

## Mikrologistik der Zukunft mit dezentral organisierten boden- und luftgebundenen autonomen Fördereinheiten

Christian Bachmeir

### Short Facts

Projektlaufzeit: 01.07.2020 – 30.06.2023

Fördersumme: 869.024 €

Förderträger: BMVI

Projektpartner: Emqopter GmbH, FHWS – Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt, Flexus AG, htw saar, ASTI Mobile Robotics GmbH und Siemens AG.



## 1 AUSGANGSSITUATION UND ZIELSETZUNG

### 1.1 Ausgangssituation

Geprägt durch den Einzug der Digitalisierung in Wirtschaft und Industrie sieht sich die Logistikbranche heute zunehmend damit konfrontiert, immer kleinere Stückmengen und Losgrößen transportieren zu müssen. Heutige, konventionelle Logistiksysteme sind für diese zukünftigen Anforderungen nicht ausgelegt. Deshalb bringt der Transport kleiner Losgrößen hohe Kosten mit sich. Darüber hinaus sind heutige Logistiksysteme nicht flexibel genug. Auch die praktizierte Ansammlung von kleinen Losgrößen zu größeren Einheiten erfüllt die Anforderungen nicht. Der Warentransport wird aus Sicht des steigenden Anspruchs an den Zeitfaktor teuer. Darüber hinaus entstehen zusätzliche Lagerkosten.

Neue Technologien wie fahrerlose Transportsysteme und Transportdrohnen können in ihrer aktuellen Entwicklung dem Bedarf der Mikromobilität nur in stark abgegrenzten Bereichen gerecht werden und somit ihr Potenzial noch nicht ganzheitlich entfalten. Im Projekt wird die kollaborative Zusammenarbeit verschiedener Transporteinheiten wie fahrerlose Transportsysteme (FTS), Multicopter- und Flächendrohnen aufbauend auf einem KI-Service entwickelt, was einem heterogenen Netzwerk die Überwindung der einzelnen, technologischen Systemgrenzen und zweckdienlichen Einsatz ermöglicht.

Die Auslegung von logistischen Systemen erfolgt immer nach dem Prinzip des minimalsten Aufwandes. Das Projekt FlowPro entwickelt ein auf KI-Verfahren basierendes Logistiknetzwerk, welches sich selbstständig organisiert und in Industrieparks die Intralogistik sowie darüber hinaus unternehmensübergreifend auf dem Land- und Luftweg die Mikromobilität von Waren ermöglicht und optimiert.

### 1.2 Idee und Schwerpunkte des Vorhabens

Digitalisierung, sowohl in Wirtschaft, als auch Produktion beeinflusst auch alle tangierenden Bereiche wie etwa die logistische Infrastruktur. IoT-Technologie, intelligente Produkte, vernetzte Produktionsanlagen und Logistiksysteme sowie 5G-Übertragungsstandards ebnen den Weg weg von der Massenproduktion eines Artikels hin zu individuellen, kundenspezifischen Produkten, bis schließlich zu einer Produktionslogistik mit der Losgröße 1, einer sogenannten

güterzentrierten Mikromobilität. Gegenwärtige Logistiksysteme sind jedoch für solch eine Entwicklung nicht ausgelegt, weshalb der Transport von kleinen Losgrößen sehr teuer und unflexibel ist. Selbst bei der Ansammlung kleiner Losgrößen zu größeren Einheiten wird der Warentransport aus Sicht des Zeitfaktors sehr teuer. Derzeit beträgt der Anteil an LKW-Leerfahrten und Minimal-Ladungen deutlich über 37,1 %, was den Bedarf von individuellen und auf kleine Losgrößen adaptierten Logistiksystemen darlegt [1]. Neue Technologien wie autonome, fahrerlose Transportsysteme sowie Transportdrohnen (bspw. Emqopter) decken den logistischen Bedarf der industriellen Entwicklung 4.0 jedoch aktuell nur in einem stark abgegrenzten Rahmen und in spezifischen Einzelfällen ab. Durch den »unvernetzten« Einsatz bleibt das volle Potenzial ungenutzt.

Hier besteht jedoch ein Bedarf, denn die Unternehmen sehen sich zunehmend nicht mehr nur an ihre eigenen Hallengrenzen gebunden, sondern arbeiten immer mehr im kooperativen Verbund, teilen Ressourcen und organisieren ihre Supply-Chain über die Unternehmensgrenzen hinweg. Diese Form der Sharing Economy, ein möglicher zukünftiger Handel von Stillstandszeiten, stellt Unternehmen auch vor Herausforderungen in der logistischen Organisation, wenn es um das Teilen von physischen Gütern in kleinen Losgrößen geht.

Die Auslegung von logistischen Systemen erfolgt dabei meist nach dem Prinzip des minimalsten Aufwandes. Logistische Auftragsspitzen unternehmensübergreifend auszugleichen wird aus Kostengründen in der Praxis selten berücksichtigt.

Dabei existieren bspw. die folgenden Bedürfnisse: Im Audi-Werk Ingolstadt ist der intralogistische Lieferverkehr so stark ausgelastet, dass nach Möglichkeiten gesucht wird, den größtenteils ungenutzten Luftraum dafür zu verwenden. Besonders in Szenarien wie die der »Notfallbestellung« macht sich laut Audi ein Multicopter bezahlt. So können hier die Zeiten von 15 Minuten mittels FTS auf 5 Minuten gesenkt werden. Besonders im Produktionsumfeld mit kostenintensiven Ausfallzeiten sind Einsparpotenziale vorhanden [2].

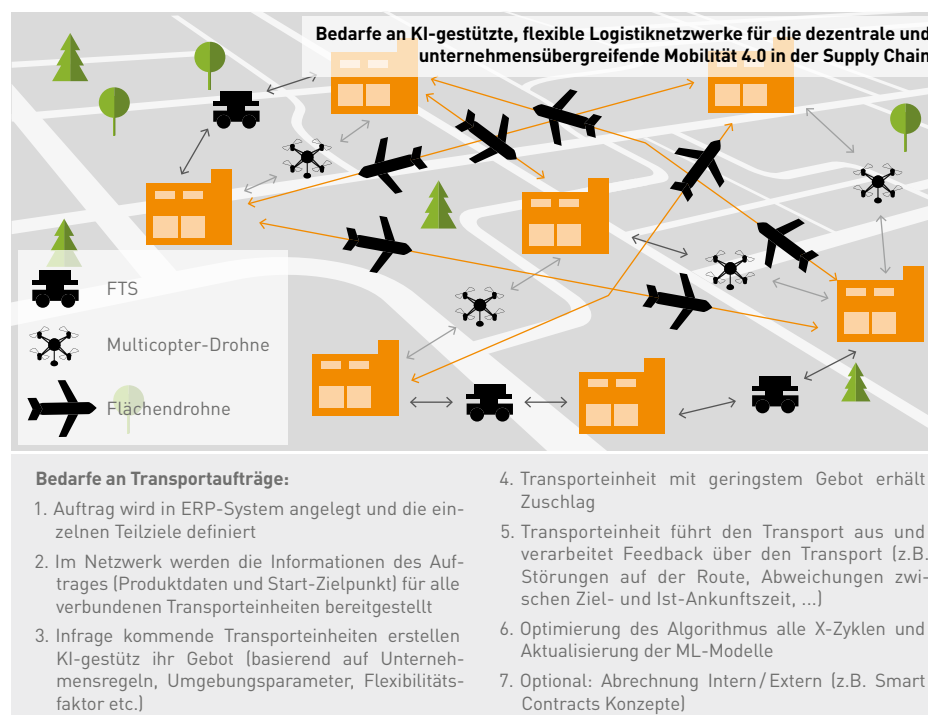


Abbildung 1: Beispielszenario zukünftiger Logistiknetzwerkbedarfe

Es besteht daher der Bedarf, die jeweiligen Vorteile der Technologien FTS, Multicopter und Flächendrohne bestmöglich über eine intelligente Gesamtlösung für Unternehmen und Logistikzentren zu vereinen.

### 1.3 Zielsetzung

Ziel des Projektes FlowPro ist es, innerhalb von 5G-Testumgebungen (Testfeld der Stadt Merzig & Siemens) ein intelligentes Logistiknetzwerk mit boden- und luftgebundenen autonomen Transporteinheiten zu pilotieren, welches einer unternehmensübergreifenden und auf kleine Losgrößen ausgerichteten Produktion und Mikromobilität von Waren in der Supply Chain der Zukunft gerecht wird. Erreicht wird dies über die nachfolgend dargestellte Systemarchitektur in Abbildung 2.

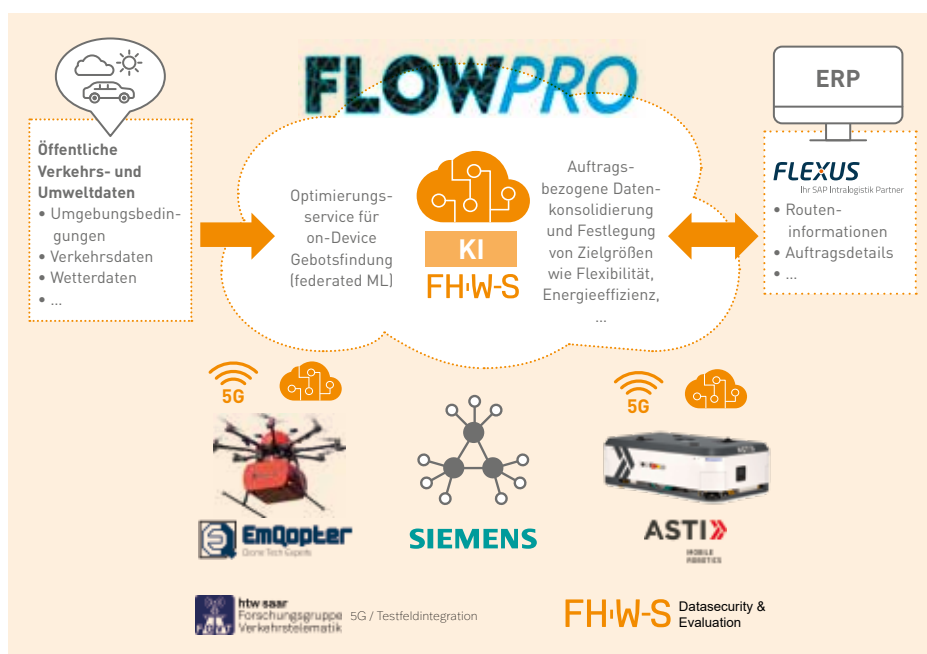


Abbildung 2: FlowPro-Systemarchitektur

Das FlowPro-System führt auftragspezifische und externe Datenquellen zusammen, bietet mittels künstlicher Intelligenz für alle Teilnehmenden Optimierungen an und kommuniziert mit diesen über ein plattformunabhängiges, dezentrales Framework. Angebunden werden drei autonome, für ein urbanes Umfeld taugliche, Systeme.

Erreicht wird dies durch eine Struktur mit den folgenden Kernelementen:

- Die Transporteinheiten sind über ein Application-Layer Ad-Hoc Netzwerk verbunden, welches neue Teilnehmende dynamisch zu dem bestehenden System integrieren kann.
- Zur dezentralen Organisation der Transporteinheiten untereinander kommt ein KI-basiertes Auktionsverfahren zum Einsatz. Die Gebote dienen primär der Zuteilung von Aufträgen zwischen den potenziellen Transporteinheiten, sind aber gleichzeitig Grundlage für die finanzielle Abrechnung (auch unternehmensübergreifend).
- Die KI-Services der Transporteinheiten dienen als Clients innerhalb eines federated Learning-Systems [3]. Dies ermöglicht eine stetige Optimierung der KI auf den verteilten Transporteinheiten ohne einen Austausch sensibler Daten. Es werden nur die lokalen ML-Modelle optimiert und stetig übergreifend aktualisiert.
- Das FlowPro-System optimiert für jeden Transportauftrag basierend auf spezifischen

Zielgrößen einen Satz individueller Faktoren. Diese können zum Beispiel Einfluss auf die Flexibilität oder Energieeffizienz einer Supply Chain, basierend auf Vorgaben der Unternehmensstrategie und Auftragslage sowie externen Daten (inkl. öffentlich zugänglichen Quellen) wie Wetterbedingungen, Verkehrslagen, Erfahrungswerten vorangegangener Aufträge, haben. Produktionsumgebungen mit großer Planbarkeit und geringer Variantenvielfalt benötigen statt einer hohen Flexibilität eine höhere Energieeffizienz. Bei kleinen Losgrößen mit unterschiedlichsten Produkten ermöglicht es bspw. eine hohe Flexibilität, um auf kurzfristige Änderungen oder Verzögerungen während einer Just-in-sequence-Produktion reagieren zu können.

## 2 EINORDNUNG IN DEN KONTEXT DER HOCHSCHULE

Im Rahmen des Projektes FlowPro werden zahlreiche Kompetenzen der Hochschule genutzt und weiter ausgebaut. Das Projektziel der Hochschule besteht in der Entwicklung eines sicheren, dezentralen, selbstorganisierten KI-Systems, welches einen automatischen, adaptiven Auktionsprozess im Logistiksystem realisiert. Das Lernen des Auktionsmodells [4] wird dabei mittels federated learning [3] aus heterogenen Streamingdaten [5] [6] [7] [8] realisiert. Ein weiterer Punkt ist die Integration von Sicherheit und Betriebsicherheit in allen Systemkomponenten, mit dem Ziel der Entwicklung neuer flexibler, dezentraler KI-unterstützter Ansätze der Angriffserkennung, die einer inhomogenen dynamischen Supply Chain angepasst sind.

Mit dem Kompetenzzentrum für Künstliche Intelligenz und Robotik (CAIRO – Center for Artificial Intelligence and Robotics) und dem Kompetenzzentrum industrial IoT, Security, kognitive-CPS/UAV bringt die die Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt ihre Kompetenzen in den Bereichen Künstliche Intelligenz und Security ein. Basis hierfür bilden einige Veröffentlichungen in diesen Bereichen [5] [6] [8] [9] [10].

## 3 BETEILIGUNG DER FHWS AN FLOWPRO

Das Institut Digital Engineering übernimmt die Führung in zwei Abschnitten des Projekts. Diese sind Security und Künstliche Intelligenz und werden folgend näher erläutert.

### 3.1 Security

Die FHWS integriert Security in das Gesamtsystem, entwickelt eine Plattform zur dezentralen Erkennung und Ergreifung von Maßnahmen bei IT-Angriffen im Kontext von Industrie/Mobilität 4.0, und definiert die Kommunikationsarchitektur.

#### Hieraus ergeben sich die folgenden Aufgaben:

- Security by Design: Entwicklung, Durchführung von Angriffen, Security-Evaluation, Architektur-Review & -Verbesserung
- Security by Operations: Entwicklung und Integration einer Security-Plattform mit dezentraler, verteilter Angriffs-Erkennung und -Behandlung für Mobilität 4.0 Szenarien
- Entwicklung von Kommunikationsarchitektur für Gesamtsystem

Als erwartetes Ergebnis ist das entwickelte Logistik-Netzwerk resilient gegenüber zu erwartenden Cyberangriffen, und kann somit auch in der Praxis eingesetzt werden. Zusätzlich existiert eine flexible, modulare, offene Kommunikationsarchitektur als systemübergreifendes Fundament für kommunizierende Services.

### 3.2 Künstliche Intelligenz

Zum einen entwickelt die FHWS maschinelle Lernverfahren, Algorithmen und neuronale Netzwerke zur stetigen echtzeitnahen Überwachung, autonomen Entscheidungsfindung (Bidding-System) und Optimierung der Handlungsstrategien des dezentralen, heterogenen und flexiblen Flottenverbundes und dessen Zielen.

Zum anderen wird die gesamte Cloud-Infrastruktur entwickelt und aufgesetzt, die als KI-Serviceprovider des Flottennetzwerks dienen wird.

Basierend auf den Anforderungen aus vorherigen Arbeiten im Projekt ergeben sich folgende Aufgabenstellungen:

- Ableitung und Definition lokaler und globaler Ziel- und Strategie KPIs
- Spezifikation, Bewertung und Anbindung der nötigen Inputkriterien (öffentliche und nichtöffentliche Daten)
- Aufsetzen der zentralen Input- und Analysedatenbank
- Evaluation geeigneter Machine Learning Algorithmen & Entwicklung neuronaler Netzwerke zur KI-Optimierung
- Entwicklung und Implementierung der lokalen (Biddingsystem) und globalen (Flexibilitätsfaktor) KI-Strategie (Strategiesynthese)
- Evaluierung und Auswahl der einzelnen Cloud-Komponenten
- Einbindung der einzelnen KI-Bausteine in die Infrastruktur
- Definition & Entwicklung des Netzwerk- sowie des zentralen betriebswirtschaftlichen Monitorings im ERP-System

Nach Durchführung der Aufgaben stehen KI-Services die über eine auf Security, Performance und Scalability ausgerichtete Cloud-Service-Infrastruktur lokal als intelligentes Auktionssystem on Device und global als Flexibilitätsfaktor on Cloud verfügbar sind. Des Weiteren werden Entitäten befähigt, sich über einen KI-federated-learning Ansatz als Gesamtsystem zu optimieren.

Darüber hinaus wird es ermöglicht, alle Inputparameter aus dem ERS-System und externen Umweltdaten in den Entscheidungsprozess einfließen zu lassen.

## 4 AKTUELLER STAND DES PROJEKTS

### 4.1 Definition der Anwendungsszenarien und Use Cases

Die Anwendungsszenarien und Use Cases wurden mit den Projektpartnern entwickelt. Diese wurden in mehreren Zyklen erarbeitet und regelmäßig in Workshops diskutiert und verfeinert. Hierbei fokussierten wir uns besonders auf die IT-Sicherheit und den Datenschutz. Im Rahmen dessen war es notwendig aktuelle Standards und Richtlinien auszuwerten und auf die Use Cases anzuwenden. Neben den Sicherheitsaspekten, identifizierte und spezifizierte die FHWS ebenfalls Anwendungsszenarien, welche durch KI unterstützt werden können, wie z. B. das Auktionsverfahren. Als Ergebnis stehen die Use Cases welche mit Hilfe von FlowPro umgesetzt werden.

### 4.2 Ableitung von Anforderungen und Zielen aus den Anwendungsfällen hinsichtlich IT-Infrastruktur, IT-Sicherheit, Kommunikationsarchitektur und die KI-seitigen Strategien

Aus den erarbeiteten Use Cases hat das Konsortium in mehreren Arbeitszyklen und Workshops die Anforderungen und Ziele des Systems erarbeitet. Mit den bei der Erarbeitung der Use Cases

erlangten Kompetenzen konnte auch bei der Ableitung von Anforderungen und Zielen unser Fokus auf die IT-Sicherheit gelegt werden. Ergebnis ist ein Anforderungskatalog mit 113 Anforderungen, welcher natürlich im Laufe des Projekts noch erweitert und weiter spezifiziert wird.

#### 4.3 Anforderungen an Geschäfts- und Finanzierungsmodelle eines unternehmensübergreifenden Logistiksystems

Parallel zu der Ableitung der Anforderungen aus den Anwendungsfällen wurde das Geschäfts- und Finanzierungsmodell erarbeitet. Hierbei haben wir unterstützend agiert und dem Projektpartner alternative Betrachtungspunkte und Vorschläge geliefert und unseren Fokus auf Security und KI nicht verloren.

#### 4.4 IT-Security für dezentrale IoT-Plattform

Bei der Erstellung der Use Cases und Anforderungen sind regelmäßig Aspekte der IT-Security aufgetaucht. Um diese zu bearbeiten wurde ein Konzept zur modularen Demonstration der verwendeten Technologien erarbeitet. Folgend können Evaluationen der einzelnen Komponenten durchgeführt werden. Als Ergebnis steht ein Konzept für eine Demonstration, welche die Basis zur Entwicklung der Angriff- und Security-Plattform darstellt. Dieses Demonstrationssystem stellt eine funktionstüchtige Miniatur eines FlowPro-Systems dar, so dass an ihr ausgiebige Sicherheits- und Funktionstests durchgeführt werden können.

#### 4.5 Dezentrales maschinelles Lernen im IoT-Kontext

Es wurden erste Forschungsarbeiten in die Wege geleitet, um geeignete Auktionsmechaniken für die angedachte Versteigerung der Aufträge zu evaluieren. Hierzu werden sowohl die Themen »Differential Privacy« als auch die Minimierung der Kommunikationskosten berücksichtigt. Derzeit wird ein Prototyp in Python entwickelt, der es ermöglicht, den Angebotsmechanismus dezentral zu integrieren [11]. Hierzu wird das ebenfalls in Python geschriebene Federated Learning Framework Flower [12] genutzt. Zusätzlich wurden bereits erste Merkmale identifiziert, welche für die Auktion entscheidend sein werden.

## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] o. A., »Leerfahrten in der Logistik«, verfügbar in: [https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/deutscher-Lastkraftfahrzeuge/Verkehrsaufkommen/vd1\\_z\\_leer\\_1995\\_2019.html?nn=652412](https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/deutscher-Lastkraftfahrzeuge/Verkehrsaufkommen/vd1_z_leer_1995_2019.html?nn=652412).
- [2] o. A., »Drohnen in der Intralogistik: Geflügelter Lieferservice«, verfügbar in: <https://www.produktion.de/trends-innovationen/drohnen-in-die-intralogistik-gefluegelter-lieferservice-108.html>.
- [3] Bonawitz, K.; Eichner, H.; Grieskamp, W.; Huba, D.; Ingerman, A.; Ivanov, V.; Roselander, J. (2019), »Towards federated learning at scale: System design«, arXiv preprint arXiv:1902.01046
- [4] Jin, J.; Song, C.; Li, H.; Gai, K.; Wang, J.; Zhang, W. (2018), »Real-time bidding with multi-agent reinforcement learning in display advertising«, Proceedings of the 27th ACM International Conference on Information and Knowledge Management, S. 2193–2201.

- [5] Heusinger, M.; Raab, C.; Schleif, F.-M. (2020), »Passive concept drift handling via variations of learning vector quantization«, Neural Computing and Applications S. 1–12.
- [6] Raab, C.; Heusinger, M.; Schleif, F.-M. (2020), »Reactive Soft Prototype Computing for Concept Drift Streams«, Neurocomputing, verfügbar in: <https://arxiv.org/abs/2007.05432>
- [7] Raab C.; Schleif, F.-M. (2020), »Low-Rank Subspace Override for Unsupervised Domain Adaptation«, IEEE WCCI / IJCNN (submitted)
- [8] Zühlke, D.; Schleif, F.-M.; Geweniger, T.; Haase, S.; Villmann, T. (2010), »Learning vector quantization for heterogeneous structured data«, ESANN 2010, verfügbar in: [https://www.researchgate.net/publication/221165319\\_Learning\\_vector\\_quantization\\_for\\_heterogeneous\\_structured\\_data](https://www.researchgate.net/publication/221165319_Learning_vector_quantization_for_heterogeneous_structured_data)
- [9] Hösch, L.; Arndt, M.; Fichtel, L.; Frühwald, A.-M.; Schreibmann, V.; Schmiedl H.; Schütz, A.; Bachmeir, C. (2020), »Towards a comprehensive attack framework against commercial and private UAV«, Proceedings of the International Conference on Applied Informatics Imagination, Creativity, Design, Development, ICDD 2020
- [10] Fichtel, L.; Frühwald, A.-M.; Hösch, L.; Schreibmann, V.; Bachmeir, C.; Bohlander, F. (2020), »Tree Localization and Monitoring on Autonomous Drones Employing Deep Learning«, Proceedings of the 29th conference of FRUCT association
- [11] Zeng, R.; Zhang, S.; Wang, J.; Chu, X. (2020), »More: An Incentive Scheme of Multidimensional Auction for Federated Learning in MEC«, 2020 IEEE 40th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS), S. 278–288.
- [12] Beutel, D. J.; Topal, T.; Mathur, A.; Qiu, X.; Parcollet, T.; de Gusmao, P. P.; Lane, N. D. (2020), »Flower: A friendly federated learning research framework«. arXiv preprint arXiv:2007.14390

