

## Sachbericht / Schlussbericht: FlowPro

Förderkennzeichen: 19F2128A, Emqopter GmbH

Förderkennzeichen: 19F2128B, Technische Hochschule Würzburg-Scheinfurt

Förderkennzeichen: 19F2128C, Flexus AG

Förderkennzeichen: 19F2128D, Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes

Förderkennzeichen: 19F2128E, ABB Autonomous Mobile Robotics

Förderkennzeichen: 19F2128G, Siemens AG

### I. Kurze Darstellung zu 1. Aufgabenstellung

In FlowPro werden Logistikeinheiten untereinander kommunizieren und durch ein KI-gestütztes Bidding-System den geeigneten Kandidaten für den anfallenden Transportauftrag ermitteln können. Der KI-Service wird so aufgebaut sein, dass alle Parameter im Logistiknetzwerk, seien es Verkehrsdaten, Umwelteinflüsse wie etwa das Wetter sowie die Fähigkeiten der einzelnen Transporteinheiten und die Produktdaten sowie die Strategien jedes, sich im Netzwerk befindlichen Unternehmens einbeziehen kann und so lokale und globale logistische Ziele (Kosten, Emissionsreduktion, Lieferzeiten, Auslastungssteigerung, ...) erreicht werden können. Dabei ist es im FlowPro-System jederzeit möglich weitere Transporteinheiten einzubinden, eigene Einheiten gegen Gebühr zur Verfügung zu stellen und somit logistische Ziele für alle beteiligten Partner zu optimieren.

Emqopter übernahm im Projekt die Rolle des Konsortialführers und hat die Kommunikation mit dem Träger und der Öffentlichkeit, die Verbreitung und Verwertung der Projektergebnisse in Form von Publikationen, sowie die Erstellung und Pflege von Webinhalten zum Projekt FlowPro, nicht zuletzt auf der eigenen Website [www.flow-pro.de](http://www.flow-pro.de), übernommen. Außerdem hat sich Emqopter zur Förderung des Austauschs und der Vernetzung mit anderen Projekten an Veranstaltungsformaten Dritter aktiv beteiligt, sowie aktiv mehrere Veranstaltungen im Rahmen der Begleitforschung ausgerichtet. Für die Koordination der Aktivitäten der Partner im Rahmen der Arbeitspakete fand ein wöchentliches Jour Fixe statt.

Weiterhin integrierte Emqopter im Rahmen des Projektes die hauseigene Lieferdrohne in das FlowPro-System. Auf diese Weise wurde die Heterogenität der Transportflotte im FlowPro-Netz erreicht, da neben dem bodengebundenen AGV von Asti/ABB auch der Outdoor-Kontext durch den Einsatz von Transportdrohnen abgedeckt wird. Die Schwerpunkte der Emqopter GmbH waren in diesem Zusammenhang der Übergang von Outdoor- zu Indoor-Navigation und die damit einhergehende Detektion von Toren sowie die Implementierung der Kommunikationsschnittstelle zum FlowPro-Netz.

### 2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Durchführung des Projektes wurde maßgeblich durch die Corona-Krise geprägt. Die geltenden Corona-Maßnahmen (Einhaltung von Mindestabständen im Betrieb, Wegfall von Arbeitsflächen, Verlegung von Arbeiten ins Home Office, etc.) beeinträchtigten den Projektstart und die effektive Zusammenarbeit sowohl bei Emqopter als auch im gesamten Konsortium.

Insbesondere die Planung und Durchführung von Konsortialtreffen und Workshops in persona gestaltete sich schwierig, so dass vermehrt auf digitale Veranstaltungen ausgewichen werden

musste. Dies führte dazu, dass im Rahmen des Projektes vorgesehene Reisen nur sehr eingeschränkt bzw. erst im späteren Projektverlauf durchgeführt werden konnten.

### 3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Forschungsprojekt FlowPro gliederte sich in sechs Arbeitspakete und deren Unterpakete:

- **AP 1: Projektmanagement**
  - Das Arbeitspaket Projektmanagement umfasste die Planung, Steuerung, Berichterstattung und Projektkoordination.
- **AP 2: Anwendungsszenarien, Anforderungen & Schnittstellen**
  - In AP 2 wurde eine umfangreiche Anforderungsanalyse an das Gesamtsystem FlowPro erstellt und hieraus ableitend das Zielsystem definiert. Hierbei wurden die konkreten Anforderungen, sowohl an das Gesamtprojekt als auch an alle Teilkomponente des FlowPro-Systems erarbeitet. Um die spätere Integration und die Validierung der Technologien und Methoden in AP6 sicherzustellen wurde außerdem ein Entwicklungs- und Validierungsplan erstellt.
- **AP 3: Spezifikation Modellierung, Methoden und Werkzeuge für heterogenes Flottensystem**
  - In AP3 wurden die Fähigkeiten, die notwendig sind um die wesentlichen Aspekte eines heterogen dezentralen Flottenmanagement verstehen, kommunizieren und analysieren zu können ausgearbeitet und entwickelt. Ein Fokus in diesem AP lag auf dem Entwurf und Entwicklung der Interaktions-, Kollaborations-, und Transaktionskomponente für das FlowPro-System. Es wurde die Möglichkeit geschaffen, dass sich die Teilkomponenten in unterschiedlichen Kontexten über die dezentrale Middleware abstimmen und Transaktion ausführen können.
- **AP 4: KI-Techniken und Cloudinfrastruktur**
  - In Arbeitspaket 4 wurden zum einen maschinelle Lernverfahren, Algorithmen und neuronale Netzwerke zur stetigen Echtzeit-nahen Überwachung, autonome Entscheidungsfindung (Bidding-System) und Optimierung der Handlungsstrategien des dezentralen, heterogenen und flexiblen Flottenverbundes und dessen Ziele entwickelt. Zum anderen wurde die gesamte Cloudinfrastruktur entwickelt und aufgesetzt, welche als KI-Serviceprovider des Flottennetzwerks dient.
- **AP 5: Security & Kommunikationsarchitektur**
  - Dieses AP integrierte Security in das Gesamtsystem, entwickelte eine Plattform zur dezentralen Erkennung und Ergreifung von Maßnahmen bei IT-Angriffen im Kontext von Industrie/ Mobilität 4.0, und definierte die Kommunikationsarchitektur.
- **AP 6: Integration, Evaluation und Demonstration**
  - Im AP6 wurden die entwickelten Technologien in ein Gesamtsystem zusammengeführt, demonstriert, validiert und evaluiert. Das Gesamtsystem wurde im ITS Testfeld Merzig (ITeM) unter realen Bedingungen untersucht, getestet und zum Abschluss präsentiert. Für das Gesamtsystem wurden Geschäftsmodelle für Logistiksysteme entwickelt und aus ökologischer Sicht CO2-Emissionen analysiert.

Diese wurden wie folgt zeitlich über die Projektzeit eingeplant.

AP/Monate	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
Meilensteine			M										M		M			M
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		

- **Meilenstein 1:** Das Projekt wurde in der Gesamtheit konzipiert, UseCases erarbeitet und hieraus alle Anforderungen an das Gesamtsystem, Datengrundlage und Schnittstellen abgeleitet.
- **Meilenstein 2:** Die Kollaborationsmechanismen wurden realisiert, erste Bausteine der KI implementiert und 1-2 Feldtests durchgeführt.
- **Meilenstein 3:** Voll funktionsfähige KI-Services und die Cloudinfrastruktur implementiert.
- **Meilenstein 4:** Abschluss des Projektes. Demonstration der dezentralen Transporteinheiten im Testfeld Merzig. Öffentliche Abschlussveranstaltung.

Die Leitung der verschiedenen APs erfolgte durch je einen hauptverantwortlichen Konsortialpartner.

#### AP 1

Das Arbeitspaket „Projektmanagement“, welches sich über die gesamte Projektlaufzeit erstreckt, übernahm als Konsortialführer Emqopter. Neben der Planung, Steuerung und Projektkoordination wurde in diesem AP die Kommunikation mit dem Träger und der Öffentlichkeit, die Verbreitung und Verwertung der Projektergebnisse in Form von Publikationen, sowie die Erstellung und Pflege von Webinhalten zum Projekt FlowPro, nicht zuletzt auf der eigenen Website [www.flow-pro.de](http://www.flow-pro.de), behandelt. Außerdem wurde die Beteiligung an Veranstaltungsformaten zur Förderung des Austauschs und der Vernetzung mit anderen Projekten koordiniert. Für die Koordination der Aktivitäten der Partner im Rahmen der technischen Arbeitspakete richtete Emqopter ein wöchentliches Jour Fixe ein.

#### AP 2

In AP 2 ging es um die Definition von Anwendungsszenarien und den daraus resultierenden Anforderungen. Hierzu wurde ein gemeinsames Dokument erstellt, in dem die projektrelevanten Anwendungsfälle beschrieben sind. Zu jedem Anwendungsfall wurde der Standardablauf, alternative Abläufe, Interaktionen mit anderen Anwendungsfällen und Vorbedingungen beschrieben. Die Emqopter GmbH beschrieb im Wesentlichen den Anwendungsfall „Auftragsausführung durch Transportsystem“.

Von den definierten Anwendungsfällen wurden anschließend Anforderungen hinsichtlich der IT-Infrastruktur, IT-Sicherheit und Kommunikationsarchitektur abgeleitet. Hierzu wurde die vom Projektpartner HTW Saar zur Verfügung gestellte Instanz der Projektmanagementsoftware „Redmine“ genutzt. Hierüber findet im weiteren Projektverlauf die Verwaltung von Zuarbeiten der einzelnen Projektmitarbeiter statt. Zu den Anforderungen wurden Details zur Verifizierung sowie Akzeptanzkriterien definiert.

Im weiteren Verlauf fand insbesondere mit der HTW Saar ein enger Austausch hinsichtlich der Implementierung der Kommunikationsarchitektur und der Entwicklung der dafür notwendigen

Schnittstellen, software- und hardwareseitig, auf der Drohne statt, um diese in den FlowPro reibungsfrei integrieren zu können. Dazu wurden mehrere virtuelle Treffen abgehalten, bei dem das Vorgehen diskutiert wurde und Abstimmungen für das weitere Vorgehen getroffen wurden.

Abschließend wurden Anforderungen an Geschäfts- und Finanzierungsmodelle des Logistiksystems FlowPro analysiert. Emqopter fokussierte sich dabei insbesondere auf die Einflüsse, die die neue EU-Drohnenverordnung, die zum 01.01.2021 in Kraft trat, auf Betreiber-, Finanz- und Geschäftsmodelle bezüglich des Einsatzes von FlowPro hat. Im Rahmen dieser Arbeit entstand auch ein White Paper, das Emqopter kostenlos zum Download anbietet

(Vgl. [https://www.emqopter.de/media/papers/White%20Paper\\_EU\\_Drohnenverordnung.pdf](https://www.emqopter.de/media/papers/White%20Paper_EU_Drohnenverordnung.pdf)). Im Konsortium wurde parallel eine Gesamtübersicht erstellt, die die Anforderungen aller Akteure an die Geschäfts- und Finanzierungsmodelle bündelt.

### AP 3

Zu Beginn des Arbeitspakets wurde das Deliverable „FlowPro D3.1 Gesamtsystemarchitektur“ verfasst. Inhaltlich umfasst das Dokument unter anderem verschiedene Sichten auf das FlowPro-System, seine Komponenten sowie deren Schnittstellen. Neben dem Systemkontext werden eine logisch-funktionale Sicht, eine Deployment-Sicht und eine dynamische Architektur-Sicht präsentiert.

Für Emqopter drehte sich das Arbeitspaket weiterhin maßgeblich um die Situationserfassung und Positionierung.

Hierfür wurden verschiedene Algorithmen zur Tokerkennung implementiert und evaluiert. Weiterhin wurde ein 2DOF-Lidar konzipiert, entworfen und ein erster Prototyp gefertigt. Mit diesem Konzept wird das Landeplatzdetektionssystem der Lieferdrohne erweitert, um einen vollautonomen Tordurchflug sowie eine Landung im Eingangsbereich einer Werkshalle zu ermöglichen.

Zur Evaluation wurde eine Technologieerprobungsdrohne mit vier 2DOF-Lidar-Modulen ausgestattet und das Landeplatzdetektionssystem um den „Doorfinder“-Algorithmus erweitert. Mit dieser Erweiterung konnte die Situationserfassung maßgeblich verbessert werden. Sowie durch die Verwendung eines der vier Lidars als Höhenlidar die Positionierung während des Tordurchflugs durch redundante Informationen optimiert werden.

Um die Positionierung der Drohne während des Tordurchflugs und im Inneren der Werkhalle, ohne GPS-Position, zu verbessern wurde der Einsatz von UWB-Modulen evaluiert.

Diese funktionieren mittels „Differential Time of Flight“ Distanzmessungen. Durch die Integration zweier UWB-Module an den Torpfosten der Werkhalle sowie eines weiteren Moduls auf der Drohne konnte die Position der Drohne in Relation zu den Torpfosten verlässlicher bestimmt werden.

Die Firmware der UWB-Module wurde angepasst und erweitert. Hierbei wurde die im Vorfeld entworfene Initiator-Responder-Architektur umgesetzt. Diese ermöglicht dem Initiator/(Master)-Modul von den Responder/(Slave)-Modulen Antworten anzufragen und somit basierend auf einem „two-way-ranging“ (TWR)-Algorithmus die Distanz zu den jeweiligen Slaves zu bestimmen.

Für die Positionierung der Drohne während des Tordurchflugs kann somit, durch Anbringung der Responder-Module an den Torpfosten und des Initiator-Moduls auf der Drohne, die relative Position der Drohne zum Tor ermittelt werden.

Im Anschluss wurde eine Sensorfusion der Daten von UWB und Lidar durchgeführt um die Positionsbestimmung noch weiter zu verbessern und robuster zu machen.

Für die einfachere Evaluation und Fusion wurde eine GUI implementiert, um die Messdaten der Laserscanner und der UWB-Module visuell darzustellen.

Als letztes großes Teilarbeitspaket im Rahmen der Situationserfassung und Positionierung der Drohne wurde dann ein Zustandsautomat („state machine“) entworfen und implementiert. Dieser wurde in ausgiebigen Testreihen optimiert und die Teil-Algorithmen parametrisiert. Im Anschluss wurden in einer Testumgebung in der Nähe von Würzburg bei Emqopter Tests zum Tordurchflug sowie der Tordurchflug mit der Technologieerprobungsdrohne durchgeführt.

Letztes großes Teilstück von AP3 war die FlowPro-Kommunikation.

Hier wurde zielgerichtet auf die Integration der verschiedenen Komponenten sowie deren Anbindung an das FlowPro-Transaktionsnetzwerk hingearbeitet. Die im Deliverable definierten Datenmodelle wurden in proto-Files übertragen um die plattformunabhängige Kommunikation der entsprechenden Nachrichten über die TNC-Implementierung des Konsortialpartners SAG zu ermöglichen. In einem ersten Schritt wurde die Kommunikation zwischen den verschiedenen Teilkomponenten implementiert (TNC-Routing) und getestet. Parallel wurde vom Konsortialpartner Flexus der TNC auf einem SAP/Hana-Server integriert. In bilateraler Abstimmung mit dem Partner Flexus konnten erfolgreiche Kommunikationstests zwischen dem FlowPro-Agenten des SAP/ERP-System von Flexus und dem FTF-Agenten von Emqopter durchgeführt werden. Die im SAP-System erstellten Transportaufträge konnten von der Drohne empfangen werden.

#### **AP 4**

In AP4 nahm Emqopter über die Projektlaufzeit eine beratende und unterstützende Rolle ein. Im Rahmen dessen konnte Emqopter den Partnern zentrale Einblicke in die Anforderungen, Grenzen und Möglichkeiten zum Einsatz von KI-Algorithmen und der dafür benötigten Hardware an Bord einer Drohne sowie die Vereinbarkeit mit der echtzeitfähigen Steuerung geben. Dadurch wurden wichtige Grundlagen für Entscheidungen, wo und wie die KI angelernt und betrieben werden kann, beispielsweise an Bord der Drohne, auf einem Rechner an der Bodenstation oder in der Cloud, gelegt werden. Auf Grundlage dieser Überlegungen wurden dann KPIs abgeleitet und definiert.

In bilateraler Abstimmung mit dem Konsortialpartner THWS-KI konnte zum Ende des Berichtszeitraums die erfolgreiche Integration der lokalen KI-Komponente in den FTF-Agenten (Drohne) durchgeführt und getestet werden.

#### **AP 5**

Aus Sicht von Emqopter standen in AP5 insbesondere die Ausfallsicherheit und die Datensicherheit der Kommunikationsverbindungen zwischen der Drohne und den anderen Agentensystemen im Vordergrund. Es muss gewährleistet sein, dass auf der einen Seite Telemetriedaten, wie Position, Flughöhe, Akkustand etc., und Videodaten von der Drohne an den FlowPro Agent, auf der anderen Seite auch Telekommandodaten, wie Auftragsdetails, Steuerkommandos und Umweltinformationen vom FlowPro Agent an die Drohne in Echtzeit zuverlässig kommuniziert werden. In diesem Rahmen hat Emqopter die missionskritischen Daten auf Seiten des Drohnenbetriebs definiert und sich mit der htwsaar bezüglich der technischen Spezifikationen des Kommunikationsmoduls auf der Drohne

bilateral ausgetauscht. Dabei konnte insbesondere Grundlagen für die Anforderungen an Gewicht, Spannungsversorgung und Schnittstellen gelegt werden.

Weiterhin wurden mit dem Partner THWS-Security mögliche Risiken identifiziert sowie Handlungsempfehlungen zu Security-Aspekten für FTF-Agent und Drohne abgeleitet.

#### **AP 6**

Die Planung der Abschlussdemonstration in Merzig sowie die Evaluation des Projektes waren Thema des letzten Arbeitspakets.

Hier hat Emqopter in Abstimmung mit der HTW das Szenario des Drohnenflugs definiert und konnte aufgrund der vorhandenen Expertise und Erfahrung wichtige Punkte hinsichtlich Machbarkeit und Sicherheitsfragen klären. Besondere Unterstützung leistete Emqopter hier auch bei der Antragstellung der Fluggenehmigung.

Von Emqopter wurde in Zusammenarbeit mit der Flexus AG außerdem ein Video gedreht, das einen UseCase des Projekts veranschaulicht. Das Video ist unter dem Link [https://emqopter.de/media/video\\_portal/videos/FlowPro.mp4](https://emqopter.de/media/video_portal/videos/FlowPro.mp4) auf der Website von Emqopter online abrufbar.

Bei einem Integrationsworkshop in Saarbrücken wurde im Konsortium unter Leitung der HTW-Saar der Evaluationsprozess für FlowPro diskutiert und festgelegt.

Außerdem wurden auch mögliche Einsatz- bzw. Zukunftsszenarien für das FlowPro-System, sowie erste mögliche Geschäftsmodelle diskutiert und ausgearbeitet.

Darüber hinaus wurden zu den verschiedenen APs durch den jeweiligen hauptverantwortlichen Konsortialpartner Workshops ausgerichtet, in denen regelmäßig der Arbeitsfortschritt diskutiert und präsentiert sowie gemeinsame Arbeiten z.B. hinsichtlich der Integration abgestimmt wurden.

- 4. wissenschaftlichem und technischem Stand, an den angeknüpft wurde, insbesondere**
  - Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Als Entwickler und Hersteller von Flugrobotertechnik verfügt Emqopter über innovative Technologien, Lösungen und Produkte mit dem Schwerpunkt Autonomie. Zu unserem Portfolio gehören die erste vollautonome urbane Lieferdrohne, der intelligente Drohnenport, KI-Sensorbasierte Flugassistentensysteme, Lehrsysteme sowie der Quanipulator, ein Flugroboter mit Greifarm. Unsere Kunden profitieren von Kostensenkungen durch Zeitersparnis, Effizienzsteigerung, Automatisierung und Digitalisierung aber auch von mehr Sicherheit und Qualität dank zuverlässiger, modernster sowie emissionsärmer Technik.

Emqopter hat im Rahmen des Projektes primär an seine eigenen bisherigen Arbeiten angeknüpft. So hatte Emqopter bereits vor dem Projekt eine eigene Steuerungsplatine, genannt EMQ Control und eine umfangreiche Software-Bibliothek, die auf der EMQ Control basiert, entwickelt. Die EMQ Control und die EMQ Lib stellen die Grundlage aller Entwicklungen im Hause Emqopter dar. Außerdem bauten die Arbeiten zur Hinderniserkennung und Datenfusion auf Vorarbeiten von Emqopter zur modularen Kollisionsvermeidung mit LiDar Technologie und zur komplementären Kollisionsvermeidung (Datenfusion) mit LiDar und Ultraschall Sensoren auf.

Die hauseigene Lieferdrohne von Emqopter konnte im Projekt als bewährter Ausgangspunkt der Entwicklungsarbeiten verwendet, angepasst und erweitert werden. Bei der Entwicklung des FlowPro „Doorfinder“-Algorithmus konnte sowohl hardware- als auch softwareseitig auf das bereits durch Emqopter patentierte Landeplatzdetektionssystem zurückgegriffen und auf diesem aufgebaut werden.

- Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

Auch bezüglich der Fachliteratur knüpfte Emqopter an eigene Vorarbeiten an. Zu nennen sind hier insbesondere „Complementary Vision Based Data Fusion for Robust Positioning an Directed Flight of an Autonomous Quadrocopter“ (09/2014 IJAIA Vol. 5 Nr. 5 Journal, Nils Gageik, Eric Reinthal, Paul Benz und Sergio Montenegro) sowie „Obstacle Detection and Collision Avoidance for a UAV With Complementary Low-Cost Sensors“ (05/2015 IEEE Access Journal, Nils Gageik, Paul Benz und Sergio Montenegro).

Zur Dokumentation der Anforderungen und Szenarien wurde die von der HTW-Saar aufgesetzte projektinterne Instanz der Projektmanagementsoftware „Redmine“ verwendet. Diese stellt ein Ticketsystem zur Verfügung, das das gemeinsame Erstellen und Bearbeiten von Anforderungen ermöglicht und diese dann am Ende in ein PDF-Dokument exportiert.

Um die Implementierung der Komponenten und die Architektur-Abbildungen zu verwalten und zu dokumentieren, setzte die HTW-Saar eine projektinterne Instanz der Versionsverwaltungssoftware GitLab auf. GitLab ist ein Entwicklungsrepository, das das gemeinsame, parallele Arbeiten an einem Projekt ermöglicht, indem es die verschiedenen Versionen („Branches“) verwaltet.

## 5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Über das gesamte Vorhaben hinweg wurde ein enger Austausch mit dem Projektträger und dem Ministerium gepflegt. Im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit und der eigenen Beiträge zur Begleitforschung fand zudem ein regelmäßiger Austausch mit dem iRights Lab und emmett.io statt.

Für die Durchführung des Demonstrationsszenarios und der Abschlussveranstaltung wurde eine in Merzig ansässige Firma als Partner gewonnen. Die Holzhauer KG ist ein familiengeführter, mittelständischer Fachgroßhandel für Haustechnik-Komponenten aus den Bereichen Heizung, Sanitär, Klima-Lüftung und Installation an.

Holzhauer KG sicherte die Zusammenarbeit und Unterstützung für die Durchführung des Demonstrationsszenarios und der Abschlussveranstaltung zu und unterzeichnete einen Letter of Intent (LoI). Somit konnte auf der Abschlussveranstaltung ein realitätsnahes Business-to-Business Szenario des FlowPro-Systems auf dem Holzhauer Gelände präsentiert werden.

Für die Betriebserlaubnis des Drohnenflugs im Rahmen der Abschlussveranstaltung fand dabei auch ein enger Austausch und Abstimmung mit dem Luftfahrtbundesamt (LBA) statt.

## II. Eingehende Darstellung

### 1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Gesamtziele des Vorhabens:

Prototypische Entwicklung und Untersuchung:

- eines sich selbst optimierenden, unternehmensübergreifenden, dezentralen Logistiknetzwerks,
- das auf kleine Losgrößen ausgerichtet ist,
- und somit die Produktion und Mikromobilität von Waren wirtschaftlich und schnell gewährleisten kann,
- mit boden- und luftgebundenen, autonomen Transporteinheiten.

Mit besonderem Fokus auf:

- Entwicklung eines skalierbaren, erweiterbaren, sicheren Kommunikationssystem welches die Anforderungen des Mobilitätsbedarfs der Teilnehmer im Bereich Mikro-Logistik erfüllt, aufbauend auf existierenden Systemen aus dem Bereich Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation und 5G.
- Entwicklung eines dezentral organisierten heterogenen Logistiksystems primär für die Intralogistik unter Einbeziehung eines ERP-Systems, welches sich während des Betriebs selbstständig optimiert und über parametrierbare Zielvorgaben Produktion, Lager aber auch Umweltaspekte berücksichtigt.
- Integration einer systemübergreifenden Ende-zu-Ende Sicherheit
- Entwicklung neuer federated machine learning basierter KI zur Selbstoptimierung im Bidding Prozess

#### Teilvorhabenbeschreibung

Vorhabenziel von Emqopter ist das Design und die prototypische Entwicklung einer Multikopterplattform, die gleichzeitig in der Lage ist sich innerhalb und außerhalb einer Halle zu lokalisieren und zu navigieren sowie deren anschließende Integration in das dezentral organisierte heterogene Logistiksystem (FlowPro), um in diesem, mit weiteren Agentensystemen kollaborativ interagieren zu können.

Die Zuwendungen waren zur Erreichung der Ziele hinreichend zweckdienlich. Alle Ziele des Vorhabens wurden dadurch im Wesentlichen erreicht. Ein Erweiterungsantrag oder das Aufgeben wesentlicher Zielsetzungen des Vorhabens war somit nicht notwendig.

### 2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der überwiegende Teil der Mittel im Vorhaben (über 90%) ging auf Personalkosten zurück. Dabei handelte es sich insbesondere um Entwicklerstunden sowie Projektmanagement und Öffentlichkeitsarbeit. Der nächstgrößere Posten ging auf Materialkosten. Hier wurde insbesondere Hardware, Ersatzteile und Verschleißteile für den Aufbau der Demonstratoren beschafft. Einen vernachlässigbar kleinen Anteil (jeweils unter 1%) der Gesamtkosten des Vorhabens ging auf sonstige unmittelbare Vorhabenkosten, insbesondere Lizenzkosten für CAD Software, LTE und Webdomain, sowie Reisekosten zurück.

### 3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Logistische Prozesse in einer Supply Chain betreffen nicht nur einzelne Teilbereiche der Wirtschaft. Vielmehr ziehen sich logistische Prozesse ganzheitlich durch die Verkehrsinfrastruktur der modernen Gesellschaft. Zu hohes Aufkommen von Personen- und Güterverkehr führt besonders zu Stoßzeiten zu Staus und Verkehrsinfarkten. Die Aufrechterhaltung der Verkehrsinfrastruktur und der logistischen Lieferfähigkeit ist eine essentielle und fortlaufende Aufgabe, um eine moderne Gesellschaft handlungsfähig zu halten. FlowPro soll dabei unterstützen, die Verkehrsinfrastruktur der Zukunft einer modernen Gesellschaft zu entlasten und alternativ, logistische Wirtschaftskonzepte zu entwickeln, die auf viele Bereiche der Gesamtwirtschaft anwendbar sind und die für Industrie 4.0 befähigt werden können. Dabei kämpft der Wirtschaftsstandort Deutschland insbesondere mit Fachkräftemangel aufgrund des Demografischen Wandels sowie hohem Kostendruck. Die in FlowPro entwickelten intermodalen Automatisierungslösungen können hier dazu beitragen langfristig Prozesse in der Supply Chain zu niedrigen Grenzkosten abzusichern. Durch die öffentlich wirksame Darstellung des Projektes FlowPro und der hieraus resultierenden Vorteile für Wirtschaft und Gesellschaft kann zusätzlich die Akzeptanz für diese Technologie und den Anwendungsfall gesteigert und somit der ökologische Mehrwert erhöht werden.

### 4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Emqopter hat im Berichtszeitraum das „Abstandssensorsystem zur effizienten und automatischen Umgebungserkennung für autonom schwebefähige Fluggeräte“ zum Patent angemeldet. Die Anmeldung gilt für Deutschland. Emqopter plant das System zukünftig als modulare Erweiterung seiner Drohnen, insbesondere der Serie „Lieferdrohne“, anzubieten. Dadurch wird insbesondere das Einfliegen von Transportdrohnen in Lagerhäuser ermöglicht, was einen wesentlichen Vorteil im Kontext einer lückenlos automatisierten Supply Chain darstellen kann.

Des Weiteren wurde ein Ablagemechanismus zur Interaktion und Übergabe von Transportgütern zwischen Drohnen und AGV entwickelt. Dieser soll zukünftig ebenfalls als Erweiterung einer intelligenten Transportbox für die Lieferdrohne von Emqopter angeboten werden.

Die Lieferdrohne mit diesen Funktionalitäten wurde dabei jüngst im Dezember 2023 einem Krankhaus vorgeführt. Im kommenden Jahr soll auf Grundlage der Ergebnisse ein Projekt zum Transport von dringlichen Testschnitten aus der Notaufnahme ins Labor aufgesetzt werden.

Der Einsatz von LTE als Kommunikationslösung sowie die im Projekt entwickelte Kommunikationslösung wurden zu einer modularen Erweiterung zu unseren Systemen Entwicklungsplattform Qmed sowie der Lieferdrohne weiterentwickelt und in den Produktkatalog aufgenommen. Dadurch wird ein kollaborativer Einsatz mehrerer Drohnen mittels Schwarmsteuerung ermöglicht. Nur 4 Monate nach Projektende konnten bereits drei Qmed-Systeme mit der entwickelten Erweiterung zur prototypischen Schwarmsteuerung verkauft und ausgeliefert werden.

Ein weiterer Auftrag für drei Qmed-Systeme ist im Dezember eingegangen und wird im kommenden Jahr ausgeliefert. Somit konnten wir die Verwertungsziele aus dem Verwertungsplan sogar übererfüllen.

### 5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Während der Laufzeit des Projektes sind uns keine anderen Fortschritte in dem Bereich der dezentralen, selbstorganisierenden Logistiksysteme bekannt geworden, die die Entwicklung im Rahmen der Projektlaufzeit beeinflusst hätten.

## 6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses.

Auf einer öffentlichen Abschlussveranstaltung mit Live-Demonstration konnte das Projektergebnis für Teilnehmer aus Wirtschaft, Forschung und Lehre, Presse und Politik präsentiert werden. Dabei war auch der Staatssekretär des BMDV Oliver Luksic war vor Ort. Die Pressemitteilung zum Projektabchluss fand in regionalen und überregionalen Medien Beachtung.

Darüber hinaus kann der Projektverlauf und die Ergebnisse über die Website [www.flow-pro.de](http://www.flow-pro.de) auch über die Projektlaufzeit hinaus verfolgt und nachvollzogen werden.

Weitere wissenschaftliche Veröffentlichungen sind seitens der Forschungspartner für das Jahr 2024 geplant.