich und Messraum

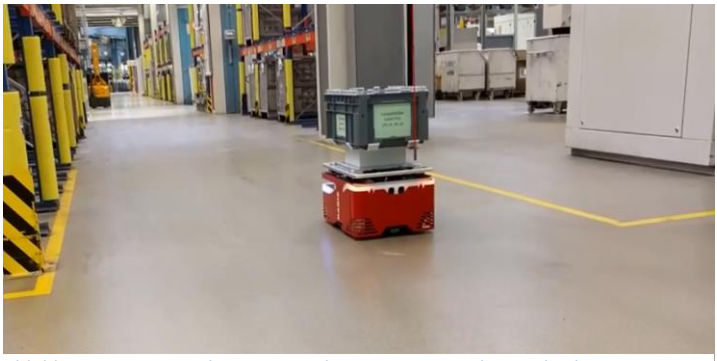


Abbildung 1 KARIS PRO beim Messteiltransport im Werk Feuerbach

Für die Validierung des KARIS PRO Konzeptes wurde die Pilotanwendung des Prozesses Messteiletransport ausgewählt und umgesetzt.

KARIS PRO transportiert dabei Messteile für den Freigabeprozess zwischen den Fertigungsbereichen (Elektrochemische Metallbearbeitung und Gehäusefertigung) und einem Messraum.

In der Gehäusefertigung werden die ersten vier Gehäuse jeder Charge für die Prozessfreigabe in einen Kleinladungsträger verpackt und zur Abholstation gebracht.

Bisher fuhr ein Mitarbeiter nach dem Milkrun-Prinzip nach Fahrplan (eine Fahrt / Stunde), um die Messteile zu transportieren.

Anstatt nach Fahrplan fährt KARIS PRO dagegen nach Bedarf. Sobald die vier Gehäuse bei der Abholstation abgelegt werden, bekommt KARIS PRO ein Signal bzw. einen Auftrag und macht sich mit den Messteilen auf den Weg zum Messraum. Dadurch wird die Wartezeit reduziert und die Messmaschinen gleichmäßig ausgelastet. Zudem können Freigaben schneller erfolgen.

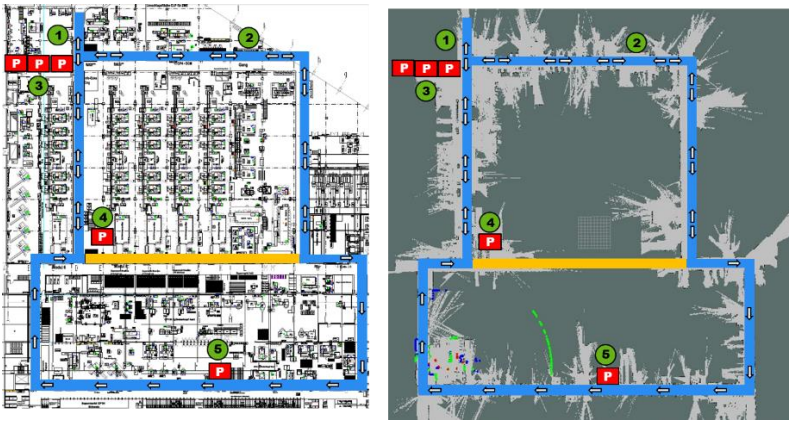


Abbildung 2 Layout (links) und von KARIS PRO erstellte Karte (rechts) mit Ladestationen (P) und Übergabepositionen: (1) Messraum (2...5) Fertigungsbereiche

Große Herausforderungen für KARIS PRO liegen in den fabriküblichen Hindernissen auf Fahrwegen wie z.B. Schnelllauftore, Gefälle oder Dehnfugen. Das muss System verschiedene Verkehrssituationen bzw. -teilnehmer (Kreuzungen, Fahrzeuge, Fußgänger, Fahrräder) rechtzeitig erkennen und darauf reagieren. Zudem muss eine passende Infrastruktur geschaffen werden. Dazu muss nicht nur Energiemanagement und WLAN entlang der Fahrstrecke garantiert sein, sondern auch die Produktionslinie inklusive Peripherie entsprechend angepasst werden. Außerdem muss KARIS PRO schnell und flexibel auf auftretende Störungen reagieren können, nicht nur während der Tagschichten mit vollumfänglich vorhandener Planungs- und Instandhaltungs-Infrastruktur, sondern auch im 3-Schicht-Betrieb und an Wochenenden.

Die Pilotanwendung hat gezeigt, dass das Systemkonzept für den ausgewählten Anwendungsfall geeignet ist. Es konnten eine Vielzahl von Transportzyklen realisiert werden und Anwendungsfälle konnten vergleichsweise schnell und einfach umgeplant werden. Im Rahmen der Validierung wurde die prinzipielle Machbarkeit des Ersatzes des aktuell genutzten fahrplangebundenen Milkruns durch ein flexibles autonomes Transportsystem gezeigt. Für eine intensivere industrielle Nutzung, z. B. Transportrelationen innerhalb einer Großserienfertigung, ist das System ebenso geeignet. Hauptsächliche Herausforderungen stellen hierbei noch die technische Verfügbarkeit und die Reichweite der Akkus dar.

Durch das Projekt konnte das Feuerbacher Werk wertvolle Erfahrungen sammeln, da viele Aspekte der Einführung autonomer Transportsysteme evaluiert und analysiert werden konnten, wie zum Beispiel die Einbindung operativer Mitarbeiter in autonom gesteuerte Prozesse, oder die Herausforderungen bezüglich notwendiger Schnittstellen in einer Großserienfertigung. Dieses Wissen wird im Feuerbacher Werk im Rahmen von weiteren Projekten zur Anwendung gebracht.

Pilotanwendung bei Audi Sport

Johannes Melber und Roman Koch (Audi Sport)

Um die Funktionsfähigkeit von KARIS PRO im industriellen Umfeld zu erproben, wurde die Manufaktur des Audi R8 bei der Audi Sport GmbH (bis 1.12.2016: quattro GmbH) ausgewählt. Dort wird der Hochleistungssportwagen Audi R8 in einer getakteten Montage mit Kleinseriencharakter in 16 Takten bei einer Taktzeit von ca. 20 Minuten gefertigt. Um trotz hoher Varianz und Komplexität des Produkts in diesem Umfeld eine effiziente Fertigung zu ermöglichen, ist die Materialbereitstellung mit den klassischen Methoden eines Produktionssystems optimiert und in hohem Maße verdichtet. KARIS PRO sollte dabei die sequenzierte Anlieferung von ausgewählten, fahrzeugspezifischen Warenkörben zwischen dem Kommissionierbereich, genannt Supermarkt, und der Montagelinie übernehmen. Zuvor wurden in jeder Taktzeit 33 dieser Warenkörbe von konventionellen, mitarbeitergeführten Routenverkehren vom Supermarkt an die Montagelinie und zurück transportiert.

Als Zielsetzung wurde definiert, mit KARIS PRO ein intelligentes, multifunktionales und flexibles Logistiksystem zu erproben, das die Prozesssicherheit und Effizienz in der Prozesskette erhöht. Als wichtige Anforderungen wurden identifiziert:

- Flexible Anpassung an veränderliche Logistikflüsse und verschiedene Transportgüter
- Effizienter Einsatz in einer Struktur mit vielen Quellen und Senken bei jeweils geringem Umschlag
- Plug&Work-Fähigkeit für eine günstige und schnelle Implementierung
- Auftragsplanung und Störungsmanagement vor Ort direkt durch Mitarbeiter
- Sichere und intuitive Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine im Supermarkt- und Montagebereich
- Robustes und ausfallsicheres System mit hoher Verfügbarkeit

Zunächst wurde ein Lastenheft für KARIS PRO erstellt. Dieses enthält und erläutert verschiedene Rahmenbedingungen, die bei dem Einsatz in der Audi R8 Manufaktur beachtet werden müssen. Für die Ermittlung des bestmöglichen Einsatzbereichs von KARIS PRO wurde die Montagelinie in sechs Abschnitte gegliedert und mittels unterschiedlicher Bewertungskriterien eine Nutzwertanalyse durchgeführt. Dies war erforderlich, da die Anzahl der im Rahmen des Pilotprojekts zur Verfügung gestellten KARIS PRO Fahrzeuge nicht ausreichend war, um alle notwendigen Warenkorbtransporte innerhalb einer Taktzeit durchführen zu können. Die Nutzwertanalyse hat ergeben, dass sich der erste Montageabschnitt mit den Takten 0 bis 3 und den dort befindlichen sechs Warenkörben am besten für den Einsatz von KARIS PRO eignet.

Um darüber hinaus geringe Fahrstrecken zwischen dem Einsatzbereich in der Montage und dem Supermarkt sicherzustellen, wurden die entsprechenden Stellplätze der Warenkörbe im Supermarkt montagenah verortet. Abbildung 3 zeigt den Piloteinsatzbereich von KARIS PRO im Produktionsumfeld des Audi R8.

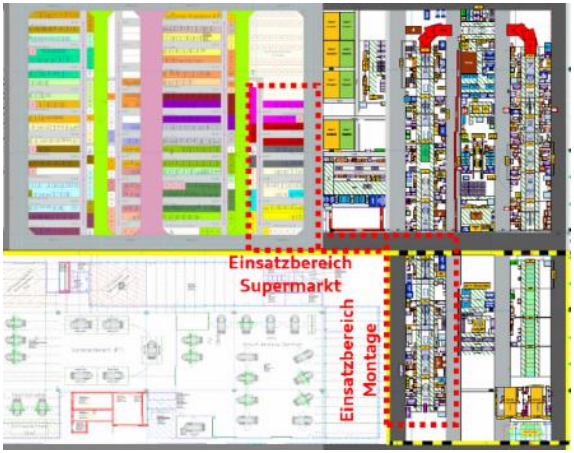


Abbildung 3 Einsatzbereiche von KARIS PRO bei Audi Sport

Ferner waren Maßnahmen notwendig, um das Produktionsumfeld auf den Einsatz von KARIS PRO vorzubereiten. Dies war zum einen die Beschaffung von Material für die Kompatibilitätsanpassung der Warenkorbfahrgestelle und zum anderen die Beschaffung von Tablets, die für die Generierung der Transportaufträge für KARIS PRO durch den Shopfloor-Mitarbeiter erforderlich waren. Die in Abbildung 4 dargestellten und für die Energieversorgung von KARIS PRO notwendigen Ladestationen wurden mit der Werksicherheit bezüglich der Verortung und der Anforderungen an die Umgebung abgestimmt.

Abbildung 4 Ladestationen von KARIS PRO

Zu Beginn des Piloteinsatzes von KARIS PRO wurde zunächst mit einer Warenkorbrelation begonnen, d.h. innerhalb einer Taktzeit wurde ein leerer Warenkorb aus der Montage in den Supermarkt zur Kommissionierung gefahren und der volle, kommissionierte Warenkorb aus dem Supermarkt in die Montage (siehe Abbildung 5). Nach erfolgreicher Erprobung wurde die Anzahl der von KARIS PRO durchzuführenden Transporte kontinuierlich erweitert und im Rahmen der Abschlussveranstaltung dem gesamten Projektkonsortium erfolgreich und aussichtsreich demonstriert.

Abbildung 5 Warenkorbtransport

Systembeschreibung KARIS PRO

Das System KARIS PRO besteht aus Infrastruktur- und Fahrzeugkomponenten. Nachfolgend werden die Infrastrukturkomponenten sowie die übergeordneten Systemfunktionen beschrieben.

Ladestationen

Clemens Trautmann (SEW Eurodrive)

Die Infrastruktur für die Energieversorgung der KARIS PRO Elemente besteht aus beweglichen, dezentralen Ladestationen (siehe Abbildung 4 und Abbildung 6). Diese wurden so konzipiert und entwickelt, dass auf vorhandene Energie-Infrastruktur zurückgegriffen werden kann und möglichst wenig Aufwand bei der Installation bzw. bei Anpassungen am Layout entsteht. Ermöglicht wird dies durch eine kompakte Station, welche an beliebiger Position in der Nähe eines Fahrweges platziert werden kann. Ein Verschrauben der Ladestation mit dem Hallenboden ist dabei nicht erforderlich. Die Ladestation verfügt über eine Grundplatte, welche die Station reibschlüssig mit der Umgebung verbindet und gleichzeitig die Primärspule für die induktive Energieübertragung beinhaltet. Weiterhin arbeiten die Geräte mit 230V als Versorgungsspannung, welche flächendeckend in Industrieumgebungen zu finden ist.

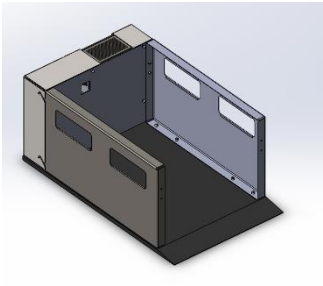


Abbildung 6 Ladestation

Die Ladestationen reagieren auf die Anwesenheit eines KARIS PRO Elements indem Sie selbstständig vom Standby Modus in den Lade-Modus wechseln. Dies hat einerseits den Vorteil, dass die Ladestationen sehr energieeffizient betrieben werden können und andererseits nur dann ein Magnetfeld zur Energieübertragung

aufgebaut wird, wenn ein KARIS PRO zum Laden bereitsteht. Dadurch wird sichergestellt, dass die Ladestation die Grenzwerte aus der BGV B11 für elektromagnetische Felder einhält und es somit keine Einschränkungen für die Platzierung der Ladestationen gibt.

Die kontaktlose Energieübertragung durch MOVITRANS eignet sich aufgrund der hohen Zuverlässigkeit und Robustheit dieser Technologie besonders für mobile Materialflusselemente wie KARIS PRO. Sie ist weiterhin wartungs- und verschleißfrei und erzeugt selbst keine Verschmutzungen. Frei liegende Kontakte, welche durch besondere Maßnahme geschützt werden müssen sind nicht erforderlich.

Multi-Robot-Verhalten / Schwarmintelligenz

Dali Sun und Florian Geißer (Institut für Informatik, Uni Freiburg)

Um mehrere Roboter gleichzeitig reibungslos zu ihren individuellen Zielen zu führen, müssen Kollisionen der Roboter untereinander vermieden werden. Diese Kollisionsvermeidung kann sowohl mit einem zentralem, als auch mit einem entkoppelten Verfahren gelöst werden. Für ein dezentrales System wie KARIS PRO ist ein entkoppeltes Verfahren besonders geeignet: der Verzicht einer zentralen Einheit bringt einen Gewinn an Flexibilität und Effizienz.

Entkoppelte Verfahren können grundsätzlich in zwei Kategorien unterteilt werden: Multi-Roboter Pfadplanungsverfahren und Multi-Roboter Bewegungskoordinationsverfahren. Pfadplanungsverfahren lösen das Problem mit expliziter Pfadplanung und -optimierung. Sie sind besonders gut für Anwendungen in einer begrenzten und strukturierten Umgebung geeignet, können jedoch mit zunehmender Anzahl an Robotern sehr ineffizient werden. Im Gegensatz hierzu setzen Bewegungskoordinationsverfahren auf eine sofortige Reaktion des einzelnen Roboters unter Berücksichtigung der Bewegungen anderer Roboter in der näheren Umgebung. Hierbei sind die auf Schwarmintelligenz basierenden Verfahren besonders

effizient und können mit einer großen Anzahl an Agenten in einer relativ freien Umgebung umgehen. In einer begrenzten Umgebung können solche Verfahren jedoch auch dazu führen, dass sich Cluster an Robotern bilden, die sich gegenseitig blockieren. Dies kann eine Produktionsbehinderung zur Folge haben.

Unter Berücksichtigung der Vor- und Nachteile der beiden Verfahren wurde für KARIS PRO ein neuer Ansatz entwickelt. Er ist vollständig dezentralisiert und basiert auf dem Prinzip der Schwarmintelligenz, wird jedoch mit einer Pfadplanungsmethode kombiniert, um einen reibungslosen Betriebsablauf zu gewährleisten. Jeder Roboter plant hierbei seinen Pfad zum Ziel, vorerst ohne Beachtung anderer Roboter, und führt diesen aus. Während der Ausführung tauschen Roboter in der unmittelbaren Umgebung Informationen über ihre Bewegung und Trajektorien in regelmäßigen Zeitintervallen aus, um mögliche Kollisionen frühzeitig zu erkennen. Bei Erkennung einer Kollision wird je nach Situation eine Bewegungskoordinationsmethode oder eine Pfadplanungsmethode angewandt. In der Koordinationsmethode führt der Roboter anhand vordefinierter Regeln ein passendes Schwarmverhalten aus, um die Kollision direkt, lokal und effizient zu vermeiden. In der Pfadplanungsmethode passt der Roboter seine Geschwindigkeit gegenüber dem anderen Roboter an. Sollte dies nicht zur Vermeidung der Kollision führen, wird ein alternativer Pfad generiert.

Dieser Ansatz wurde in der Simulation mit bis zu 100 Robotern in verschiedenen Szenarien intensiv untersucht (siehe Abbildung 7). Die Ergebnisse zeigen, dass der Ansatz auch in engen und komplexen Umgebungen höchst effizient und flexibel ist. Auch auf dem realen System von KARIS PRO wurde er in beiden Piloten mit mehreren Fahrzeugen erfolgreich getestet. Insgesamt konnte so eine sichere, flexible und effiziente Multi-Roboter Navigation erzielt werden.

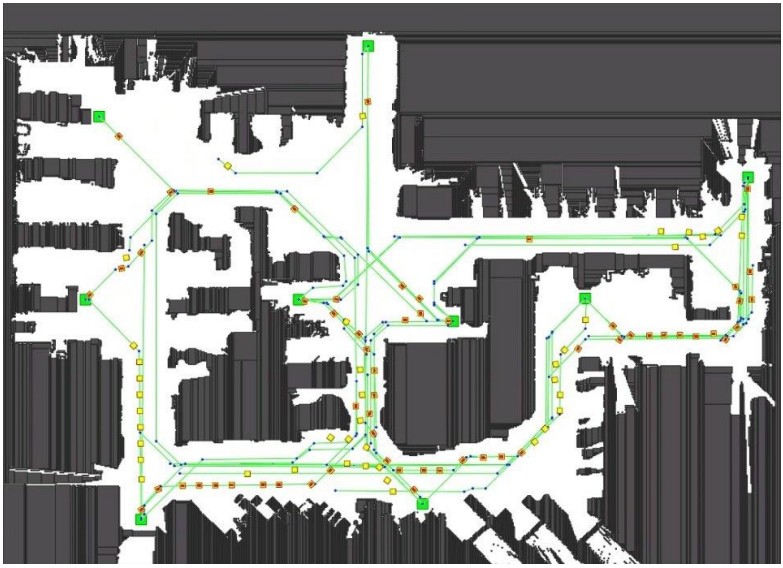


Abbildung 7 Schwarmverhalten-basierte Kollisionsvermeidung der Multi-Roboter Navigation

Dezentrale FTS-Leitsteuerung

Dominik Colling (Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme)

Um bei KARIS PRO auf einen zentralen Leitrechner verzichten zu können, müssen sowohl die Lagerplatz- als auch die Transportauftragsabwicklung von den Fahrzeugen übernommen werden. Damit kein "single point of failure" entsteht, erfolgen die Lagerplatz- und die Transportauftragsabwicklung dezentral. Alle Fahrzeuge besitzen die gleiche Steuerung, können dadurch die gleichen Prozesse bearbeiten und sich bei Ausfall gegenseitig ersetzen. Information, die das Gesamtsystem betreffen, wie z.B. die Liste aller Aufträge, müssen dennoch aggregiert werden. Damit die Fahrzeuge immer alle den gleichen Informationsstand haben, findet eine ständige Konsistenzprüfung zwischen den Datenbanken der Fahrzeuge statt.

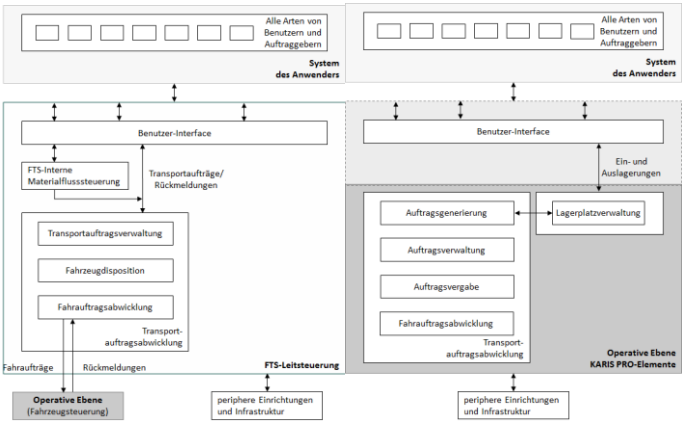


Abbildung 8 Zentrale FTS-Leitsteuerung nach VDI 4451 Blatt 7 (links), Dezentrale Leitsteuerung bei KARIS PRO (rechts)

Auftragsgenerierung

Auch für die Auftragsgenerierung wurde ein dezentraler Ansatz verfolgt. Diese ist eng mit der Lagerplatzverwaltung verknüpft. Damit die gebuchten Bestände in der Lagerplatzverwaltung immer mit den realen Beständen übereinstimmen, muss nach jeder Veränderung die Ein- oder Ausbuchung des entsprechenden Artikels erfolgen. Dies kann entweder durch eine externe Schnittstelle wie ein Eingabebefehl auf einem Tablet oder durch Meldung eines Sensors oder durch eine interne Nachricht von einem KARIS PRO Element zu den anderen Elementen erfolgen. Durch Abgleich des neuen Lagerstands mit dem Sollbestand können Bedarfe und Angebote an Waren an Übergabestationen abgeleitet werden. Besteht an einer Übergabestation ein Bedarf nach einem Artikel und an einer anderen Station gibt es ein Angebot daran, werden diese beide zusammengebracht und ein Transportauftrag von der Übergabestation mit dem Angebot zur Übergabestation mit dem Bedarf wird erstellt.

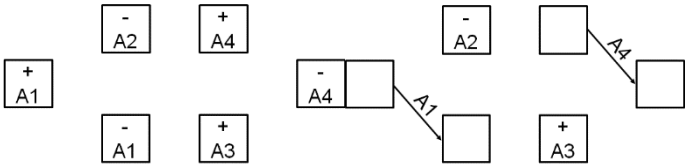


Abbildung 9 Aus den Bedarfen/Angeboten für A1 und A4 (links) können zwei Transportaufträge abgeleitet werden

Es müssen also bei der Inbetriebnahme keine Transportbeziehungen eingelernt werden und an den externen Schnittstellen müssen nur lokale Informationen übermittelt werden, nämlich die Lagerbestandsänderung. Daher können dynamisch Übergabestationen hinzugefügt, entfernt oder verändert werden, ohne dass dies Auswirkungen auf andere Übergabestationen hätte.

Auftragsvergabe

Die Auftragsvergabe erfolgt nach dem Dispatching-Verfahren, d.h. im Gegensatz zur Vorplanung wird ein Auftrag aus der Auftragsliste erst dann einem Fahrzeug zugeteilt, wenn ein Fahrzeug frei ist, um ihn zu bearbeiten. Die Zuteilung erfolgt also entweder wenn ein neuer Auftrag erstellt wird und ein Fahrzeug keinen Auftrag hat oder wenn ein Fahrzeug seinen vorherigen Auftrag beendet hat und es noch Aufträge in der Auftragsliste gibt. Der Zuteilungsprozess beginnt damit, dass sich ein Fahrzeug ohne Auftrag den Auftrag aus der Auftragsliste mit der höchsten Priorität aussucht. Innerhalb der Auftragsliste kann die Priorisierung je nach Einsatzszenario unterschiedlich erfolgen.

Hat ein Fahrzeug einen Auftrag ausgewählt, ist dieser aber noch nicht automatisch dem Fahrzeug zugeteilt. Zuvor findet noch eine Auktion zwischen den Fahrzeugen statt, um herauszufinden, ob ein anderes Fahrzeug besser geeignet ist. Diese startet durch eine Anfrage durch das Fahrzeug ohne Auftrag an die anderen Fahrzeuge. Dafür bestimmt jedes Fahrzeug einen Wert, der angibt, bis wann das Fahrzeug die Startposition des Auftrags, also die Übergabestation mit dem Artikel, erreichen kann. Der Wert setzt sich aus der

Restbearbeitungszeit des aktuellen Auftrages und der Anfahrzeit zur Startposition zusammen. Anschließend wird dieser Wert an das auktionierende Fahrzeug gemeldet.

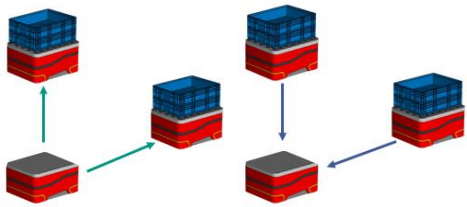


Abbildung 10 Ablauf der Auktion: Auktionator stellt eine Anfrage an die anderen Fahrzeuge (links) Die Fahrzeuge antworten dem Auktionator mit einem Gebot (rechts)

Dieses vergleicht die Werte der Fahrzeuge mit dem eigenen Wert. Ist es selbst das am besten geeignete Fahrzeug beginnt es mit dem Auftrag. Ist ein anderes Fahrzeug besser geeignet, findet eine primäre Zuordnung statt. Das heißt, das Fahrzeug ohne Auftrag startet eine weitere Auktion. An dieser nehmen alle weiteren Fahrzeuge teil, außer demjenigen, das die erste Auktion gewonnen hat. Gibt es keine weiteren Fahrzeuge mehr, mit denen eine Auktion gestartet werden kann, wählt es den Auftrag einfach aus und benachrichtigt die anderen Fahrzeuge.

Einfache Inbetriebnahme durch „Teach-In“

Andreas Trenkle (Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme)

Mit dem Ziel einer schnellen und einfachen Inbetriebnahme, wurden bei der Konzeption zwei Ansätze verfolgt: Erstens sollten die Fahrzeuge möglichst viele Funktionen ohne Änderungen an der Infrastruktur ausführen können. Zweitens sollten die verbleibenden Anpassungen an der Infrastruktur – z.B. die Installation der Übergabe- und Ladestationen – möglichst einfach durchführbar und auch veränderbar sein.

Grundlage für die schnelle Inbetriebnahme ist die laserbasierte Kartierung und Lokalisierung, die sich an natürlichen Umgebungsmerkmalen orientiert. Während der Inbetriebnahme

werden zuerst alle Lade- und Übergabestationen aufgestellt. Anschließend wird das Teach-In mit Hilfe eines Inbetriebnahme-Assistenten durchgeführt, der per Webinterface auf einem Tablet genutzt werden kann.

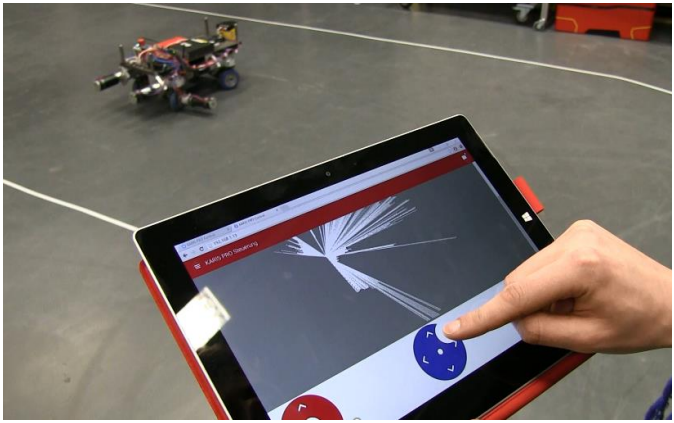


Abbildung 11 Manuelle Steuerung eines Fahrzeuges während der Kartierung

Die Kartierung wird mit einem Fahrzeug durchgeführt, indem der Bediener das Fahrzeug mittels Tablet fernsteuert (siehe Abbildung 11). Die Fernsteuerung erlaubt dem Bediener das Abfahren aller Bereiche, in denen sich die Fahrzeugflotte später autonom bewegen soll. Nach Abschluss der Kartierung kann das Fahrzeug seine eigene Position im Raum bestimmen. Nun kann der Bediener die Übergabepositionen anfahren, einlernen und konfigurieren. Hierzu gehört auch die Auswahl der Aktionen, die durchgeführt werden sollen, wenn Material an einer Übergabestation verfügbar ist. Nach Abschluss des Inbetriebnahme-Assistenten werden die erfassten Daten an die anderen Fahrzeuge übermittelt und das System ist betriebsbereit.

Simulation

Stefan Pfaff und Hao Jiang (PPI-Informatik)

Eine der wesentlichen Aufgaben bei der Planung von Fahrerlosen Transportsystemen (FTS) wie KARIS PRO ist die Ermittlung der erforderlichen Anzahl von Fahrzeugen um die geforderte Systemleistung sicher unter Einhaltung aller Randbedingungen zu erfüllen. Hierzu zählen Produktions- und Logistikprozesse im Einsatzszenario sowie technische Parameter und Steuerstrategien des Systems KARIS PRO. Diese virtuelle Absicherung der Leistung im Vorfeld einer Inbetriebnahme wird eine wesentliche Rolle für die spätere Akzeptanz der Lösung am Markt und deren wirtschaftlichen Anwendung sein.

Als Basis der Simulationsumgebung dient die Standardsoftware Tecnomatix Plant Simulation von Siemens, die in Europa sehr weit verbreitet ist und insbesondere in der Automobilindustrie den Standard für die Materialfluss- und Ablaufsimulation darstellt. Die Abbildung eines KARIS PRO Systems erfolgt durch die im Projekt entwickelte Bausteinbibliothek.

KARIS PRO Bausteinbibliothek

Die Struktur der Bausteinbibliothek zur Modellierung von KARIS PRO Systemen gliedert sich in drei Bereiche; der KARIS Karte mit

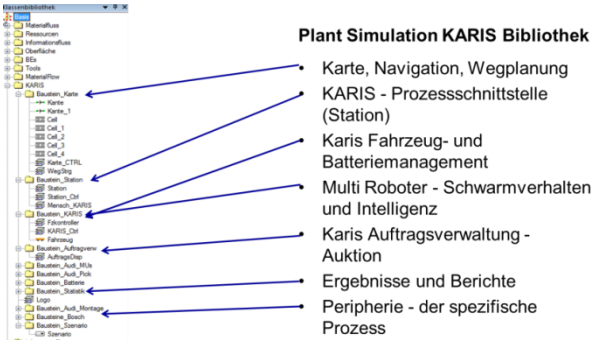


Abbildung 12: Bausteinbibliothek in PLant Simulation

Stationen, der KARIS Fahrzeuge und der Peripherie mit ihren entsprechenden Bausteinklassen.

Die Bausteine aus den beiden KARIS Bereichen dienen zur Modellierung des eigentlichen KARIS Systems und sind daher unabhängig vom Einsatzszenario bzw. allgemeingültig. Die Bausteine im Bereich Peripherie dienen zur Anbindung des KARIS Systems an die umgebenden Produktions- und Logistikprozesse. Diese Bausteine müssen daher szenariospezifische Funktionalitäten abbilden und sind daher nicht als allgemeingültig anzusehen. Im Rahmen des Projektes wurden Bausteine für die Pilotanwendungen bei AUDI und BOSCH entwickelt.

Bausteinklassen Karte und Stationen

Eine wesentliche Eigenschaft von KARIS PRO ist die freie Navigation. Standard Simulatoren enthalten Weg-elemente, auf denen sich Fahrzeuge bewegen. Damit lassen sich klassische spurgebundene FTS, die auf festen Fahrpuren bzw. auf statisch vorgeplanten Wegen verkehren, einfach abbilden. Das freie Navigieren auf der Fläche, also unabhängig von festen Wegen und Spuren, erforderte daher die Entwicklung entsprechender Bausteine zur Abbildung der Fläche auf der sich die Fahrzeuge beliebig in alle Richtungen frei bewegen können. Diese Fläche auf der sich die Fahrzeuge bewegen wird als Karte bezeichnet.

Die Karte wird im Simulationsmodell - analog zum realen System - als Rasterkarte abgebildet. Die Auflösung wird so gewählt, dass die Größe der Rasterzelle kleiner als die Abmessungen des KARIS PRO Fahrzeuges ist, und somit eine Rasterzelle immer nur durch ein Fahrzeug belegt wird. Jede Rasterzelle wird im Simulator durch ein Standard Weg-Element abgebildet. Damit dieses Weg-Element die Bewegung eines Fahrzeuges in alle Richtungen abbildet, wird es von den Fahrzeugen durch die sich aus der Pfadplanung ergebende Himmelsrichtung durchfahren. Ist eine diagonale Richtung erforderlich wird die Länge des Elements auf Rasterabstand *1,141 eingestellt. Diese dynamische Anpassung des Weg-Elements an die

Fahrtrichtung erfolgt ereignisgesteuert über die Ein- und Ausgangssteuerung des Weg-Elements.

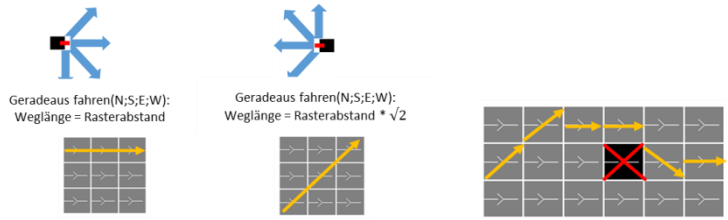


Abbildung 13: Wegelemente und Richtungsanpassung

Zum Aufbau der Karte im Plant Simulation Modell sind 2 Verfahren implementiert.

Das erste Verfahren ermöglich das direkte einlesen der Kartendaten, die das reale KARIS durch Laserscan erzeugt hat. Da im Falle einer Planung noch keine realen Laserscandaten vorliegen, kann auf Basis eines in den Simulator eingelesenen CAD Layouts eine virtuelle KARIS Karte erzeugt werden. Dazu wurde ein Map-Editor-Baustein entwickelt, der alle erforderlichen Funktionen zum Erzeugen und bearbeiten, z.B. das definieren von Sperrflächen oder „Einbahnstraßen“ und anderen Sonderbereichen der Karten ermöglicht.

Bausteinklassen Stationen

Die Stationen im Simulationsmodell bilden die realen Stationen zur Übergabe von Last und Ladung der Batterie aber auch virtuelle Stationen wie Warteposition ab. Es wurde eine Basisklasse entwickelt die alle Funktionen abbildet: beladen, entladen, Batterie aufladen, warten, etc. Über Parameter wird gesteuert, welche Funktionen an dieser Station zur Verfügung stehen.

Die Stationen werden als Bausteine in das Modell eingesetzt, mit einer Zelle der Rasterkarte verknüpft (somit stehen die Koordinaten der Station fest) und über einen Dialog parametriert. Über die Funktion „beladen“ und „entladen“ stellt die Station auch die

Schnittstelle zur Peripherie dar. Die Station kann Ladungsträger aus der Umgebung aufnehmen, z.B. von Fördertechnik oder manuell von einer Person.

Die Funktion des Batterieladens kann für jede Station definiert werden. Sofern sich dann ein KARIS PRO Fahrzeug auf der Station befindet, dient die Station als Ladematte und kann bei Bedarf das KARIS Fahrzeug aufladen. Die Parameter zur Steuerung der Batterieladevorgänge und die spezifischen Parameter für sie Energieübertragung werden über das Fahrzeug definiert.

Symbol	Funktion
	Beladen
	Entladen
	Batterie
	Homeposition
	Beladen und Entladen
	Beladen und Batterie
	Entladen und Batterie
	Beladen, Entladen und Batterie
	Batterie und Homeposition

Abbildung 14: Stationen

Bausteinklassen Fahrzeug

Das KARIS PRO Fahrzeug ist ein Baustein, der aus der Plant-Simulation-Basisklasse „Fahrzeug“ weiterentwickelt wurde. Das Fahrzeug bildet die physischen Eigenschaften des realen Fahrzeugs ab, z.B. die Geschwindigkeiten in den unterschiedlichen Situationen, Schutzfelder,Abstände zu Stationen,gesperrte Bereiche, Parameter des spezifischen Wechselmoduls zum Lastwechsel und die Parameter des Energieverbrauchs.

Die Pfadplanung eines KARIS PRO Fahrzeuges in der Simulation auf Basis der virtuellen Karte erfolgt wie beim realen Fahrzeug mit dem

A* Algorithmus. Umfangreiche Tests und Vergleiche mit den realen Testumgebungen und Piloten haben gezeigt, dass die Ergebnisse der Simulation sowohl bei der Pfadplanung als auch bei der Ausführung der Fahrten mit der Realität sehr gut übereinstimmen.

Um im Simulationsmodell bei der Fahrt und Begegnung mit anderen KARIS PRO-Fahrzeugen oder Hindernissen dieselben Verhaltensmuster der Schwarmintelligenz wie die realen Fahrzeuge zu erhalten, wurden die von der Universität Freiburg entwickelten Verfahren an die ereignisorientierte Struktur des Simulators angepasst und im Modell implementiert. Dieses gewährleistet eine hohe Übereinstimmung der simulierten Fahrten in Bezug auf Dauer, Start- und Ankunftszeitpunkt am Ziel sowie des daraus resultierenden Zeitverhaltens des abgebildeten Transportprozesses und der Auswirkungen auf den Gesamtprozess.

Abbildung 15: Abbildung Schwarmverhalten im Modell

Bausteinklassen Peripherie

Die Abbildung der einem KARIS PRO System vorgelagerten oder nachgelagerten Prozesse erfolgt mit den üblichen und bekannten Methoden der Modellierung in Plant Simulation. Durch die Verwendung des Stationsbausteins als Schnittstelle bestehen dabei keine Einschränkungen.

Die Anbindung des KARIS PRO Systems an den Informationsfluss der Umgebung erfolgt über eine Baustein „Auftragsdisposition“. Dieser Baustein ist eine offene Struktur, die Schnittstellen zur Informationsübergabe und zum Triggern von Ereignissen zur Verfügung stellt. Die Implementierung des ersten Pilotszenarios bei

Bosch hat gezeigt, dass die Abbildung der Abläufe und der daraus resultierenden Steuerstrategien eines realen Produktionsprozesses sehr komplex sind. Durch die strikte Trennung der Peripheriefunktionen von den gekapselten Funktionen des KARIS PRO Systems ist jedoch der Aufwand bei der Modellierung überschaubar.

Das KARIS PRO-Fahrzeug

Hauptbestandteil des Systems sind die einzelnen Fahrzeuge, die einerseits gemeinsam Systemfunktionen wie die dezentrale Auftragsvergabe erfüllen und andererseits Fahrzeugfunktionen – wie die Aufnahme von Ladungsträgern – ausführen. Nachfolgend werden der mechanische Aufbau sowie die Funktionen der Fahrzeuge in den verschiedenen Komponenten erläutert.

Grundaufbau Mechanik

Maximilian Hochstein (Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme)

Nachfolgend wird die Entwicklung der Fahrzeugmechanik beschrieben wurde. Hierzu gehören erste Bauraumkonzepte, Funktionskonzepte, Designstudien sowie die Entwicklung des fertigen Fahrzeuges.

Bauraumkonzept

Zu Beginn der technischen Ausarbeitung musste die Form der Fahrzeuge ermittelt werden. Für diese waren, neben einer Vielzahl anderer Einflussgrößen, vor allem die Orientierung an den Maßen eines Kleinladungsträgers und die Verwendung eines einzelnen Laserscanners ausschlaggebend. Da das Fahrzeug nicht viel größer als ein Kleinladungsträger werden sollte, mussten die Maße im Bereich von 400 x 600 mm liegen. Die Verwendung nur eines, statt zweier Laserscanner führte zum charakteristischen Spalt, der ein Sichtfeld von 270° ermöglicht.

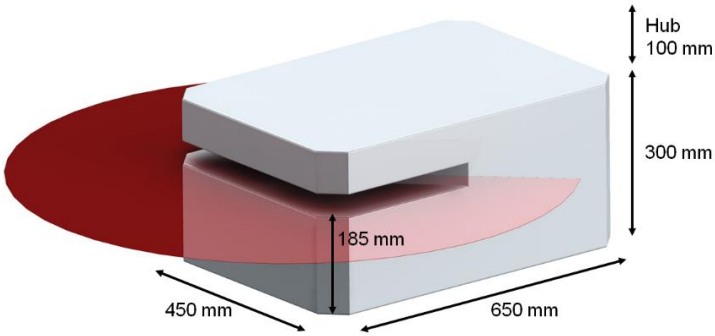


Abbildung 16 Randbedingungen an das Fahrzeug beeinflussten schon zu einem frühen Zeitpunkt das finale Aussehen eines KARIS-Elements

Abbildung 17 Darstellung der ersten Bauraumkonzepte

Zur korrekten Anordnung der Komponenten im Inneren des Fahrzeuges wurden mehrere Annahmen getroffen und Untersuchungen durchgeführt. Viele Komponenten, wie beispielsweise die Antriebe und der Hub, wurden im Laufe des Projekts entwickelt und kontinuierlich verbessert. Aus diesem Grund mussten zu Beginn viele Komponenten in ihrer Größe geschätzt werden. Mit Hilfe der provisorischen Komponenten, „Blackboxes“ konnten erste Bauraumkonzepte erstellt und evaluiert werden.

Funktionsmodell mit Komponenten

Sukzessive konnten die Blackboxes durch Komponenten ersetzt werden. Nachdem jede Komponente bekannt war, konnte ein erstes Funktionsprinzip präsentiert werden, welches die Grundlage für die folgende technische Ausarbeitung bildete.

Abbildung 18 Erstes Funktionsmodell eines KARIS-Elements nachdem die endgültigen Maße aller Komponenten bekannt waren

Chassis Detailkonstruktion

Christian Fahrländer (Imetron)

Aufbauend auf das Konzept eines Fahrzeugchassis in Blechbauweise hat Imetron ein fertigungstechnisch optimiertes Chassis auskonstruiert (siehe Abbildung 19) und Funktionsmuster gefertigt. Nach weiterer Optimierung des Funktionsmusters wurden für 10 Fahrzeuge die Chassis gefertigt. Herausfordernd war hierbei auf kleinstem Raum die montagegerechte Anbindung aller Modulkomponenten zu realisieren und hierbei gleichzeitig Aspekte der Kabelführung, der Kühlung und ästhetische Aspekte zu berücksichtigen. Abhängig von der Weiterentwicklung der Systemkomponenten stellt die umgesetzte Konstruktionslösung eine gute Ausgangsbasis für eine spätere Produktentwicklung dar.

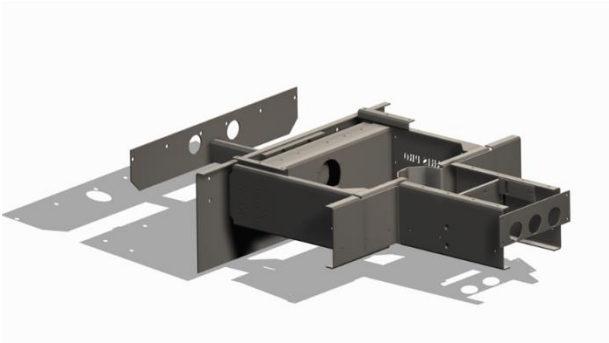


Abbildung 19 Chassis des Fahrzeuges

Designstudie

Maximilian Hochstein (Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme)

Das Design der Fahrzeuge orientiert sich in erster Linie an der Funktion und an der Sicherheit. Kühllamellen für die Akkumulatoren, eine Schublade für die Elektronik, der breite Spalt für den Laserscanner, der Faltenbalg als Eingreifschutz und die LED-Leiste für Warnhinweise und Informationswiedergabe waren formgebende Elemente, die das Aussehen nachhaltig beeinflusst haben.

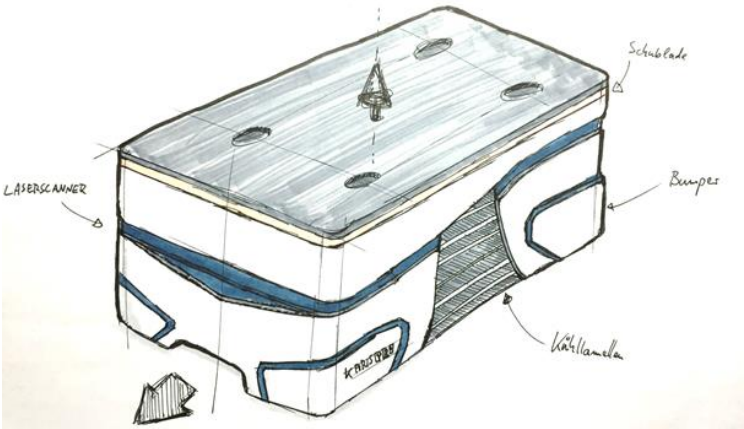


Abbildung 20 Designstudie orientiert sich an der Funktionalität des KARIS-Elements

Abbildung 21 Fertiges KARIS-Element beim Einfahren in einer Ladestation

Wechselmodul-System

Das Fahrzeug ist mit einem Wechselsystem ausgestattet, bei dem der Wechselmodul-Connector die Verbindung zwischen Basisfahrzeug und Wechselmodul herstellt. Durch das Wechselmodul-System können für bestimmte Applikationen Anpassungen vorgenommen werden, ohne das Basisfahrzeug zu verändern.

Wechselmodul-Connektor

Stefan Gölz (HIMA)

Die sichere Erkennung der Ausrichtung des verwendeten Wechselmoduls wurde in Zusammenarbeit der Partner Imetron und HIMA entwickelt. Das Prinzip eines gefederten Kontaktstempels ist in Abbildung 22 verdeutlicht. Die Kodierung der Ausrichtung erfolgt hierbei über die in den Stempel integrierte Platine, deren Kontakte wiederum über die auf dem Wechselmodul-Sicherheitssystem lokalisierten, gefederten Kontaktstifte elektrisch geschlossen werden. Kern dieses Sicherheitssystems ist die HICore-Sicherheitssteuerung, wie sie baugleich in den Fahr-Lenk-Einheiten eingesetzt wird. Die sichere Kommunikation wird auch hier über die im Kapitel Sicherheitsarchitektur beschriebenen CAN-Kommunikation realisiert.

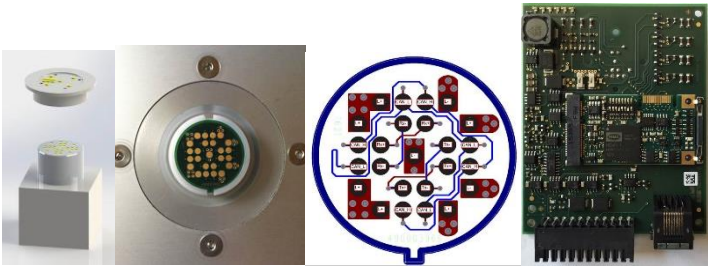


Abbildung 22 Prinzip des Wechselmodul-Sicherheitssystems

KLT-Transportmodul und Konsolen

Christian Fahrländer (Imetron)

Für den Transport von Kleinladungsträgern wurde ein Lösungsansatz entwickelt, bei dem die stationären Konsolen sehr einfach gehalten sind und die Sensorik und Aktorik der Fahrzeuge voll zum Tragen kommen.

Hierbei werden die auf Konsolen abgestellten Ladungsträger unterfahren, vom Fahrzeug-Hub herausgehoben und beim herausfahren entnommen (siehe Abbildung 30). Das KLT-Transportmodul nimmt die Ladungsträger formschlüssig auf und verhindert somit ein wegrutschen beim Abbremsen.

Rollenförderer-Modul

Christian Fahrländer (Imetron)

In Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Pepperl und Fuchs wurde erprobt, in wie weit trotz des kompakten Aufbaus am Ladungsgut angebrachte RFID-Tags gelesen werden können. Imetron hat hierbei das Rollenfördermodul konzipiert und aufgebaut um unterschiedliche Antennenkonfiguration testen zu können und die Ausbreitung der elektromagnetischen Felder zu optimieren.

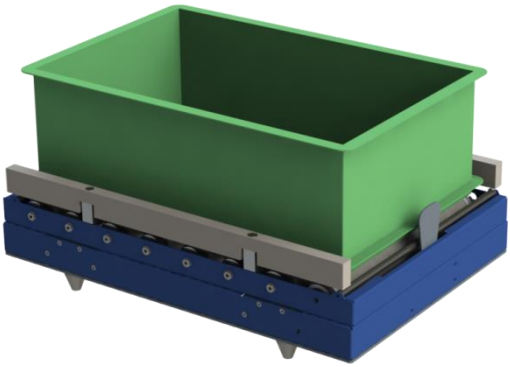


Abbildung 23 Rollenförderer-Wechselmodul mit Vorrichtung zur Ladungssicherung

Hubvorrichtung

Maximilian Hochstein (IFL)

Für die Entwicklung der Hubvorrichtung mussten eine Vielzahl von Randbedingungen berücksichtigt werden. Neben der platzsparenden Bauweise mussten auch die Tragkraft von 250 Kilogramm, eine ausreichend hohe Geschwindigkeit für das ein- und ausfahren des Hubs, der Leichtlauf zur eindeutigen Bestimmung des Beladungszustandes über die Motorleistung und die Sicherheit vor unkontrolliertem Herabfahren durch Selbsthemmung gewährleistet werden.

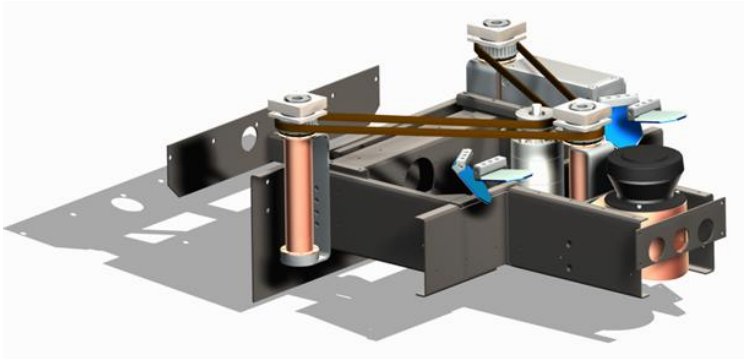


Abbildung 24 Dargestellt ist der eigens entwickelte Spindelhub, dessen drei Zylinder mit möglichst großem Abstand zueinander am Fahrzeugskelett befestigt werden

Nachdem mehrere Konzepte entwickelt, ausgearbeitet und vergleichen wurden, wurde der Hub auf Basis eines Spindelhubes, bestehend aus drei Spindeln, umgesetzt. Für eine möglichst große Auflagefläche wurden die Zylinder mit größtmöglichem Abstand zueinander im Gesamtfahrzeug untergebracht. Angetrieben werden die Spindeln über einen Motor, der über einen doppelten Zahnriemen mit den Spindeln verbunden ist. Über die Leistungsaufnahme des Motors kann die angehobene Last grob bestimmt werden.

Kinematik

Clemens Trautmann (SEW-Eurodrive)

Die Kinematik eines Fahrzeugs beschreibt die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen, die in einem Fahrzeug auftreten. Man unterscheidet zwischen der Vorwärtskinematik (direkte Kinematik) und der Rückwärtskinematik (indirekte Kinematik).

Die Vorwärtskinematik gibt eine Beschreibung, welche Fahrzeuggeschwindigkeiten aus bestimmten Motorgeschwindigkeiten und Winkeln resultieren. In der Praxis wird ein Modell der Vorwärtskinematik genutzt, um aus Motor-Encoder-Werten die Fahrzeuggeschwindigkeiten in X- und Y-Richtung und die Drehgeschwindigkeit zu berechnen. Die Rückwärtskinematik beschreibt welche Motorgeschwindigkeiten und Winkel eingestellt werden müssen, damit das Fahrzeug mit gewünschten Geschwindigkeiten fährt.

Im KARIS PRO-Fahrzeug wird die Kinematik durch die Lage der gelenkten Räder beschrieben. Die nachfolgende Abbildung stellt den Zusammenhang verschiedener Größen dar.

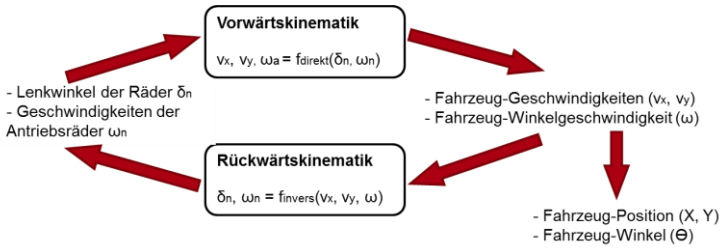


Abbildung 25 Zusammenhang zwischen Vorwärts- und Rückwärtskinematik

Durch die Möglichkeit, die Räder um 360° zu drehen, ergeben sich bei der Rückwärtskinematik mehrere Möglichkeiten, gewünschte Fahrzeuggeschwindigkeiten zu realisieren. Beispielsweise kann eine Fahrt in Vorwärtsrichtung (v_x <> 0) realisiert werden, indem alle

Räder einen Lenkwinkel $\delta_n = 0°$ und alle Antriebsräder eine Radgeschwindigkeit $\omega_n > 0$ haben. Eine andere Möglichkeit wären Lenkwinkel von $\delta_n = 180°$ und Radgeschwindigkeiten von $\omega_n < 0$. In der Rückwärtskinematik wird für jedes Rad entschieden, welcher mögliche Lenkwinkel und welche daraus resultierende Radgeschwindigkeit eingestellt werden soll. Für diese Entscheidung werden der aktuelle Rad-Drehsinn und der aktuelle Lenkwinkel berücksichtigt.

Das KARIS PRO -Fahrzeug kann in den Betriebsmodi „Fahren“ und „Feinpositionieren“ betrieben werden. Im Modus „Fahren“ darf das Fahrzeug aus Sicherheitsgründen keine Geschwindigkeitskomponente in Y-Richtung haben. Das Fahrzeug ist somit in seiner Bewegung künstlich eingeschränkt und es sind ausschließlich Vorwärtsgeschwindigkeiten in X-Richtung und Drehgeschwindigkeiten um die Hochachse erlaubt. Im Modus „Feinpositionieren“ können Geschwindigkeiten in Y-Richtung auftreten. In Abbildung 26 sind die Lenkwinkel und Radgeschwindigkeiten für verschiedene Fahrzeuggeschwindigkeiten aufgezeigt.

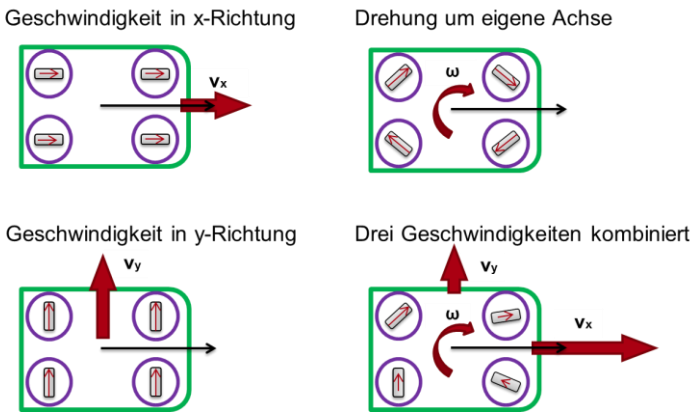


Abbildung 26 Die Einzelkomponenten der drei Fahrzeuggeschwindigkeiten und eine mögliche Kombination

Sicherheitsarchitektur

Peter Holzweissig (Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme)

Das dezentrale Steuerungskonzept von KARIS PRO findet sich ebenfalls bei der Architektur des Sicherheitssystems wieder. Statt nur eines zentralen Sicherheitssystems pro Fahrzeug verfügt KARIS PRO über in Summe bis zu 6 Sicherheitssubsysteme (siehe Abbildung 27), die sich dadurch auszeichnen, dass sie selbständig Sicherheitsfunktionen überwachen und bei Bedarf eingreifen.

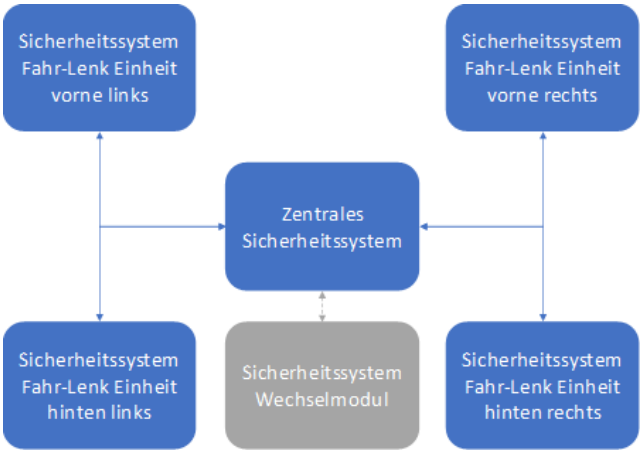


Abbildung 27 Architektur des Sicherheitssystems, das Sicherheitssystem Wechselmodul ist nicht zwingend zu jeder Zeit vorhanden

Die Sicherheitsfunktionen zur Überwachung der Fahr- und Lenkbewegungen, also der Fahr-Lenk Einheiten erfolgt direkt im jeweiligen Sicherheitssystem vor Ort. Die zulässigen Sicherheitsparameter wie Lenkwinkel und maximale Geschwindigkeit werden vom zentralen Sicherheitssystem kommuniziert und der IST-Zustand empfangen. Sollten z.B. Kommunikationsfehler auftreten und die Verbindung zum zentralen Sicherheitssystem unterbrochen sein, so können die dezentralen Systeme selbständig in den sicheren Zustand überführt werden. Hierbei kann KARIS PRO über entsprechende Steuerungsrampen in

den sicheren Stillstand gelangen und anschließend die Räder in eine X-Position stellen, so dass KARIS PRO gegen mögliches Wegrollen gesichert ist.

Das zentrale Sicherheitssystem schaltet je nach sicherheitsgerichtetem Geschwindigkeitswert, welcher in den dezentralen Fahr-Lenk Einheiten berechnet wird, die Schutzfelder des Laserscanners um und überträgt die für die Geschwindigkeit zulässigen Sicherheitswerte an die anderen Sicherheitssysteme. Für einige Fahrmanöver wie z.B. Andocken an den Warenkorb ist es notwendig, die Überwachungsfunktion des Fahrweges mittels Laserscanner sicherheitsgerichtet zu deaktivieren. Diese Funktion kann nur deaktiviert werden, wenn das Fahrzeug den maximal zulässigen Geschwindigkeitswert von 0,3 m/s nicht überschreitet. Gleichzeitig wird eine andere Sicherheitsfunktion aktiviert, welche mögliche Kollisionen über eine sicherheitsgerichtete Drehmoment-Überwachung der Fahr-Lenk Einheiten frühzeitig detektiert, so dass ein maximal zulässiges Drehmoment von 400 Nm nicht überschritten wird.

Zum sicherheitsgerichteten Informationsaustausch zwischen den Sicherheitssystemen erfolgt die Kommunikation über den CANopen Safety Standard. Die notwendigen Prüfverfahren werden in allen Sicherheitssystemen gleichermaßen durchgeführt.

Komponenten

Ziel des Forschungsprojektes war die Entwicklung modularer Komponenten innerhalb der Fahrzeuge. Hierfür wurden Funktionen in die Komponenten integriert und Schnittstellen festgelegt. Nachfolgend werden die Komponenten und deren Funktionen und Merkmale beschrieben.

Sicherheitssteuerung

Stefan Gölz (HIMA)

In den KARIS PRO-Fahrzeugen wurden Sicherheitssteuerungen an mehreren Stellen eingesetzt. An den Orten im Fahrzeug, an welchen die Sicherheitsfunktionen zu implementieren sind, sollte auch dezentral die Sicherheitssteuerung eingesetzt werden. Dennoch koordiniert eine Sicherheitssteuerung des Verbundprojektpartners HIMA im zentralen Teil des Fahrzeuges die Überwachung der Funktionen – speziell auch der Signale des im folgenden Kapitel beschriebenen Laserscanners.

Die in Abbildung 28 gezeigte Steuerung wurde im Rahmen des Forschungsprojektes auf den Einsatz in KARIS PRO adaptiert. So wurde u.a., wie im oberen Bildabschnitt zu sehen, der Rechner des Fahrzeuges in diese Steuerung integriert. Somit konnten nicht-sichere und sichere Funktionen auf einem einzigen Layout realisiert und damit wertvoller Bauraum gespart werden. Alle benötigten Schnittstellen werden auf dieser zentralen Einheit zur Verfügung gestellt.

Abbildung 28 Sicherheitssteuerung mit Navigationsrechner

Safety-Laserscanner und Feinpositionierung

Christoph Reinke und Christian Rapp (SICK AG)

Ein Sicherheits-Laserscanner von SICK gewährleistet den sicheren Betrieb in KARIS PRO. Jedes Kleinfahrzeug ist dafür mit einem S300 Expert-Laserscanner (siehe Abbildung 29) ausgestattet.

Abbildung 29 Sicherheitslaserscanner S300 Expert

Der Laserscanner ist ein integraler Bestandteil des Sicherheitskonzeptes von KARIS PRO und verhindert, dass die Fahrzeuge zusammenstoßen oder mit Hindernissen, insbesondere Personen kollidieren.

Darüber hinaus stellt der Laserscanner Daten zur Lokalisierung, Objekterkennung und Feinpositionierung bereit. Auf Basis der Daten des Laserscanners sind die Fahrzeuge mit der Feinpositionierung in der Lage, sich so präzise zu positionieren, dass unterschiedliche Transportbehälter problemlos aufgenommen werden können.

Beim Anwendungspartner Bosch werden die Fahrzeuge innerhalb von Konsolen feinpositioniert (Abbildung 30), von denen sie Kleinladungsträger aufnehmen oder an die Konsole abliefern.

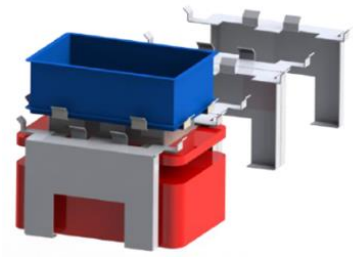


Abbildung 30: Konsole bei Bosch

In der R8 Produktion von Audi Sport werden die Laserscannerdaten genutzt, um die Fahrzeuge unter einem Warenkorb zu positionieren (Abbildung 31).

Abbildung 31: Warenkorb bei Audi Sport

Die folgenden Abbildungen zeigen die zur Feinpositionierung genutzten Umgebungskonturen aus Sicht des Laserscanners.

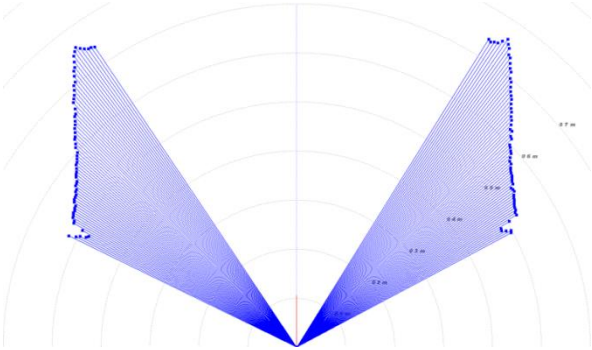


Abbildung 32: Konsole im Laserscan

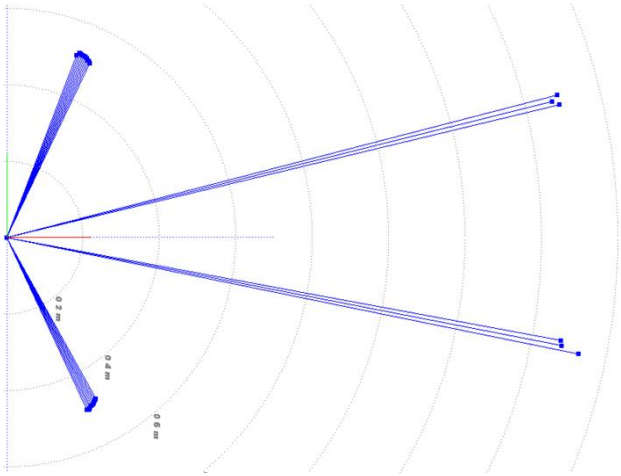


Abbildung 33: Warenkorb im Laserscan

Die Bosch-Konsole (Abbildung 32) wird durch die seitlichen Begrenzungen im Laserscan klar ersichtlich. Die Winkelelemente vorne und hinten an den Konsolen (aus Sicht des Laserscanners) sind ebenfalls im Scan zu erkennen. Die Feinpositionierung am Warenkorb stellte eine große Herausforderung dar, da die Warenkorbbeine bedingt durch ihren geringen Durchmesser von nur 1 cm durch nur wenige Messungen des Laserscanners repräsentiert wird (Abbildung 33).

Die Implementierung der Feinpositionierung ist in Abbildung 34 dargestellt. Zunächst werden in einer Einrichtungsphase alle erforderlichen Referenz-Laserscans von den finalen Positionen vor und unterhalb der Konsole bzw. des Warenkorbs aufgenommen und abgespeichert. Im Betrieb wird für eine aktuelle anzufahrende Position der zugehörige abgespeicherte Referenzscan mit dem aktuell vom Laserscanner aufgenommen Scan verglichen – das so genannte Matching. Die Abweichung der aktuellen Pose (Translation und Rotation) vom Ziel wird anschließend von der Motorsteuerung zur Korrektur der Pose des Fahrzeugs genutzt.

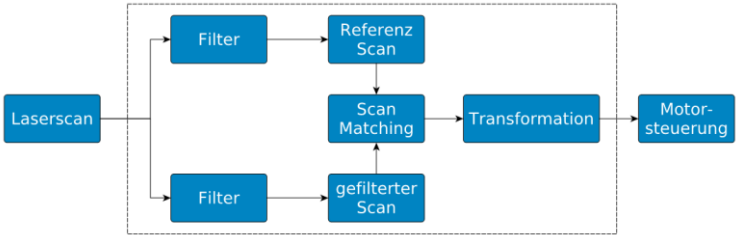


Abbildung 34: Ablauf Feinpositionierung

Die von SICK implementierte Feinpositionierung konnte die Fahrzeuge sowohl bei Bosch an den Konsolen als auch bei Audi an den Warenkörben zuverlässig und genau positionieren.

Die Laserscanner-Daten, die ein Fahrzeug während der Bearbeitung seiner aktuellen Aufgabe erfasst, werden zudem genutzt, um die digitalen Umgebungskarten zu aktualisieren. So erhalten alle Fahrzeuge in Echtzeit Informationen zur Position von Hindernissen, wie z.B. großen Paletten, und können diese Informationen für die Planung ihres Fahrwegs nutzen. Details dazu sind im nächsten Abschnitt aufgeführt.

Lokalisierung und Pfadplanung

Dali Sun und Florian Geißer (Institut für Informatik, Uni Freiburg)

Ein erfolgreiches Konzept, das in weiten Bereichen der Robotik angewandt wird, ist die Lokalisierung basierend auf einem Partikel-Filter - auch bekannt als Monte-Carlo Lokalisierung. Hierbei stellen die Partikel mögliche Positionen des Roboters dar. Für jeden Partikel wird ausgehend von der vorherigen Position mithilfe der Odometriedaten die nächste Position berechnet. Anschließend werden die Sensordaten mit der zugrundeliegenden Karte verglichen und die aktuelle Position bestimmt. Durch mehrere Messungen konvergieren die Partikel mit der Zeit zur korrekten Position. Eine der

großen Herausforderungen an KARIS PRO ist hierbei die sich potentiell ständig ändernde dynamische Umgebung. Da klassische Verfahren auf einer statischen Karte basieren, wird die Lokalisierung auf längere Zeit fehlerhaft: die berechnete Position divergiert von der tatsächlichen Position. Um dem entgegenzuwirken, wurden speziell für KARIS PRO neue Konzepte entwickelt.

Mit einem modernem Scan-Matching Verfahren wird die im Teach-In gespeicherte Karte zur initialen Positionsbestimmung genutzt. Um nach einer Bewegung die neue Position zu bestimmen, werden mithilfe eines Distanzfilters Sensordaten markiert, die länger oder kürzer als die erwartete Distanz sind. Basierend auf diesen Daten wird die gespeicherte Karte aktualisiert: neue Hindernisse werden hinzugefügt, und Hindernisse die nicht mehr existieren werden gelöscht. Zusätzlich ist es möglich in der Karte statische Hindernisse zu markieren. So können feste Objekte, beispielsweise Säulen und Wände in einer Produktionshalle, als natürliches Hilfsmittel zur Lokalisation genutzt werden. Basierend auf der aktualisierten Karte kann der Partikelfilter somit auch in hoch-dynamischen Umgebungen eine akkurate Positionsbestimmung gewährleisten. Abbildung Abbildung 35 zeigt einen Vergleich beider Verfahren.

Abbildung 35 Oben: tatsächliche Position, Mitte: klassisches Verfahren, Unten: KARIS Pro Verfahren

Auch bei der Pfadplanung greift KARIS Pro auf etablierte Konzepte zurück. Der A*-Algorithmus ist eine Erweiterung des Djikstra-Algorithmus zum Finden von optimalen Pfaden in einem Graph. Besonders in der Videospielindustrie, sowie in der Routenplanung kommt dieser Algorithmus aufgrund seiner guten Laufzeiteigenschaften zum Einsatz. KARIS Pro verwendet den A*-Algorithmus um optimale Pfade auf der zugrundeliegenden Gitterkarte zu planen.

Um die speziellen Anforderungen unterschiedlicher Szenarien zu erfüllen, wird zusätzlich ein auf der Gitterkarte basierendes Graphennetzwerk im Teach-In aufgebaut. Die Kanten können markiert werden, um Einbahnstraßen oder Rechtsverkehr zu gewährleisten. Weiterhin kann an einzelnen Knoten ein spezielles Verhalten festgelegt werden. So wird bei bestimmten Einbahnstraßen nicht auf die Gegenspur ausgewichen, an Kreuzungen wird auf den Gegenverkehr geachtet und bei Toren wird der Status der Türe abgefragt. Außerdem wurden spezielle Scan-Matching Verfahren implementiert, um im Quattro Szenario eine zuverlässige Erkennung des Bär-FTS zu gewährleisten. Die Besonderheiten der Knoten und Kanten werden bei der Pfadsuche beachtet, um einen optimalen, den Betriebsanforderungen entsprechenden Pfad zu finden.

Softwarearchitektur / Auftragsausführung

Patric Hopfgarten (Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme)

Die Steuerung des Systems erfolgt durch die Auftragsausführung. Sie hat die Aufgabe generierte Aufträge auszuführen und alle Hardwarekomponenten entsprechend zu steuern. Sie stellt somit die Verknüpfung zwischen Highlevel-Komponenten (Mensch-Maschine-Schnittstelle und Auftragsverwaltung) und Lowlevel-Komponenten (Antriebssteuerung und Sicherheit) dar. In Abbildung 36 ist die Softwarearchitektur des Systems sowie deren Schnittstellen abgebildet.

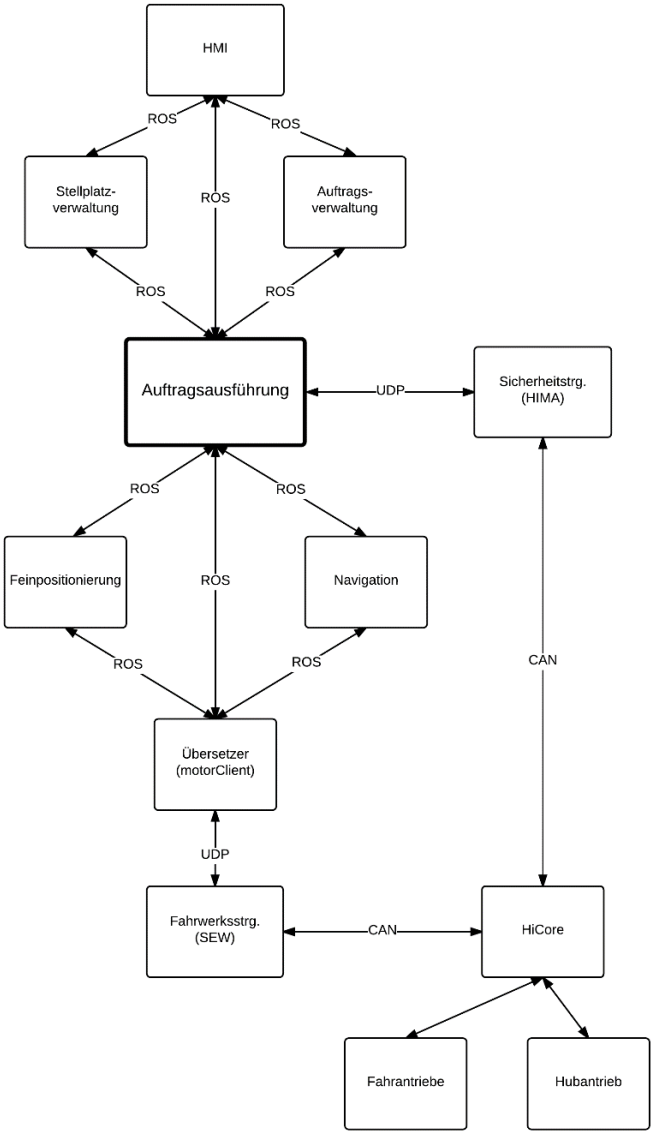


Abbildung 36 Softwarearchitektur und Kommunikationsschnittstellen

Ein Großteil der Kommunikation findet direkt in ROS statt. Nur direkte Kommunikation mit der Hardware, Sicherheitsteuerung oder Fahrwerkssteuerung, wird mithilfe von UDP durchgeführt.

Der Arbeitsweise der Auftragsausführung ist im Sequenzdiagramm in Abbildung 37 vereinfacht dargestellt. Der Ablauf beginnt damit, dass das Fahrzeug keinen Auftrag hat und endet damit, dass das Fahrzeug einen Auftrag beendet. Man kann gut erkennen, dass sich die Auftragsausführung für das Bosch und Quattro Szenario nicht unterscheidet und diese universell einsetzbar ist. Allein die Informationen aus dem Auftrag reichen der Auftragsausführung, um die entsprechenden Aktionen durchzuführen. Zusätzlich zu Transportaufträgen gibt es noch Lade- sowie Warteaufträge, diese werden ähnlich der Transportaufträge mithilfe der Navigation, Sicherheitssteuerung und Feinpositionierung bearbeitet.

Die Kommunikation mit der HMI wurde im Sequenzdiagramm nicht berücksichtigt. Folgende Kommunikation findet mit der HMI statt:

1. **Informationsübertragung**
   Um dem Operator einen Überblick des Systems zu geben, versorgt die Auftragsausführung die HMI mit Informationen. Dies umfasst folgende Punkte:
   a. Ladenstand
   b. Position
   c. Status der Antriebe
   d. Status der Sicherheit
2. **Fehlerhandling**
   Im Falle eines Fehlers in der Auftragsbearbeitung wird dieser an die HMI und somit an den Operator weitergeleitet. Dieser muss entscheiden wie der Fehler behandelt wird. Folgende drei Möglichkeiten hat der Operator zu Auswahl:
   a. Auftrag wird manuell beendet
   b. Auftrag zurücksetzen
   c. Erneut versuchen

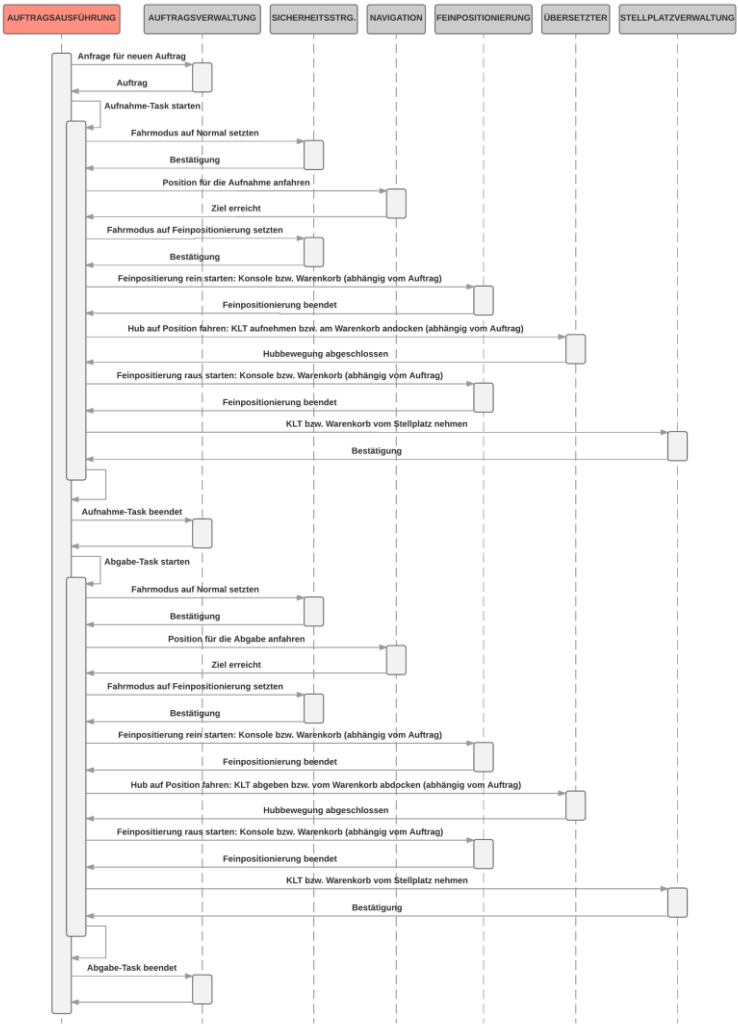


Abbildung 37 Auftragsausführung: Bearbeitung eines Auftrages

Energieversorgung

Patrick Weis, Frank Schönung (SEW Eurodrive)

Die Energieversorgung eines Karis-Pro Elementes besteht aus einem Übertragerkopf inklusive der Leistungselektronik und einem Energiespeicher (siehe Abbildung 38).

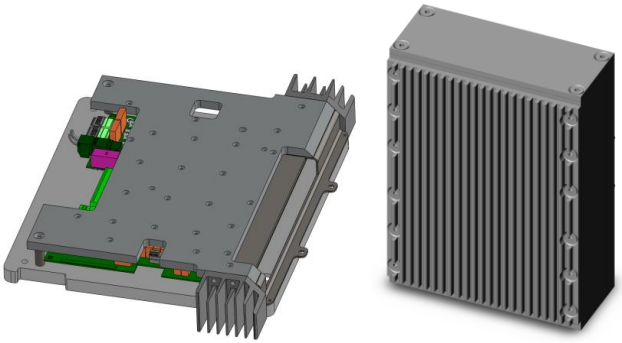


Abbildung 38 Übertragerkopf mit Leistungselektronik (links) und Energiespeicher (rechts)

Der Übertragerkopf dient der kontaktlosen Energieübertragung und beinhaltet die Sekundärspule. Befindet sich dieser über der Ladestation findet eine induktive Resonanzkopplung statt, welche die Energieübertragung ermöglicht. Durch dieses Verfahren lassen sich mittlere bis hohe Leistungen auch über große Luftspalte übertragen. Dies ist für mobile Applikationen von Vorteil, da eine vergleichsweise große Bodenfreiheit erreicht werden kann.

Die Leistungselektronik wandelt die Eingangsspannung aus dem Übertragerkopf und stellt die Bordspannung und sowie Energiemanagementfunktionen bereit. Zum einen werden die Energiespeicher kontinuierlich überwacht, um die relevanten Parameter, wie z.B. den Energiespeicherstand und die Temperatur, an die überlagerte Steuerung zu melden. Diese Parameter können als

Grundlage für ein überlagertes Energiemanagement genutzt werden. Zum anderen wird die Ladekennlinie in Abhängigkeit der Umgebungsbedingungen angepasst. Dadurch werden die Speicher immer im optimalen Betriebspunkt betrieben, was zu einer erhöhten Lebensdauer und einem besseren Wirkungsgrad führt.

Die Leistungselektronik ist über den Systembus mit der überlagerten Steuerung verbunden. Dadurch können Fahrzeuge per Remote-Zugang ausgeschaltet oder in einen Energiesparmodus versetzt werden.

Fahr-Lenk-Einheiten mit integrierter Sicherheits-steuerung

Frank Jeske, Jörg Hornberger, Wolfgang Meiers (ebm papst St. Georgen) Stefan Gölz, Jens Heuberger (HIMA)

Im Rahmen des Projektes wurde seitens ebmpapst St. Georgen das Konzept zu einem autark arbeitsfähigen integrierten Fahr-Lenk-Antriebssystem (FLS) erarbeitet. Wie in Abbildung 39 dargestellt, kommen in jedem KARIS PRO Fahrzeug vier FLS in identischer Konfiguration zum Einsatz. Jedes FLS beinhaltet zwei EC-Antriebe (Motor + Ansteuerung inkl. HW/SW). Somit sind in einem KARIS PRO-Fahrzeug für die Fahr-Lenk-Funktionen insgesamt acht Antriebe mit je einer speziell darauf zugeschnittenen Getriebekonfiguration verbaut. Die größte konstruktive Herausforderung lag neben den eng limitierten Bauraumverhältnissen in der Berücksichtigung einer flexiblen Einbaulage der FLS bei 360° mechanischem Lenkwinkel. Die je zwei EC-Antriebe sind in den FLS trotzdem fest fixiert. Die erwähnte Getriebekonfiguration sorgt für eine differentielle Kopplung der beiden Antriebe, wodurch verschleißbehaftete Schleifringe und oder bewegte Anschlussleitungen vermieden werden können.

Abbildung 39 Mechanischer Aufbau des Fahr-Lenk-Systems und Einbausituation im Fahrwerk

Die notwendige Integration eines Systems zur funktionalen Sicherheit basiert zunächst auf einer definierten Schnittstelle zu einem System mit sicherer Buskommunikation (HIMA HICore). Zusammenwirkend damit beinhaltet das FLS ein Funktionssicherheitsredundanzsystem mit Sicherheitsfunktionen wie Lenkwinkelüberwachung und Schnellstopp. Abbildung 40 zeigt die Architektur des mehrstufigen Systems zur Erkennung von Funktionsabweichungen kombiniert mit zusätzlicher Sicherheitssystemredundanz auf Komponentenebene, das sogar den Verzicht auf eine energieineffiziente mechanische Sicherheitsbremse möglich macht.

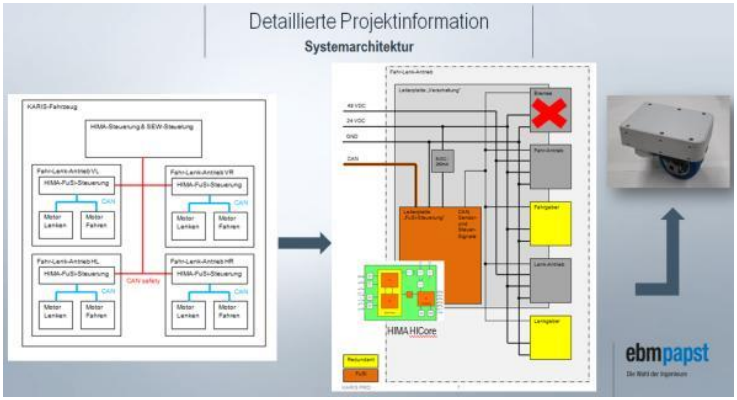


Abbildung 40 Systemarchitektur FLS

Das in der Architektur des Sicherheitssystems bereits beschriebene Konzept dezentraler Sicherheitssysteme wird in den FLS durch eine im Rahmen dieses Verbundforschungsprojektes entwickelten, dezentralen, miniaturisierten Sicherheitssteuerung realisiert. Die nur 50 mm x 30 mm große Einheit setzt hierbei das Safety System-on-Chip "HICore1" der Fa. HIMA Paul Hildebrandt GmbH ein, welches Sicherheitsfunktionen bis zu einem hohen Safety Integrity Level (SIL) 3 implementieren kann.

Abbildung 41 Dezentrales HICore Sicherheitssystem mit Größenvergleich

Das im Abbildung 41 gezeigte HICore-Sicherheitssystem wird in das Gehäuse des FLS integriert und nutzt die redundant vorliegenden Sensorsignale der Fahr- und Lenkantriebe. Die Sicherheitsfunktionen "Sicher begrenzte Geschwindigeit" (SLS), "Sicher begrenzte Position" (SLP) sowie "Sicher abgeschaltetes Moment" (SLT) können somit direkt im FLS realisiert werden.

Das HICore-Sicherheitssystem wird darüber hinaus auch zur Überwachung der Wechselmodule eingesetzt. Über die im oberen Teil der Platine erkennbare Funktionskodierung wird hierbei der Typ des Wechselmoduls (Kleinladungsträger, Warenkorb, Cluster) definiert. Ebenso wird hier die Position der Sicherheitssteuerung im Falle eines Clusterbetriebs sowie die Position des FLS in einem KARIS PRO-Fahrzeuges kodiert.

WLAN-Kommunikation

Markus Steinmetz, Leo Petrak (Hirschmann)

Hirschmann implementierte eine zuverlässige und hoch verfügbare Kommunikation zwischen den Fahrzeugen untereinander und zwischen Fahrzeug zu externen Netzwerkkomponenten (mobile Tablets, externe Produktions-Planungs-Rechner, etc., siehe Abbildung 42) über geeignete Netzwerk-Infrastruktur. Auf Basis des Parallel Redundancy Protocols (IEC 62439-3:2011) wurden WLAN Clients auf den Fahrzeugen verbaut, die jeweils über zwei WLAN Interfaces verfügen. Das lokale Ethernet-basierte Netzwerk auf den Fahrzeugen wurde über einen Switch mit der PRP-Instanz verbunden.

Die PRP-Instanz verdoppelt die zu sendenden Datenpakete und ergänzt diese mit zusätzlichen standardkonformen Steuerinformationen, welche dann an die Infrastruktur per WLAN IEEE 802.11n übertragen werden. Die WLAN Access Points verfügen ebenfalls über zwei voneinander unabhängige WLAN Interfaces. Das ermöglicht eine voneinander unabhängige Kommunikation in beiden Netzwerken. Das bezieht sich sowohl auf unterschiedliche Frequenzbereiche der einzelnen Interfaces als auch auf unterschiedliche Codierungsverfahren auf der MAC-Ebene. Für die Realisierung dieses Aufbaus sind WLAN Access Points notwendig, die eine erweiterte Konfiguration durch den Benutzer zulassen. Insbesondere muss die Behandlung von doppelten MAC-Adressen zulässig sein. Auf der Empfängerseite (ein anderes Fahrzeug bzw. eine externe Netzwerkkomponente) werden die Pakete entsprechend verarbeitet; Verschlüsselung und CRC-Summen geprüft, das schnellere Paket wird weitergeleitet, das andere verworfen und ggf. wird die korrekte Paketreihenfolge hergestellt. Dieses Verfahren garantiert, dass im Falle eines Ausfalls einer der Netzwerke die Kommunikation über das andere Netzwerk weiterhin korrekt funktioniert und der Datenstrom aufrechterhalten bleibt. Insbesondere im Fall von Roaming-Situationen, die für mobile Fahrzeuge eine typische Aufgabe darstellen, ist dieses Verfahren vorteilhaft, da es potentielle Kommunikationsabbrüche eliminiert (Roaming-Zeit entfällt).

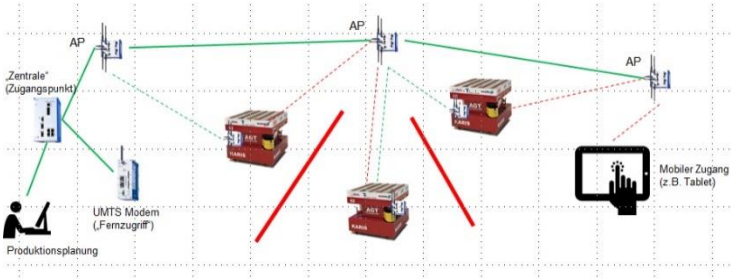


Abbildung 42 Schematischer Aufbau des Netzes für KARIS PRO

Eine weitere Aufgabe für Hirschmann bestand im Aufsetzen einer auf den Anwendungsfall zugeschnittenen Infrastruktur. Hierfür wurden Modelle auf Basis der Einsatzorte erstellt. Dafür wurde das Hirschmann Produkt BAT-Planer herangezogen, dass eine realitätsnahe Simulation der Netzwerkinfrastruktur ermöglicht. Die Netzwerkplanung bezog sich auf lokale Karten der Produktionsflächen. Es wurden Hindernisse (z.B. Pfeiler, Zwischenwände, aufgestellte Maschinen, etc.), die Anzahl und Dichte der kommunizierenden Geräte berücksichtigt.

Abbildung 43 Micro-Strip Antenne

Aufgrund des Fahrzeugaufbaus war die Verwendung einer Standard-Antenne (Stab- oder Richtantenne) nicht möglich. Nach einer Evaluation von möglichen Antennentypen wurde eine Micro-Strip Antenne (siehe Abbildung 43) ausgewählt. Insgesamt wurden an einem Fahrzeug 6 dieser Antennen verbaut. Je WLAN-Interface wurden 3 Antennen appliziert. Zur besseren Ausleuchtung wurden die Abstrahlwinkel der Antennen untersucht und optimiert. Es wird hierbei mit direkter Verbindung und auch mit Reflexionen gearbeitet. Hierdurch wird die Schwierigkeit, dass das Transportgut (Rollregale) das Fahrzeug sogar überlappend abschattet, kompensiert.

Ladungsträgeridentifikation

Dieter Schneider (Pepperl+Fuchs)

Pepperl+Fuchs entwickelte die Identifikationstechnik für das Fördermodul. Diese wird benötigt, um dem jeweiligen KARIS PRO-Element die Eigenschaften des Förderguts, welche in RFID-Datenträgern an den Ladungsträgerboxen gespeichert sind, zu übermitteln. Diese haben Einfluss auf die verschiedenen Sicherheitsmechanismen des KARIS PRO-Elements. So bestimmt z. B. das Gewicht die maximalen Fahrgeschwindigkeiten. Durch den Einsatz der RFID-Technik ist damit auch eine kontinuierliche Erfassung der Ladung möglich. Damit kann z. B. ein Wechsel des Förderguts im laufenden Betrieb erkannt werden. Auch ein reibungsloser Wiederanlauf des Systems ist dadurch gewährleistet.

Bei der Auswahl der Identifikationstechnik stehen zurzeit drei harmonisierte Frequenzbereiche zur Verfügung: LF mit 125 kHz, HF mit 13,56 MHz und UHF mit 868 MHz

Für KARIS PRO wurde der Bereich HF (13,56MHz) gewählt, da hier der Einfluss von Metall (unterschiedliches Fördergut) noch beherrscht werden, kann sowie Überreichweiten wie bei UHF-Systemen nicht so stark ausgeprägt sind. Die Datenträger sind in diesem Frequenzbereich günstig verfügbar und auch die Reader-Technik ist verglichen mit UHF-Systemen deutlich preiswerter. Auch die Integration einer HF-Antenne in das Fördermodul ist aufgrund des Bauraums einfacher zu bewerkstelligen als mit UHF-Antennen. LF-Systeme sind hingegen wegen der hohen Datenträgerpreise nicht geeignet.

HF-Systeme arbeiten mit einer H-Feldkopplung im Nahbereich. Es werden hier sowohl im Datenträger als auch im Lesegerät Spulen verwendet, die einen Resonanzkreis bilden. Diese Schwingkreise müssen genau auf die Arbeitsfrequenz abgestimmt sein, damit der Effekt der Resonanzüberhöhung ausgenutzt werden kann. Hierbei sind die Verluste im Schwingkreis minimal, wodurch mit einer

energieeffizienten Anregung eine große Wirkung erzielt werden kann. Je höher die Güte der verwendeten Spulen ist, desto größer ist der dabei erzielte Effekt.

Die Resonanzfrequenz eines Parallelschwingkreises ergibt sich aus:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Die Induktivität der Spule L wird allerdings stark durch die Umgebung beeinflusst. Da bei KARIS PRO besonders große Spulen verwendet werden, ist dieser Effekt besonders ausgeprägt. Um eine zuverlässige Identifikation zu gewährleisten, muss dieser Umgebungseinfluss kompensiert werden.

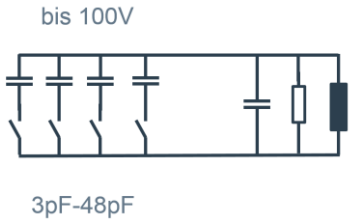
Eine Analyse der Einflussfaktoren auf die Induktivität ergibt folgendes Ergebnis:

- Fertigungstoleranzen der Bauteile: 100 kHz
- Toleranzen beim Einbau der Spule in KARIS PRO: 200 kHz
- Metallischer Transportbehälter: 500 kHz

Aus der Entwicklungspraxis von Pepperl+Fuchs ist bekannt, dass eine Abweichung von etwa 100 kHz toleriert werden kann, ohne dass dabei die Leistungsfähigkeit des Systems zu stark nachlässt.

Damit ergibt sich, dass der Abstimmbereich mindestens 800 kHz betragen muss und dabei eine Genauigkeit von mindestens 100 kHz benötigt wird.

Die automatische Abstimmung der Resonanzfrequenz des Schwingkreises wurde mittels Zu- und Abschalten von Parallelkapazitäten gelöst.



Dabei ist die Höhe der Schwingkreisspannung von ca. 100 V, die Eigenkapazität der Schaltelemente, deren Verlustwiderstand sowie die Arbeitsfrequenz von 13,56 MHz zu berücksichtigen. Dies wurde mit speziellen MOSFET-Elementen und einer Brückenschaltung erreicht. Um den erforderlichen Abstimmbereich mit der entsprechenden Genauigkeit zu erzielen, sind vier geschaltete Kapazitäten notwendig. Mit den gewählten vier Kapazitätswerten ergibt sich ein Abstimmbereich von 980 kHz mit einer Auflösung von 61 kHz.

Damit kann der Schwingkreis unter den berücksichtigten Bedingungen immer im optimalen Arbeitsbereich betrieben werden.

Eine weitere Besonderheit der Ladungsträgeridentifikation bei KARIS PRO besteht in der unterschiedlichen Ausrichtung der Datenträger zur Lesekopfspule (siehe Abbildung 44). Ursprünglich war vorgesehen, die Datenträger im Boden der Transportkisten zu integrieren. Während des Projektes entstand der Wunsch, auch Kanban-Karten einzusetzen, die sowohl einen Datenträger als auch für den Menschen lesbare Informationen enthalten. Diese sollen an den Seiten der Transportkisten angebracht werden, damit sie auch vom Personal lesbar sind. Dies machte eine Änderung des Spulenkonzeptes notwendig.

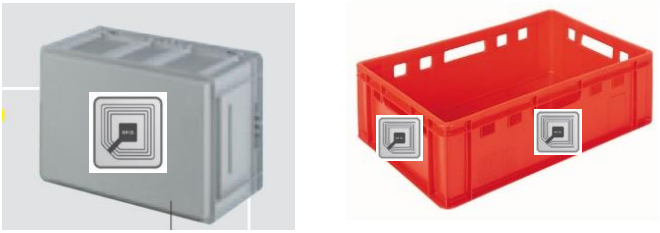


Abbildung 44 Unterschiedlicher Ausrichtung der RFID-Tags an den Kleinladungsträgern

Die unterschiedliche Anordnung der Datenträger zur Sendespule wird in Abbildung 45 veranschaulicht.

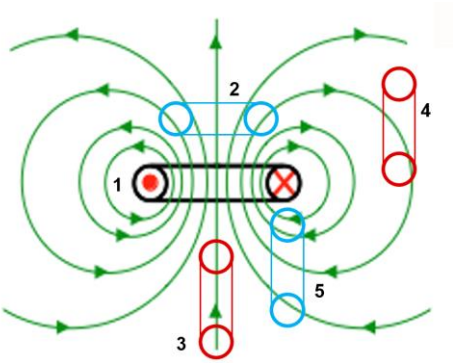


Abbildung 45 Sendespule und verschiedene Anordnungen der Datenträger

Die Sendespule (1) ist im Bild schwarz dargestellt. Die von ihr erzeugten magnetischen Feldlinien werden durch grüne Kreise gezeigt. Der innerhalb der Sendespule (1) parallel angeordnete Datenträger (2) wird sehr gut mit magnetischen Feldlinien durchsetzt und erreicht damit eine gute Funktionalität. Kommen jetzt senkrecht zur Sendespule (1) angeordnete Datenträger (3-5) ins Spiel, so ändert sich die Situation je nach Lage des Datenträgers. Der Datenträger innerhalb der Sendespule (3) wird gar nicht mit Feldlinien durchsetzt. Eine Funktion ist deshalb nicht gegeben. Der Datenträger (4)

außerhalb der Sendespule (1) wird nur schlecht mit Feldlinien durchsetzt. Anders verhält es sich beim Datenträger (5), der direkt über der Sendespule (1) steht. Dieser wird gut mit magnetischen Feldlinien durchsetzt und kann somit ebenfalls gelesen werden.

Der Datenträger am Kistenboden kann damit innerhalb der Lesekopfspule gut gelesen werden. Die Datenträger an der Kistenwand können gut direkt über der Lesekopfspule und nicht innerhalb gelesen werden. Damit muss die Lesekopfspule in etwa die Größe der Transportkiste besitzen.

Da aber Transportkisten unterschiedlicher Größe eingesetzt werden sollen, musste eine andere Lösung gefunden werden.

Um Transportkisten der Größe 60 cm x 40 cm sowie 40 cm x 30 cm mit einem Datenträger an einer beliebigen Seitenwand identifizieren zu können, wird eine Anordnung von drei Lesekopfspulen, die im Zeitmultiplex betrieben werden, verwendet (siehe Abbildung 46).

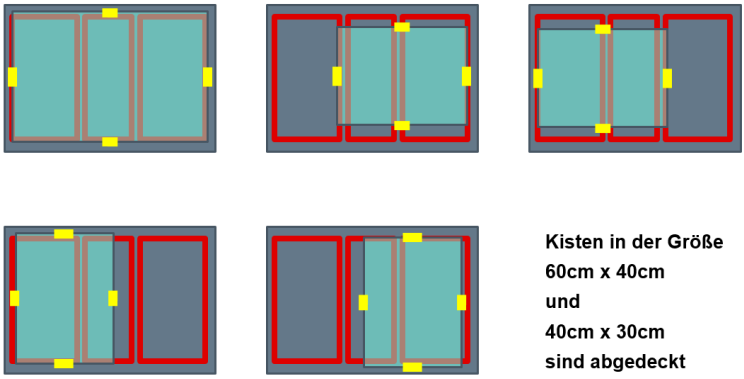


Abbildung 46 Anordnung der Lesekopfspulen (rot) und Datenträger (gelb)

Die möglichen Positionen der Datenträger sind gelb gekennzeichnet, die drei Lesekopfspulen rot. Um eine gegenseitige Beeinflussung der drei Resonanzkreise zu verhindern, müssen die beiden jeweils nicht benutzten Spulen durch eine spezielle Elektronik in ihrer Eigenresonanz verschoben werden. Dies gelingt durch Auftrennen des Parallelschwingkreises mittels eines Schaltelements. Hier konnte die gleiche Elektronik verwendet werden, die bereits die Abstimmkapazitäten schaltet.

Durch den größeren Abstand zwischen der Lesekopfspule und den Datenträgern an der Seitenwand, verglichen mit einem Datenträger am Kistenboden, musste die generelle Reichweite des Lesekopfes gesteigert werden. Dies wurde durch eine Erhöhung der Spulengüte sowie das Hochziehen der Lesekopfspule zwischen die Förderrollen erreicht.

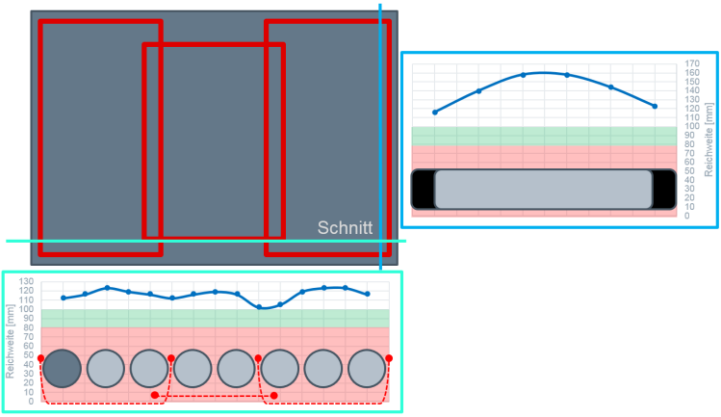


Abbildung 47 Spulenanordnung und Lesereichweite

Abbildung 47 zeigt die Draufsicht auf die Spulenanordnung sowie einen Längsschnitt (grün umrahmt) und einen Querschnitt (blau umrahmt) durch das Fördermodul. Die zwischen die Förderrollen geführten Spulen sind rot dargestellt. Der dort rot hinterlegte Bereich ist die minimal erforderliche Reichweite. Grün dargestellt ist die für

einen sicheren Betrieb notwendige Reichweite. Die blaue Kurve zeigt die tatsächliche Reichweite des gebauten Prototyps. Damit sind genug Reserven vorhanden, um auch über die Serie einen sicheren Betrieb zu gewährleisten.

Zusammenfassung

Andreas Trenkle (Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme)

Im Rahmen des Forschungsprojektes konnte gezeigt werden, dass der Einsatz von dezentral gesteuerten Fahrerlosen Transportsystemen auch im realen Industrieumfeld möglich ist. Die beiden Pilotanwendungen zeigen die Flexibilität von KARIS PRO: Sowohl Kleinladungsträger als auch Warenkörbe können transportiert werden und durch die autonome Aktualisierung der Kartendaten funktioniert die Lokalisierung auch in dynamischer Umgebung zuverlässig.

Was haben wir gelernt?

Der **frühe Aufbau von Prototypen** hat das Projekt gerettet – so konnten zahlreiche Softwarethemen bereits in einer frühen Phase des Projektes entwickelt, getestet und rechtzeitig aus „Fehlern“ gelernt werden.

Der **modulare Aufbau** der Fahrzeuge und die direkte Integration der Sicherheitstechnik hat sich mehrfach als sehr nützlich erweisen: Während der Entwicklungsphase konnten die einzelnen Komponenten von den jeweiligen Partnern unabhängig entwickelt und getestet werden. Die aktuell geplante Verwertung der Komponenten zeigt, dass der Ansatz auch über das Forschungsprojekt hinaus sinnvoll ist, da die Ergebnisse und das Know-How der Partner unabhängig genutzt und weiterentwickelt werden können.

Schnell umsetzbare **Rückfallstrategien** in den Pilotanwendungen sind unabdingbar. Bei einem komplexen System wie KARIS PRO in Kombination mit neu entwickelter Hardware müssen Ausfälle eingeplant werden. Um schnell Anpassungen vornehmen zu können waren Rückfallstrategien nützlich, die den schnellen Wechsel auf den konventionellen Betrieb ermöglichten.

Ein wenig **Risiko** macht **Spaß**: Im Projektantrag haben wir das „Forschungsrisiko“ noch entspannt beschrieben – während dem Projekt hat es uns hin und wieder eingeholt. Umso größer war die Freude, als die Fahrzeugflotte nach „einfach“ das machte, was sie sollte.

Vielen Dank an alle Mitwirkenden für Ihren Einsatz und die gute Zusammenarbeit!