

Schlussbericht des Verbundprojekts

»Kollaboratives Liefersystem mit mobilen Rendezvousverkehren für zeitkritische Sendungen (KoLibRi)«



Teilprojekt:

Entwicklung des Optimierungsverfahrens und der Tourenplanungsalgorithmen

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.
für ihre Fraunhofer-Institute Fraunhofer IML

Förderkennzeichen: 02K16C150

Autoren:

Arnd Bernsmann
Florian Flocke

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	II
1 Aufgabenstellung.....	1
2 Voraussetzung unter der das Vorhaben durchgeführt wurde	5
3 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn und Ende des Vorhabens.....	7
4 Planung und Ablauf des Vorhabens	11
5 Erzieltes Ergebnis.....	13
5.1 Expresslieferung im After-Sales-Bereich – Akteure und Prozesse	13
5.2 Anforderungen an das logistische Dienstleistungssystem KoLibri	17
5.2.1 Entwurf der Softwarekomponenten und Funktionen.....	19
5.2.1.1 Entwurf Datenmodell und Datenverarbeitung	20
5.2.1.2 Schnittstellen-Definition.....	25
5.2.1.3 Konzeption der Algorithmen und Funktionen.....	27
5.2.1.4 Grobkonzeption mobile App	36
5.3 Ausgestaltung des Rendezvousystems	36
5.3.1 Fertigstellung der softwaretechnischen Komponenten.....	36
5.3.2 Nachträgliche Anpassungen	37
5.4 Implementierung.....	37
5.4.1 Bereitstellung Infrastruktur	37
5.4.2 Implementierung bei Projektpartnern	37
5.5 Testlauf.....	38
5.5.1 Use-Case Definition und Simulation.....	38
5.5.2 Simulationen.....	39
5.5.3 Vorbereitung der Testläufe	55
5.5.4 Testlauf	56
6 Nutzen für das Fraunhofer IML.....	65
7 Zusammenarbeit mit anderen Stellen oder außerhalb des Verbundprojektes.....	66



8	Darstellung des während des Vorhabens bekannt gewordenen Fortschritts auf diesem Gebiet bei anderen Stellen	66
9	Veröffentlichungen, Vorträge, Referate, etc.	67

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung des mobilen Rendezvousystems (linke Seite) und Screen-Shot aus der Tourenplanung (rechte Seite)	1
Abbildung 2: KoLibRi als Schnittstelle zwischen den Akteuren	14
Abbildung 3: Prozesskette für die Zustellung von Nachtexpresssendungen (Ausschnitt)	15
Abbildung 4: Prozesskette für die Auftragsabwicklung eines Servicetechnikers (Ausschnitt)	16
Abbildung 5: Unterschiedliche Prozesszeiten bei After-Sales-Logistik und Nachtexpress	17
Abbildung 6: Funktionsaufteilung zwischen App und Optimierungsalgorithmus	20
Abbildung 7: KoLibRi-Datenmodell und Unternehmensanbindung	21
Abbildung 8: Datenmodell der KoLibRi-Tourenplanung	25
Abbildung 9: Schnittstellen des Systems KoLibRi	26
Abbildung 10: Zustandsautomat zur Statuserzeugung in der App und Weiterleitung in die Datenbank	31
Abbildung 11: Pseudocode zur Berechnung von Alternativen zwischen Nachtexpress und Techniker	32
Abbildung 12: Kombinationsmöglichkeiten am Tag zwischen Zusteller und Empfänger	33
Abbildung 13: Pseudocode der Alternativenberechnung für die Ersatzteilmachbestellung	34
Abbildung 14: Erste grafische Darstellung der Techniker- und Nachtexpresstouren	40
Abbildung 15: Ergebnisse des Simulationslaufs für Alternativen zwischen Nachtexpress und Techniker	42
Abbildung 16: Grafische Darstellung einer validen Alternative für die Zustellung an einem Übergabepunkt	43
Abbildung 17: Grafische Darstellung einer validen Alternative für die Zustellung an einem Übergabepunkt	43
Abbildung 18: Weitere Ergebnisse des Simulationslaufs für Alternativen zwischen Nachtexpress und Techniker	44



Abbildung 19: Initiale Ergebnisse für die Konsolidierung von Technikerstopps	46
Abbildung 20: Theoretisches Konsolidierungspotenzial für das Depotgebiet Unna an einem Beispieltag.....	47
Abbildung 21: Veränderungen von Stoppanzahl, Fahrzeit sowie Fahrdistanz durch die Konsolidierung	47
Abbildung 22: Grafische Darstellung eines Tourverlaufs bei einer Ersatzteil- Nachbestellung im Gebiet Münster.....	49
Abbildung 23: Übersicht möglicher Zustellalternativen mit Auswirkungen auf Zustelltour und Techniker im Gebiet Münster	50
Abbildung 24: Grafische Darstellung eines simulierten Tourverlaufs bei einer Ersatzteilnachbestellung im Gebiet Essen.....	51
Abbildung 25: Übersicht möglicher Zustellalternativen mit Auswirkungen auf Zustelltour und Techniker zum Depot im Gebiet Essen	51
Abbildung 26: Übersicht möglicher Zustellalternativen bei späterer Ersatzteilnachbestellung im Gebiet Essen	52
Abbildung 27: Ergebnisse der Simulationsreihe zur Vermeidung von Zweitanfahrten für Techniker	54
Abbildung 28: Grafische Darstellung der Ausgangstour Nachtexpress (Ausschnitt)	57
Abbildung 29: Grafische Darstellung der KoLibri-Tour Nachtexpress (Ausschnitt).....	58
Abbildung 30: Grafische Darstellung der Tour zur Ersatzteillieferung (Ausschnitt).....	61



1 Aufgabenstellung

Fester Zustellort und feste Zustellzeit von Sendungen sind ideal für die logistische Optimierung. Doch entspricht dies schon lange nicht mehr der schnelllebigen Zustellpraxis in der Ersatzteillogistik. Hier müssen die benötigten Ersatzteile schnellstmöglich für die Reparatur bereitgestellt werden, um hohe Stillstandskosten zu vermeiden. Von der Meldung der Störung bis zum Einsatz des Technikers vor Ort sind viele Akteure in die Prozesse eingebunden. Hoher Kommunikationsaufwand, kurze Reaktionszeiten und enge Lieferzeitfenster sind charakteristisch für die Ersatzteillogistik.

Eine dynamische Planung der Touren und Übergabeorte für Sendungen sowie die verbesserte Interaktion zwischen Techniker, Zulieferer und Empfänger ermöglicht eine effizientere Zustellung, Transportbündelung und Reduzierung von Ausfallzeiten der defekten Maschinen. Genau hier setzt das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Forschungsvorhaben »Kollaboratives Liefersystem mit mobilen Rendezvousverkehren für zeitkritische Sendungen (Kolibri)« an. Ziel des Forschungsprojekts ist die Entwicklung einer Anwendungssoftware zur Tourenplanung für Mobilgeräte, die die Zustellorte und -zeiten von Ersatzteilen dynamisch plant.

Im Forschungsprojekt wurde dazu durch das Fraunhofer IML ein unternehmensübergreifendes Tourenplanungssystem entwickelt und von den beteiligten Praxispartnern unter Realbedingungen getestet. Vorgabe war, dass aus der bedarfsgerechten Optimierung der Liefertermine und Lieferorte mehrerer Unternehmen möglichst keine Einbußen bei Service und Zuverlässigkeit resultieren und die Tourkilometer und -zeiten reduziert werden. Die Tourenplanung soll Bündelungspotenziale bei der Zustellung und Freiheitsgrade bei den Kundenterminen aufzeigen können. Die Innovation liegt hierbei in der Berücksichtigung unternehmensspezifischer Zielvorgaben innerhalb der Tourenplanung, die zu einer Effizienzsteigerung im Gesamtsystem (hier After-Sales-Service) führt.

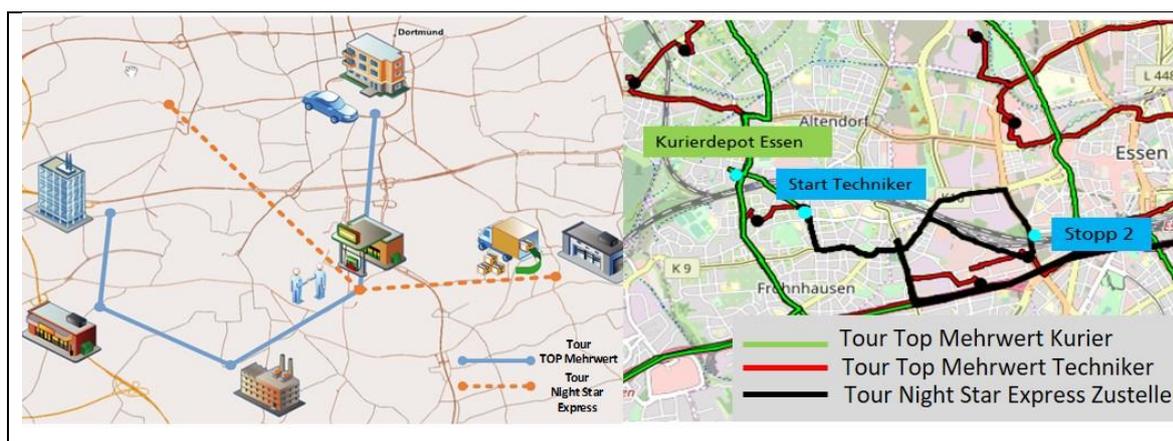


Abbildung 1: Schematische Darstellung des mobilen Rendezvousystems (linke Seite) und Screen-Shot aus der Tourenplanung (rechte Seite)



Wachsender Markt - Wachsende Anforderungen

Die Dienstleistung der Paketzustellung nimmt einen immer größeren Stellenwert bei der Versorgung von Unternehmen und Endkunden ein. Mit 3,65 Mrd. Kurier-, Express- und Paketsendungen wurde im Jahr 2019 ein neuer Rekordwert erzielt (+3,8 % zu 2018). Vor allem im Bereich der zeitkritischen Sendungen mit hohem Servicelevel sind steigende Sendungsvolumen zu verzeichnen. Diesen Trend nimmt der Standard-Paketmarkt auf und bietet zunehmend Services mit flexiblen Zustellzeiten und Zustellgarantien an. Derzeit ist daher eine Verlagerung von Sendungsmengen vom Express- und Kurierbereich in den Paketsektor zu beobachten, der sich in den kommenden Jahren noch verstärken soll.¹ Im Ersatzteilsegment ist der Warenwert der Sendung nicht ausschlaggebend, sondern dass der transportierte Gegenstand meist Teil einer hochwertigen Prozesskette ist, ohne den hohe Stillstands- oder Ausfallkosten entstehen. Hier werden weiterhin die spezialisierten Expressdienste die Zustellung übernehmen.

Spezialbereiche der Kurier- und Expresszustellungen sind die Nachtexpress-Logistik sowie die Same-Day und Hochverfügbarkeits-Logistik. Im Nachtexpress (NEX) werden Sendungen, die am Abend abgeholt werden, noch in derselben Nacht dem Empfänger zugestellt. Die Same-Day-Logistik (Same-Day-Delivery, SDD) stellt Sendungen am Tage der Abholung in einem fest definierten Zeitfenster zu. Die Hochverfügbarkeits-Logistik reagiert noch schneller auf die Bedarfe und sichert bei besonders kritischen Bereichen, z. B. im IT-Sektor oder Medizin die Versorgung von Ersatzteilen an 365 Tagen im Jahr rund um die Uhr zu definierten Reaktionszeiten. Die Reaktionszeiten sind kundenspezifisch vertraglich vereinbart (Service-Level-Agreement).

Die flexible Anpassung der Logistiksysteme an die Kundenanforderungen, die aufgrund enger Zeitfenster durchgängig abzustimmenden Prozesse sowie die geforderte hohe Zuverlässigkeit (z. B. sehr geringe Fehlläuferquote) zu einem wettbewerbsfähigen Preis sind die Herausforderungen im Express- und Kurierbereich, die bei der Entwicklung des kollaborativen Liefersystems mit mobilen Rendezvousverkehren für zeitkritische Sendungen berücksichtigt werden müssen.

Auf das Unvorhersehbare zuverlässig reagieren

In Branchensegmenten mit höherwertigen Produkten und Dienstleistungen gilt der Grundsatz, dass ein zuverlässiger und agiler Kundenservice eine Schlüsselqualifikation für das Bestehen im Wettbewerb ist. Insbesondere Hersteller und Händler von Anlagen, Systemen und Komponenten müssen sicherstellen, dass die vertriebenen Produkte möglichst ohne Ausfall- und Stillstandszeiten betrieben werden können. Zunehmend ist die Kennzahl Betriebsbereitschaft daher entscheidend für eine Kaufentscheidung.

Ogleich viele Unternehmen sich verstärkt darum bemühen, Störungen durch vorbeugende Wartungsmaßnahmen oder proaktive Erkennung z. B. via Machine-to-Machine (M2M)-Kommunikation² zu vermeiden, besteht weiterhin ein hoher Bedarf an hochflexiblen Außendienst-Einheiten, die im Störfall in kürzester Zeit für eine Behebung des Problems sorgen können.

¹ Bundesverband Paket und Expresslogistik: KEP-Studie 2020 – Analyse des Marktes in Deutschland, S. 13, Köln, 2020

² Vgl. z.B. Forschungsprojekt: Kooperativer Mensch-Maschine-Dialog zur Diagnose und Beseitigung von Störungen an Verarbeitungsmaschinen - KoMMDia



Eine Festlegung auf statische, fixe Lieferadressen (z. B. dem Übergabepunkt des Technikers oder dem Einsatzort) ist dabei nicht effizient, da Techniker / Monteure im Tagesverlauf laufend ihre Position verändern, so dass die optimalen Übergabepunkte räumlich und zeitlich laufend neu ermittelt werden müssen. Eine Tourenplanung, die eine dynamische Abstimmung des Lieferortes und der Lieferzeit ermöglicht, wird hier benötigt.

Fester Zustellort, feste Zustellzeit - das war einmal

Auch die Erwartungen gewerblicher und privater Endkunden an die Flexibilität von Kurierdienstleistern sind, vor allem getrieben durch das verbesserte Serviceniveau im Paketmarkt, erheblich gestiegen: Der ideale Zeitpunkt und Ort der Übergabe ist gerade aus Endkundensicht nicht zum Zeitpunkt der Bestellung bekannt, sondern ergibt sich im Laufe des Lieferprozesses und ist nur selten von festen Übergabevoraussetzungen (Briefkästen / Paketstationen) abhängig. Logistikdienstleister³ nutzen daher vermehrt Verfahren, die es ermöglichen, dass die Sendungen ihrem Empfänger für die Übergabe in seinem Alltag folgen: Eine Lieferung muss dann nicht mehr an eine feste Adresse (häufig Heimatadresse, Paketshop oder Packstation), sondern kann bei Bedarf kurzfristig an jedem beliebigen Ort erfolgen.

Im Nachtexpressbereich stellt die Technikerbelieferung im Gegensatz zur Standard-Expresslieferung besondere Herausforderungen an die Zustellung. Anders als bei den normalen Zustellungen bis 8 Uhr morgens müssen Techniker in der Regel bis spätestens 7 Uhr beliefert werden, da sie zu diesem Zeitpunkt ihre eigene Tour beginnen. Die negativen Auswirkungen einer verspäteten Zustellung nach Abfahrt des Technikers ist also ungleich höher als bei den anderen Zustellungen, da durch die fehlende Lieferung ein Reparaturauftrag an diesem Tag gar nicht mehr ausgeführt werden kann. Dies führt dazu, dass Technikerbelieferungen bei der Planung mit besonderer Priorität behandelt werden müssen. Dadurch können die Zustelltouren nicht mehr kosten- und zeitoptimal geplant werden. Um das Serviceversprechen einzuhalten, resultieren hieraus Mehrkilometer und erhöhter Ressourceneinsatz (Fahrzeuge, Fahrer). Durch das logistikbezogene Dienstleistungssystem von „KoLibri“, sollte daher als Zustellpunkt nicht mehr nur die feste Adresse des Technikers, sondern auch mögliche weitere dynamische Übergabepunkte und Zeiten in die Planung einbezogen werden. Die dadurch erreichte Steigerung der Planungsvarianten soll bessere Zustelltouren ermöglichen.

Von den Praxispartnern wurde erwartet, dass ein „**Kollaboratives Liefersystem mit mobilen Rendezvousverkehren für zeitkritische Sendungen**“ positive Effekte bei der Tourenplanung und der Produktivität erzielen kann. Um dieses Potenzial zu heben waren jedoch in vielen Bereichen Änderungen und Anpassungen notwendig: In den Abläufen vor Projektbeginn erzeugten die notwendigen Abstimmungsprozesse zwischen Sendungsempfänger und Transportdienstleister einen sehr hohen Aufwand. Standardisierte Logistikprozesse, wie im Nachtexpress, werden durch häufig störende Unterbrechungen und Planabweichungen ineffizienter. Ein Rendezvous-Verfahren für dringend benötigte Ersatzteile wird daher fast ausschließlich durch den Einsatz von Direktkurieren umgesetzt, die ihre Fahrt dann exklusiv für die jeweilige Bestellung starten und deren vollständiger Kostenaufwand durch die Einzelsendung gedeckt werden muss. Nicht zuletzt wird dadurch ein höheres Verkehrsaufkommen induziert, da Bündelungspotentiale aufgrund der hohen

³ Vgl. DHL Service „Wunschort/ Wunschzeit“ oder DPD Service „Paket Umleiten“



Dringlichkeit nicht genutzt werden können. Die daraus resultierenden hohen Kosten machten das Rendezvous-Verfahren, insbesondere im Vergleich zu den üblichen Kostensätzen standardisierter Paketlieferungen aus wirtschaftlicher Sicht bisher nur für einen begrenzten Kundenkreis interessant.

Aus diesen Gründen hat sich das gebildete Konsortium in dem Forschungsprojekt „KoLibri“ das Ziel gesetzt einen praxisnahen Demonstrator zu entwickeln, der die Vorteile der Logistiksysteme Nachtexpress und Kurierdienstleistungen vereint. Dies hat zu einer Flexibilisierung der Auslieferprozesse auf der einen Seite und einer Standardisierung und Kostensenkung auf der anderen Seite geführt. Ein besserer Informationsfluss und proaktiver Austausch zwischen allen Beteiligten ermöglicht dabei zeitliche Reserven und mehr Freiheitsgrade in der Tourengestaltung, die für eine Sendungskonsolidierung und bessere Fahrzeugauslastung genutzt werden können.



2 Voraussetzung unter der das Vorhaben durchgeführt wurde

Für die Durchführung des Verbundvorhabens wurde ein Konsortium mit vier Partnern gebildet. Als Unternehmen beteiligten sich die beiden Logistikdienstleister Night Star Express GmbH Logistik und TOP Mehrwert-Logistik GmbH & Co. KG sowie das IT- und Softwareunternehmen VCE Verkehrslogistik GmbH. Die Forschungseinrichtung Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik übernahm als Konsortialführer von „KoLibRi“ die Gesamtprojektleitung.

Das Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML) hat neben der Koordination des Verbundprojektes auch die organisatorische Leitung der acht inhaltlichen Arbeitspakete übernommen. Die Unterarbeitspakete wurden je nach Fachkompetenz und Praxiserfahrung durch die jeweiligen, beteiligten Partner geleitet und bearbeitet:

Das Fraunhofer IML übernahm die Analyse der logistischen und informatorischen Prozesse und erstellte daraus einen Referenzprozess. Die Kernaufgabe lag in der Entwicklung des Optimierungsverfahrens und der Tourenplanungsalgorithmen für das mobile Rendezvoussystem. Zudem begleitete das Fraunhofer IML die Praxistests wissenschaftlich.

Der Praxispartner Night Star Express GmbH Logistik stellte Tourdaten, Prozesse und Informationsflüsse aus dem Bereich Nachtlogistik zur Verfügung. Zudem flossen die Anforderungen aus dem operativen Geschäft mit zeitkritischen Sendungen in die Konzeption des mobilen Rendezvoussystems ein. Bei gleicher Servicequalität sollten Tourdauer und -kilometer reduziert werden. Night Star Express setzte den entwickelten Prototypen der KoLibRi-App in der Disposition und den Zustelltouren ein.

Die TOP Mehrwert-Logistik GmbH & Co. KG brachte ihr Wissen sowie ihre Ressourcen aus ihrem Techniker Außendienst und ihrem Logistiknetz mit dem Schwerpunkt der Ersatzteilversorgung in das Vorhaben ein. Die Daten der Techniker und Kurierere wurden genutzt, um Übergabepunkte zu identifizieren und zeitliche Anforderungen in die Optimierung aufzunehmen. TOP führte Testläufe unter Realbedingungen durch und beurteilte dabei die Praxistauglichkeit der KoLibRi-App. Bei gleichbleibender Zuverlässigkeit sollten Produktivität und Effizienz in Service und Logistik weiter gesteigert werden.

Die VCE Verkehrslogistik GmbH übernahm die Konzeption des Informationsflusses und bestimmte den Datenbedarf der beteiligten Akteure. Der Schwerpunkt im Forschungsprojekt lag in der Programmierung des Prototyps, einer Anwendungssoftware für Mobilgeräte und deren Implementierung bei den Praxispartnern.

Das Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik forscht seit 1981 als eines von insgesamt 66 Instituten und selbstständigen Forschungseinrichtungen der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. anwendungsorientiert im Bereich Materialfluss und Logistik.

Die Abteilung Verkehrslogistik des Fraunhofer IML, in der das Forschungsprojekt bearbeitet wurde, hat bereits zahlreiche Projekte im Themenfeld Distribution / urbane Versorgung und



Elektromobilität bearbeitet. Die in jüngerer Vergangenheit abgeschlossenen bzw. aktuell laufenden Projekte zeigten den Bedarf einer besseren Einbindung urbaner Lieferkonzepte in existierende Stadtstrukturen. Im Bereich des nachhaltigen Wirtschaftens wurden in den folgenden Projekten (Auszug) bereits Ansätze für die Logistik erarbeitet.

Das Forschungsvorhaben war durch einen engen Austausch zwischen den beteiligten Partnern in regelmäßig stattfindenden Workshops und Konsortialtreffen geprägt. Das gemeinsame Verständnis der komplexen Abläufe, die unterschiedlichen Interessenslagen der späteren Nutzer, die technische Ausgestaltung und Funktionsumfang der APP, die Konzeption der Tourenplanungsalgorithmen und deren Zielfunktionen sowie der Testlauf unter Realbedingungen machten diese enge Zusammenarbeit über die gesamte Projektlaufzeit notwendig.

Die Maßnahmen zur Eindämmung der im Februar 2020 in Deutschland aufgetreten pandemischen Ausbreitung des Coronavirus Sars-CoV-2 erschwerten die Zusammenarbeit und veränderten auch die Arbeitsbedingungen bei den Partnern erheblich (s. auch 4 Planung und Ablauf des Vorhabens).



3 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn und Ende des Vorhabens

Die **Tourenplanung** der Logistikdienstleister erfolgt bisher größtenteils unternehmensspezifisch und statisch ohne direkten Austausch mit den anderen Akteuren der Lieferkette. Lieferzeit und Ort sind in den Auftragsdaten festgelegt. In der Praxis existieren verschiedene Technik- und Softwarelösungen, die Tourenplanung und Kommunikation entlang der Lieferkette ermöglichen, wie Transport Management Systeme (TMS), die statischen Touren erzeugen und die Sendungsverfolgung sowie den Sendungsstatus für die Akteure transparent darstellen. Es existieren Ansätze zur kollaborativen Tourenplanung, in denen sich Lieferunternehmen zusammenschließen und ihren Fuhrpark teilen, um die Gesamtzahl ihrer Kunden zu erreichen⁴. Diese Ansätze beinhalten jedoch keine Verknüpfung von unterschiedlichen Akteuren aus verschiedenen Anwendungsbereichen, die ihre individuellen Anforderungen an eine Tourenplanung mit sich bringen und Übergabe- bzw. Bündelungspunkte in ihren Touren erstellen möchten. Die beleglose Zustellung an mobilen Übergabepunkte ist jedoch eine entscheidende Säule des Rendezvousliefersystems KoLibri und bietet großes Optimierungspotenzial.

Die Algorithmen zur Tourenplanung und –optimierung lassen sich in vier Kategorien einteilen:

Tabelle 1: Kategorisierung der vehicle routing problems, (eigene Darstellung angelehnt an V. Pillac⁵)

- | | |
|---------------------------------|------------------------------|
| – Statisch und deterministisch | – Statisch und stochastisch |
| – Dynamisch und deterministisch | – Dynamisch und stochastisch |

Als statisch wird ein Algorithmus bezeichnet, wenn der Input im Voraus bekannt ist. Bei dynamischen Algorithmen verändert sich der Input mit der Zeit. Die Begriffe stochastisch und deterministisch beziehen sich auf die Beschaffenheit der Inputdaten.

In der Regel verwenden statische Algorithmen keine Echtzeitdaten⁶.

Aus der zentralen Problembezeichnung Vehicle Routing Problem (VRP) lassen sich eine Vielzahl an Variationen ableiten, die Eingrenzungen mit sich bringen. Für Touren mit Fahrzeugkapazitäten (CVRP), mit Zeitfenstern (VRPTW), mit mehreren Depots (MDVRP) oder mit aufgeteilten Sendungen (SDVRP) existieren spezielle Algorithmen, die je nach Anwendungshäufigkeit auch in der Tiefe erforscht werden. Wenn reale Tourenplanungssysteme entworfen werden, müssen diese Forschungen oftmals kombiniert werden, da die Probleme individuelle Ausprägungen besitzen und viele Aspekte vereinen. Dazu werden bestehende heuristische Lösungsansätze wie Evolutionäre Algorithmen, Tabu Search oder Simulated Annealing als Basis eingesetzt.

⁴ Vgl. Frans Cruijssen, Olli Bräysy, Wout Dullaert, Hein Fleuren, Marc Salomon (2007): Joint route planning under varying market conditions, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 37 Iss: 4, pp.287 - 304

⁵ Vgl. V. Pillac; M. Gendreau; C. Guéret; A. Medaglia (2012): A review of dynamic vehicle routing problems, European Journal of Operational Research 225 (2013), S. 1-11.

⁶ Vgl. KU Leuven FEB Research Report (2014): The vehicle routing problem: state of the art, <https://goo.gl/g0vsi3>



Erst innerhalb der letzten Jahre hat sich der Fokus der Forschung in Richtung **dynamische Tourenplanung mit Echtzeitdaten** verschoben. Der Grund dafür sind die Entwicklungen im technischen und IT-Bereich. Hierdurch kommt es zu einer Erhöhung der Komplexität und dem Bedarf an Systemen, die auf das dynamische Umfeld angepasst sind. Eine Literaturlauswertung von wissenschaftlichen Artikeln, die zum Thema *vehicle routing problem* zwischen 2009 und 2013 veröffentlicht wurden (insgesamt 144 Artikel), hat ergeben, dass lediglich rund 10 % die dynamische Variante der Tourenplanung behandeln.

Zur Optimierung von dynamischen Tourenplanungsproblemen (DVRP) existieren Forschungsbeiträge, die die Optimierungsalgorithmen mit eingelesenen Echtzeitdaten ergänzen. Hier wird vor allem der Aspekt beleuchtet, wie Kunden zur Tourlaufzeit ergänzt werden können. In selteneren Fällen werden die Echtzeitpositionsdaten der Fahrzeuge in der Planung berücksichtigt.

Der Aspekt von mobilen Standorten hat bisher wenig Einzug in die Forschung gefunden, beispielsweise für variable Herstellungsorte existieren Verfahren (MFRSP). Die für das Vorhaben notwendige Erfassung von mobilen Kundenstandorten wurde in der Forschung jedoch noch nicht thematisiert.

Im After-Sales-Service existieren unternehmenseigene Tourenplanungsansätze, die explizit die Wartungstouren für ihre Techniker abbilden (MTMCP, TRSP)⁷. In diesen Systemen wird die Qualifikation der Techniker, ihr Equipment und benötigte Ersatzteile erfasst. Die im Vorhaben zu entwickelnde Berücksichtigung von speziellen Wartungstouren und der unternehmensübergreifende Abgleich dieser mit den Touren in der gesamten Supply-Chain ist ein wichtiger Schritt zur **intelligenten Logistik** im Kontext der vierten industriellen Revolution.

Die für das Forschungsprojekt KoLibri notwendige Erfassung von mobilen Kunden- und Übergabestandorten in Echtzeit, in Kombination mit der Berücksichtigung von Anforderungen der Ersatzteillogistik und Wartungs- und Instandhaltungstouren (bspw. Fähigkeit der Mitarbeiter, Verfügbarkeit von Werkzeugen) wurde in der Forschung jedoch in der benötigten Form noch nicht thematisiert. Die Integration echtzeitorientierter Anwendungen führt zur Verbesserung der Reaktionsfähigkeit der logistikbezogenen Dienstleistungssysteme und berücksichtigen dynamische Entwicklungen, wie Verzögerungen, Staus oder auch eine veränderte Auftragslage.

Zudem sind spezielle Tourenplanungssysteme zum Thema Nachhaltigkeit im Blick der Forschung, aus dem sich zum Beispiel das Thema Green Logistics VRP (GLVRP) ableitet. Das GLVRP beinhaltet unterschiedliche Lösungsdefinitionen hinsichtlich Benzinverbrauchs, Energieverbrauch, alternative Energien und Abgasreduzierung.

In der Praxis existieren Transport-Management-Systeme (TMS), die statisch Touren erzeugen und die Sendungsverfolgung sowie den Sendungsstatus für die Akteure transparent darstellen. Die Kommunikation der Akteure mit dem System erfolgt über Webtools oder Apps auf mobilen Geräten.

Auf diese Weise werden Statusdaten übertragen oder Positionen per GPS ins TMS übergeben. Eine Verbindung von allen Partnern entlang der Lieferkette ist allerdings selten und benötigt die Nutzung von Austauschplattformen wie Frachtbörsen oder Lieferportalen zur gemeinsamen Transportplanung. Die Tourenplanung der einzelnen Partner erfolgt getrennt und verhindert so eine gemeinsame Optimierung.

⁷ Vgl. V. Pillac, C. Guéret, A. Medaglia (2012): On the Dynamic Technician Routing and Scheduling Problem, Proceedings of the 5th International Workshop on Freight Transportation and Logistics Mykonos (Greece)



Ein dynamisches, kollaboratives Rendezvous-System, wie es in dem Vorhaben umgesetzt werden soll, ist somit zentraler Wegbereiter für die Realisierung einer smarten Echtzeit-Tourenoptimierung. Die Tourenplanung im Allgemeinen stand schon häufig im Fokus von nationalen und internationalen Forschungsprojekten und ermöglichte es Optimierungsszenarien aus verschiedensten Anwendungsbereichen wie Gesundheit⁸, KEP-Verkehre⁹, Teilladungsverkehre¹⁰, oder urbane Nachhaltigkeit¹¹ zu entwerfen und deren Ergebnisse auch auf andere Bereiche zu erweitern.

Bereits 2008 war das durch das BMWi geförderte Forschungsprojekt SmartTruck von DeutschePost DHL ein Vorreiter in der dynamischen Tourenplanung mit mobilen Endgeräten. Es wurde ein Paketzustellfahrzeug durch GPS-Erfassung und dynamische Integration von Verkehrsinformationen zu einem intelligenten Lieferfahrzeug (SmartTruck) umgerüstet.

Seitdem wurden zudem neue Tourenplanungssysteme für Branchenlösungen erforscht. Das BMWi förderte bspw. das Projekt DTPTV in welchem die dynamische Tourenplanung im Teilladungsverkehr betrachtet wurde. Mit Hilfe der Nutzung von Echtzeitinformationen wurde die Tourenplanung angereichert, um der grundlegenden Unsicherheit hinsichtlich Bestellung und Füllmengen im Flüssigtransport Rechnung zu tragen.

Ein weiterer Forschungsbereich ist bspw. die ambulante Pflege (BMBF: Dynasens, 2012). Hier wird der Einsatz von Pflegepersonal (und die resultierenden Touren) durch eine Vielzahl von Faktoren in Echtzeit gesteuert und angepasst.

Die **Kommunikation** innerhalb des Dienstleistungssystems **zeitkritische Sendungen** erfolgt in der Regel auf begrenzten Kommunikationskanälen bzw. über nicht definierte Schnittstellen. Während der Kontakt zwischen Disponent und Fahrer für den Ablauf der Logistikprozesse technisch gelöst ist, ist eine Abstimmung zwischen LDL, Techniker und Kunden häufig nicht möglich oder sehr aufwändig. Branchenstandard ist derzeit eine einseitige Meldung über geänderten Lieferzeitpunkte z. B. bei einer Verspätung per automatisierter SMS/E-Mail oder (kundenabhängig) telefonisch. Dies muss vorher manuell im Dispositionssystem hinterlegt werden. Die bidirektionalen Abstimmungsprozesse zwischen Techniker und Kunden erfolgen bspw. bei TOP Mehrwert-Logistik zu über 95 % telefonisch. Der Logistikdienstleister ist in diese Prozesse meist gar nicht eingebunden, hier werden im Vorfeld feste Lieferzeiten vereinbart. An dieser Stelle setzt das Rendezvousliefersystem KoLibri an und ermöglicht unternehmensübergreifende einheitliche Kommunikationswege sowie eine **Verbesserung der Schnittstellen** zu Auftraggebern und Dienstleistungserbringern mittels technischer Services. In KoLibri erfolgt die Kommunikation der Akteure (mit dem System) über Webtools oder Apps auf mobilen Geräten.

Technologien zur alternativen **Warenübergabe** von Lieferungen an den Kunden sind vielseitig und abhängig vom jeweiligen Einsatzzweck. Für den hier betrachteten Einsatzrahmen, der Belieferung von Technikern im NEX oder SDD, existiert bereits das Konzept der Kofferraumbelieferung. Dazu hat der Zustellfahrer den Fahrzeugschlüssel des Empfängers und liefert die Sendung direkt in den Kofferraum des Fahrzeuges, wenn sich dieses an einem vorher vereinbarten Platz befindet. Zusätzlich zur Lieferung in Kofferräume gibt es auch Lösungen, die auf neutrale (variable) Übergabepunkte

⁸ BMBF 2012-15 Dynasens, <http://dynamens.de/>

⁹ BMBF 2008-2009 SmartTruck, <http://www.intelligente-logistik.org/index.php?id=smarttruck>

¹⁰ BMWi 2007-2011 DTPTV, <http://www.intelligente-logistik.org/index.php?id=dtptv>

¹¹ ICT 2011.6.6 eCOMPASS, http://cordis.europa.eu/project/rcn/100714_en.html



setzen. Durch diese Variabilität, die durch die Kombination aus mobilen und statischen Übergabe- und Bündelungspunkten entstehen, wird die Flexibilität des Rendezvousliefersystems erhöht. Eine besondere Betrachtung der Übergabepunkte hinsichtlich Erreichbarkeit und Rangierbarkeit als Voraussetzungen für reibungslosen Rendezvousverkehr existiert bisher nicht und ist ein Alleinstellungsmerkmal von KoLibri. Im Privatkundenbereich gibt es erste Ansätze zur Warenübergaben im Kofferraum. Diese beschränken sich aber fast alle auf die technischen Lösungen zur Öffnung des Fahrzeuges. Eine dynamische Einbindung der Fahrzeugstandorte in die Tourenplanung des Logistikdienstleisters erfolgt hier nicht, wäre aber ein weiteres Einsatzgebiet des mobilen Rendezvous-Systems.

Die unternehmensübergreifende Verknüpfung von Touren mit variablen Übergabepunkten in einem Rendezvousystem und lieferkettenübergreifender Kommunikation ist ein hochinnovativer Ansatz, für den noch keine Forschungs- oder Pilotprojekte existieren. In KoLibri werden technische Innovationen entwickelt und angewendet, die das in vielen Branchen eingebundene Dienstleistungssystem zeitkritischer Sendungen auf die neuen **Anforderungen der Industrie 4.0** vorbereitet.



4 Planung und Ablauf des Vorhabens

Im September 2017 startete das Vorhaben mit den Arbeiten zur Aufnahme und Analyse der anwendungsspezifischen logistischen Ketten auf Seiten der Logistikdienstleister und des After-Sales-Bereiches. Daraus wurden die Anforderungen an das mobile Rendezvous-System definiert. Diese betrafen u.a. logistische Aspekte, Serviceanforderungen der Techniker- und Zustelltouren, technische Ausgestaltung der Sendungsübergabe, allgemeine Nutzeranforderungen hinsichtlich Soft- und Hardware sowie die Ausgestaltung des Optimierungsverfahrens. Gespiegelt wurden diese Anforderungen an marktgängigen Lösungsbausteinen, deren Nutzbarkeit analysiert und bewertet wurde. So konnte festgelegt werden, welche bestehenden Lösungen eingesetzt werden können und an welcher Stelle Anpassungen bzw. Neuentwicklungen erforderlich sind.

Parallel dazu begann die Entwicklung der mobilen App. Der benötigte Funktionsumfang wurde anhand von „User-Stories“ für die unterschiedlichen Akteure der Prozesskette definiert. Im Projektverlauf wurden die Funktionalitäten aufgrund neuer Erkenntnisse und der Einbindung eines Paketterminals als Übergabepunkt erweitert.

Nach Abschluss des Hauptteils der Analysephase wurde damit begonnen das neuartige Optimierungsverfahren und das mobile Rendezvousystem zu entwickeln. Dazu gehörte die Gesamtsystemarchitektur, die Informationsflüsse im System, das Gestalten von Schnittstellen und die Kopplung mit den mobilen Komponenten.

Anschließend startete die Entwicklung der softwaretechnischen Komponenten, d. h. die Fertigstellung der mobilen Apps (Logistikdienstleister und Techniker), der Serveranwendungen und der Schnittstellen (Optimierungsmodul, Backend-Systeme). Zudem wurden die dynamischen Tourenplanungsalgorithmen programmiert und als Softwaremodul zur Verfügung gestellt.

Hierbei kam es zu zeitlichen Verschiebungen innerhalb der Arbeitspakete. Die Tourenplanung basiert auf Realdaten der beiden eingebunden Praxispartner Night Star Express und TOP Mehrwert. Bereits bei der Beantragung des Forschungsprojektes wurden datenschutzrechtliche Hürden als ein Risikofaktor erkannt. Vor allem der Umgang mit den personenbezogenen Daten der Techniker (z. B. private Adresse als Tourstartpunkt) und die Transparenz bei der Tourstrecke und –zeiten sind hier problematisch. Im April 2019 wurde daher ein Datenschutzworkshop mit einem externen Experten vom eBusiness-Kompetenzzentrum durchgeführt, in dem Lösungswege aufgezeigt wurden. Die Berücksichtigung der datenschutzrechtlichen Anforderungen in der Datenaufnahme, -verarbeitung und –speicherung führte zu einem zeitlichen Mehraufwand.

Weitere Verzögerungen ergaben sich durch die hohe Komplexität der logistischen Abläufe in der Ersatzteilbelieferung. Für die KoLibRi-Tourenplanung müssen die Touren, Tourgebiete, Quellen und Senken von den beteiligten Unternehmen miteinander verknüpft werden. Dieses Vorgehen ist mit dem heutigen Stand der Technik im Tourenplanungsbereich nicht möglich und stellt den innovativen Kern des Forschungsprojektes dar. Bereits bei der Konzeption (AP4) für das neuartige Optimierungsverfahren, die Kommunikationswege und -prozesse zeigte sich, dass die softwaretechnische Abbildung der erarbeiteten Use-Cases deutlich aufwändiger als vorkalkuliert waren.



Erste Analyseergebnisse zeigten aber auch ein hohes Optimierungspotenzial auf, so dass im Konsortium entschieden wurde diesen zeitlichen Mehraufwand in Kauf zu nehmen.

Nach der Zusammenführung mit den anderen Systembausteinen und jeweils einem individuellen sowie dem Gesamtfunktionstest stand das funktionsfähige mobile Rendezvousystem als Softwaresystem bereit. Die Implementierung der zuvor entwickelten Komponenten auf die Zielsystemumgebung mit den entsprechenden Rechner- und Kommunikationsstrukturen folgte. Nach der Fertigstellung der technologischen Basis mit allen Soft- und Hardwarebausteinen wurde das System dann im Jahr 2020 im Realtest auf seine Einsatzfestigkeit und Praxiseignung anhand von Testfällen validiert. Hierzu wurde ein Paketterminal als neutraler Übergabepunkt für Pakete in die Prozesse eingebunden.

Die Realtests konnten nicht in dem geplanten Umfang umgesetzt werden. Hauptgrund waren die Schwierigkeiten der persönlichen Zusammenarbeit durch die Gefahr einer weiteren Ausbreitung des Coronavirus (COVID-19). Die Testphase wurde für die geltenden Hygienevorschriften angepasst und in einem kleineren Umfang durchgeführt. Um an die benötigten Erkenntnisse zu den Laufzeiten und den Kommunikationswegen innerhalb der asynchronen Prozesse zu gelangen wurde die Simulation der Touren deutlich ausgeweitet. Hierdurch konnte eine iterative Optimierung des Systems und Verbesserung des Prototypens erreicht werden.



5 Erzieltes Ergebnis

In dem logistischen Dienstleistungssystem der Zustellung zeitkritischer Sendungen bieten neue technische Lösungen und Kommunikationsmittel große Potenziale für die Steigerung von Effizienz und Servicequalität. Innerhalb des Forschungsvorhabens Kolibri wurde ein praxisnaher Lösungsansatz für die Akteure des Dienstleistungssystems zeitkritische Sendungen entwickelt, der die logistischen Prozesse der Dienstleister aus den Bereichen NEX, SDD sowie Service und Wartung und deren Kunden dynamisch verknüpft. Die Kommunikation der beteiligten Akteure wurde über eine mobile App vereinfacht. In diese App sind auch Teile der Prozesssteuerung integriert.

Effiziente Logistik braucht effiziente Kommunikation

Im Kurierbereich hat sich bereits ein Rendezvous-Verfahren im B2B-Umfeld etabliert, bei dem Techniker und Kurier einen beliebigen Übergabezeitpunkt und -ort miteinander abstimmen. Die manuelle, häufig telefonische, Abstimmung ist allerdings mit hohem personellem Aufwand verbunden und fehleranfällig. Gerade bei der Einbindung mehrere Akteure und der unternehmensübergreifenden Abstimmung ist die Planungsaufgabe zu komplex, um optimale Ergebnisse bei der Tourgestaltung in kürzester Zeit zu erhalten. In die entwickelte „KoLibri“-App wurden Funktionen integriert, die es ermöglichen die Informations- und Materialflüsse zu steuern und zu optimieren. Aufgrund der hohen Komplexität innerhalb des Ersatzteilservices wurde dabei den Technikern ein hoher Entscheidungsspielraum (Ort, Zeitpunkt der Zustellung) innerhalb der Tourenplanung eingeräumt. Die im Hintergrund laufende Tourenplanung ist dabei nicht auf die betreffende Einzelsendung beschränkt, sondern berücksichtigt Wechselwirkungen mit anderen Lieferungen / Technikertouren.

Das Forschungsprojekt „KoLibri“ knüpft dabei auf Erkenntnisse der Projektpartner an, die verdeutlichen, dass sich bei einer konsequenten Belieferung von Außendienst-Technikern „on demand“ via Rendezvous-Übergabe per Direktkurier positive Effekte ergaben. Die Produktivität der Außendienst-Techniker steigt erheblich, da mehr Aufträge pro Tag abgearbeitet werden und die „unproduktiven“ Fahr- und Logistikzeiten reduziert werden können. Gleichzeitig zwingt die örtlich gebundene Ersatzteilverfügbarkeit nicht mehr zu operativ wie wirtschaftlich nachteiligen Tourenplanungen und ermöglicht Disponenten und ihren Systemen eine deutlich flexiblere Planung. Im Endeffekt kann somit nicht nur eine Reduktion von Bestands- und Lagerhaltungskosten, sondern sogar eine gleichzeitige Steigerung von Qualitäts- und Kundenzufriedenheitsparametern erreicht werden.

Nachfolgend werden die wesentlichen Ergebnisse und Erkenntnisse des Forschungsprojektes, die das Fraunhofer IML erarbeitet hat, anhand der Arbeitspakete dargestellt.

5.1 Expresslieferung im After-Sales-Bereich – Akteure und Prozesse

Als Grundlage für die späteren Prozessoptimierungen war die Aufnahme und Analyse der anwendungsspezifischen logistischen Kette auf Seiten des LDL und des After-Sales-Bereiches notwendig. Dies beinhaltete die Analyse und Beschreibung der Abläufe und Prozesse in den Bereichen



Nachtexpress (Abholung / Zustellung) und der Same-Day-Logistik im Ersatzteilsegment (Service-techniker, Technischer Kurier). Zudem wurden historische Daten zu Touren und Lieferungen von den Projektpartnern zusammengetragen und ausgewertet. Ziel war es die relevanten Akteure in den Prozessketten zu identifizieren, den Material- und Informationsfluss nachzuvollziehen sowie kritische Zeitpunkte (z. B. letzte Auftragsannahme, Start Tourenplanung) herauszustellen. Zudem wurde die Prozesshoheit betrachtet, also wer startet den Prozess, wer trifft die Entscheidungen.

Um ein besseres Verständnis der Geschäftsprozesse und der Unternehmensstruktur zu erhalten, wurden gemeinsam mit den beiden Praxispartnern Workshops zur IST-Aufnahme durchgeführt. Hierbei standen vor allem Fragen zu der Anzahl und Art der Standorte (HUB, Depots), den gefahrenen Touren (Anzahl, Zeiten, Stops), dem Fuhrpark (Anzahl Fahrzeuge, Fahrzeugklassen), zum eingesetzten Personal und den Sendungsmengen und –arten im Fokus.

Für eine geordnete Datenaufnahme hat das Fraunhofer IML einen Katalog der benötigten Daten (Unternehmen, Logistik und Prozesse, Technik und Schnittstellen, Tourenplanung) aufgestellt und sich dazu mit den beiden Praxispartnern Night Star Express und Top Mehrwert Logistik ausgetauscht. Bei gemeinsamen Workshops wurden die unterschiedlichen Rollen und die Aufgabe von KoLibRi im logistischen Dienstleistungssystem diskutiert und festgelegt.

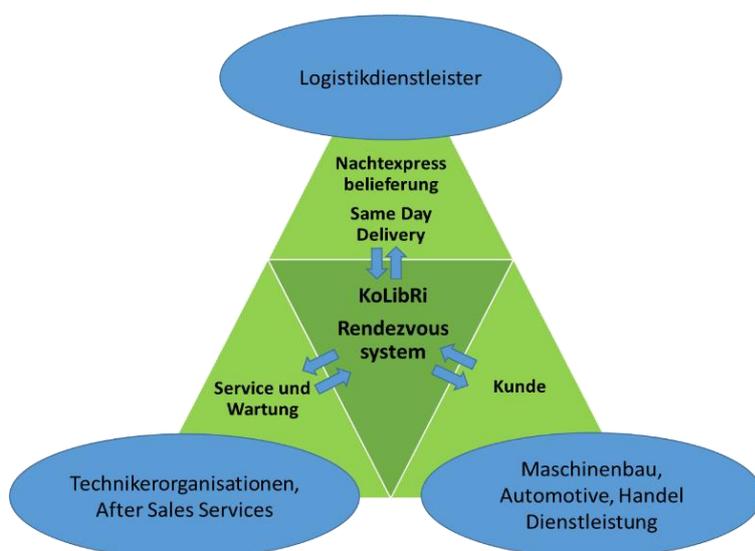


Abbildung 2: KoLibRi als Schnittstelle zwischen den Akteuren

Bereits hier wurde die enge Vernetzung zwischen den Akteuren und die hohen Abhängigkeiten des Materialflusses von dem begleitenden Informationsfluss herausgestellt.

Für ein besseres Verständnis der Geschäftsabläufe und Kommunikationswege erfolgte eine detaillierte Analyse und Beschreibung der Abläufe und Prozesse der Praxispartner in gemeinsamen Workshops. Für die wichtigsten Anwendungsfälle wurden die Abläufe von der Auftragsannahme, Auftragsdisposition, Kapazitätsplanung, Tourenplanung, Tourenabwicklung und Reparatur in den Prozessketten detailliert aufgenommen und die unterschiedlichen Akteure mit Prozessverantwortlichkeiten zugeordnet.



Als Ergebnis der Workshops konnte das Fraunhofer IML die Prozessverantwortlichkeiten, Material- und Informationsflüsse sowie die relevanten Zeiten und Abhängigkeiten in Prozesskettenmodelle überführen.

Für den Nachtexpress wurde der Prozess der Abholung beim Kunden und die Zustellung beim Empfänger detailliert aufgenommen. Hierbei wurden die Akteure Empfänger, Disponent (Fahreinsatz / Tourenplanung), Fahrer und Depot betrachtet.

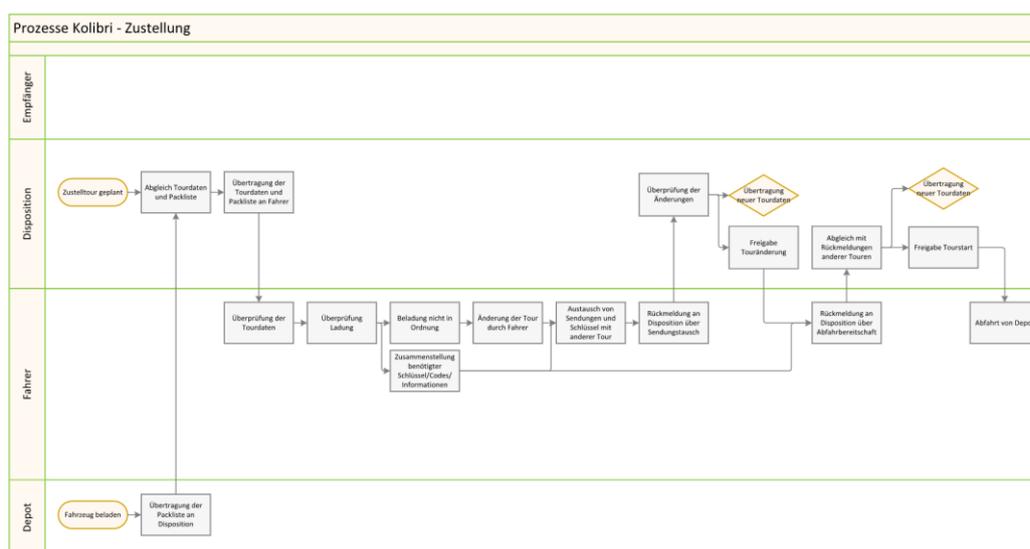


Abbildung 3: Prozesskette für die Zustellung von Nachtexpresssendungen (Ausschnitt)

Für das Geschäftsfeld von TOP Mehrwert wurden drei Prozesse näher betrachtet. Hier stand der Servicetechniker als Sendungsempfänger im Fokus sowie die Zustellung (Nachlieferung) durch den technischen Kurier bzw. Kurier bei der Hochverfügbarkeitslogistik.

Je nach Prozess wurden unterschiedliche Akteure bei der Prozesskette betrachtet. Durch die höhere Anzahl an Prozessbeteiligten und mehreren Möglichkeiten der Prozesssteuerung durch die Disponenten erhöhte sich der Komplexitätsgrad im Vergleich zum Nachtexpress hier deutlich.

In den Prozessketten wurden die Material- und Informationsflüsse zwischen Kunde, Auftraggeber, Technikerorganisation (Disposition), interner Servicetechniker, externer Dienstleister und dessen externer Servicetechniker aufgenommen. Hier spielt auch die Anbindung des Nachtexpresses als externe Dienstleistung eine wichtige Rolle (s. auch Abbildung 4).

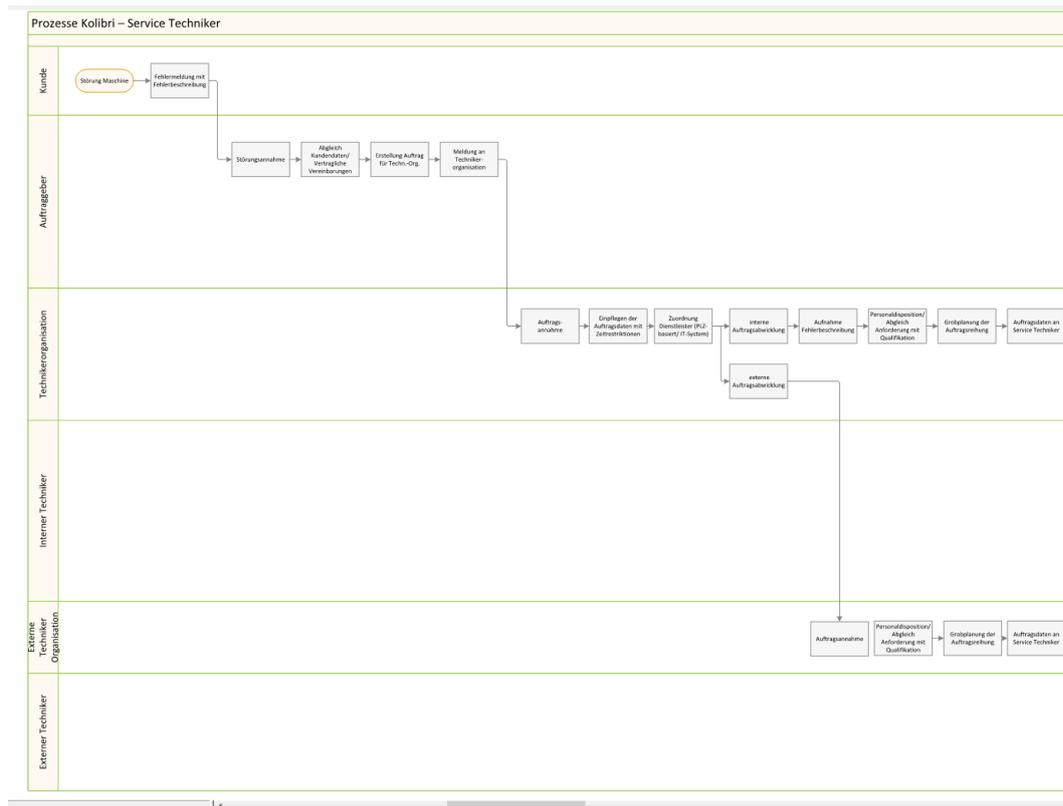


Abbildung 4: Prozesskette für die Auftragsabwicklung eines Servicetechnikers (Ausschnitt)

Mögliche Störfälle und Besonderheiten bei den Prozessen wurden mit den Praxispartnern aufgeschlüsselt. Bei der Prozessanalyse der technischen Kurier, Servicetechniker am Tag und der Zustellfahrer des Nachtexpresses zeigte sich, dass bei der späteren Entwicklung des Eventsystems besonders auf die verschiedenen Planungszeiten der Touren geachtet werden muss. Durch die sehr unterschiedlichen Zustellzeiten beim Nachtexpress (zwischen 2:30 und 8 Uhr) und den Arbeitszeiten der Servicetechniker (7 bis 16 Uhr) erfolgen auch die Planungsprozesse zu sehr unterschiedlichen Zeiten.



Abbildung 5: Unterschiedliche Prozesszeiten bei After-Sales-Logistik und Nachtexpress

Die in der Prozessanalyse herausgearbeiteten asynchronen Planungszeiten erschweren die unternehmensübergreifende Tourenoptimierung. Für die Zusammenführung im Eventsystem mussten die Prozesse identifiziert werden, an denen in die Prozessteuerung eingegriffen werden kann und spätestmögliche Zeitpunkte sowie Reaktionszeiten definiert werden.

5.2 Anforderungen an das logistische Dienstleistungssystem KoLibri

Im nächsten Schritt wurden die Anforderungen an das logistische Dienstleistungssystem aus Sicht der Anwender definiert. Hierzu wurden unterschiedliche Use-Cases definiert, für die die logistischen Anforderungen, die Nutzeranforderungen und die technischen Anforderungen betrachtet wurden.

Bei der Aufnahme der logistischen Anforderungen flossen die Erfahrungen der Praxispartner Night Star Express und TOP Mehrwertlogistik mit ein. Hierbei wurden drei Hauptziele definiert, die durch die zu entwickelnde mobile App und die dynamische Tourenplanung erreicht werden sollen:

1. Flexibler Ort – Flexible Zeit
 - Nachtlogistik: Kofferraumzustellung bei Servicetechnikern um Rendezvous-System / neutrale Übergabepunkte erweitern
 - Ersatzteillistik: Optimale Übergabepunkte und -zeiten für Ersatzteile bestimmen, gute Alternativen ausweisen
2. Flexiblere Reaktion auf Veränderungen / Störungen
 - Nachtlogistik: Nachlieferung von Ersatzteilen an Servicetechniker ermöglichen
 - Ersatzteillistik: Reparaturquote bei Erstbesuch durch Nachlieferungen erhöhen, Zweitanfahrten reduzieren



3. Kommunikationsaufwand reduzieren

- Beide Anwendungsfälle: Abstimmungsprozess Zustellort und-zeit automatisieren, Alternativenauswahl ermöglichen

Ein weiteres Ergebnis der Anforderungsanalyse sind die unterschiedlichen Zielvorgaben der Anwender, die bei der späteren Ausgestaltung der Optimierungsverfahren berücksichtigt werden müssen.

1. Ziel Logistikdienstleister:

- Kostenreduktion / Effizienz = Optimierung nach Kilometern und Zeit

2. Ziel Technikerorganisation:

- Produktivität = Optimierung nach Kunden pro Tag

Bei diesem anwendungsorientierten Forschungsvorhaben standen die unterschiedlichen Nutzer des Dienstleistungssystems im Fokus. Von Seiten der Nachtlogistik war hier vor allem der Zustellfahrer und von Seiten der Ersatzteillogistik der Servicetechniker bzw. der technische Kurier und deren Anforderungen von Interesse. Der Erfolg des geplanten Systems ist neben der technischen Funktionsfähigkeit im großen Maße von der Nutzerakzeptanz abhängig, so dass hier die Anforderungen der Nutzer an die Gestaltung des User-Interface, die Bedienbarkeit sowie die Kommunikationsmöglichkeiten detailliert betrachtet wurden.

In der Logistik, gerade in diesem untersuchten, sehr zeitkritischem Dienstleistungssegment, ist die Beschränkung auf die wesentlichen Informationen sowie eine systemgeführte Entscheidungsunterstützung zielführend. Über Use-Cases wurden die Abläufe aus Anwendersicht detailliert durchgespielt. Zum einen wurde der Ist-Zustand, mit unterschiedlichen Störfällen und nicht optimalen Abläufen und deren Konsequenzen für den Nutzer (Zustellfahrer / Servicetechniker) als User-Story aufbereitet. Zum anderen die erreichbaren Veränderungen / Verbesserungen durch den Einsatz des Dienstleistungssystems.

In der Verbindung von User-Story und Prozessanalyse konnten die benötigten Informationen (Zeitpunkt, Umfang) für die jeweiligen Anwender und die notwendige Einflussnahme auf die Prozessabläufe für das spätere Eventsystem festgelegt werden.

Aus den logistischen und anwenderspezifischen Anforderungen wurden die technischen Anforderungen in Bezug auf die Performance, Zuverlässigkeit und den Systemaufbau etc. definiert. Hieraus leiteten sich die Spezifikationen für die Anbindung von Drittsystemen sowie die Kommunikationsschnittstellen und den späteren Funktionsumfang der mobilen App ab. Das Fraunhofer IML konnte die qualitativen Anforderungen an den Algorithmus und die Optimierungsverfahren aus Nutzersicht ableiten. Hier waren vor allem Datenverfügbarkeit und -nutzung eine wesentliche Herausforderung. Für die konventionelle Tourenoptimierung ist bspw. der Kundenstandort als Zustellort eine der notwendigen Informationen. Bei der in KoLibri geplanten unternehmensübergreifenden Tourenplanung müssten demnach die Daten zu den Kunden mit den beteiligten Partnern geteilt werden. Aus wettbewerbs- und vor allem datenschutzrechtlichen Gesichtspunkten ist die Weitergabe von Kundendaten sehr kritisch. Als zentrale technische Anforderung muss daher



bei der Ausgestaltung des dynamischen Tourenplanungssystems eine Anonymisierung der Kundendaten erfolgen, ohne dass die Qualität der Optimierungsergebnisse leidet.

Für die Konzeption des KoLibri-Systems wurden unterschiedliche Anwendungsfälle für den Bereich der Ersatzteillogistik und den Bereich der Nachtlogistik erarbeitet. Für die Nutzer des Systems wurden User-Stories entwickelt. Die User-Stories beschrieben einmal die Abläufe ohne den Einsatz des KoLibri-Systems und danach die idealtypisch verbesserten Abläufe mit KoLibri.

Als Anwender wurden demnach der Servicetechniker (Ersatzteillogistik) und der Zustellfahrer (Nachtlogistik) näher beschrieben. Gemeinsam mit den Praxispartnern wurden unterschiedliche User-Stories entwickelt von „Normale Zustellung“ über „Falsches Ersatzteil“ bis zu „Verspätete Zustellung“. Jede Story wurde aus beiden Blickwinkeln der User geschildert und teilweise variiert, z. B. Einsatz eines Schließfachsystems als neutraler Übergabepunkt.

Aus den User-Stories konnten die Unterstützungsmöglichkeiten durch das KoLibri-System den unterschiedlichen Prozessen zugeordnet und daraus auch der Informationsbedarf und der Funktionsumfang der App abgeleitet werden. Details zu den User-Stories sind bei den Berichten der beiden Praxispartner enthalten, näheres zur App-Entwicklung steht im Bericht der VCE GmbH.

5.2.1 Entwurf der Softwarekomponenten und Funktionen

In AP 4.2 wurden auf Basis der zuvor definierten Prozesse die zu implementierenden Funktionen und Algorithmen durch das Fraunhofer und die VCE konzipiert. Hierzu wurden die definierten Prozesse mit dem erarbeiteten Stand der Technik aus AP 3 sowie den Anforderungen aus AP1 abgeglichen. Die VCE identifizierte dabei aus den zuvor definierten Prozessen verschiedene aber konkrete Implementierungsmöglichkeiten und staffelte diese in einzelnen Software-Module, um in späteren APs daraus eine finale Roadmap zur Implementierung erstellen zu können. Das Fraunhofer IML hat die entworfenen Algorithmen an die zuvor festgelegten Prozesse angepasst, um ein möglichst harmonisches Zusammenspiel von Software und Algorithmen zu gewährleisten. Um eine hohe Synergie zu erzeugen, wurden die übrigen Projektpartner Night Star Express und Top Mehrwert in die Einteilung der Software-Module und die Anpassung der Algorithmen aktiv miteinbezogen.

Auf dieser Basis erarbeitete das Fraunhofer IML ein Konzept für einen Algorithmus zur dynamischen und kollaborativen Tourenplanung in einem Rendezvousystem.

Damit das KoLibri-Rendezvousystem als Ganzes funktionieren kann, ist es für den Entwurf der Softwarekomponenten und Schnittstellen essenziell, dass ein übergeordnetes Big Picture entsteht, welches genau auf die Anforderungen und Prozesse ausgerichtet ist und klar definiert, welche Systemteile welche Aufgaben innehaben und wie die Verknüpfungen zwischen ihnen ausgestaltet sind. Hierbei stehen der Datenimport von den Partnern, der Tourenplanungsalgorithmus selbst sowie die Interaktion zwischen Planung und App im Vordergrund.

Gleichzeitig soll das entstandene System als Blaupause für die Kollaboration in echtzeitbasierten Systemen dienen und auf andere Anwendungsbereiche bzw. Ausgangssituationen verallgemeinerbar sein, was einen maßgeblichen Einfluss auf die Konzeption mit sich führt.



Während des Forschungsprojekts KoLibri wurde die grundsätzliche Konzeption durch das gesamte Konsortium vorgenommen, um Technik, Funktionen und Prozesse in ein bestmögliches Zusammenspiel zu bringen. Die Feinkonzeption innerhalb der einzelnen Teilsysteme wurde von den jeweils inhaltlichen Verantwortlichen entworfen, vorgestellt und vom Gesamtkonsortium validiert und abgenommen.

Das finale High-Level-Konzept der entwickelten Software- und Algorithmenkomponenten zeigt die folgende Abbildung.

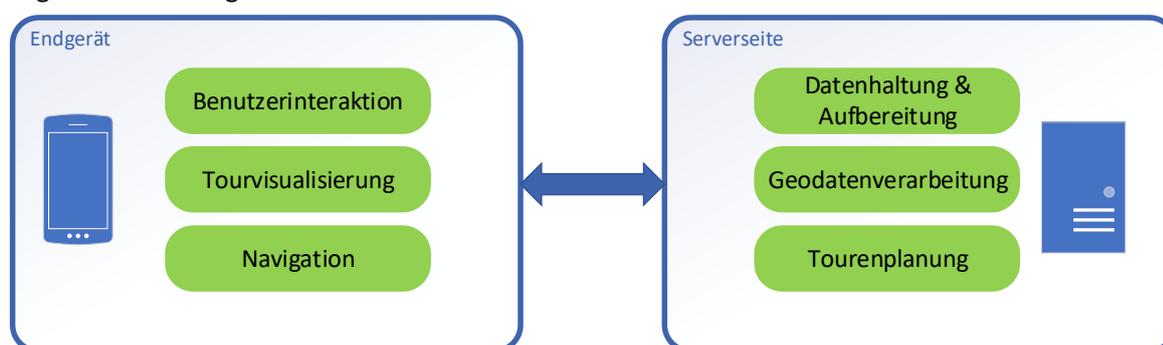


Abbildung 6: Funktionsaufteilung zwischen App und Optimierungsalgorithmus

Auf Serverseite lagert alle Tourenplanungs- und Algorithmenfunktionalität, die die Tourveränderung durch KoLibri abbildet und das Rendezvousystem entstehen lässt. Zudem erfolgt die Datenhaltung aller für die Algorithmenausführung notwendiger Daten mittels einer SQL-basierten Datenbank. Alle notwendigen Konvertierungsschritte, um die Inputdaten der beteiligten Partner in das KoLibri eigene Format zu bringen, erfolgen ebenso auf dem Server. Damit die Tourenplanung eine Grundlage zur effizienten und genauen Berechnung von Entfernungen hat, muss zudem eine Geodatenverarbeitung und, daraus abgeleitet, eine Distanzberechnung vorgenommen werden.

Die Anbindung an den Nutzer erfolgt durch Endgeräte (Smartphones, Tablets), auf denen die eigens entwickelte KoLibri-App ausgeführt wird. Diese App interagiert mit dem Nutzer, tauscht Benutzereingaben und Serverantworten zwischen Endgerät und Server aus und ermöglicht eine greifbare Einsicht in die kollaborative Tourenplanung und eine Auswahl der Alternativen, die sich durch das KoLibri-Rendezvousystem ergeben.

Im Folgenden werden die Konzepte der einzelnen Software-Komponenten detailliert beschrieben.

5.2.1.1 Entwurf Datenmodell und Datenverarbeitung

In AP 4.3 wurde von der VCE sowie dem Fraunhofer ein passendes Datenmodell in aktiver Kooperation entwickelt, welches eine Umsetzung der beabsichtigten Funktionen und Algorithmen innerhalb der Software-Lösungen möglichst effizient erlaubt sowie deren späteren reibungslosen Betrieb fördern soll. Dazu wurde das benötigte Datenmodell in Form eines Entity-Relationship-Diagramms konzipiert und erstellt, welches sämtliche relevanten Objekte mitsamt ihren Attributen unter Berücksichtigung der (Zwischen-)Resultate aus AP 4.1 und 4.2 definiert. Schlussendlich wurde innerhalb dieses APs (also) ein einheitliches Datenmodell für die Ausgestaltung der Software-Lösung definiert und in ein angemessenes Datenhaltungskonzept überführt.



Die zentrale Aufgabe im Entwurf eines Datenmodells ist die Definition aller Daten, die im KoLibri-Rendezvousystem verwendet werden, ihrer Formate sowie ihrer Verknüpfungen untereinander. Das fertige Datenmodell repräsentiert die Datensicht auf das System und beschreibt, wie die Informationen, die zum Bereitstellen der gewünschten Funktionalitäten benötigt werden, aufgearbeitet und harmonisiert wurden.

Die zentrale Anforderung an das KoLibri-Rendezvousystem ist das Zusammenführen von Daten unterschiedlicher Unternehmen und die Erzeugung von übergreifenden Tourinformationen. Aus diesem Grund wurde ein eigenes KoLibri-Datenmodell entwickelt, welches vom Tourenplanungssystem bzw. den Stammdatensystemen der Partner abweichen kann und eine Datenkonvertierung in beide Richtungen benötigt.

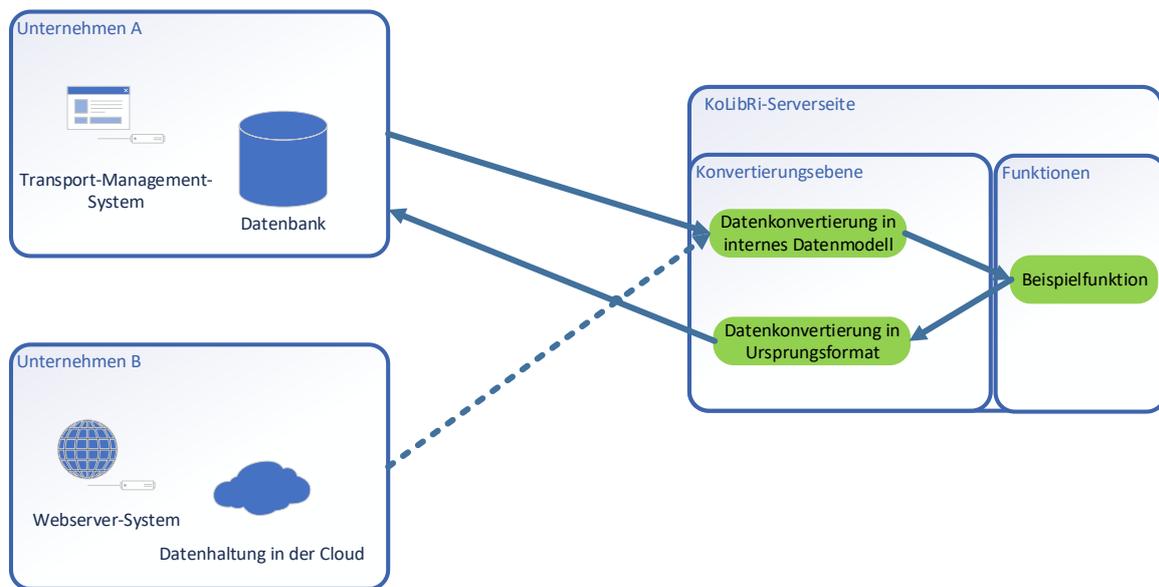


Abbildung 7: KoLibri-Datenmodell und Unternehmensanbindung

Der Vorteil dieses Konzepts ist, dass Unternehmen mit unterschiedlichsten IT-Architekturen (im Beispiel „Unternehmen A“ und „Unternehmen B“) angebunden werden können und die wirklichen KoLibri-Funktionen ausgelagert auf dem internen Datenmodell arbeiten können.

Die benötigten Daten für das KoLibri-System lassen sich in fünf Bereiche gliedern:

- Geodaten
 - Aufbereitung von Geoinformationsdaten zur Bestimmung von Adressen, Straßenanbindungen und einem befahrbaren Routinggraphen
- Distanzinformationen
 - Entfernungen in km und Fahrzeit in s zwischen Punkten des befahrbaren Routinggraphs
- Unternehmens-Stammdaten
 - Unternehmensinformationen wie Depotstandorte, Fuhrpark oder Aufträge



- Unternehmens-Tourdaten
 - Bisherige Unternehmenstouren als Input für das KoLibri-System
- Kommunikations- und Eventdaten
 - Vom System erzeugte Informationen zur bidirektionalen Kommunikation zwischen App und Server

Die Verarbeitung der **Geodaten** erfolgte im Projekt KoLibri auf Basis von OpenStreetMap (OSM), einem Projekt zum Sammeln und Pflegen von freien Geodaten. Auf Basis der OSM-Rohdaten (als Open Source bereitgestellt) werden alle notwendigen Informationen extrahiert und in der KoLibri-Datenbank angelegt (siehe Funktionsbeschreibung in Kapitel 5.2.1.3). In Summe sind für den Aufbau eines Routinggraphen folgende Punkte notwendig:

- Nodes (Knoten auf dem Straßennetz)
- Segmente (Abfolge von Nodes)
- Durchfahrgeschwindigkeiten je Segment (je nach Tageszeit)
- Anbindung aller Standorte (Depots, Kunden, Übergabeorte) an den nächsten Node auf dem Straßennetz
- Abbiegerestriktionen an Kreuzungen (Abbiegedauer, Wendemöglichkeit)
- Konfigurationen für die Tourenplanung (nicht angebundene Standorte, explizit verbote/erlaubte Segmente)

Diese Informationen müssen zum einen für das gesamte Planungsgebiet gespeichert werden, zudem aber auch für den schnellen Zugriff während der Distanzberechnung für einzelne vorhandene Depotgebiete separat aufbereitet werden.

Die Geodatenaufbereitung der Rohdaten muss einmalig erfolgen und sollte bei größerer Überarbeitung in den importierten Rohdaten erneut ausgeführt werden. Die Anbindung aller Standorte an das Straßennetz erfolgt immer, wenn das KoLibri-System neue Touren (und damit Standorte) importiert.

Die Erzeugung der **Distanzdaten** wird von einem Algorithmus vorgenommen, der aus Geodaten und relevanten Standorten eine NxN-Matrix der Entfernungen ermittelt. Aufgrund der typischen Größen solcher Distanzmatrizen (z. B. vor allem für >1000 Standorte) erfolgt die Datenhaltung in einer serialisierten Datei und nicht in der Datenbank. Es werden die Entfernung in Kilometern und die Fahrzeit in Sekunden zwischen zwei Standorten abgelegt (ein Datensatz pro Zeitslot (Stunde) zwischen 0 und 23 Uhr). Während des Erzeugens der Zeitslot-Datensätze werden die morgendlichen und nachmittäglichen Slots mit Strafzeiten belegt, um den Berufsverkehr abzubilden.

Die **Unternehmens-Stammdaten** sind notwendig, um in die Tourenplanung eingreifen zu können und die Realität angemessen abbilden zu können. Hier sind vor allem die folgenden Informationen relevant:

- Depotinformationen (Standort, Öffnungszeit, Größe Depotgebiet, Abfahrtswellen und Anzahl Rampen/Tore)



- Fuhrpark (Fahrzeuge, Fahrer, Fahrer- und Fahrzeugzeiteinsatzfenster, Fahrerlaubnis)
- Kunden (mit Referenz auf die ans Routingnetz angebotenen Standorte, Kundenöffnungszeiten, Übergabezeiten und Wegzeiten vor Ort)
- Auftrags/Sendungsinformationen (Kunde, Anzahl, Pakete, Lieferzeitfenster)

Um abzubilden, welche verschiedenen Akteure in der KoLibri-Tourenplanung aktiv sind, ist eine Aufteilung der Touren in verschiedene „Depot-Gebiete“ notwendig. Als Depot wird der Standort bezeichnet an dem einzelne oder mehrere Touren beginnen und zu dem die Fahrzeuge dann auch zurückkehren. In der Praxis kann das Depotäquivalent wie folgt sein

- Techniker: Wohnort
- Nachtlogistik: Sortierdepot für die letzte Meile
- Hochverfügbarkeitslogistik: Lagerdepot als Ausgangspunkt für Kuriertouren

Für diese Standorte müssen alle relevanten Informationen erfasst und alle Touren ihrem jeweiligen Depotgebiet zugeordnet werden. Zudem werden die Geodaten dahingehend eingeschränkt, dass einem Depot nur ein begrenzter Umkreis als gültiges Liefergebiet zugewiesen wird (per Bounding-Box), um die Datenmengen und Rechenintensivität der Geodaten und Distanzen zu vereinfachen.

Zudem müssen die Fuhrparks für jedes Depot und damit jedes Unternehmen definiert werden. Im Rahmen des Projekts KoLibri wird angenommen, dass sämtliche Touren mit Kleintransportern bis 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht durchgeführt werden. Da die Beladungsplanung keine besondere Relevanz für KoLibri besitzt und auch die Geschwindigkeitsprofile identisch sind, muss hier keine weitere Unterteilung der Fahrzeugklassen erfolgen. Von den Servicetechnikern werden in der Regel Lieferwagen (PKW) genutzt. Wichtig ist, dass im jeweiligen Depot auch die Fahrer erfasst werden und eine Zuordnung erfolgt, welcher Fahrer welches Fahrzeug bewegen darf, um für die Tourenplanung eine valide Ausgangsmenge zu besitzen.

Für Fahrzeug wie Fahrer müssen Einsatzzeitfenster, Einsatz- und Pausenzeiten definiert werden, um die Realität in den jeweiligen Depots abzubilden und gültige Tourenplanungen zu ermöglichen.

Damit die Tourenplanungsergebnisse von KoLibri nicht durch potenzielle Fuhrparkengpässe eingeschränkt werden, wurde in den Simulationen davon ausgegangen, dass in jedem Logistikdepot bis zu 50 zusätzliche freie Fahrer/Fahrzeuge einsatzbereit sind, die nicht bereits in Touren geplant wurden. Dies entspricht der Praxis, da hier kurzfristig weitere Dienstleister (Subunternehmer) mit Fahrer- und Fahrzeugen zur Verfügung stehen.

Für Kundenstandorte wurde zunächst ausgehend von Adresse oder Längen/Breitengrad der nächstgelegene Punkt auf dem OSM-Straßennetz ermittelt. Aus dieser Entfernung wurde dann eine „Wegzeit“ abgeleitet, die ein Mensch zwischen Fahrzeug und Kunden laufen muss, um die Zeit vor Ort realistisch abbilden zu können. Zusätzliche potenzielle Restriktionen wie Öffnungszeiten müssen zusätzlich erfasst werden.



Weitergehend müssen jedoch auch die Sendungs- bzw. Auftragsinformationen in allen Depotgebieten erfasst werden. Hier ist wichtig abbilden zu können, welcher Kunde in einem Auftrag wie viele Pakete erhalten soll und innerhalb welchen Zeitfensters. Aus diesen Informationen kann das KoLibri-System dann gültige Touren ermitteln bzw. die bestehenden Touren validieren und sicherstellen, dass keine Tour plötzlich ungültige Planungswerte hat.

Die **Unternehmens-Tourdaten** bilden das Herzstück des KoLibri-Systems. Mit diesen Daten kann das Kolibri-System, angereichert durch die Stammdaten, die real gefahrenen Touren der jeweiligen Unternehmen nachbilden und ausgehend davon ausrechnen, ob durch ein kollaboratives Liefersystem Nutzen entstehen kann. Die Toureninformationen müssen auf verschiedenen Ebenen beschrieben werden:

- Tourebene
- Tourstoppebene
- Wegpunktebene

Auf Tourebene muss die Zuordnung zwischen Tour, Depot, Fahrer und Fahrzeug erfolgen sowie die Start- und Endzeitpunkte erfasst sein. Auf Tourstoppebene wird jeder einzelne Kundenstopp, der während der Tour abgefahren wird erfasst, inkl. Sequenz, Ankunftszeitpunkt und Stoppzeit vor Ort. Zusätzlich werden auf der Wegpunktebene alle für eine Fahrzeugnavigation notwendigen Zwischenpunkte auf dem Straßennetz erfasst, so dass der genau gefahrene Weg ersichtlich ist.

Während die Tourdaten der Input für eine tagesweise Tourenplanung sind, entstehen während der Tourenauführung zusätzliche **Kommunikations- und Eventdaten**. Sobald ein Fahrer z. B. eine Zustellung abgeschlossen hat, wird diese Information über die KoLibri-App erzeugt und an den Server gesandt. Mit Hilfe dieser Events die appseitig erzeugt werden, hat die Tourenplanung somit einen ständigen Überblick über den jeweiligen Status einer Tour. Dies ist notwendig, um die Funktionen, die „live“ während der Tourenauführung aufgerufen werden (z. B. das Nachbestellen von Ersatzteilen), direkt aufbauend auf den Status aller Touren im System zu ermöglichen.

Gleichzeitig erzeugt auch die Tourenplanung selbst Events, die von der App verarbeitet werden und diese auf Änderungen im Tourplan hinweisen. Letztlich ist auch der Aufruf der KoLibri-Funktionen per App über einzelne Events geregelt, so dass das gesamte KoLibri-System mittels dieser Event-Informationen gesteuert wird.

Alle beschriebenen Informationen werden für einen Planungstag importiert, konvertiert und innerhalb der SQL-Datenbank im KoLibri-System gespeichert. Nach Ende eines Planungstags müssen diese Informationen wieder gelöscht werden, da sie dem KoLibri-System nur während der Tourenauführung zur Verfügung stehen sollen und ansonsten wieder in die Ursprungssysteme der Praxispartner zurückgespielt werden. So wird verhindert, dass unternehmensbezogene Daten innerhalb des KoLibri-Systems langfristig gespeichert werden.

Das entstandene SQL-Datenmodell zeigt Abbildung 8:

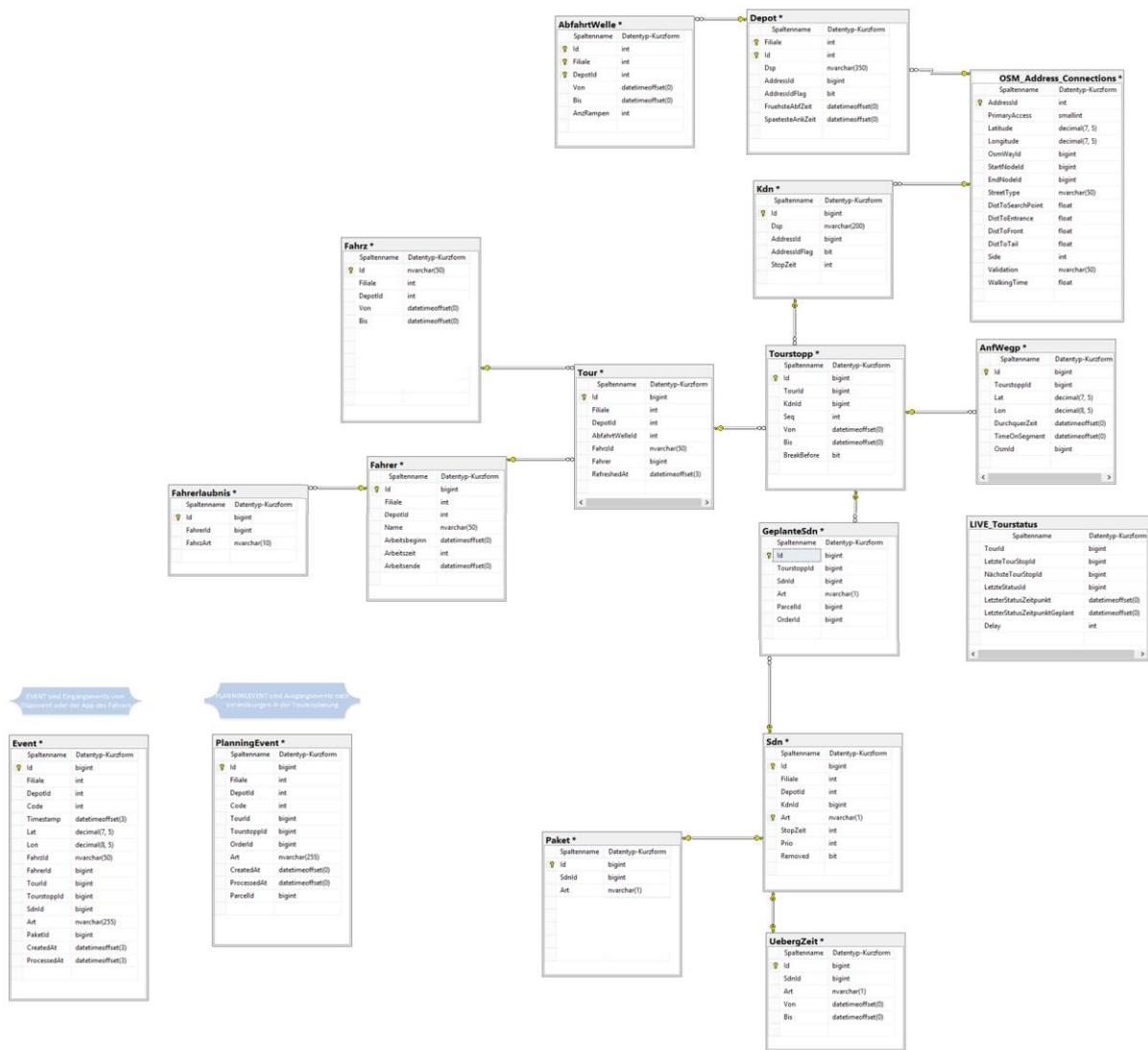


Abbildung 8: Datenmodell der KoLibri-Tourenplanung

5.2.1.2 Schnittstellen-Definition

In AP 4.4 wurden unter aktiver Mitwirkung aller Projektpartner sämtliche notwendigen Schnittstellen zur praktischen Gesamtumsetzung der zu erstellenden Software-Lösung identifiziert, bewertet sowie final definiert. Die zu betrachteten Schnittstellen umfassten dabei einerseits die Anbindung zwischen internen Systemen wie beispielsweise zwischen Mobil-Anbindung und Server-Technologie oder auch zwischen Server-Technologie und den Systemen der Projektpartner, welche die entstehende Softwarelösung später selbst aktiv nutzen möchten. Andererseits wurde auch geprüft, ob und wenn ja welche Schnittstellen zu externen Drittsystemen, die möglicherweise zum Einsatz kommen, integriert und bereitgestellt werden sollen. Insgesamt wurde in diesem AP eine einheitliche Ausgestaltung aller relevanten Schnittstellen für die Umsetzung der Softwarelösung entwickelt sowie schriftlich fixiert.



Grundsätzlich wurden in der Schnittstellendefinition den bestehenden IT-Systemen der Partner Rechnung getragen, gleichzeitig soll die KoLibri-Lösung jedoch grundsätzlich kompatibel mit möglichst vielen Einsatzmöglichkeiten sein und keine Einschränkung durch System- oder Herstellerabhängigkeit erfahren. Aus diesem Grund wurde für die Geodatengrundlage OpenStreetMap gewählt, so dass diese Open-Source-Komponente auf Basis der gegebenen OSM-Definitionen integriert werden konnte und keine zukünftigen Schnittstellenänderungen erfordert (und zur Aktualisierung nur eine neue Inputdatei der OSM-Rohdaten). Zudem wurden alle Algorithmenteile von Drittparteien, die in KoLibri verwendet wurden daraufhin überprüft, ob ihre Nutzung auch im gewerblichen Umfeld erlaubt ist und keine zukünftigen Einschränkungen mit sich bringen. Abbildung 9 zeigt alle Schnittstellen des Dienstleistungssystems KoLibri:

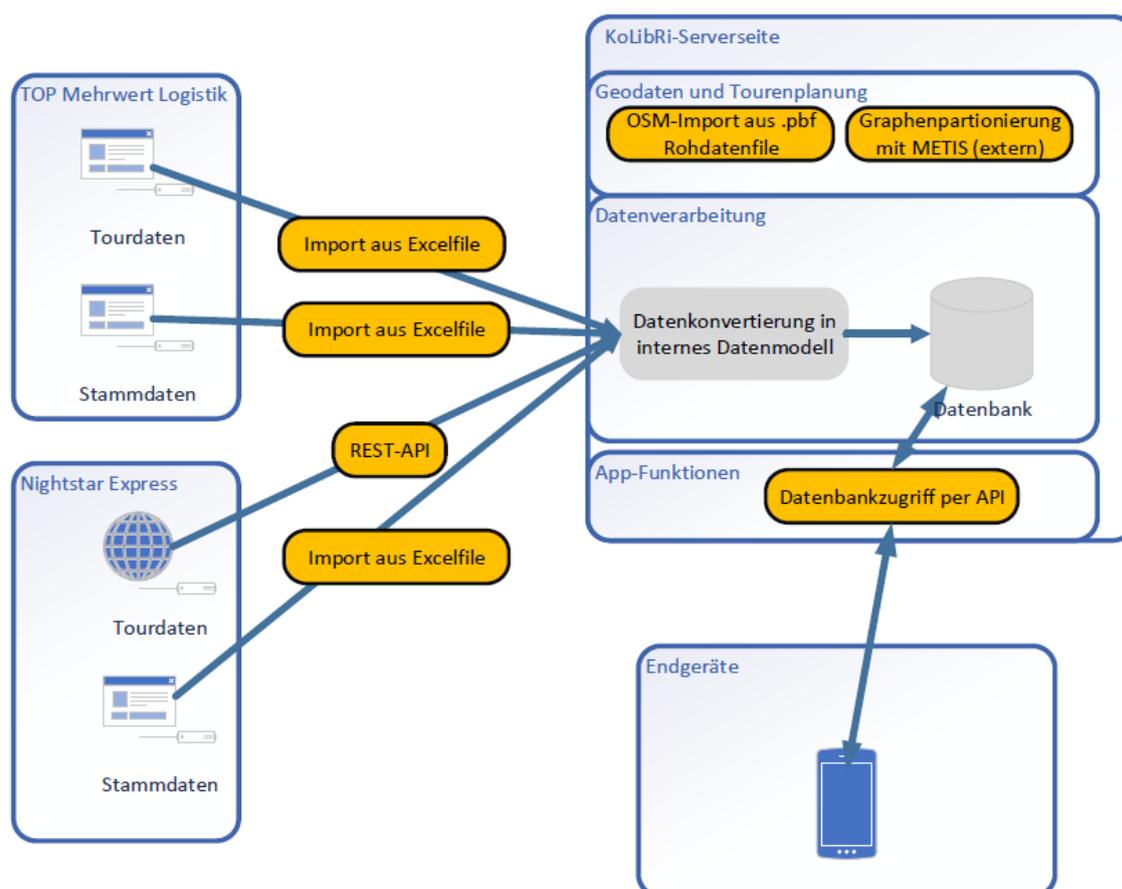


Abbildung 9: Schnittstellen des Systems KoLibri

Die Schnittstellen zu den IT-Systemen der **TOP Mehrwert Logistik** bestehen im Import von automatisch generierten Excel-Dateien, in denen Stammdaten bzw. Tourdaten abgelegt wurden. Auf Seiten von Top Mehrwert wurden diese Daten bereits bearbeitet, um reale Technikernamen zu abstrahieren und die eindeutigen Technikerwohnorte durch Abbildung auf Postleitzahlen zu anonymisieren. Ein eindeutiges Dateiformat wurde festgelegt, so dass die Datenkonvertierung in das interne Datenmodell automatisiert erfolgen kann.



Die Schnittstellen zu den IT-Systemen von **Night Star Express** sind ähnlich konstruiert: Der Import der Stammdaten erfolgt ebenfalls per Exceldatei mit festgelegtem Dateiformat. Der Import der Tourdaten kann direkt aus dem Tourenplanungssystem von Night Star Express erfolgen, welches über eine REST-Schnittstelle von außen abrufbar ist. Auch hier erfolgt eine automatische Anonymisierung der Tourdaten, sodass keine personenbezogenen Daten weitergeleitet werden.

Die Inputdateien von beiden Firmen werden dann serverseitig auf das interne KoLibRi-Datenformat konvertiert und in einer SQL-Datenbank abgespeichert. Über diese Datenbank erfolgt auch die Kommunikation mit den **Endgeräten** bzw. der App. Anstelle eines serverseitigen Backends nutzt das Eventsystem, welches Informationen zwischen App und Tourenplanung austauscht, zwei Datenbanktabellen:

- Event (zur Verarbeitung aller appseitig erzeugten Events)
- PlanningEvent (zur Verarbeitung aller serverseitig erzeugten Events)

Sowohl die App als auch die Tourenplanung fragen die beiden Tabellen in regelmäßigen Abständen ab und verarbeiten neuhinzugekommene Informationen und neu erzeugte Events. Das Zusammenspiel von Lese- und Schreibzugriffen auf die Datenbank in Verbindung mit einem ausreichend großen Anfrageabstand (>10 Sekunden) ermöglicht eine sichere Kommunikation zwischen beiden Komponenten.

Zusätzliche Schnittstellen zu **Drittssystemen** existieren nicht. In die KoLibRi-Tourenplanung sind allerdings zwei externe Komponenten integriert: die Open-Street-Map Geodaten sowie die Bibliothek zur Graphenpartitionierung METIS. Da sich die OSM-Daten in ihrer Rohform in einem festgelegten Format befinden werden diese mit Hilfe eines automatischen Imports gelesen und in das interne Datenmodell übertragen. Die Graphenbibliothek METIS¹²(der University of Minnesota) wird genutzt, um die weitergehende Verarbeitung der Geodaten zu vereinfachen und einen routingfähigen Graphen zur Distanzberechnung zu erzeugen.

5.2.1.3 Konzeption der Algorithmen und Funktionen

Konvertierung der Inputdaten in Datenmodell

Der erste Schritt in der Erstellung eines Tourenplanungssystems ist der Import der Daten der Praxispartner und die Konvertierung in das interne Datenmodell. Hierzu wurden automatische Importverfahren entwickelt, die die Schnittstellen zu den Praxispartnern ansteuern und die erhaltenen Daten eines Planungstages in die KoLibRi-Datenbank laden.

Zusätzlich zu den übergebenen Daten müssen eine Vielzahl von zusätzlichen Informationen erzeugt werden, um ein reibungsloses Implementieren der Tourenplanung zu ermöglichen. Im Folgenden werden die Konvertierungs- und Anreicherungsschritte für die Daten der Praxispartner beschrieben:

¹² Karypis, G. & Kumar, V. (1999). "A fast and high quality multilevel scheme for partitioning irregular graphs". SIAM Journal on Scientific Computing. 20 (1): Seite 359-392



- Import aller Adressdaten (Depots, Kunden)
- Kennzeichnung von möglichen Übergabepunkten aus diesen Adressdaten
- Erzeugen von Dummykunden je Kundenadresse
- Erzeugung der Stammdaten
 - Depotdefinitionen, Öffnungszeiten und Abfahrtswellen
 - Fuhrparks (Fahrer, Fahrzeug, Fahrerlaubnis)
 - Sendungsinformationen (Sendungen, Zeitfenster)

Diese Aufbereitung erfolgte je Praxispartner und ist von unterschiedlicher Komplexität. Notwendige Bedingung für die importierten Adressdaten ist die Zuweisung von Längen- und Breitengrad zum späteren OSM-Matching. Für Techniker wurden „Depot“-Standorte am Technikerwohnort definiert. Techniker haben einen Fuhrpark von einem PKW und Fahrer, für den Nachtexpress wurden die Fuhrparks automatisch an die Menge an Sendungen angepasst. Unter der Annahme, dass immer Kuriere einsatzbereit in ihren Depots vorhanden sind, wurden pro Kurierdepot 50 Fahrer/Fahrzeuge zugewiesen.

Zu weiteren Unterscheidung durch die Tourenplanung wurden Art der Sendungen, Übergabezeiten und (Wartungs-)Zeitfenster je Logistiktyp importiert oder anhand der Importdaten abgeleitet. Da zwischen Night Star Express und TOP Mehrwert Logistik keine direkten Kundenbeziehungen bestehen, wurden fiktive Kofferraumbelieferungssendungen erzeugt, um beide Tourpläne verbinden zu können. Nach Abschluss des Imports sind alle benötigten Daten der Praxispartner im internen Datenformat innerhalb der Datenbank abgespeichert.

Aufbereitung der OSM-Daten

Der nächste Schritt in der Erstellung eines Tourenplanungssystems ist die Aufbereitung von Geodaten, um eine Basis für die Berechnungen von möglichst kurzen Entfernungen zwischen Standorten zu schaffen, die für eine Tourenplanung notwendig sind. Hierzu sind die folgenden aufeinander folgenden Schritte notwendig:

- Import der OSM-Rohdaten
- Adressanbindung
- Kalkulation aller möglichen Segmentdurchfahrten mit Zeitprofilen
- Reduktion der Daten auf Depotgebiete

Zunächst müssen die Rohdaten, die alle vorhandenen Geoinformationen beschreiben, für den gewünschten geografischen Rahmen importiert werden. Hierzu wurde der Open-Source-Service der „Geofabrik“ genutzt (<https://download.geofabrik.de/>), in dem für einen bestimmten Bereich (z.B. Deutschland) ein Rohdatenfile heruntergeladen werden kann. Diese Rohdaten sind jedoch nur der Beginn, da diese eine Vielzahl von zusätzlichen, für die Tourenplanung irrelevanten Informationen beinhalten. Während der Aufbereitung werden die Rohdaten durchsucht und alle wichtigen Informationen in der Datenbank abgelegt. Es folgt eine interne Repräsentation der Geodaten, in der Knoten (Standorte), Kanten (Wege) und Einschränkungen (Abbiegevorschriften) ermittelt werden.



Es wurden mithilfe des Algorithmus von Tarjan¹³ zur Bestimmung starker Zusammenhangskomponenten nur das zusammenhängende Straßennetz ermittelt und alle übrigen Informationen eliminiert.

Als nächstes wurden die bereits importierten Adressinformationen auf das nun definierte OSM-Straßennetz gemappt. Hierzu wurden, ausgehend von Längen- und Breitengrad der Adresse der nächstgelegene anfahrbare Punkt auf dem OSM-Straßennetz bestimmt. Weitergehend wurden aus der Entfernung zwischen Adresse und Anfahrtpunkt zusätzliche Fußwege errechnet und zeitlich bewertet.

Danach wurden für alle Segmente/Straßen des Routingnetzes ermittelt, wie lange eine Durchfahrt dieses Segments für ein Fahrzeug benötigt. Es wurde dazu ein Geschwindigkeitsprofil für alle Fahrzeuge definiert, das unterschiedliche Geschwindigkeiten je OSM-Straßentyp und Durchfahrzeit (in Einstundenslots) festlegt. Mit dieser Vorgabe konnten die Durchfahrzeiten je Segment und Zeitslot ermittelt werden und in der Datenbank gespeichert werden.

Alle bisherigen Schritte betrafen stets das gesamte importierte Straßennetz. Um die Rechenzeit und Komplexität des KoLibri-Systems zu senken, wurden jedoch die benötigten Geodaten je Depotgebiet beschränkt, so dass nur eine Teilmenge des Gesamtnetzes betrachtet werden muss. Hierzu wurden geografische Begrenzungsboxen je Depotgebiet definiert und die Geodaten dahingehend je Depotgebiet verkleinert und separat in der Datenbank abgelegt.

Berechnung von Distanzen

Nachdem nun für jedes Depotgebiet die Geodaten aufbereitet wurden, kann die Distanzberechnung zwischen allen gemappten Adressen des Planungstags durchgeführt werden. Hierzu wird zunächst ein reduzierter Routinggraph ermittelt, der alle benötigten Segmente beinhaltet, um von jeder Adresse zu jeder anderen Adresse auf kürzestem Wege zu gelangen. Mittels dieses Routinggraphen kann nun eine NxN-Distanzmatrix erzeugt werden, die einen Entfernungswert sowie eine Fahrzeit zwischen zwei Adressen für einen Zeitslot des Tages ermittelt.

Aufgrund der enormen Größe der resultierenden Matrix kann diese nicht innerhalb der Datenbank abgespeichert werden, sondern wird als binäre Datei abgelegt und zum Start der Tourenplanung in den Hauptspeicher der ausführenden Maschine geladen.

Nachrechnen der Inputtouren

Obwohl bereits Tourpläne importiert wurden, stammen diese aus den Planungssystemen der Praxispartner. Um diese Touren kompatibel mit dem KoLibri-System zu gestalten, müssen die Touren eines Depots nun durch eine Touroptimierung nachoptimiert werden und die ermittelten Fahrzeiten und Distanzen verwendet werden. Auf diesem Weg können dann der nachgerechnete Status-Quo mit den Alternativen aus KoLibri verglichen werden (beides auf gleicher Grundlage) und der entstandene Nutzen auch direkt den Änderungen durch KoLibri zugeordnet werden. Die Touroptimierung, die zum Nachrechnen verwendet wurde, rechnet für einzelne Depotgebiete Touren aus, indem in einer Eröffnungsheuristik zunächst zufällig Aufträge auf Touren gelegt werden und

¹³ Robert Tarjan: Depth-first search and linear graph algorithms. In: SIAM Journal on Computing. Bd. 1 (1972), Nr. 2, S. 146–160



zeitlich benachbarte Aufträge, falls noch möglich, ergänzt werden. Zwischen den Schritten erfolgt stets eine Innertouroptimierung mittels eigens entwickelter 2opt-Heuristik¹⁴. Die Startheuristik wird mit verschiedenen Zufalls-Seeds wiederholt ausgeführt und für den weiteren Optimierungsverlauf die beste Lösung ausgewählt.

Im nächsten Schritt wird die ursprüngliche Lösung iterativ durch Verbesserungsheuristiken verändert. Zunächst werden mit einer Implementierung des Ruin&Recreate-Algorithmus lokale Tourzuweisung aufgelöst (also z.B. alle Tourstops innerhalb eines geografischen Kreises mit variablem Durchmesser) und optimal erneut auf die Resttouren verplant. Nachfolgend werden mittels eines SingleExchange-Algorithmus einzelne Stopps zufällig von den Touren gelöscht und wieder optimal eingefügt.

Die Iterationen der einzelnen Schritte sind konfigurierbar, so dass man die Laufzeit des Algorithmus an die Komplexität der Eingangsdaten anpassen kann.

Die entstandenen Touren werden schließlich ebenfalls in der Datenbank abgespeichert und können nun als Input für die KoLibri-Alternativenberechnung verwendet werden.

Eventsystem

Eine wichtige konzeptuelle Grundlage für die Ermittlungen von Alternativen durch KoLibri ist ein Eventsystem zur Steuerung der Tourenplanung und App und Verarbeitung aller Statusinformationen und Alternativenanfragen.

Das Eventsystem ist die zentrale Komponente, die nach Vorberechnungen der Touren für einen Planungstag zur Durchführung dieses Touren aktiviert wird und nun eine Steuerung der jeweiligen „Live“-Situation ermöglicht. Im Einzelnen soll das Eventsystem innerhalb einer Schleife, die in regelmäßigen Abständen aktiviert wird, prüfen, ob Statusevents vom Fahrzeug (bzw. der App des Fahrers) eingegangen sind oder ob Anfragen zur Kalkulation von KoLibri-Alternativen ausgelöst wurden.

Die Verarbeitung von Statusinformationen hat den Hintergrund, dass es mittels Statusinformationen möglich ist, in Echtzeit zu erkennen wo sich einzelne Fahrzeuge ungefähr auf ihrer Tour befinden und so diese Information in die Berechnung von Alternativen einfließen zu lassen. Abbildung 10 zeigt einen Zustandsautomaten zur Statuserzeugung in der App und Weiterleitung in die Datenbank.

¹⁴ Vgl. hierzu: Lin, Shen; Kernighan, B. W. (1973). "An Effective Heuristic Algorithm for the Traveling-Salesman Problem". *Operations Research*. 21 (2): 498–516

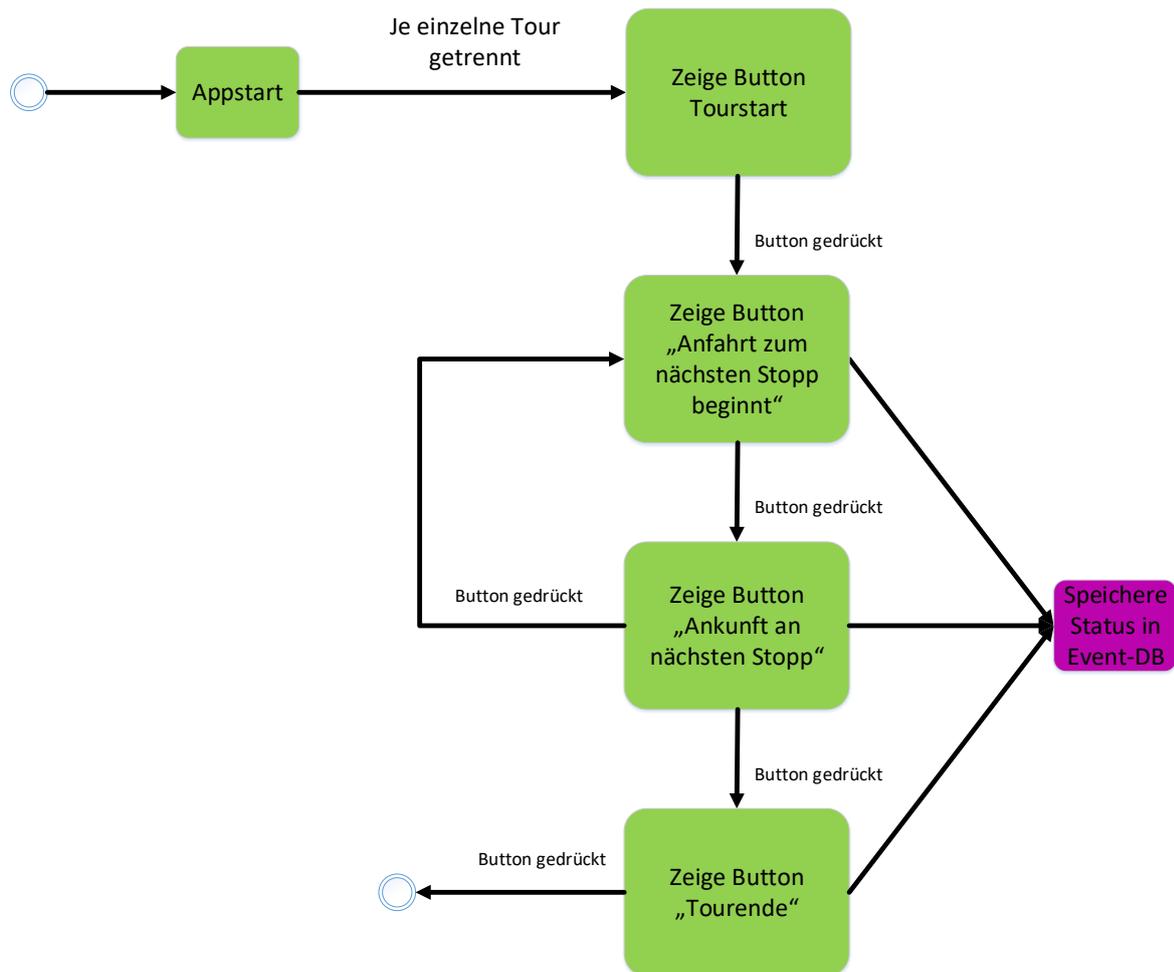


Abbildung 10: Zustandsautomat zur Staterzeugung in der App und Weiterleitung in die Datenbank

Äquivalent zur Eventtabelle in der Datenbank, in der Eingangsereignisse gespeichert werden existiert eine Tabelle PlanningEvent, die von der Tourenplanung selbst befüllt wird, sobald sich Änderungen am Tourenplan ergeben. Die App liest diese Tabelle in regelmäßigen Abständen und kann so Tourplanänderungen erkennen und für die Nutzer visualisieren.

Alternativenberechnung für die Nachtexpressbelieferung von Ersatzteilen an Techniker

Das Konzept zur Alternativenberechnung für die Nachtexpress-Techniker-Übergabe sieht vor, dass nach Eingang eines solchen Eventtriggers alle gültigen Alternativen berechnet werden, die die konfigurierbaren Rahmenbedingungen erfüllen. Schließlich werden diese Alternativen in einer separaten Datenbanktabelle gespeichert und dem Techniker über die App angezeigt (s. Bericht der VCE GmbH). Dieser kann nun selbst entscheiden, ob er eine neue Alternative auswählt oder die bestehende Kofferraumbelieferung beibehält. Falls der Techniker sich für eine Alternative entscheidet, werden die separat gespeicherten Touränderungen nun in den aktuellen Tourenplan überführt.

Der Algorithmus zur Alternativenberechnung startet nach Eingang des jeweiligen Events und prüft, ausgehend von seiner Konfiguration, alle möglichen alternativen Übergaben zwischen Nachtexpress und Techniker. Hierzu wird zunächst für jeden Techniker die bestehende



Kofferraumbelieferung als Alternative ausgewiesen (der Techniker kann ja den Status Quo beibehalten) und bewertet.

Der sogenannte Score, der für eine Alternative ermittelt wird, ist die zentrale Kenngröße um den Techniker über die Güte einer einzelnen Alternative zu informieren. Was genau durch den Score beschrieben werden soll, lässt sich im KoLibri-Softwaresystem konfigurieren (bspw. eine Bewertung nach möglichst kurzen Wegen mit unterschiedlicher Gewichtung je teilnehmender Akteur).

Den Pseudocode zur Berechnung von Alternativen zeigt Abbildung 11:

Für jede Kofferraumzustellung:

Bewerte Kofferraumzustellung als Alternative mit Score 0 – Status Quo

Für jeden Übergabepunkt in der Nähe der Technikertourfahrstrecke:

Für jede Nachtexpresstour:

Für jeden Tourstopp:

Bewerte Alternative mit Zustellung am Übergabepunkt nach dem aktuellen Tourstopp falls **valide** und **nutzenbringend**

Filtere die entstandenen Alternativen nach Score oder anderen Kriterien

Abbildung 11: Pseudocode zur Berechnung von Alternativen zwischen Nachtexpress und Techniker

Wie beschrieben, wird für jeden Status Quo Kofferraumzustellung eine eigene Alternative mit explizitem Score 0 als Richtwert ausgewiesen. Ausgehend davon wird die Technikertour, die von diesem Ort startet, betrachtet und alle in den Stammdaten definierten Übergabepunkte innerhalb eines konfigurierbaren Radius als Kandidaten für Übergaben ermittelt. Es werden so alle sinnvollen Übergabepunkte definiert, die in der Nähe des Tourverlaufs des Technikers liegen und mit geringem Umweg ausgewählt werden können.

Für jeden dieser Kandidaten wird nun überprüft, welche Tour entstehen würde, wenn diese Lieferung in eine bestehende Nachtexpresstour eingefügt wird. Anhand der Ankunftszeit des Nachtexpresses kann nun auch die Technikertour optimal geplant werden. Daraus entsteht ein mögliches Tourpaar, das eine Alternative sein könnte. Jedoch muss validiert werden, ob sämtliche Rahmenbedingungen der Tourenplanung und die definierten Zeitfenster in beiden Touren eingehalten werden. Ebenso wird an dieser Stelle bereits eine Vorfilterung vorgenommen, um Alternativen mit hohem Umweg auszuschließen und Rechenzeit zu sparen. Da jede mögliche Einfügeposition in jeder möglichen Nachtexpresstour überprüft wird, können am Ende eine Vielzahl von Alternativen mit unterschiedlichen Übergabezeitpunkten entstehen, die sich nur bei einer der beiden Seiten (z.B. der Nachtexpresstour) unterscheiden oder auch bei beiden.

Um diese Menge an Alternativen in eine überschaubare und darstellbare Alternativenmenge zu überführen, die dem Techniker mittels der App dargestellt werden kann wird im letzten Funktionsteil eine Filterung vorgenommen, die ungünstige Scores entfernt oder nach anderen konfigurierbaren Kriterien filtert (z.B. eine ausgewiesene Alternative pro Übergabepunkt).



Die so entstehenden Alternativen werden nun in separate Datenbanktabellen überführt. Die Tourenplanung wartet nun auf den Eingang des Bestätigungsevents seitens des Technikers, in dem dieser eine Alternative auswählt, die nun in den aktuellen Tourenplan überführt werden kann.

Alternativenberechnung für die Live-Nachbestellung von Ersatzteilen durch Techniker

Im Gegensatz zur Alternativenberechnung für den Nachtexpress, die nur einen Aufruf pro Depotgebiet benötigt, wird die Live-Nachbestellungen von Ersatzteilen während der Tourdurchführung von einzelnen Technikern angefragt (getriggert). Über deren App wird ein Event in die Datenbank geschrieben und von der KoLibRI-Tourenplanung verarbeitet.

Aufgrund des Echtzeitcharakters der Anfrage können, abhängig von Zeit der Anfrage, gewünschter Zeit der Lieferung und Ort der Lieferung, eine Vielzahl von verschiedenen Fällen auftreten, die in der Tourenplanung verarbeitet werden müssen. Abbildung 12 zeigt die Kombinationen die zwischen dem Zusteller (Kurier oder Techniker) und Empfänger (Techniker) auftreten können:

Kurier/Techniker (Anliefernder)

L1	Neue Kuriertour
L2	Einhängen in exis. Kuriertour, die noch nicht begonnen wurde
L3	Einhängen in exis. Kuriertour, die bereits begonnen wurde
L4	Einhängen in exis. Technikertour

Techniker (Empfänger)

T1	Warten bis Ankunft des Ersatzteils
T2	Spätere Rückkehr zur Wartung

Abbildung 12: Kombinationsmöglichkeiten am Tag zwischen Zusteller und Empfänger

Auf Seiten des zustellenden Unternehmens (Hochverfügbarkeitskurier oder auch andere Techniker) kann eine neue Kurierstichtour von nahegelegenen Depots gestartet werden oder auch, falls vorhanden, bereits bestehende Kuriertouren genutzt werden. Da die Anfragen in Echtzeit erfolgen, muss zusätzlich unterschieden werden, ob die bestehende Kuriertour bereits gestartet wurde, da in diesem Fall eine Rückkehr zum Kurierdepot mit Abholung des erfragten Ersatzteils notwendig ist. Falls in eine bestehende Technikertour eingefügt wird, muss in jedem Fall eine Rückkehr zum Ersatzteildepot eingeplant werden.

Auf Seiten des Technikers hat dieser zwei Möglichkeiten: vor Ort beim jeweiligen Kunden warten bis das Ersatzteil eingetroffen ist (und ggfs. andere Arbeiten vorziehen) oder aber seine Tour weiterzufahren, anschließende Kundenaufträge durchzuführen und zu einem späteren Zeitpunkt zum Kunden zurückzukehren. In beiden Fällen kann der Techniker den Reparaturauftrag am gleichen Tag erledigen und vermeidet eine wiederholte Anfahrt an einem Folgetag.



Der Algorithmus zur Alternativenplanung ist in der Lage jede mögliche Kombination (insgesamt 8) auszuweisen, sofern valide und nutzenbringend. Abbildung 13 zeigt den Pseudocode der Alternativenberechnung für die Ersatzteilmachbestellung:

Lese Zeitpunkt der Eventerzeugung, gewünschten Lieferzeitpunkt sowie gewünschten Lieferort aus Event aus

Ermittle regulären Techniker-Wartungszeitraum am gewünschten Lieferort

Prüfe, ob gewünschter Lieferzeitpunkt valide (nach Beginn der Wartung) oder korrigere Lieferzeitpunkt

Für jedes Kurierdepot in der Nähe des Lieferortes

 Erzeuge eine Alternative mit Kurierstichtour mit Ankunftszeit zum frühestmöglichen Zeitpunkt nach dem gewünschten Lieferzeitpunkt; Techniker wartet (L1T1), falls **valide** und **nutzenbringend**

 Erzeuge eine Alternative mit Kurierstichtour mit späterer Ankunftszeit, Techniker findet eine Möglichkeit innerhalb seiner Tour zu diesem Zeitpunkt zur Wartung zurückzukehren (L1T2), falls **valide** und **nutzenbringend**

Für jede bestehende Kuriertour dieses Depots

Falls Tour bei Eventerzeugung noch nicht gestartet

Für jeden Tourstopp:

 Erzeuge eine Alternative mit Übergabe nach dem gewählten Kuriertourstopp, Techniker wartet (L2T1), falls **valide** und **nutzenbringend**

 Erzeuge eine Alternative mit Übergabe nach dem gewählten Kuriertourstopp, Techniker findet eine Möglichkeit innerhalb seiner Tour zu diesem Zeitpunkt zur Wartung zurückzukehren (L2T2), falls **valide** und **nutzenbringend**

Falls Tour bei Eventerzeugung bereits gestartet

Für jeden Tourstopp:

 Erzeuge eine Alternative mit Übergabe nach dem gewählten Kuriertourstopp, Techniker wartet (L3T1), falls **valide** und **nutzenbringend**

 Erzeuge eine Alternative mit Übergabe nach dem gewählten Kuriertourstopp, Techniker findet eine Möglichkeit innerhalb seiner Tour zu diesem Zeitpunkt zur Wartung zurückzukehren (L3T2), falls **valide** und **nutzenbringend**

Für jede andere Technikertour

Für jeden Tourstopp:

 Erzeuge eine Alternative mit Übergabe nach dem gewählten Technikertourstopp, Techniker wartet (L4T1), falls **valide** und **nutzenbringend**

 Erzeuge eine Alternative mit Übergabe nach dem gewählten Technikertourstopp, Techniker findet eine Möglichkeit innerhalb seiner Tour zu diesem Zeitpunkt zur Wartung zurückzukehren (L4T2), falls **valide** und **nutzenbringend**

 Filtere die entstandenen Alternativen nach Score oder anderen Kriterien

Abbildung 13: Pseudocode der Alternativenberechnung für die Ersatzteilmachbestellung

Zu Beginn werden die übergebenen Daten importiert, sowie die Techniker-Wartung identifiziert, an deren Ort nun ein zusätzliches Ersatzteil nachbestellt worden ist. Sowohl der Zeitpunkt der



Nachbestellung (Eventerzeugung) als auch der gewünschte Lieferzeitpunkt wirken sich massiv auf das Verhalten des Algorithmus aus und beeinflussen die Menge an validen Alternativen.

Falls Eingabedaten nicht valide sind (z.B. eine gewünschte Lieferung vor Wartungsbeginn), korrigiert der Algorithmus diese, falls möglich.

Anschließend beginnt die Berechnung von Alternativen. In einer ersten Schleife werden alle Alternativen durch Kurierbelieferung ermittelt. Zunächst werden für jedes Kurierdepot, welches sich in einer zulässigen Entfernung (von Nutzer konfigurierbar) zum Lieferort befindet, Kurierstichtouren errechnet. Aufgrund der zwei verschiedenen Arten von möglichen Änderungen auf Technikerseite (Warten, Später zurückkehren) werden stets zwei Alternativen berechnet: Eine, die eine frühestmögliche Ankunft zu dem gewünschten Lieferzeitpunkt ermöglicht und eine, die zeitlich flexibel ist und dem Techniker eine spätere Rückkehr ermöglicht. Stets wird überprüft ob das entstehende Tourpaar valide ist und alle Rahmenbedingungen einhält sowie einen Score hat, der Nutzen ausweist.

Nach der Prüfung von Kurierstichtouren werden alle bestehenden Kuriertouren durchlaufen. In Abhängigkeit davon, ob die jeweilige Tour zum Zeitpunkt des Eventeingangs bereits begonnen wurde, verhält sich das System anders. Für begonnene Touren kann eine Einplanung frühestens nach dem Stopp vorgesehen werden, zu dem das Fahrzeug zum Zeitpunkt des Eventeingangs gerade unterwegs ist. Zudem muss das Kurierfahrzeug vor der Übergabe zu einem Kurierdepot zurückkehren, da ja das Ersatzteil noch nicht im Fahrzeug vorhanden ist. Wenn die Kuriertour noch nicht gestartet ist und sich das Fahrzeug noch im Depot befindet, kann dort die Beladung des zusätzlichen Ersatzteils vorgenommen werden. Für alle bestehenden Touren wird überprüft, ob eine Übergabe nach jedem möglichen Tourstopp möglich wäre und ausgehend von der Ankunftszeit am Lieferort die jeweilige Technikeralternative (Warten, spätere Rückkehr) zugewiesen.

Nach dem gleichen Verfahren wird schließlich überprüft, ob auch ein anderer Techniker die Nachlieferung des Ersatzteils durchführen könnte. Hierbei ist eine Rückkehr zu einem Ersatzteildepot allerdings zwangsläufig erforderlich. Um die Güte von Alternativen mit Kurier- bzw. Technikerbelieferungen zu unterscheiden, kann der Score hier unterschiedlich konfiguriert werden (z.B. um niedere Kostensätze für Kuriereinsätze festzulegen).

Um diese Menge an Alternativen in eine überschaubare und darstellbare Alternativenmenge zu überführen, die dem Techniker mittels der App dargestellt werden kann wird im letzten Funktionsteil eine Filterung vorgenommen, die ungünstige Scores entfernt oder nach anderen konfigurierbaren Kriterien filtert (z.B. eine ausgewiesene Alternative pro Stunde).

Die so entstehenden Alternativen werden nun in separate Datenbanktabellen überführt. Die Tourenplanung wartet auf den Eingang des Bestätigungsevents seitens des Technikers, in dem dieser eine Alternative auswählt, die nun in den aktuellen Tourenplan überführt werden kann.

Nach Bestätigung der Alternative werden auch die Benachrichtigungen an die beteiligten Fahrer per App gesendet um z.B. den Kurier über den Beginn einer neuen Stichtour zu informieren.



5.2.1.4 Grobkonzeption mobile App

Aus den projektspezifischen Anforderungen sowie der Technikübersicht wurde dann in AP 4.5 durch das Fraunhofer IML und die VCE unter Rücksprache mit den beiden Praxispartnern ein konkretes Konzept zur Implementierung der mobilen App erstellt. Hierzu wurden die Prozesse und Abläufe umfassend abgebildet sowie die spätere grafische Benutzeroberfläche in ihrer Grundstruktur durch die Anfertigung entsprechender Mock-Ups sowie Frames unter Abstimmung mit allen Projektpartnern festgelegt. Die in AP 4.1 erfolgte Einteilung der einzelnen Funktionen in spezifische Software-Module fand hierbei starke Berücksichtigung und wurde explizit zur Erstellung einer vorgehenden Roadmap verwendet.

Das Fraunhofer IML unterstützte die VCE bei der Konzeption der App und stellte sicher, dass die gesamte Kommunikation zwischen App und Tourenplanung sowie die Schnittstellen zwischen beiden Systemteilen kompatibel sind.

5.3 Ausgestaltung des Rendezvousystems

Nachdem den Anforderungen entsprechend die zu betrachtenden Prozesse und Informationsflüsse sowie die notwendigen Funktionalitäten und Schnittstellen festgelegt sind, musste der Demonstrator des KoLibri-Systems ausgestaltet werden.

5.3.1 Fertigstellung der softwaretechnischen Komponenten

Nach dem Abschluss der Konzeptentwicklungen in AP 4 erfolgte in AP 5.2 die Fertigstellung der softwaretechnischen Komponenten, d.h. der Demonstrator der mobilen Apps (für LDL und Techniker) basierend auf App-Prototyp und Konzeptüberlegungen, der Serveranwendungen für Optimierungsmodul, Backend-Systeme und Kommunikation sowie die noch zu ergänzenden Schnittstellen. Die Entwicklung erfolgte modular und nach gängigen Standards der Softwareentwicklung, wie beispielsweise der Kapselung von Benutzeroberfläche und Funktionalität und berücksichtigte stets die Anforderungen des Datenschutzes.

Zudem wurden vom Fraunhofer IML die erarbeiteten mobilen Tourenplanungsalgorithmen programmiert und modular als Softwaresystem zur Verfügung gestellt. Dies beinhaltete die Aufbereitung von geeigneten Geodaten, die Ausarbeitung der einzelnen Routingvorschriften sowie das Programmieren der Kernalgorithmen, Verbesserungsverfahren sowie der Alternativenerzeugung.

Die Entwicklung der Tourenplanungsalgorithmen umfasste mehrere Meilensteine und wurde wie folgt beendet:

- Datenimport (06.2018)
- Geodatenaufbereitung und Distanzberechnung (09.2018)
- Nachrechnung der Inputtours (03.2019)
- Alternativenplanung für den Nachtexpress (08.2019)



- Alternativenplanung für den Tag (04.2020)
- Weitere Simulationsmodule (06.2020)

Nach der Zusammenführung mit den anderen Systembausteinen und mehreren Funktionstest war das Tourenplanungssystem fertiggestellt und konnte für Simulationen und Testfälle eingesetzt werden.

5.3.2 Nachträgliche Anpassungen

Nach Durchführung des Testlaufs in AP 7 wurden im letzten Projektquartal in AP 5.3. noch minimale Änderungen an der Ausgestaltung des Rendezvousystems vorgenommen, um die ermittelten Erkenntnisse während des Testlaufs (Bedienung, Funktionalität, nötige Infrastruktur) aufzunehmen. Auf Seiten der Tourenplanung betraf dies vor allem Änderungen zur Automatisierung von Testfällen und Simulationen sowie das Definieren von Konfigurationsparametern.

5.4 Implementierung

In AP 6 erfolgte die Implementierung der zuvor entwickelten Komponenten auf der Zielsystemumgebung mit den entsprechenden Rechner- und Kommunikationsstrukturen.

5.4.1 Bereitstellung Infrastruktur

Von der VCE GmbH wurde ein geeigneter Server mit den Applikationen und benötigten Daten in einem geeigneten Rechenzentrum betrieben. Das Rechenzentrum ist speziell auf die praxistaugliche Umsetzung von Cloud-Computing ausgerichtet. Bereits während der Analysephase wurde eine Basisinfrastruktur aufgesetzt, mit der die Datenaufnahme über den App-Prototyp möglich ist.

Das Fraunhofer IML unterstützte die VCE GmbH aktiv im Aufsetzen der notwendigen IT-Architektur. Das Fraunhofer IML stellte die in AP5 fertiggestellte Tourenplanung als Softwaremodul bereit und stellte eine Datenbank für die Datenhaltung zur Verfügung. Beim Übergang in die Testphase arbeiteten das Fraunhofer IML und die VCE GmbH aktiv zusammen, um möglichst effizient die Testfälle und Simulationen in der Infrastrukturmgebung zu deployen und ausführen zu können.

5.4.2 Implementierung bei Projektpartnern

In AP 6.2 wurde die in AP 6.1 bereitgestellte IT-Architektur sowie die in AP 5 entwickelte Software-Lösung für einen durchzuführenden Testlauf bei den Projektpartnern aufgesetzt. Dabei hatte die VCE mit aktiver Unterstützung des Fraunhofer IMLs die von ihr entwickelte Software-Lösung auf den jeweiligen mobilen Endgeräten, welche aus Basis der Recherche-Ergebnisse aus AP 3 von den Projektpartnern angeschafft wurden, ausgeliefert und in einem zum aktiven Einsatz in der Praxis nötigen Zustand versetzt, sodass der in AP 7 angestrebte Testlauf ermöglicht werden konnte.



5.5 Testlauf

5.5.1 Use-Case Definition und Simulation

Damit das Ziel einer anwendungsreifen, praxisgerechten Lösung für ein mobiles Rendezvous-System unter Einsatz moderner App-Technologie erreicht werden kann, war die Validierung der entwickelten Systeme und Technologien im Rahmen realitätsgetreuer Testläufe und einem abschließenden Feldversuch geplant.

In AP 7.1. wurden die Anwendungsfälle für die späteren Testläufe durch Night Star Express und TOP Mehrwert-Logistik präzise beschrieben und die Soll-Prozesse für die Durchführung definiert. Fraunhofer IML und VCE prüften die Use-Cases und Soll-Prozesse hinsichtlich des repräsentativen Charakters und die technische Umsetzbarkeit kritisch. So sollte frühzeitig eine Simulationsebene geschaffen werden, auf der das neuartige, kollaborative Liefersystem bereits vor Fertigstellung der mobilen App prozessual bewertet werden kann. Durch die Auswertung vorhandener Systemdaten bei den Anwendungspartnern konnten verlässliche Vergleichswerte für den späteren Testlauf ermittelt sowie Bewertungskriterien und Soll-Werte definiert werden. Durch die Auswirkungen der COVID-19-Pandemie musste jedoch von der ursprünglich geplanten und vorbereiteten Testphase abgewichen werden, da ein ausgiebiger Testlauf sowie Feldversuch nicht mehr möglich waren. Dennoch war es im Projekt KoLibRi möglich, in reduzierter Form zwei Testläufe unter Realbedingungen durchzuführen, um zumindest die Basis-Use-Cases abzubilden und zu validieren. Um gleichzeitig auch größere Testreihen abbilden zu können, wurden weitergehende Testläufe digital simuliert. Hierzu wurden historische Daten der Partner herangezogen, um auf digitalem Weg einzelne Testfälle nachzubilden und in Echtzeit durchzuführen. Mit diesem zweigliedrigen Ansatz war es möglich, zum einen direkte Erkenntnisse aus der Nutzung von KoLibRi in der Praxis zu generieren, zum anderen aber auch größere Testläufe zu simulieren, so dass die Pandemieauswirkungen auf das Projektergebnis von KoLibRi reduziert werden konnten.

Use-Case „Alternative Zustellung durch Nachtexpress“

Das erste reale Testlaufkonzept wurde für den Übergabeprozess zwischen Nachtexpress und Techniker erzeugt. Es sollte real erprobt werden, wie die Möglichkeit einer alternativen Übergabe die Abstimmung zwischen Techniker und Nachtexpressfahrer beeinflusst und ob der Einsatz der KoLibRi-App einen reibungslosen Ablauf ermöglicht. Hierzu sollte eine Alternative zur Kofferraumbelieferung ausgewählt werden und die asynchrone Zustellung in eine Übergabestation in der Nacht vereinbart werden. Zudem sollten die entstehenden Tourzeiten ausgewertet und mit dem Status-Quo verglichen werden. Der Use-Case wurde von Night Star Express und TOP Mehrwert Logistik ausgearbeitet und durch Fraunhofer IML und VCE überprüft und begleitet.

Use-Case „Rendezvous zwischen Nachtexpress und Techniker mit Nachbestellung“

Das zweite reale Testlaufkonzept wurde für den gesamten Übergabeprozess zwischen Nachtexpress und Techniker erzeugt. Anschließend sollte real erprobt werden, wie eine spontane Ersatzteilnachbestellung während des Techniker-Tages die Prozesse von Hochverfügbarkeitskurier und Techniker beeinflusst und ob der Einsatz der KoLibRi-App einen reibungslosen Ablauf ermöglicht.



Hierzu sollte zunächst (wie im ersten Use-Case) zwischen Nachtexpress und Techniker eine alternative Übergabe in einer Paketstation vereinbart werden, die Sendung vom Techniker abgeholt und während der weiteren Durchführung der Technikertour ein Ersatzteil nachbestellt werden. Die Lieferung sollte durch eine Kurierstichtour zum Technikereinsatzort erfolgen. Im Nachgang sollte eine Auswertung der Auswirkungen auf Techniker und Kurier möglich sein. Zudem sollten die entstehenden Tourzeiten ausgewertet und mit dem Status-Quo verglichen werden. Der Use-Case wurde von TOP Mehrwert Logistik ausgearbeitet und durch Fraunhofer IML und VCE überprüft und begleitet.

5.5.2 Simulationen

Das im Projekt KoLibRi entwickelte Tourenplanungssystem ermöglicht es auf Basis von Eingangsdaten, entsprechend der ausgearbeiteten Anwendungsfälle, Tourenplanungsalternativen zu berechnen und die Situation mit dem und ohne das KoLibRi-System zu vergleichen. Hierzu werden alle relevanten Daten in einer Datenbank abgespeichert und anschließend ausgewertet. Um den Umgang mit dem System zu vereinfachen, wurde vom Fraunhofer IML eine grundlegende grafische Oberfläche entworfen, die die geplanten Touren und mögliche Alternativen in Echtzeit auf einer Karte anzeigt und ebenfalls die einzelnen Tourkennzahlen („Score“) vergleichen lässt.

Kombiniert mit den historischen Daten der Praxispartner konnten so virtuelle Testläufe durchgeführt werden, die alle Stamm- und Tourdaten von ausgewählten Tagen kombinieren und anschließend eine Kalkulation von KoLibRi-Alternativen oder auch eine Eventverfolgung in „Echtzeit“ ermöglichen. Aufgrund der Konzeption der Tourenplanung anhand von eingehenden Events (und Steuerung der KoLibRi-Anfragen per Event) konnten fiktive Events mit manipulierten Timestamps erzeugt werden, so dass ein realer Testfall (z.B. eine Ersatzteilmachbestellung um 15 Uhr) nachsimuliert werden konnte. Dieses Konzept ermöglichte es dem Projektteam auf virtueller Ebene eine Vielzahl von Simulationen und Tests durchzuführen und nur mit Hilfe von Tourenplanung und Appsteuerung das reale Verhalten des Systems nachzubilden. Aufgrund der Einschränkung durch COVID-19 wurde der Fokus auf die Simulationen erhöht, um möglichst gute und valide Tourenplanungsergebnisse abbilden zu können.

Im Folgenden werden die einzelnen Simulationsebenen dargestellt sowie die Planungsergebnisse vorgestellt.

Initiale Simulationen zum Projektstart

Zu Beginn des Projektes wurden grobe Simulationen und Abschätzung zu den Potentialen der Tourenplanung vorgenommen (noch ohne das entwickelte KoLibRi-System), um bereits frühzeitig ein Gefühl für die Potentiale und Grenzen aufzuzeigen. Anhand der existierenden Software DISMOD (zur Standortplanung und Tourenplanung) des Fraunhofer IML wurden vereinzelte Tourpläne der Praxispartner importiert, geokodiert und die korrekten Touren mit Zeiten modelliert. Auf dieser Basis erfolgt eine erste Auswertung hinsichtlich möglichen Rendezvous zwischen Nachtexpress-Zusteller und Service-Techniker. Hier wurden händisch erste Machbarkeitsabschätzung hinsichtlich geografischer und zeitlicher Kombinationsmöglichkeit vorgenommen.



Abbildung 14 zeigt eine beispielhafte Karte, in der Techniker- und Nachtexpresstouren übereinandergelegt wurden und mögliche räumliche und zeitliche Rendezvouspunkte (als roter Stern) händisch identifiziert wurden.

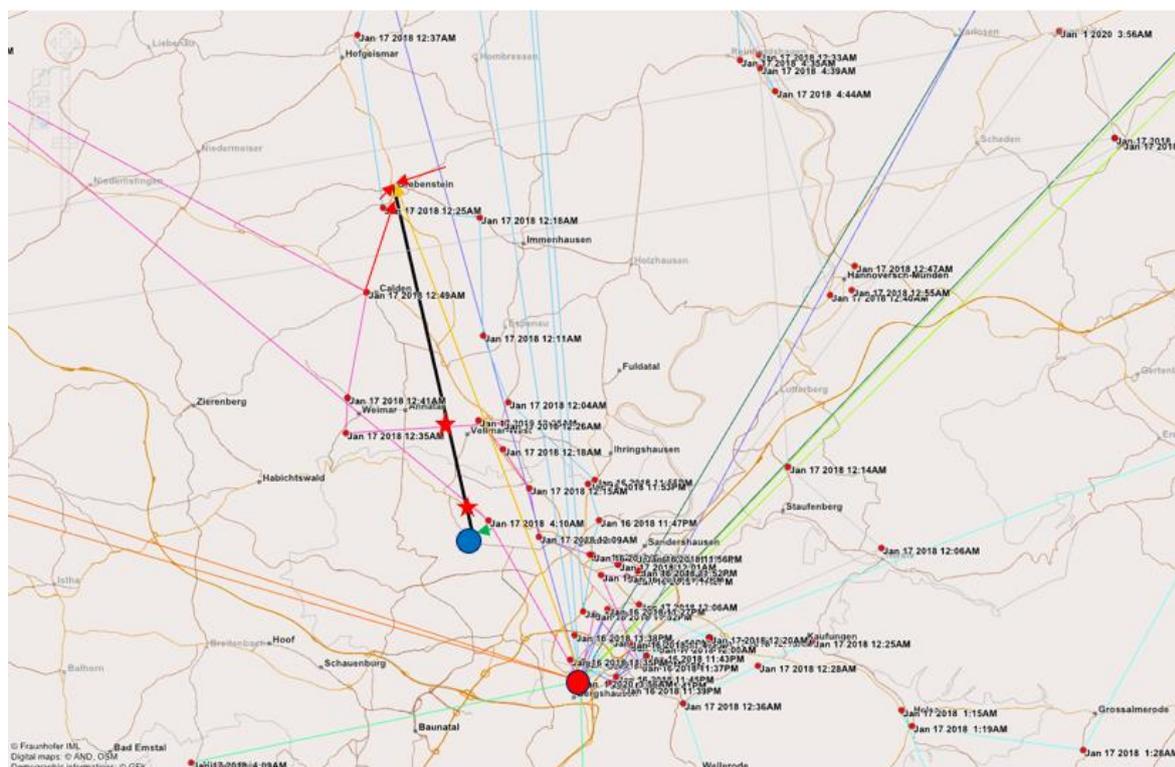


Abbildung 14: Erste grafische Darstellung der Techniker- und Nachtexpresstouren

Diese initialen Auswertungen waren (wenngleich noch sehr abstrakt) bereits ein wichtiger Indikator zum möglichen Nutzen durch das KoLibRi-System, da für alle manuelle ausgesuchten Beispiele zielbringende Alternativen erzeugt werden konnten, so dass an diesem Punkt davon ausgegangen werden konnte, dass das KoLibRi-System tatsächlichen Nutzen für die Praxispartner ausweisen kann.

Die initialen Auswertungen betrafen die Möglichkeit von Übergaben, die Größe von Depotgebieten sowie die mögliche Anzahl von Übergabepunkten und wurden mittels des eigens entwickelten Tourenplanungsmodells im Projekt weitergehend spezifiziert und validiert.

Alternativen in der Übergabe vom Nachtexpress zum Techniker

Einer der beiden großen Anwendungsfälle war die Übergabe zwischen Nachtexpress-Zusteller und Techniker. Da sowohl Night Star Express (Nachtexpress) und TOP Mehrwert Logistik (Technikerorganisation) ihre historischen Daten zur Verfügung stellten, konnten auf virtuellem Wege Testtage der Vergangenheit nachgespielt, simuliert und verglichen werden, um so den Nutzen durch das KoLibRi-System zu quantifizieren. Auch wenn beide Dienstleister in der Praxis keine direkten Geschäftsbeziehungen unterhalten (und somit in den Ausgangsdaten keine realen Kofferraumbelieferungen der TOP Mehrwert Techniker durch Night Star Express auftraten), so konnte doch mit minimalem Aufwand die zusätzliche Auslieferung zum TOP Mehrwert Techniker in die Touren von Night Star Express ergänzt werden so dass in unserem Simulationsmodell eine Status-Quo-



Kofferraumbelieferung zwischen beiden Partnern erfolgte. Aufgrund der bereits vorhandenen Dichte der Touren von Night Star Express und der überlappenden Depotgebiete wurden somit die entstehenden Nachtexpressstouren minimal länger, ohne relevante Auswirkungen auf die Machbarkeit in der Praxis zu haben. Als ersten Teilschritt der Simulation wurde also die Tourenplanung erweitert, um einen validen Status Quo im Sinne unseres definierten Anwendungsfalls (Alternativen zur Kofferraumbelieferung) zu erhalten.

Mit dieser Basis konnten nun für den Zeitraum der Eingangsdaten einzelne Simulationen durchlaufen werden, die eine Nutzung des KoLibri-Systems an einem Beispieltag vorsehen. Um die Güte der KoLibri-Tourenplanung bewerten zu können, ist es hier von zentraler Bedeutung, dass die Alternativenberechnung valide Touralternativen findet, die dem Gesamtsystem wie auch den einzelnen Partnern Nutzen bringen kann. Natürlich konnte die praktische Umsetzung dieses Beispieltags nur simuliert werden, da das KoLibri-System letztlich dem Techniker die Entscheidungshoheit darüber überlässt, ob eine Kofferraumbelieferung oder eine Alternative bevorzugt wird. Aus quantitativer Bewertungssicht kann allerdings nachgewiesen werden, dass die Tourenplanung „bessere“ Touren erzeugen kann und dementsprechend bei Ausklammern des Faktors Mensch (Techniker) auch ein Nutzen für das Gesamtsystem entsteht.

Die Rahmenbedingungen der Simulationen waren die realen Daten der Partner zwischen dem 01.01.2017 und dem 31.12.2018. Als mögliche Übergabepunkte wurden die Nachtexpressdepots sowie primär die 24/7-Standorte der Firma pickpoint ausgewählt (insgesamt 227 Standorte in Deutschland). Der geografische Fokus lag auf dem Ruhrgebiet mit dem Nachtexpress-Depot in Unna sowie Kurierdepots in Essen und Sprockhövel. Es wurden im Rahmen der Simulationsrechnungen zum einen einzelne Tage ausgewählt (und die Tagesdaten beider Partner gewählt) und zum anderen fiktive Tage erzeugt (Kombination von unterschiedlichen Tagen je Partner). Auf diese Weise konnten auch Extremfälle (hohe Last in einem der Netzwerke) getestet und validiert werden. Im Folgenden werden für einen Beispieltag der Simulationsprozess dargestellt und anschließend die Ergebnisse zusammengefasst.

Beispiel-Simulation „Alternativen in der Übergabe vom Nachtexpress zum Techniker“

- Technikerkofferraumbelieferung in Essen, Schwerte, Selm am 17.04.2018
- Keine Fahrerpausen
- Techniker
 - Arbeitszeit 00:00 Uhr bis 23:59 Uhr
 - Depotöffnungszeit 00:00 Uhr bis 17:00 Uhr
 - Zeitfenster fiktive Kofferraumbelieferungen: 07:00 Uhr bis 07:10 Uhr
 - Dauer Überprüfung Kofferraumbelieferung: 10 Sekunden
- Nachtexpress
 - Arbeitszeit: 02:30 Uhr bis 23:59 Uhr
 - Depotöffnungszeit: 02:30 Uhr bis 23:59 Uhr
 - Dauer Sendungsübergabe: 3min



- Maximaler Umweg durch KoLibri: 1000 Sekunden
- Bewertung („Score“) der Alternativen: Umweg Techniker*0.6 + Umweg Nachtexpress*0.4
- Optimierungsziel: Minimaler Score

Im Status Quo wurde ein Tourenplan simuliert, der für alle Techniker Kofferraumbelieferungen vorsieht. Diese werden grundsätzlich mit dem Score 0 (Status Quo) bewertet.

Abbildung 15 zeigt die Ergebnisse des Simulationslaufs für einen Techniker in Form einer Liste:

Techniker	Alternative nart	Adress-Id	Ankunftszeit Logistiker	Ankunftszeit Techniker	Zeitverlust Logistikertour	Zeitverlust Technikertour	Score
Techniker Essen	Kofferraum belieferung	4319	04:12:15 +00:00	07:00:12 +00:00	0.0	0.0	0
Techniker Schwerte	Kofferraum belieferung	4326	06:17:06 +00:00	07:00:06 +00:00	0.0	0.0	0
Techniker Schwerte	Uebergabe	5056	02:45:23 +00:00	13:03:05 +00:00	830.0	627.0	708
Techniker Schwerte	Uebergabe	5056	02:45:23 +00:00	13:03:05 +00:00	141.0	627.0	432
Techniker Schwerte	Uebergabe	5056	02:45:23 +00:00	13:03:05 +00:00	884.0	627.0	729
Techniker Schwerte	Uebergabe	5056	02:49:04 +00:00	13:01:47 +00:00	-13.0	705.0	417
Techniker Schwerte	Uebergabe	5056	02:52:57 +00:00	13:05:40 +00:00	13.0	613.0	373
Techniker Schwerte	Uebergabe	5056	03:02:17 +00:00	13:05:00 +00:00	272.0	613.0	476
Techniker Schwerte	Uebergabe	5056	03:11:17 +00:00	13:04:00 +00:00	533.0	613.0	581
Techniker Schwerte	Uebergabe	5056	03:22:29 +00:00	13:05:14 +00:00	737.0	613.0	662
Techniker Schwerte	Uebergabe	5056	03:31:53 +00:00	13:04:38 +00:00	775.0	613.0	677
Techniker Schwerte	Uebergabe	5056	02:45:23 +00:00	13:03:05 +00:00	229.0	627.0	467
Techniker Schwerte	Uebergabe	5056	02:52:33 +00:00	13:05:15 +00:00	297.0	613.0	486
Techniker Schwerte	Uebergabe	5056	02:59:27 +00:00	13:02:09 +00:00	274.0	683.0	519
Techniker Schwerte	Uebergabe	5056	03:07:15 +00:00	13:04:56 +00:00	262.0	613.0	472
Techniker Schwerte	Uebergabe	5056	03:46:18 +00:00	13:04:04 +00:00	176.0	613.0	438
Techniker Schwerte	Uebergabe	5056	04:16:31 +00:00	13:04:17 +00:00	534.0	613.0	581
Techniker Schwerte	Uebergabe	5056	02:45:23 +00:00	13:03:05 +00:00	896.0	627.0	734
Techniker Schwerte	Uebergabe	5056	06:48:02 +00:00	13:03:39 +00:00	903.0	613.0	729
Techniker Schwerte	Uebergabe	5056	02:45:23 +00:00	13:03:05 +00:00	876.0	627.0	726
Techniker Schwerte	Uebergabe	5056	05:24:19 +00:00	13:02:05 +00:00	859.0	687.0	755

Abbildung 15: Ergebnisse des Simulationslaufs für Alternativen zwischen Nachtexpress und Techniker

Das KoLibri-System hat außer der beschriebenen Umwegrestriktion keine Einschränkungen, dementsprechend entstehen hier im Beispiel eine Vielzahl von Alternativen, bei denen eine Übergabe gegen 13 Uhr an der neutralen Übergabestation mit Id 5056 stattfindet. Während sich die Technikertour hier minimal verändert, unterscheiden sich die Alternativen primär durch unterschiedliche Nachtexpressstouren.

Abbildung 16 zeigt die erste Alternative am Übergabepunkt mit einem Nachtexpress-Umweg von 830s.

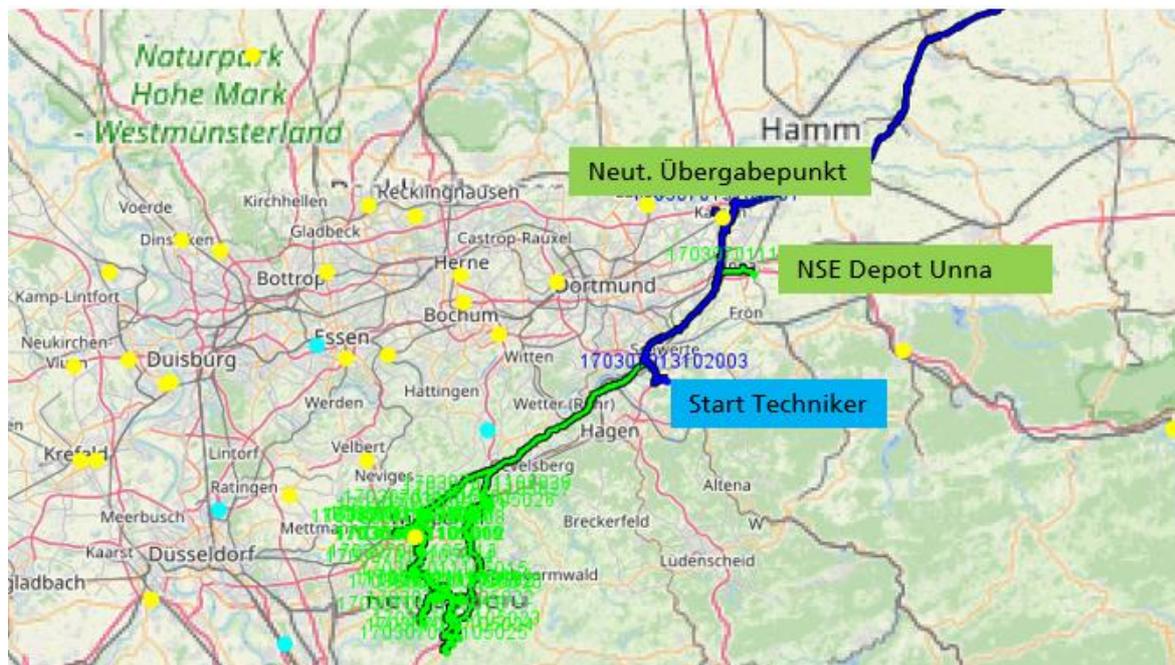


Abbildung 16: Grafische Darstellung einer validen Alternative für die Zustellung an einem Übergabepunkt

Hier erfolgt eine asynchrone Übergabe am neutralen Übergabepunkt. Abbildung 17 zeigt Alternative 4 mit einem Reingewinn von 13 Sekunden für den Nachtexpress.

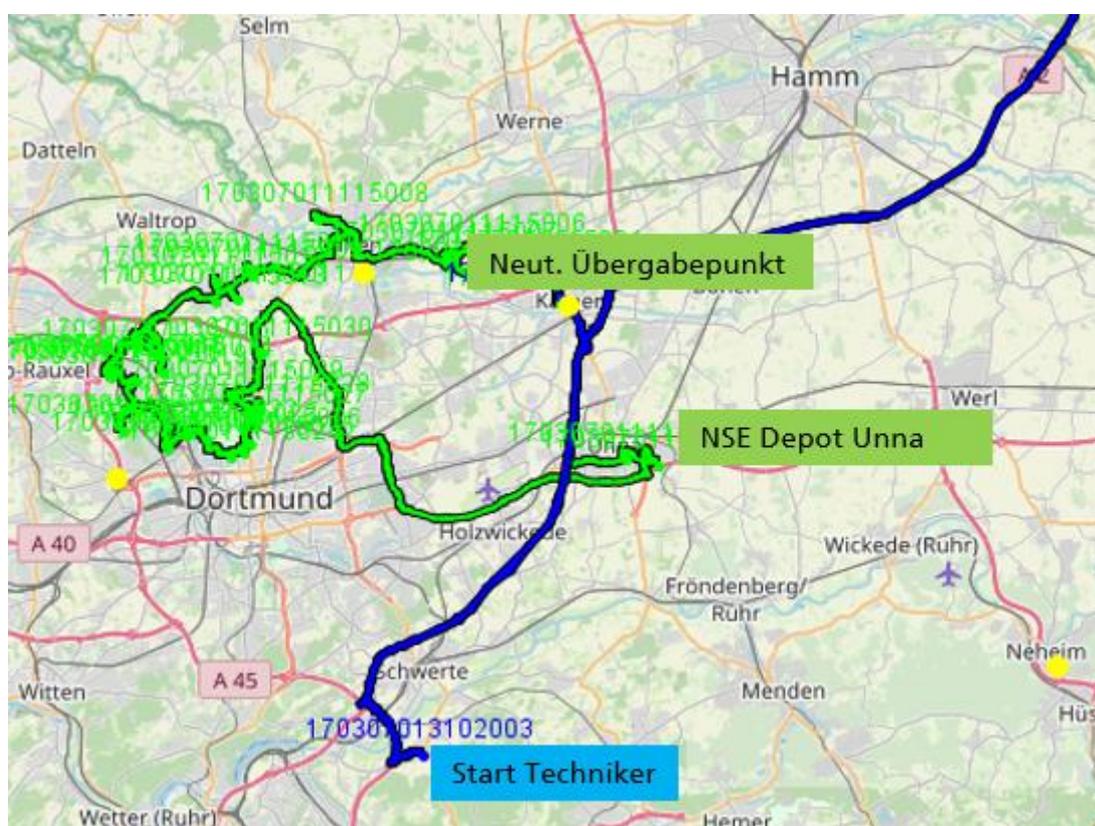


Abbildung 17: Grafische Darstellung einer validen Alternative für die Zustellung an einem Übergabepunkt



Während beide Alternativen eine Übergabe am gleichen Übergabepunkt vorsehen, lassen sich die Unterschiede in der Nachtexpresstour deutlich erkennen. Je nach Lage der Touren im Status Quo kann hier ein vergleichbarer Umweg wie beim Techniker entstehen (~10min) oder aber sogar echter Zeitgewinn für die Tourenplanung des Nachtexpresses entstehen. Die Zeitpunkte, an denen die Einlagerung der Waren in die Übergabestation erfolgt, kann allerdings deutlich abweichen, während die Entnahme an die Technikertour (und den Einsatzzeitpunkt des Ersatzteils) gekoppelt ist.

Abbildung 18 zeigt die Simulationsergebnisse eines zweiten Technikers für den gleichen Tag

Techniker Selm	Kofferraum belieferung	4327	03:19:28 +00:00	07:00:00 +00:00	0.0	0.0	0
Techniker Selm	Uebergabe	5033	02:57:05 +00:00	08:47:25 +00:00	595.0	815.0	727
Techniker Selm	Uebergabe	5033	03:10:14 +00:00	08:45:34 +00:00	886.0	926.0	910
Techniker Selm	Uebergabe	5033	03:14:01 +00:00	08:44:22 +00:00	633.0	998.0	852
Techniker Selm	Uebergabe	5033	03:30:36 +00:00	08:45:59 +00:00	-33.0	901.0	527
Techniker Selm	Uebergabe	5033	03:59:24 +00:00	08:44:46 +00:00	797.0	974.0	903
Techniker Selm	Uebergabe	5033	04:04:20 +00:00	08:44:41 +00:00	697.0	979.0	866
Techniker Selm	Uebergabe	5033	04:21:15 +00:00	08:46:37 +00:00	930.0	863.0	889
Techniker Selm	Uebergabe	5033	03:31:40 +00:00	08:47:02 +00:00	249.0	838.0	602
Techniker Selm	Uebergabe	5033	03:36:56 +00:00	08:47:19 +00:00	159.0	821.0	556
Techniker Selm	Uebergabe	5033	02:57:05 +00:00	08:47:25 +00:00	75.0	815.0	519
Techniker Selm	Uebergabe	5033	03:06:23 +00:00	08:46:44 +00:00	13.0	856.0	518
Techniker Selm	Uebergabe	5033	03:06:23 +00:00	08:46:44 +00:00	13.0	856.0	518

Abbildung 18: Weitere Ergebnisse des Simulationslaufs für Alternativen zwischen Nachtexpress und Techniker

Auch hier zeigt sich ein vergleichbares Bild: Die Qualität der Nachtexpresstour bewegt sich zwischen minimalem Umweg (~10min) und direkter Zeitersparnis und der Technikerumweg bewegt sich stabil zwischen 10 und 15min. Eine qualitative Interpretation macht klar, dass ein Umweg für den Techniker unumgänglich ist (schließlich wäre eine Kofferraumbelieferung aus Sicht der Techniker-Tourenplanung optimal) sich jedoch in vertretbaren Rahmen bewegt. Dass die Tourenplanung des Nachtexpress Einsparungen erzeugt ist eine wichtige Grundlage für das KoLibRi-System, dass zwar stark auf die Steigerung der Flexibilität ausgelegt ist (verschiedene Lieferzeitpunkte, möglichst frühe Zustellung) allerdings für den Nachtexpress auch davon losgelösten Nutzen erzeugen kann. So kann das System in der Praxis allen Parteien Nutzen bringen, indem flexiblere und kürzere Touren für den Nachtexpress entstehen sowie der Techniker eine größere Flexibilität in der Auswahl von Alternativen hat, die ihm eine deutlich bessere operative Planung seiner Tour und vor allem seines Tourstarts ermöglichen (wenngleich auch auf Kosten eines minimalen Umwegs).

Es ist schwierig diese Aussagen zu verallgemeinern, da letztlich der Faktor Mensch ausgeklammert ist und der Techniker am Ende entscheidet welche Alternativen ausgewählt werden. Allerdings zeigten die Simulationsergebnisse für den Zeitraum 01.01.2017 und dem 31.12.2018, dass aus Sicht der Tourenplanung der erwartbare Nutzen stabil bleibt. Im Folgenden erfolgte eine Abschätzung der Auswirkungen von KoLibRi auf den Anwendungsfall „Alternativen in der Übergabe vom Nachtexpress zum Techniker“:

- Erwartbare Kennzahlen der besten Alternativen



- Technikerumweg: 10-15min
- Nachtexpressumweg: von minimalem Umweg ~3min bis zu minimaler Zeitersparnis (~3-5min)
- Flexibilität Techniker: Erweiterung des Zeitfensters von „bis 7 Uhr“ auf „03:00 Uhr bis 14:00“, je nach Wunsch
- Flexibilität Nachtexpress: Erweiterung des Zeitfensters von „bis 7 Uhr“ auf „03:00 bis 14:00“, je nach Technikerwunsch

Während der Simulationsrechnung wurde das Testgebiet variiert, um weitere Erkenntnisse zu erlangen: Es wurden Simulationen im Bereich Schleswig-Holstein (Kiel bis Hamburg) sowie im Großraum Berlin durchgeführt. Die ursprüngliche Annahme, dass Unterschiede in der demographischen Lage (Stadt, Land) auch Auswirkungen auf die Güte der KoLibRi-Alternativen haben, konnte nicht bestätigt werden, da unabhängig vom Einsatzort die Tourersparnisse durch KoLibRi stabil blieben und auch die benötigte Anzahl von Übergabepunkten im gleichen Bereich blieb. Vielmehr ließ sich feststellen, dass bei geeigneter Standortplanung (Übergabestandortnetz mit direkter Bindung an kritische Infrastruktur wie Autobahnausfahrten, Industriegebiete) keine weiteren Einflüsse durch Lage oder Absatzmengen zu beobachten waren. Gleichwohl ließ sich erkennen, dass eine geeignete Netzplanung der Übergabestände als gesonderte Aufgabe ein wichtiger Erfolgsfaktor für die Güte der KoLibRi-Lösung ist. Nach den Simulationen lässt sich allerdings feststellen, dass „klassische“ Netze von Übergabestationen wie z.B. der Anbieter pickpoint oder auch Tankstellenstandorte diesem Anspruch gerecht werden und kein Hemmnis sind.

Eine grobe Abschätzung zur benötigten Anzahl von Übergabestationen je Depotgebiet auf Basis der Netze von Anbietern und Tankstellenstandorten zeigte, dass (unabhängig von der Größe eines Depotgebiets) bereits eine Anzahl von 5 bis 10 Übergabestationen in der zentralen Depotperipherie zu jeder Technikertour nutzenbringende Alternativen erzeugen kann. In den Simulationen wurde meistens ein einzelner primärer Übergabepunkt pro Technikertour ausgewiesen, in seltenen Fällen auch mehrere (bis zu 3 verschiedene) Übergabepunkte.

Beispielsimulation „Weitergehende Konsolidierung an Paketstationen für den Nachtexpress“

COVID-19 bedingt erfolgte eine Ausweitung der Simulationen auf virtuellem Weg, um die Potentiale des KoLibRi-Systems abzubilden. Da das KoLibRi-System letztlich durch die Alternativen-Auswahl des Technikers definiert wird, wurde im Folgenden simuliert, welche Potentiale sich zudem für die Tourenplanung des Nachtexpresses heben lassen. Und zwar unter der Bedingung, dass der Alternativenauswahl durch den Techniker bereits eine Vorkonsolidierung von Technikerzustellungen auf Seiten des Nachtexpresses vorgeschaltet ist. So soll bei gleicher Sendungsmenge die Anzahl an Stopps innerhalb der Technikerbelieferungen durch den Nachtexpress reduziert werden. Während dies offensichtliche Vorteile für den Nachtexpress selbst bedeutet, kann eine Konsolidierung auch für Techniker hilfreich sein, da so einfacher Ersatzteile zwischen Technikern ausgetauscht werden können.

Es wurde somit das KoLibRi-System um einen neuen Simulationsmodus ergänzt, der, basierend auf den Status-Quo Touren ermittelt, wie viele der Technikerbelieferungen mit Zeitfenster „bis 7 Uhr“ an möglichst wenig Übergabestandorten konsolidiert werden kann, so dass möglichst kurze



Nachtexpress-Touren entstehen. Einzige Restriktion aus Sicht des Technikers ist die Bedingung, dass der genutzte Übergabestandort maximal 10min Fahrzeit vom Wohnort des Technikers entfernt liegt.

Als ersten Ansatz wurden anhand der Entfernungen der Standorte die Möglichkeiten einer Konsolidierung geschätzt (ohne explizites Nachrechnen der Tourenplanung). Abbildung 19 zeigt die Ergebnisse für einen Beispieltag im Depotgebiet Unna:

Anzahl Stopps (BIS 7 UHR): 91		
Übergabepunkt-ID	Übergabepunkt-Ort	Konsolidierte Technikerstopps
7061	Arnsberg	4
7062	Bestwig - Nuttlar	2
6989	Bochum	32
7026	Bochum	27
6932	Bottrop - Boy	22
7044	Burscheid	2
6964	Dinslaken	10
6990	Dortmund	36
6895	Essen	22
7058	Essen	18
6968	Gelsenkirchen	21
7010	Gummersbach	2
7040	Herne	37
6991	Herten	32
6947	Kamen	27
6924	Lünen	40
6918	Ratingen	1
6970	Siegen	2
3423	Unna	23
6921	Velbert	9
6985	Wuppertal	9

Abbildung 19: Initiale Ergebnisse für die Konsolidierung von Technikerstopps

Diese initiale Auswertung ordnete jedem Übergabestandorte die nach den zulässigen Umwegen möglichen Techniker zu, um so das Konsolidierungs-Potential abzuschätzen. Aufgrund der hohen möglichen Konsolidierungswerte wurde anschließend die Konsolidierung direkt ins KoLibri-Modell überführt, um eine detaillierte Tourenplanung und einen Vergleich der Kennzahlen zu ermöglichen.

Hierzu prüft der Algorithmus zunächst für alle Übergabepunkte, welcher Techniker im zulässigen Umkreis liegt und theoretisch umgeleitet werden könnte. Diese Liste wird absteigend sortiert durchlaufen und alle möglichen Technikerstopps nun einen konsolidierten Stopp am Übergabepunkt umgelegt. Auf diese Weise werden zunächst die geeignetsten Übergabeorte mit möglichst viel Übergaben versehen, ehe im nächsten Schritt für alle übriggebliebenen Techniker eine neue Liste von möglichen Übergabeorten angelegt wird. Der Algorithmus wiederholt dies bis eine



untere Grenze von 5 Technikerkonsolidierungen unterschritten wird. Dieser Grenzwert wurde gemeinsam mit Night Star Express für eine Konsolidierung vorab festgelegt. Abbildung 20 zeigt das Logging von einem der beschriebenen Durchläufe im Depotgebiet Unna.

```
[INFO ] : Anzahl Technikerstopps :121
[INFO ] : -----
[INFO ] : Durchlauf 1
[INFO ] : 8536 20
[INFO ] : 8626 17
[INFO ] : 8478 11
[INFO ] : 8470 10
[INFO ] : 8493 10
[INFO ] : 8514 9
[INFO ] : 8535 9
[INFO ] : 8441 8
[INFO ] : 8604 8
[INFO ] : 8537 7
[INFO ] : 8572 7
[INFO ] : 8586 7
[INFO ] : 3423 5
[INFO ] : 8531 4
[INFO ] : 8516 2
[INFO ] : 8607 2
[INFO ] : 8608 1
```

Abbildung 20: Theoretisches Konsolidierungspotenzial für das Depotgebiet Unna an einem Beispieltag

In diesem Fall existiert ein Übergabepunkt (mit ID 8536) an dem insgesamt 20 der 121 Technikerzustellungen konsolidiert werden konnten. Während der Algorithmus arbeitet, wird der Tourenplan angepasst, so dass sich letztlich der Status-Quo mit einem konsolidierten Anwendungsfall vergleichen lassen, indem bis zum Schwellenwert alle möglichen Stopps konsolidiert werden. Abbildung 21 zeigt die Auswertung zum obigen Beispieltag, indem Stoppanzahl, Fahrzeit sowie Fahrdistanz verglichen werden. Ebenso wird ausgewiesen, was eine zusätzliche Reihenfolgeoptimierung in allen Touren nach Umlegen der Stopps an zusätzlichem Nutzen erzeugen würde.

```
[INFO ] : Status Quo:923 Stopps | 601784 Sekunden | Distanz 6550210.5 km
[INFO ] : Konsolidiert:871 Stopps | 586158 Sekunden | Distanz 6502087.0 km
[INFO ] : Konsolidiert und optimiert:871 Stopps | 585409 Sekunden | Distanz 6502087.0 km
[INFO ] : -----
[INFO ] : Extrakosten neue Übergabestopps: 851 Sekunden
```

Abbildung 21: Veränderungen von Stoppanzahl, Fahrzeit sowie Fahrdistanz durch die Konsolidierung

Dem gegenüber muss noch die benötigte Zeit im System hinterlegt werden, die der neue konsolidierte Übergabestopp benötigt, um so den potentiellen Nutzen durch Nachtexpresskonsolidierung auszuweisen.

Die Simulationsergebnisse für den Zeitraums 01.01.2017 und dem 31.12.2018 bewegten sich stabil im Bereich des oben ausgewählten Beispiels, so dass im Folgenden eine Abschätzung der



Auswirkungen von KoLibri auf den Anwendungsfall „Weitergehende Konsolidierung an Paketstationen für den Nachtexpress“ erfolgte:

- Kennzahlen durch Konsolidierung
 - Technikerumweg: maximal 10min
 - Nachtexpressumweg: Zeitersparnis pro Einzeltour zwischen 2% und 10%
 - Nachtexpressumweg: Distanzersparnis pro Einzeltour zwischen 1% und 5%
 - Flexibilität Techniker: An 45% bis 60% der Einsatztage kann konsolidierte Belieferung mit anderen Technikern erfolgen
 - Flexibilität Nachtexpress: Reduktion der gesamten Stoppanzahl um ~5%

Interessant ist hier der große Unterschied zwischen Zeit und gefahrenen Kilometern im Nachtexpress. Der Grund, warum die Unterschiede der gefahrenen Kilometer im Vergleich zurzeit gering ausfallen, liegt im Wegfall der einzelnen Übergabezeiten der nicht konsolidierten Stopps, während ein einzelner konsolidierter Stopp deutlich effizienter durchgeführt werden kann. Der maßgebliche Nutzen der Konsolidierung liegt also in der zeitlichen Ersparnis.

Beispiel-Simulation „Ersatzteilmachbestellung und Übergabe vom Kurier zum Techniker“

- Ersatzteilmachbestellung zu verschiedenen Zeiten durch Techniker aus Essen, Schwerte, Selm am 17.04.2018
- Kurierdepots in Essen, Sprockhövel sowie Düsseldorf und Troisdorf
- Keine Fahrerpausen
- Techniker
 - Arbeitszeit 00:00 Uhr bis 23:59 Uhr
 - Depotöffnungszeit 00:00 Uhr bis 17:00 Uhr
 - Gibt gewünschte Lieferzeit und Ort in der Bestellung an
 - Maximale Wartezeit von 60min nach gewünschter Lieferzeit, andernfalls spätere Rückkehr
- Kurier
 - Arbeitszeit: 07:00 Uhr bis 18:00 Uhr
 - Depotöffnungszeit: 07:00 Uhr bis 18:00 Uhr
 - Dauer Sendungsübergabe: 8 min
- Maximaler Umweg durch KoLibri: unbegrenzt
- Bewertung („Score“) der Alternativen: $\text{Umweg Techniker} * 0.6 + \text{Umweg Kurier} * 0.4$
- Optimierungsziel: Minimaler Score

Im Status Quo wurde ein Tourenplan simuliert, der für alle Techniker Kofferraumbelieferungen durch den Nachtexpress vorsieht. Ausgehend von diesen Plänen wurden nun durch die Simulation



zu verschiedenen Zeitpunkten Events erzeugt, die für einzelne Techniker Ersatzteile nachbestellen. Basierend auf den zu diesem Zeitpunkt eingegangenen Status-Events führt dies zu unterschiedlichen Alternativen, die erzeugt werden können. Um während der Simulation keine zusätzliche Eventverwaltung für alle Fahrzeuge vorzunehmen, ging das System davon aus dass alle Statusevents ohne Verzögerung abgesendet und verarbeitet wurden. Das System spielte so eine künstliche „Live-Verarbeitung“ der Bestell- und Statusevents durch, ohne dass zusätzliche Wartezeit entstand.

Damit die Simulation möglichst alle vorstellbaren Konstellationen abbilden kann, die in der Praxis auftreten können, wurden die in Kapitel 5.2.1.3 beschriebenen Fälle L1 bis L4 sowie T1 und T2 kombiniert und nachgebildet.

Abbildung 22 zeigt eine beispielhafte Tourkarte einer Nachbestellung für den Techniker aus Selm in Form einer Liste (Zeit der Ersatzteilmachbestellung 07:30 Uhr, gewünschte Lieferzeit 09:40 an Techniker-Stopp 1 nahe Münster mit ursprünglicher Wartezeit 09:39 Uhr an diesem Stopp; bestehende Kuriertour(grün) bereits in der Nähe, Nachtexpresstouren in rot):



Abbildung 22: Grafische Darstellung eines Tourverlaufs bei einer Ersatzteil- Nachbestellung im Gebiet Münster

Das KoLibRi-System ermittelt nun ausgehend von den übergebenen Zeitpunkten eine Vielzahl von Alternativen, bei denen eine Übergabe des nachbestellten Ersatzteils bei Techniker-Stopp1 stattfindet. Im Gegensatz zum Anwendungsfall mit Nachtexpresszustellung entstehen nun eine Vielzahl von Kombinationsalternativen, die Abbildung 23 zeigt:



Kürzel	Alternativenart	Übergabeort	Ankunft an Übergabeort	Zeitverlust Logistikertour	Zeitverlust Technikertour	Score
L1T1	Kurierstichtour ab Düsseldorf Nord , Techniker Wartet	Kunde	09:40:17 +00:00	11881.0	64.0	4790
L1T2	Kurierstichtour ab Düsseldorf Nord , Techniker kehrt später zurück	Kunde	11:52:54 +00:00	11881.0	53.0	4784
L1T1	Kurierstichtour ab Düsseldorf Süd , Techniker Wartet	Kunde	09:40:17 +00:02	13404.0	64.0	5400
L1T2	Kurierstichtour ab Düsseldorf Süd , Techniker kehrt später zurück	Kunde	11:52:54 +00:00	13404.0	53.0	5393
L1T1	Kurierstichtour ab Essen , Techniker Wartet	Kunde	09:40:17 +00:04	9283.0	64.0	3751
L1T2	Kurierstichtour ab Essen , Techniker kehrt später zurück	Kunde	11:52:54 +00:00	9283.0	53.0	3745
L1T1	Kurierstichtour ab Sprockhövel , Techniker Wartet	Kunde	09:40:17 +00:06	9401.0	64.0	3798
L1T2	Kurierstichtour ab Sprockhövel , Techniker kehrt später zurück	Kunde	11:52:54 +00:00	9401.0	53.0	3792

Abbildung 23: Übersicht möglicher Zustellalternativen mit Auswirkungen auf Zustelltour und Techniker im Gebiet Münster

Die bereits bestehende Kuriertour ist zum Anfragezeitpunkt bereits unterwegs, müsste also zum Depot zurückkehren um das Ersatzteil abzuholen und wird somit nicht als valide Alternative aufgenommen. Auch eine spätere Rückkehr des Technikers kollidiert in diesem Simulationsfall dann mit dem bisherigen Stopp um 11:48Uhr. Es ist allerdings möglich Kurierstichtouren beginnend im jeweiligen Kurierdepot zu erzeugen. Aufgrund der frühzeitigen Nachbestellung vor Tourstart kann die beste Stichtour zur gewünschten Zeit am gewünschten Ort sein (mit minimaler Wartezeit für den Techniker). Alternativ kann auch eine spätere Rückkehr des Technikers (nach seinem Stopp 2) ausgewählt werden, bei dem die Kurierstichtour passend zur Rückkehr des Technikers ankommt. In jedem Fall wird eine Zweitanfahrt an einem Folgetag vermieden.

Abbildung 24 zeigt eine zweite Simulation für den Techniker aus Essen am gleichen Tag (Zeit der Ersatzteilnachbestellung 07:30 Uhr, gewünschte Lieferzeit 15:30 an Techniker-Stopp 2 in Essen mit ursprünglicher Wartezeit 15:01 Uhr an diesem Stopp; bestehende Kuriertouren(grün) bereits in der Nähe, Nachtexpresstouren in rot).



Abbildung 24: Grafische Darstellung eines simulierten Tourverlaufs bei einer Ersatzteilnachbestellung im Gebiet Essen

Da erneut die Nachbestellung mit großem zeitlichem Vorlauf eingegangen ist, kann eine Ankunft zur gewünschten Zeit sichergestellt werden. Zusätzlich zu verschiedenen Stichtouren (von denen die ab Depot Essen die kürzeste ist), können auch zwei bestehende Kuriertouren eingeplant werden. Da diese Touren bereits begonnen haben, ist eine Rückkehr und Abholung des Ersatzteils im Depot Essen notwendig, so dass dies zwar valide Alternativen sind, die aus zeitlicher Sicht jedoch ungünstig sind. Abbildung 25 zeigt die Kennzahlen der Alternativen:

Kürzel	Alternativenart	Übergabeort	Ankunft an Übergabeort	Zeitverlust Logistikertour	Zeitverlust Technikertour	Score
L1T1	Kurierstichtour ab Düsseldorf Nord , Techniker Wartet	Kunde	15:30:40 +00:00	3224.0	1735.0	2330
L1T1	Kurierstichtour ab Düsseldorf Süd , Techniker Wartet	Kunde	15:30:40 +00:00	5425.0	1734.0	3210
L1T1	Kurierstichtour ab Essen , Techniker Wartet	Kunde	15:30:40 +00:00	730.0	1734.0	1332
L3T1	Bestehende begonnene Kuriertour 1 ab Essen , Techniker Wartet	Kunde	15:30:40 +00:00	5400.0	1734.0	3264
L3T1	Bestehende begonnene Kuriertour 3 ab Essen , Techniker Wartet	Kunde	15:30:40 +00:00	6180.0	1734.0	3512
L1T1	Kurierstichtour ab Sprockhövel , Techniker wartet	Kunde	15:30:40 +00:00	4143.0	1734.0	2697
L1T1	Kurierstichtour ab Troisdorf , Techniker Wartet	Kunde	15:30:40 +00:00	8730.0	1734.0	4532

Abbildung 25: Übersicht möglicher Zustellalternativen mit Auswirkungen auf Zustelltour und Techniker zum Depot im Gebiet Essen



Aufgrund der ursprünglichen Wartungsstart um 15:01 entsteht nun für den Techniker Wartezeit, da er keine Folgestopps auf seiner Tour mehr hat und somit warten muss.

Falls nun im selben Fall die Ersatzteilmachbestellung statt mit Vorlauf erst um 15:30 Uhr gesendet wird (weil der Techniker vor Ort feststellt, dass ein Ersatzteil fehlt), ändert sich die Alternativenkalkulation. Die bestehenden Kuriertouren können nun keine sinnvollen Lösungen mehr erzeugen und selbst manche Kurierdepots sind für Stichtouren zu weit entfernt, da der Techniker maximal 60min Wartezeit haben darf. Abbildung 26 zeigt die veränderten Kennzahlen:

Kürzel	Alternativenart	Übergabeort	Ankunft an Übergabeort	Zeitverlust Logistikertour	Zeitverlust Technikertour	Score
L1T1	Kurierstichtour ab Düsseldorf Nord , Techniker Wartet	Kunde	15:58:48 +00:00	3224.0	3423.0	3343
L1T1	Kurierstichtour ab Düsseldorf Süd , Techniker Wartet	Kunde	16:17:33 +00:00	5576.0	4500.0	4930
L1T1	Kurierstichtour ab Essen , Techniker Wartet	Kunde	15:37:28 +00:00	729.0	2143.0	1577
L1T1	Kurierstichtour ab Sprockhövel , Techniker wartet	Kunde	16:06:39 +00:00	4175.0	3876.0	3995

Abbildung 26: Übersicht möglicher Zustellalternativen bei späterer Ersatzteilmachbestellung im Gebiet Essen

Die geschilderten Beispiele von Simulationsergebnissen verdeutlichen bereits die hohe Komplexität und Variabilität im Anwendungsfall „Ersatzteilmachbestellung und Übergabe vom Kurier zum Techniker“ und machen es schwierig, für diesen Anwendungsfall allgemeine Auswertungen für den Betrachtungszeitraum vorzunehmen. Auch in diesem Fall hat der Techniker letztlich die Entscheidungsgewalt darüber, welche Alternative ausgewählt wird. Daher erfolgte die Ergebnisauswertung unter der Annahme, dass Tourdurchführung und Eventeingänge und -zeitpunkte wie simuliert auch in der Praxis auftreten. Hier erreicht das Simulationssystem seine Grenzen. Um dennoch belastbare Aussagen zu den Potentialen des KoLibri-Systems während des Tages treffen zu können, wurde im Rahmen einer weiteren Simulationsreihe die Vermeidung von Zweitanfahrten durch den Techniker betrachtet, die zumindest abgrenzen soll, welches Potential theoretisch auf Technikerseite zu heben ist (auch wenn die Durchführung letztlich massiv operativ beeinflusst ist).

Beispiel-Simulation „Vermeidung von Zweitanfahrten durch den Techniker“

- Vermeidung von Zweitanfahrten durch Techniker aus Essen, Schwerte, Selm, Bochum und Dortmund vom 01.01.2019 bis 31.12.2019
- Kurierdepots in Essen, Sprockhövel sowie Düsseldorf und Troisdorf
- Keine Fahrerpausen
- Techniker
 - Arbeitszeit 00:00 Uhr bis 23:59 Uhr
 - Depotöffnungszeit 00:00 Uhr bis 17:00 Uhr
 - Triggert Ersatzteilmachbestellung nachdem den ersten 5min einer Wartung, sofern die historischen Daten eine zweite Anfahrt zeigen



- Maximale Wartezeit von 60min nach gewünschter Lieferzeit, andernfalls spätere Rückkehr
- Wartezeitanteil von der Zweitanfahrt: 50%
- Kurier
 - Arbeitszeit: 07:00 Uhr bis 18:00 Uhr
 - Depotöffnungszeit: 07:00 Uhr bis 18:00 Uhr
 - Dauer Sendungsübergabe: 8 min
 - Vorbereitungs-Zeitpuffer zum Start einer Stichtour: 20min
- Maximaler Umweg durch KoLibri: unbegrenzt
- Bewertung der Alternativen: Getrennte Auswertung zu Kurier und Techniker
- Optimierungsziel: Minimale Fahrzeit für Techniker

Die Simulation zur Vermeidung von Zweitanfahrten durch den Techniker ähnelt der Simulation zur Übergabe zwischen Techniker und Kurier geht jedoch von anderen Grundannahmen aus: Aufgrund der historischen Daten können Zweit- bzw. auch Mehrfachanfahrten identifiziert werden. Da bei mehrfachen Kundenanfahrten (mehr als zweimal) davon ausgegangen werden, dass vor Ort operative Probleme vorliegen und nicht nur Ersatzteile fehlen und da diese Fälle absolute Ausnahmen sind, wurde die Betrachtung auf Zweifachanfahrten beschränkt. Ansonsten wird angenommen, dass der Techniker vor Ort feststellte, dass ein Ersatzteil fehlte und im Status Quo an einem anderen Tag erneut anfahren muss. Durch KoLibri kann nun ermittelt werden, ob eine Belieferung am gleichen Tag (nach einer Ersatzteilmachbestellung) möglich wäre und was dies für die Touren von Techniker und Kurier bedeutet. Falls eine Zweitanfahrt vermieden werden konnte, bedeutet dies, dass sich auch eine zukünftige Tour, in der die Zweitanfahrt lag, verändert. Aus diesem Grund wurden keine Tagessimulationen für einen größeren Zeitraum vorgenommen, sondern eine einzelne Rechnung für den Zeitraum 2019 (anhand der neuesten Technikerdaten) vorgenommen. Damit die notwendigen Informationen zu Zweitanfahrten vorlagen, musste TOP Mehrwert Logistik ihr Stammdaten aufbereiten, um die Beziehungen der Anfahrten zueinander zu ermitteln und die detaillierten Wartungszeiten aufzuteilen.

Trotz dieses vergleichsweise großen vorbereitenden Aufwands konnten nun auf Basis der KoLibri-Tourenplanung ermittelt werden, ob durch den Einsatz von Hochverfügbarkeitskurieren eine Anfahrt an einem Folgetag vermieden werden kann. Das Konzept der Verknüpfung von Techniker und Kuriertouren erlaubt zwar auch eine Rückkehr des Technikers (und damit eine Zweitanfahrt am selben Tag), aus Sicht der Technikerorganisation ist aber vor allem relevant eine Anfahrt an einem späteren Tag zu vermeiden (z.B. wegen Vertragsstrafen).

Für den beschriebenen Pool von Technikern ergeben sich folgende Kennwerte:

- Anzahl verplante Wartungen: 1612
 - Davon Einzelanfahrten: 1300



- Davon Zweitanfahrten: 160

Eine weitere wichtige Annahme ist die Kalkulation der Wartungszeiten. Anhand der aufbereiteten Stammdaten können die Wartungszeiten der einzelnen Anfahrten detailliert betrachtet werden, allerdings müssen Annahmen getroffen werden wie sich die Wartungszeiten in der Simulation verhalten werden. Aufgrund von Synergieeffekten bei der zweiten Anfahrt am gleichen Tag im Vergleich zu späteren Tagen (Techniker war bereits vor Ort, einfache Arbeiten sind bereits erfolgt) wurde angenommen, dass die zusätzliche Wartungszeit der „Zweit“-Anfahrt nur noch mit 50% zu bewerten ist.

Wichtig bei der Interpretation der Ergebnisse ist die Tatsache, dass die Zeiten die als Nutzen ausgewiesen wurden, aufgrund der Tourenauslastung und daraus folgenden Potentiale zum Einplanen von Ersatzteilmachbestellungen im Tourplan ausgewiesen werden können. Die Güte und Potentiale sind daher direkt an die Effizienz der Technikerorganisation selbst gekoppelt und können bei abweichender Auslastung variieren. Bei der Betrachtung der Ergebnisse wurde also unterschieden, ob der ausgewiesene Nutzen ursprüngliche Wartezeiten des Technikers beinhaltet, die nun genutzt werden können, oder ob der Nutzen nur durch direkt durch KoLibRI veränderte Tourverläufe entsteht. Abbildung 27 zeigt die Kennzahlen für die beschriebenen Techniker in 2019:

	Mit Wartezeit	Ohne Wartezeit			
Gesamtdauer (K+T)	-51.462s	+255.988s			
Gesamtdauer (T)	-552.108s	-246.900s			
Gesamtdauer (K)	+500.646s	+502.888s			
Fahrstrecke	+106km	+106km			
Vermeidung der Zweitanfahrten	86 von 160	86 von 160			
Anzahl Wartungen mit Zeitgewinn für T	64 von 86	51 von 86			

(T): Techniker
(K): Kurier

Abbildung 27: Ergebnisse der Simulationsreihe zur Vermeidung von Zweitanfahrten für Techniker

Es konnten für mehr als die Hälfte der Zweitanfahrten gültige Alternativen ermittelt werden und so 86 von 160 Zweitanfahrten vermieden werden. Es ist erkennbar, dass die Fahrstrecken gleichmäßig ansteigen (bedingt durch die zusätzlichen ineffizienten Wege der Kurierzustellung). Wenn die Tourzeiten betrachtet werden, sieht es jedoch deutlich anders aus. Hier zeigt sich, dass auf Technikerseite deutliche Ersparnisse auszuweisen sind (wie beschrieben in Abhängigkeit davon ob vorher ungenutzte Wartezeiten auch dem direkt durch KoLibRI erzeugten Nutzen zugeschlagen werden). Durch die notwendige Erzeugung von zusätzlichen Kurier(stich)touren steigt natürlich der Zeitbedarf auf Kurierseite. Der gleichzeitige Zeitgewinn auf Technikerseite ist jedoch enorm,



so dass je nach Definition das Gesamtsystem zeitlichen Nutzen erzeugt. In jedem Fall wird auf Technikerseite deutliche Zeiteinsparung erzeugt. Von den 86 vermiedenen Zweitanfahrten wird diese Einsparung beim Techniker im überwiegenden Teil bestätigt.

Aus den vorgenommenen Simulationen zur Übergabe zwischen Kurier und Techniker und zur Vermeidung von Zweitanfahrten konnten schließlich die folgenden allgemeinen Aussagen abgeleitet werden:

- Kennzahlen zur Simulation am Tag
 - Technikereinsatzzeit: Bis zu 25% Reduktion der Einsatzzeit (bei realistischer Techniker- auslastung)
 - Technikerfahrwege: Bis zu 10% Reduktion der gefahrenen Technikerkilometer
 - Vermeidung von Zweitanfahrten: über 50% potentielle Vermeidung von Zweitanfahr- ten
 - Wartezeit von Techniker auf Kurier: im Bereich von 60-90min können durch ein Hoch- verfügarkeitsnetz problemlos Ersatzteile nachgeliefert werden

5.5.3 Vorbereitung der Testläufe

Das AP 7.2 widmete sich der operativen Vorbereitung des Feldversuches: Der Erfolg kollaborativer Systeme wird stark beeinflusst vom Handeln aller beteiligter Akteure. Es ist daher notwendig, dass Night Star Express und TOP Mehrwert die Stakeholder vor dem Start der Testläufe in das Vorha- ben einbinden und diese nicht nur in Bezug auf die Anwendung der mobilen App durch die VCE geschult, sondern gleichzeitig hinsichtlich der neuen Möglichkeiten und Merkmale des logisti- schen Gesamtsystems sensibilisiert werden. Zu diesem Zweck erfolgte eine Ermittlung der jeweili- gen Bedarfe um mögliche Bottlenecks frühzeitig zu identifizieren. Parallel wurden durch das Kon- sortium das Verfahren und die Verantwortlichkeiten für eine kontinuierliche Auswertung und Be- wertung der Feldversuche für die Anwendungspartner definiert. Die zentralen Parameter teilen sich wie folgt:

- Qualitative Auswertung
 - Valider Prozessablauf
 - Technische Umsetzbarkeit
 - Feedback der Beteiligten
- Quantitative Auswertung
 - Kennzahlen und Vergleich
- Machbarkeit
 - Aufgezeigte Grenzen
 - Ausblick



Das Fraunhofer IML bereitete die Testfälle zusammen mit der VCE auf technischer Seite vor, so dass während der Testfälle die Kommunikation zwischen App und Tourenplanung funktioniert und die gewünschten Testszenarien abbildbar sind. Hierzu testeten beide Unternehmen die fertige Technikimplementierung hinsichtlich ihrer Einsetzbarkeit in der Praxis und führten Vorab-Testdurchläufe mittels der App durch. Hierzu wurden geeignete Testdatensätze identifiziert, die für einen der Test-Use-Cases geeignet sind.

Auf diese Weise wurde bereits eine Nutzung der App in der Praxis vorsimuliert, die Wechselwirkungen im System erkannt, sowie auftretende Probleme behoben. Zudem konnten so bereits erste relevante Testergebnisse (Prozessumsetzung sowie Tourzeiten) erfasst werden.

5.5.4 Testlauf

Nach Fertigstellung der technologischen Basis mit seinen Soft- und Hardwarebausteinen wurde das System in AP7.3 in Realtests bei allen Anwendungspartnern auf seine Einsatzfestigkeit und Praxiseignung hin validiert. Der besondere Fokus lag dabei auf der reibungslosen Prozessdurchführung und Kommunikation sowie der Güte der Tourenplanung. In der ersten Stufe sollten Night Star Express und TOP Mehrwert zu Demonstrationszwecken eine gemeinsame Supply Chain bilden und in Testläufen ausgewählte Anwender unter Einsatz des kollaborativen Liefersystems und der mobilen Applikation versorgen. Nach dem erfolgreichen Abschluss dieser Teststufe sollte die testweise Integration in den Realbetrieb der drei Anwendungspartner erfolgen, und das Liefersystem bei Night Star Express und TOP in zwei Tourgebieten eingesetzt werden.

Begleitet werden sollte dieser Testbetrieb durch kontinuierliche Bewertungsprozesse, die vom Fraunhofer IML, VCE und den beiden Anwendungspartnern für eine iterative Optimierung des Systems verwendet werden sollten.

Von diesem Testkonzept musste COVID-19-bedingt abgewichen werden, so dass die „gemeinsame Supply-Chain“ in zwei getrennte Tests für „Nacht“ und „Nacht und Tag“ überführt wurden. Eine Umsetzung in den Realbetrieb erfolgte nicht, stattdessen eine Simulation mit historischen Daten.

Die beiden Realtests erfolgten getrennt voneinander, mit einer minimalen Menge an eingesetzten Personen, sowie unter Beachtung der jeweiligen Gesundheitsverordnungen und Pandemiesituation.

Testfall „Alternative Zustellung durch Nachtexpress“

Als erster Testfall wurde der operative Prozess zwischen Nachtexpress Zusteller und Techniker ausgewählt. Mittels der KoLibri-Tourenplanung sollten Touralternativen zur Kofferraumbelieferung ermittelt und dann vergleichende Touren gefahren werden, die einmal die Kolibri-Alternative und einmal die Kofferraumbelieferung umsetzen.

Besonderer Fokus des Tests sollte allerdings die Praxis-Nutzung der KoLibri-App sein. Beide Nachtexpressfahrer nutzten die App während der Tourausführung und die versendeten Eventinformationen konnten im Nachgang ausgewertet werden und eine erste Touranalyse ermöglichen. Während eine tiefgreifende Vergleichsrechnung (Touren mit KoLibri <-> Touren ohne KoLibri) einen längerfristigen Regelbetrieb benötigt hätte um einzelne Abweichung (z.B. durch Staus)



auszugleichen, konnten zumindest Aussagen über die grundsätzliche Annäherung der Tourenplanung zur Realität getroffen werden sowie ggfs. größere Abweichung erkannt und ausgewertet werden.

Konkret wurde am 29.09.2020 der Testfall durchgeführt, ausgehend vom Depot von Night Star Express in Unna und der durch KoLibRi installierten Übergabestation am Fraunhofer IML. Es wurde ein Testfall vorbereitet, indem eine historische Nachtexpresstour in der Nähe der Übergabestation ausgewählt wurde, sowie die durch KoLibRi vorgeschlagenen Alternativen berechnet. Es wurde dann als zweite Tour eine dieser Alternativen ausgewählt, welche 2 Lieferungen an einem Kunden alternativ als Übergabe in die Paketbox umlegt. Aufgrund der ungünstigen zeitlichen Lage der Touren (nachts zwischen 3 Uhr und 4 Uhr) wurde der Testfall auf den Abend verlegt, um ähnliche operative Verhältnisse abzubilden (Dämmerung, Dunkelheit). Bei Touren starteten im Depot Unna mit einem zeitlichen Abstand von 5 Minuten. Die chronologische Abfolge der Stopps blieb unverändert.

Zwei ausgewählte Mitarbeiter von Night Star Express führten die Tourausführung durch und erfasst den Zeitpunkt jedes Stopps über die KoLibRi-App.

Abbildung 28 zeigt den Ablauf der Tour ohne Kolibri-Alternative (mit aus Datenschutzgründen minimal verschobenen Kundenstandorten):

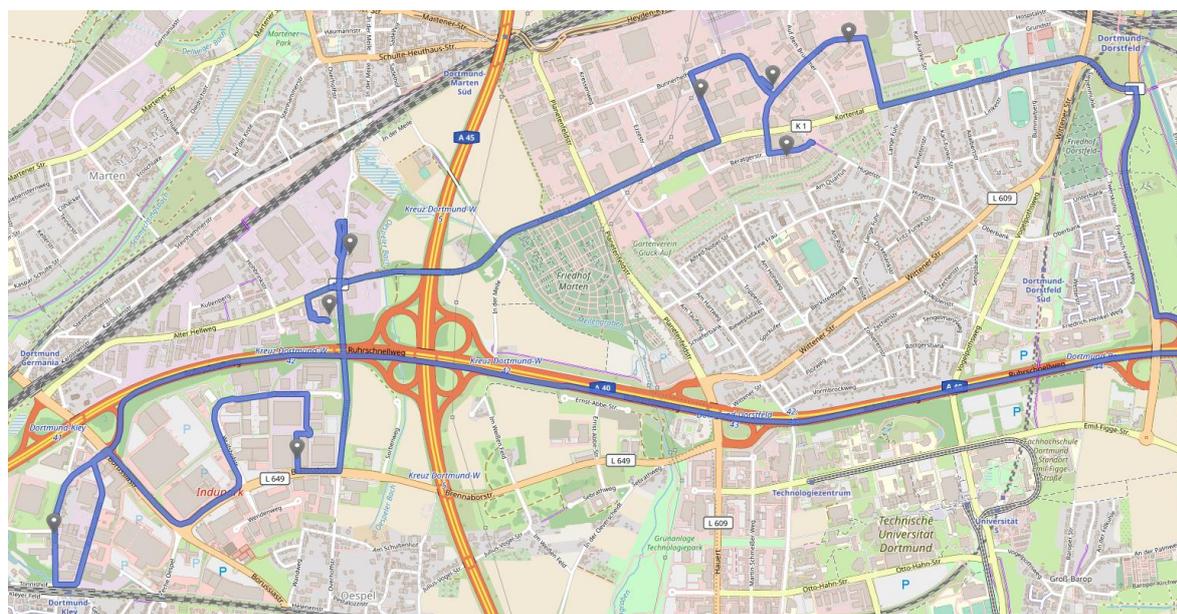


Abbildung 28: Grafische Darstellung der Ausgangstour Nachtexpress (Ausschnitt)

Die beiden Belieferungen eines Kunden im Nordwesten (hier durch zwei Stopps gekennzeichnet) wurden in der KoLibRi-Tour auf die Übergabestation geroutet, wie Abbildung 29 zeigt (Stop an der Paketbox im Südwesten). Auch hier wurden die Standorte anonymisiert, mit Ausnahme der umgelegten Stopps waren beide Touren identisch.

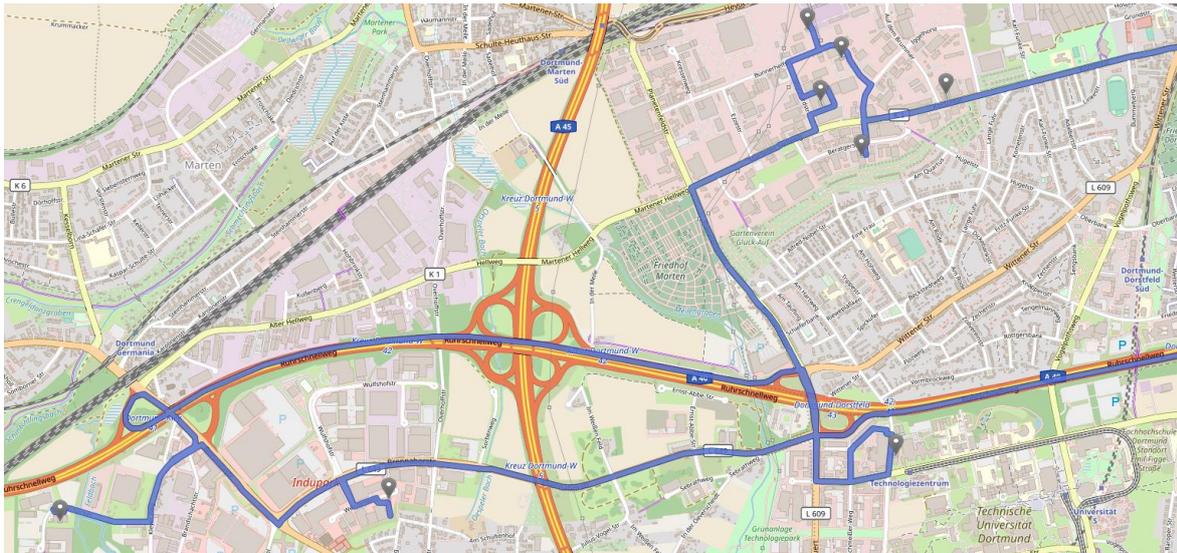


Abbildung 29: Grafische Darstellung der Kolibri-Tour Nachtexpress (Ausschnitt)

Beide Standort-Karten wurden bereits anhand der Tracking-Informationen über die Kolibri-App erfasst, die fiktive Routenführung zwischen den Standorten mittels der Open-Source-Software „Open Source Routing Machine“ ergänzt.

Die relevanten vorberechneten Tourenabschnitte waren wie folgt zusammengestellt:

Geplante Tour ohne Kolibri			Geplante Tour mit Kolibri		
Kunde	Beschreibung	Uhrzeit	Kunde	Beschreibung	Uhrzeit
0	Abfahrt Depot Unna	19:00:00	0	Abfahrt Depot Unna	19:05:00
1	Kundenstop	19:35:20	1	Kundenstop	19:40:20
2	Kundenstop	19:41:17	2	Kundenstop	19:46:17
3	Kundenstop	19:46:15	3	Kundenstop	19:51:15
4	Kundenstop	19:53:08	4	Kundenstop	19:58:08
5	Kundenstop	19:56:36	5	Kundenstop	20:01:36
6	Kundenstop	20:03:05	6/7	Stop an Paketstation	20:08:14
7	Kundenstop	20:06:28	8	Kundenstop	20:17:23
8	Kundenstop	20:15:09			
Gesamtdauer		01:15:09	Gesamtdauer		01:12:23

Anhand der Events, die mit Hilfe der Kolibri-App aufgenommen wurden, konnten die real aufgetretenen Zeiten verglichen werden:



Reale Tour ohne KoLibri			Reale Tour mit KoLibri		
Kunde	Beschreibung	Uhrzeit	Kunde	Beschreibung	Uhrzeit
0	Abfahrt Depot Unna	19:00:00	0	Abfahrt Depot Unna	19:06:00
1	Kundenstop	19:33:19	1	Kundenstop	19:35:22
2	Kundenstop	19:40:46	2	Kundenstop	19:40:18
3	Kundenstop	19:46:45	3	Kundenstop	19:43:43
4	Kundenstop	19:51:13	4	Kundenstop	19:47:21
5	Kundenstop	19:54:33	5	Kundenstop	19:49:21
6	Kundenstop	19:59:16	6/7	Stop an Paketstation	20:01:56
7	Kundenstop	20:00:28	8	Kundenstop	20:09:42
8	Kundenstop	20:12:29			
Gesamtdauer		01:12:29	Gesamtdauer		01:03:42

Die Testergebnisse wurden im Projektteam aufbereitet, diskutiert sowie Feedback aller an den Test beteiligter eingeholt. Den vorab definierten Bewertungskriterien folgend wurde eine Zusammenfassung der Erkenntnisse des ersten Testfalls zusammengestellt:

Qualitative Auswertung		Erkenntnisse
	Valider Prozessablauf	Die Tourendurchführung konnte wie geplant umgesetzt werden. Die Appnutzung konnte erfolgreich in den Prozess integriert werden.
	Technische Umsetzbarkeit	Die App konnte den Gesamtprozess (Tourendurchführung) abbilden und Status-Events an den Server senden. Von einem der beiden Endgeräte wurde keine korrekte Authentifizierung durchgeführt und die Events nicht an den Server versendet und nur lokal gespeichert.
Quantitative Umsetzung		
	Kennzahlen und Vergleich	Wenngleich ein genauer Benchmark hinsichtlich Realitätstreue der Touren und ein Vergleich „KoLibri“ <-> „kein Kolibri“ anhand einer Einzeltour



		nicht sinnvoll ist, konnte doch grundsätzlich erkannt werden, dass die Tourenplanung die Realität angemessen annähert sowie die Zeitersparnis durch die KoLibRi-Belieferung in die Paketbox auch in der Praxis bestätigt wird.
Machbarkeit		
	Aufgezeigte Grenzen	Auf Appseite zeigte sich, dass eine Vorinstallation von Smartphone-Navigations-Apps notwendig ist, um automatisch aus der KoLibRi-App in die Navigation wechseln zu können. Der Zeitrahmen einer authentifizierten App ist kurz gewählt, so dass eine der Apps keine Events absenden konnte.
	Ausblick	Während sich die Tourkonfiguration als realitätsnah erwiesen hat, können auf technischer Ebene noch geringfügige Verbesserungen in der App-Konfiguration vorgenommen werden.

Testfall „Rendezvous zwischen Nachtexpress und Techniker mit Nachbestellung“

Als zweiter, zentraler, Testfall wurde der operativ größtmögliche Prozess zwischen Nachtexpress, Techniker und Hochverfügbarkeitskurier ausgewählt. Mittels der KoLibRi-Tourenplanung sollten Touralternativen zur Kofferraumbelieferung ermittelt werden und die asynchrone Einlagerung und Entnahme in eine neutrale Übergabestation durchgeführt werden. Nach Entnahme durch den Techniker sollte der Techniker seinen Arbeitstag fiktiv fortsetzen um anschließend eine Ersatzteilnachbestellung auszulösen. Daraufhin sollte sich ein Hochverfügbarkeitskurier von seinem Depot aus mittels einer Stichtour auf den Weg machen, um das benötigte Ersatzteil dem Techniker zu übergeben.

Besonderer Fokus des Tests sollte zum einen das Zusammenspiel aller Akteure in einem aufeinanderfolgenden Prozess sein. Zusätzlich sollte die Nutzung der neutralen Übergabestation validiert werden und Erkenntnisse über die Verknüpfung von Box-Schließsystem und App gewonnen werden.

In diesem komplexen Testfall gab es folgende Akteure:

- Nachtexpressfahrer (Mitarbeiter von Night Star Express)
- Techniker (Mitarbeiter von TOP Mehrwert Logistik)
- Hochverfügbarkeitskurier (Mitarbeiter von TOP Mehrwert Logistik)

Alle Akteure nutzten die App während der Tourausführung und die versendeten Eventinformationen könnten im Nachgang ausgewertet werden und eine Touranalyse ermöglichen.

Konkret wurde am 07.10.2020 der Testfall durchgeführt, ausgehend vom Depot von Night Star Express in Unna und der durch KoLibRi installierten Übergabestation am Fraunhofer IML. Das



nächstgelegene Hochverfügbarkeitsdepot der TOP Mehrwert Logistik befindet sich in Essen. Der fiktive Testtechniker hat seinen Wohnort in Dortmund.

Es wurde ein Testfall vorbereitet, indem eine historische Nachtexpresstour in der Nähe der Übergabestation ausgewählt wurde, sowie die durch KoLibRi vorgeschlagenen Alternativen berechnet. Der Techniker wählte dann bereits am Vortag eine dieser Alternativen, die eine asynchrone Lieferung in die Übergabestation am Fraunhofer IML bedeutet.

Aufgrund der ungünstigen zeitlichen Lage der Touren (Nachtexpress zwischen 2 Uhr und 4 Uhr) wurde der Testfall während eines Tages chronologisch in korrekter Abfolge ausgeführt, die genauen Zeiten jedoch angepasst um einen effizienten Testfall zu ermöglichen. Der Nachtexpress fuhr im Vergleich zum ersten Testfall keine komplette Tour, sondern beschränkte sich auf den Stopp an der Übergabestation und die Einlagerung der Sendung. Der fiktive Techniker befand sich ebenfalls an einem fiktiven Wohnort im Norden von Dortmund und begann seine Tour dort. Die Wartung, an der der Techniker seine Nachbestellung auslösen soll, befand sich in direkter Umgebung der Paketbox um den Test effizient zu gestalten. Im Hochverfügbarkeitsdepot in Essen war der fiktive Kurier einsatzbereit und wartete darauf, dass auf seiner App eine Ersatzteilnachbestellung einging. Die Übergabe der nachbestellten Ware erfolgte direkt vor Ort beim Technikerkunden.

Eine kombinierte Karte aller Touren ist aufgrund der Entfernungen und entferntes Ausgangsdepots nicht sinnvoll, Abbildung 30 zeigt jedoch die Tourverläufe in der Nähe der Übergabestation (mit aus Datenschutzgründen verschobenen Kundenstandorten):

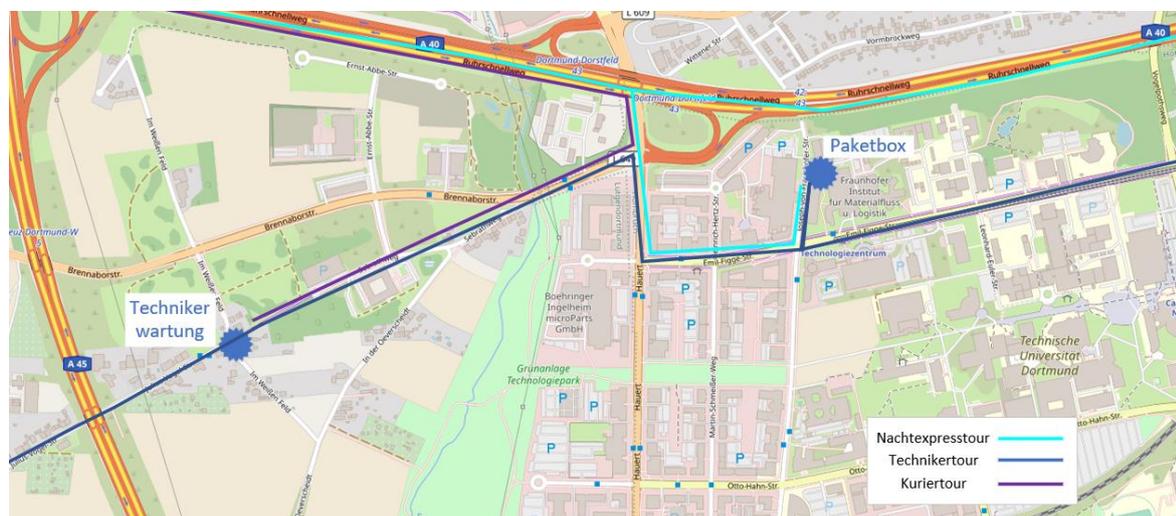


Abbildung 30: Grafische Darstellung der Tour zur Ersatzteillieferung (Ausschnitt)

Die Standorte und Zeiten wurden anhand der Tracking-Informationen über die KoLibRi-App erfasst sowie zusätzlich vor Ort händisch erfasst und abgeglichen.



Die real durchgeführten Touren waren wie folgt:

Nachtexpress-Tour			Techniker-Tour		
Kunde	Beschreibung	Uhrzeit	Kunde	Beschreibung	Uhrzeit
0	Abfahrt Depot Unna	-	0	Abfahrt Wohnort	15:19:31
1	Ankunft an Paketstation	14:45:31	1	Ankunft an Paketstation	15:26:38
1	Abfahrt von Paketstation	14:48:17	1	Abfahrt von Paketstation	15:29:44
2+	Weitere Kundenstops	-	2	Wartungsstart bei Kunden	15:32:23
			2.1	Nachbestellung an Wartungsstop	15:38:21
			4	Wartungsabschluss	17:15:00
			5	Nächste Wartung	-

Hochverfügbarkeitskuriertour		
Kunde	Beschreibung	Uhrzeit
0	Informationseingang	15:38:21
0	Abfahrt Depot Essen	15:45:58
1	Übergabe an Techniker	16:28:55
2	Rückkehr Depot Essen	-



Die Testergebnisse wurden im Projektteam aufbereitet, diskutiert sowie Feedback aller an den Test beteiligter eingeholt. Den vorab definierten Bewertungskriterien folgend wurde eine Zusammenfassung der Erkenntnisse des ersten Testfalls zusammengestellt:

Qualitative Auswertung		Erkenntnisse
	Valider Prozessablauf	Die Tourendurchführung konnte wie geplant umgesetzt werden. Die Appnutzung konnte erfolgreich in den Prozess integriert werden (auch zur Nachbestellung). Die Prozesse an der Paketbox verliefen reibungslos. Das ursprüngliche Ersatzteil wurde erfolgreich vom Nachtexpress in die Box eingelagert und vom Techniker entnommen. Das danach nachbestellte Ersatzteil wurde erfolgreich vom Kurier an den Techniker übergeben.
	Technische Umsetzbarkeit	Die App konnte den Gesamtprozess (Alternativenauswahl, Tourendurchführung und Nachbestellung) abbilden und Status-Events an den Server senden. Die App konnte ebenfalls erfolgreich die Schließsysteme der Paketbox digital öffnen.
Quantitative Umsetzung		
	Kennzahlen und Vergleich	Bestätigt werden konnten die vorab geschätzten Bedienzeiten der Paketbox, so dass die Größenordnung von 2-3 Minuten für die Bedienung von digitalen immobilen Schlussystemen als grundsätzlich valide Annahme scheint.
Machbarkeit		
	Aufgezeigte Grenzen	Es besteht die Notwendigkeit, dass Hochverfügbarkeitskurierere, die eine neue Stichtour beginnen sollen, diese Information unverzüglich erfahren. Trotz Benachrichtigung durch die App könnte in einer operativen Nutzung ein zusätzlicher Prozess notwendig sein, um dies auch nicht-technisch sicherzustellen.
	Ausblick	Die Erkenntnisse des ersten Testfalls konnten in Testfall 2 aufgegriffen und verbessert werden. Aus operativer Sicht konnte der Gesamtprozess KoLibri erfolgreich validiert und umgesetzt werden.



Im Rahmen dieses Testfalls wurden außerdem die Filmaufnahmen zum Projekt KoLibri durchgeführt, die den durchgeführten Prozess visuell begleiten und die Projektergebnisse vorstellen.



6 Nutzen für das Fraunhofer IML

Die Abteilung Verkehrslogistik des Fraunhofer IML konnte aus den Ergebnissen des Forschungsvorhabens KoLibRi konkrete Innovationen für die angewandte Forschung ableiten. Vor allem das Wissen um die Methodik, Vorgehen zur softwareseitigen Umsetzung und Gestaltung der Optimierungsalgorithmen im Bereich der dynamischen Tourenplanung wurde wesentlich erweitert.

Aufgrund der Modularität der entwickelten Tourenoptimierungsalgorithmen ist das Fraunhofer IML nun in der Lage diese auch für andere Unternehmen und Forschungsgebiete anzuwenden. Die gewählten Schnittstellen, die Ausgestaltung des Eventsystems sowie das Optimierungsverfahren ermöglichen hier eine Nutzung des KoLibRi-Systems für unterschiedlichste zeitkritische Logistikdienstleistungen, z. B. Paketzustellung im B2B- und B2C-Bereich. Besonders die Funktionalität der flexiblen Vereinbarung von Übergabestellen erschließt ein großes Anwendungsfeld für das Fraunhofer IML. Hier ist die Anwendung des KoLibRi-Systems z. B. bei der Versorgung von Städten über ein Mikrodepotsystem (auch mit Lastenrädern) denkbar oder auch die Übertragung auf multimodale Verkehre, z. B. bei der Zuflusssteuerung von Binnenschiffen zu Umschlagsterminals.

Das Fraunhofer IML kann auf den neuen Erkenntnissen zur kollaborativen, dynamischen Tourenplanung aufbauend die angewandte Forschung im Bereich Industrie 4.0 und selbststeuernde Systeme vorantreiben. Hierbei ist die im Forschungsvorhaben enge Ausrichtung der technologischen und konzeptuellen Gestaltung des Tourenplanungs-Demonstrators an die Praxisanforderungen zielführend gewesen.

Die zunehmende Digitalisierung in der Logistik ist ein zentrales Forschungsfeld am Fraunhofer IML. Der verfolgte Ansatz einer unternehmensübergreifenden Informationsplattform und die Einbindung von „Trusted Services“ bei der Datenhaltung ist ein hochaktuelles Forschungsfeld. Die Vernetzung der Partner entlang der Supply-Chain war ein zentrales Anliegen des Projektes KoLibRi. Durch die Verknüpfung der Tourenplanungssysteme aller Partner, den gemeinschaftlichen Austausch und der Zusammenarbeit entstand ein Bindeglied zwischen den verschiedenen Akteuren. Der sichere Austausch sensibler Daten, die Anonymisierung von Kundendaten sowie der Datenschutz des einzelnen Mitarbeiters waren wichtige Aspekte bei der Ausgestaltung des KoLibRi-Systems.

Die Digitalisierung und künstliche Intelligenz werden die Welt in eine Plattformökonomie führen. Dabei entstehen neue Geschäftsmodelle, die auf Daten basieren und Schlüsseltechnologien wie IoT oder Blockchain nutzen, um Waren, Informationen und Finanztransaktionen weltweit zu verzahnen. Zugangskontrollierte Systeme werden ersetzt durch offene, föderale Strukturen, in denen International Data Spaces die Datensouveränität sichern. Das ist die Grundidee der Silicon Economy, in der verteilte künstliche Intelligenzen als wesentlicher Treiber agieren. Die in KoLibRi erforschte dynamische Tourenplanung liefert hier einen kleinen, aber wichtigen Baustein.



7 Zusammenarbeit mit anderen Stellen oder außerhalb des Verbundprojektes

Für das Forschungsvorhaben wurde ein projektbegleitender Ausschuss aus externen Experten gebildet, der sich im März 2018 erstmals getroffen hat. Der Ausschuss ist nicht als geschlossener Expertenkreis zu verstehen, sondern wurde je nach Projektstand erweitert. Beim ersten Treffen stand eher die wissenschaftliche Ausrichtung im Fokus (Ziele / Vorgehensweise / mögliche Verwertung). Im Februar 2019 kam der projektbegleitende Ausschuss zum zweiten Mal zusammen. Das Treffen wurde für einen offenen Erfahrungsaustausch genutzt. Es standen die Fragen „Was sind kritische Punkte für die spätere Umsetzung des Kolibri-Systems?“ und „Was können andere Einsatzfelder für Kolibri sein?“ im Fokus der Diskussion. Der dritte projektbegleitende Ausschuss war für März 2020 geplant. Hier sollten die Demonstration der bisherigen Tourenplanung und die Vorstellung des neu errichteten Paketterminals erfolgen. Aufgrund der Maßnahmen zur Eindämmung der Ausbreitung des Coronavirus (COVID-19) konnte kein weiteres Präsenztreffen stattfinden. Mit einigen Mitgliedern des Ausschusses fand daher in bilateralen Gesprächen ein Austausch über den Fortschritt des Vorhabens statt.

Neben dem projektbegleitenden Ausschuss waren die vom Projektträger Karlsruhe organisierten Koordinatorentreffen im Themenfeld "Technikbasierte Dienstleistungssysteme" für den wissenschaftlich / fachlichen Austausch sehr hilfreich, vor allem da einige der anderen Forschungsvorhaben ähnliche Herausforderungen und Fragestellungen hatten. So wurde bei dem Koordinatorentreffen in Bochum bspw. das Thema Datenschutz diskutiert. Hieraus ergab sich ein sehr wertvoller Kontakt zu Herrn Weller vom eBusiness-Kompetenz Zentrum. Zusammen mit Herrn Weller wurden in einem ganztägigen Workshop im April 2019 die datenschutzbezogenen Fragen im Konsortium behandelt und praxisnahe Lösungswege erarbeitet.

8 Darstellung des während des Vorhabens bekannt gewordenen Fortschritts auf diesem Gebiet bei anderen Stellen

Während der Projektlaufzeit wurden die Erkenntnisse in Wissenschaft und Praxis zur Tourenplanung durch das Fraunhofer IML mit den Ansätzen des KoLibri-Systems verglichen und der Fortschritt bei anderen Stellen validiert. Die Tourenplanung bei KoLibri folgt einem sehr einzigartigen Ansatz: Kollaborative Tourenplanung im Sinne von Rendezvousverkehren zwischen zwei Teilhabern einer Logistikkette zur Verbesserung des Gesamtnutzens sind sehr selten, da enormer Abstimmungsaufwand entsteht und das klassische Geschäftsmodell von Logistikdienstleister und Kunde unterbrochen wird.

Während es in der Forschung bereits verschiedene Ansätze zur „kollaborativen“ Tourenplanung gibt, stehen diese meist in anderem Kontext. Während KoLibri stand die Forschung hier nicht still (obgleich der Fokus in der Tourenplanung grundsätzlich nur langsam in Richtung Dynamik und Echtzeitsteuerung wandert): Unter dem Kontext von Tourenplanung von mobilen Fabriken gab es



Veröffentlichungen¹⁵, die möglichst effiziente Tourenplanungen erzeugen, um von mobilen Fabriken aus Kunden zu erreichen. Am weitesten verbreitet sind Ansätze, die zwar kollaborative Touren planen, dies allerdings vor dem Hintergrund tun, dass sich zwei Logistikdienstleister ihre Fuhrparks/Depots/Netzwerke teilen um Synergien zu heben. Beispiele aus der Forschung während KoLibri sind hier der Healthcare-Bereich¹⁶ sowie geteilte Ressourcen zwischen Logistikdienstleistern¹⁷.

In der Praxis sind Begegnungsverkehre grade im Speditionswesen (z.B. durch den Europäischen Ladungsverband Internationaler Spediteure - ELVIS) weiterhin weit verbreitet, in denen LKW Ladereinheiten oder Ladeträger austauschen und ihren Touren weiterfolgen. Letztlich unterscheiden sich Begegnungsverkehre grundsätzlich vom KoLibri-Rendezvous, da Begegnungsverkehre genutzt werden, um Leerfahrten zu vermeiden und Speditionsverkehre zu optimieren. Das KoLibri-Rendezvous hingegen kombiniert die Touren zweier unterschiedlicher Unternehmen mit ihren festen Restriktionen und versucht flexible und bessere alternative Übergaben zu ermitteln, während Begegnungsverkehre bereits Teil der initialen Tourenplanung eines Unternehmens sein sollten und den Fokus auf maximale Stauraumsauslastung legen.

Zudem wird im urbanen Bereich bereits seit einiger Zeit die Nutzung von urbanen Mikrodepots getestet, in denen sich mehrere Logistikfirmen zusammentun, um eine gebündelte kooperative Innenstadtbeflieferung (z.B. durch Lastenräder) zu ermöglichen. Ein Beispiel ist hier das 2020 entstandene Mikrodepot Dortmund¹⁸. Mikrodepots mit Kooperation im urbanen Raum sind hier Ausprägungen des theoretischen Ansatzes zur Kombination von Logistikdienstleistern zum Erschaffen von Synergien.

9 Veröffentlichungen, Vorträge, Referate, etc.

Die Zwischenergebnisse des Forschungsvorhabens wurden im laufenden Projekt über Vorträge (RuhrFaktor Mobilität 2019) und bei Fachveranstaltungen und Messen (Messe Transport 06/2019 und Zukunftskongress (09/2019), durch Arbeitskreissitzungen (projektbegleitender Ausschuss) Experten und einer breiten Öffentlichkeit vorgestellt. Die Ergebnisse wurden im Rahmen der vom Fraunhofer IML organisierten Abschlussveranstaltung „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen -Ergebnisse aus Forschungsprojekten zu logistikbezogenen

¹⁵ T. Nishi, K. Otaki, A. Okoso and A. Fukunaga, "Cooperative Routing Problem between Customers and Vehicles for On-demand Mobile Facility Services," *2020 IEEE 23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 2020, Seite 1-6

¹⁶ M. Cannataro, V. Falvo, M. Scalise, F. Lupia and P. Casella, „A Cooperative Vehicle Routing Platform for Logistic Management in Healthcare“ *BCB '18: Proceedings of the 2018 ACM International Conference on Bioinformatics, Computational Biology and Health Informatics*, August 2018. Seite 689–692

¹⁷ Wang, Y.; Li, Q.; Guan, X.; Fan, J.; Liu, Y.; Wang, H. Collaboration and Resource Sharing in the Multidepot Multiperiod Vehicle Routing Problem with Pickups and Deliveries. *Sustainability* **2020**, *12*, 5966

¹⁸ <https://www.agiplan.de/news/neues-mikrodepot-in-dortmund/>



Dienstleistungssystemen“ Ende 2020 vorgestellt. Zu der Veranstaltung mit rund 100 Teilnehmern wurden Unternehmen und Wissenschaftler eingeladen.

Zudem wurde ein Film über das Forschungsvorhaben gedreht. Der Film wurde bei der Abschlussveranstaltung vorgestellt und ist über die Internetseite des Projektes abrufbar. Zudem wurde der Film über die Kanäle der Öffentlichkeitsarbeit der Fraunhofer Gesellschaft bekannt gemacht.

Neben der Veröffentlichung innerhalb des Jahresberichtes 2020 des Fraunhofer IML wurde über die Projektergebnisse in einem Podcast-Beitrag zusammen mit dem Partner Night Star Express informiert.

Ort und Datum

Stempel, rechtsverbindliche Unterschrift