

Schlussbericht  
des Verbundvorhabens  
**LUFO V-3 DEPOT**  
**Digitale Entwicklung**  
**Produktion Logistik Transport**  
Förderkennzeichen: 20X1731A



Airbus Operations GmbH

Kreetslag 10

21129 Hamburg

Ansprechpartner: Oliver Döbertin

Tel.: 040 743 81118

Mail: [oliver.doebertin@airbus.com](mailto:oliver.doebertin@airbus.com)

---

**Schlussbericht des Verbundvorhabens**  
**„Digitale Entwicklung Produktion Logistik Transport (DEPOT)“**

ZE: Airbus Deutschland GmbH	Förderkennzeichen: 20K1503A
Vorhabensbezeichnung:	DEPOT - Digitale Entwicklung Produktion Logistik Transport
Laufzeit des Vorhabens:	01.01.2018 – 30.06.2021
Berichterstatter:	Helge Fromm (techn. Projektleiter) Oliver Döbertin (R&T Contract Manager)

Das diesem Schlussbericht zugrundeliegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) unter dem Förderkennzeichen 20K1503A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Berichterstatter. Die Form des Berichtes entspricht den Nebenbestimmungen auf Kostenbasis des Bundesministers für Wirtschaft und Energie an Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (NKBF98).

Wir danken unseren Forschungspartnern und insbesondere dem Projektträger für die vertrauensvolle Zusammenarbeit. Hervorheben möchten wir die stets angenehme und engagierte Kooperation der Verbundpartner.

---

O. Döbertin

R&T Contract Manager

---

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>KURZE DARSTELLUNG ZUR AUFGABENSTELLUNG .....</b>	<b>4</b>
1.1	GESAMTZIEL DES VORHABENS .....	4
1.2	BEZUG ZU DEN FÖRDERPOLITISCHEN ZIELEN DER LEITLINIE LUFTFAHRTFORSCHUNG .....	8
1.3	WISSENSCHAFTLICHE UND TECHNISCHE ARBEITZIELE DES VORHABENS .....	10
<b>2</b>	<b>KURZE DARSTELLUNG DER VORAUSSETZUNGEN, UNTER DENEN DAS VORHABEN DURCHGEFÜHRT WURDE .....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>KURZE DARSTELLUNG ZUR PLANUNG UND ZUM ABLAUF DES VORHABENS .....</b>	<b>14</b>
3.1	PROJEKTSTRUKTURPLAN .....	14
3.2	MEILENSTEINPLANUNG.....	15
<b>4</b>	<b>KURZE DARSTELLUNG DES WISSENSCHAFTLICHEN UND TECHNISCHEN STANDES, AN DEN ANGEKNÜPFT WURDE.....</b>	<b>17</b>
4.1	STAND DER WISSENSCHAFT UND TECHNIK.....	17
4.2	BISHERIGE ARBEITEN DES ANTRAGSTELLERS.....	18
<b>5</b>	<b>KURZE DARSTELLUNG ZUR ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN .....</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>EINGEHENDE DARSTELLUNG DER ERZIELTEN ERGEBNISSE.....</b>	<b>21</b>
6.1	HAUPTARBEITSPAKET HAP1 - DIGITALE PRODUKTENTWICKLUNG .....	21
6.2	HAUPTARBEITSPAKET HAP2 - LOGISTIK.....	21
6.3	HAUPTARBEITSPAKET HAP3 - ZULIEFERKETTE.....	32
6.4	HAUPTARBEITSPAKET HAP4 - DEMONSTRATION.....	51
<b>7</b>	<b>VERÖFFENTLICHUNGEN .....</b>	<b>63</b>
7.1	SONSTIGE VERÖFFENTLICHUNGEN .....	63
7.2	DIPLOMARBEITEN/STUDIENARBEITEN.....	63
7.3	ERFINDUNGSMELDUNGEN .....	63
	<b>ABBILDUNGS-/ TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>64</b>

# **1 Kurze Darstellung zur Aufgabenstellung**

## **1.1 Gesamtziel des Vorhabens**

Die Engineering-, Logistik- & Produktionsprozesse der Luftfahrtindustrie sind komplex und erfordern innovative Ansätze. Auf dem Weg zur Industrie 4.0 wandeln sich heutige lineare Wertschöpfungsketten zu dynamischen Wertschöpfungsnetzwerken mit automatisiertem Austausch von sensiblen Produktions- und Prozessdaten über Unternehmensgrenzen hinweg, um eine kosteneffiziente Produktion zu ermöglichen. Das Gesamtziel des Verbundes war es daher, aus Sicht der Logistik die gesamte Produktentstehung vom Design über die Produktion beim Lieferanten bis hin zur Fertigung beim Hersteller auf dem Weg der Digitalisierung zu begleiten. Dieses ermöglicht ein umfassendes Tracking & Tracing über die gesamte interne & externe Supply Chain.

Der hohe Vernetzungsgrad der Informationen & Prozesse erfordert in Zukunft, Prozesse und Wertschöpfung nicht mehr isoliert im Unternehmen, sondern vernetzt mit Lieferanten und Kunden zu betrachten. Bisher stand das eigene Unternehmen im Mittelpunkt der Prozesse und Optimierungen (Enterprise) und die Kommunikation mit externen Partnern fand bilateral und prozessspezifisch statt. In Zukunft wird das Netzwerk im Zentrum der Prozesse stehen, das sogenannte Inter-Enterprise. Somit werden die Kommunikation und die Prozesse unternehmensübergreifend erfolgen.

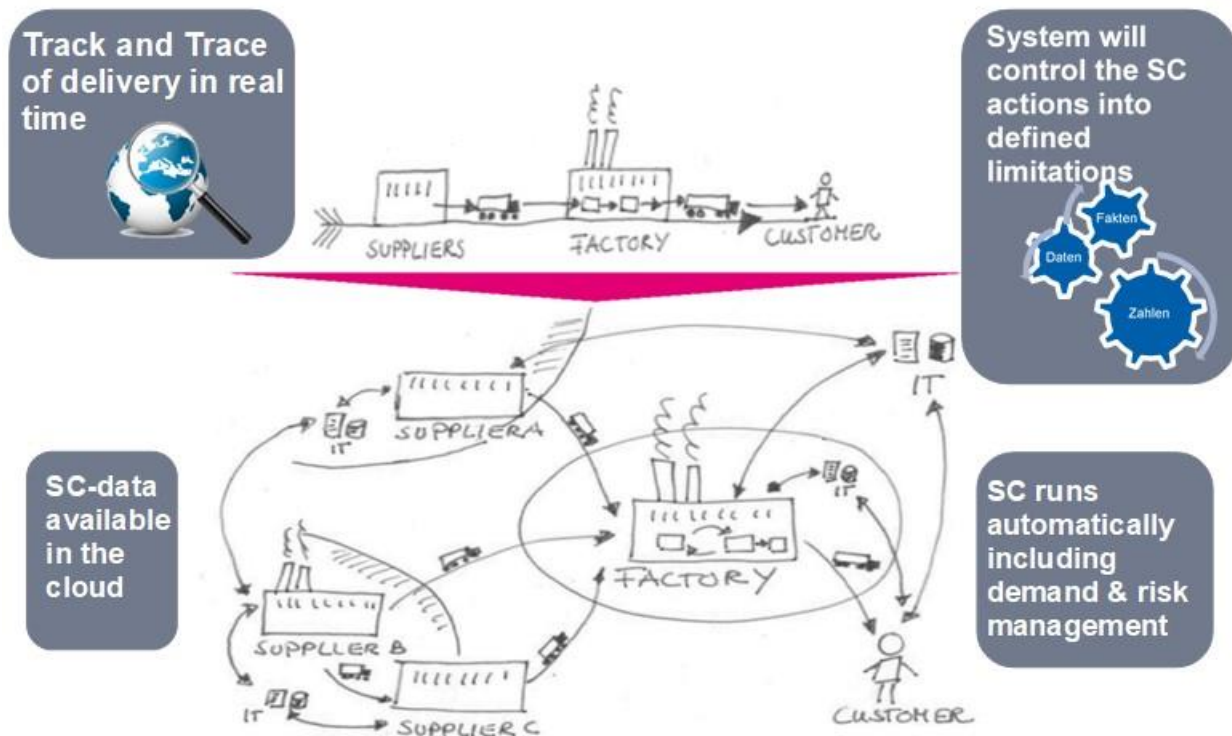


Abbildung 1: Ziele des Verbundprojekts DEPOT

Das Projekt DEPOT „Digitale Entwicklung, Produktion, Logistik und Transport im Rahmen der Luftfahrtindustrie 4.0“ forcierte die Optimierung der Wirtschaftlichkeit und Wertschöpfung der logistischen Prozesse durch die Integration von Automatisierungs- und Digitalisierungslösungen der Industrie 4.0. Entscheidend hierfür war die funktions- und unternehmensübergreifende Zusammenarbeit zwischen der Forschung, Produktion, Logistik und der Lieferkette.

Der Aufbau der Hauptarbeitspakete orientierte sich an der Lieferkette mit der Design- und Produktionsoptimierung beim Lieferanten (Hauptarbeitspaket HAP1) und dem darauffolgenden Transport vom Lieferanten über das Lager bis zum Einbauort am Flugzeug mit der Schnittstelle zur Produktion bei Airbus (Hauptarbeitspaket HAP2). Das Hauptarbeitspaket HAP3 bildete die übergreifende Klammer der Lieferkette und erforschte die selbstadaptive Steuerung der umfassenden Daten. Zwischen- und Endergebnisse wurden anhand definierter Anwendungsfälle unter anderem bei Airbus in der Fabrik der Zukunft getestet und im HAP4 dargestellt.

Ziel war es, mittels der Verbundarbeiten das Fehlteilrisiko zu minimieren und eine eigenständige, vernetzte Just-in-Time Anlieferung zu entwickeln und zu erproben, die weniger Lieferungsverzögerungen, eine höhere Transparenz und geringere Personalkosten mit sich bringt.

Im Rahmen des Vorhabens wurden die folgenden Themenfelder adressiert:

- Entwicklung einer automatisierten und standardisierten Fertigungsplanung.
- Entwicklung eines intelligenten Arbeitsplatzes, welcher benötigte Informationen zur Verfügung stellt und für transparentere Arbeitsabläufe sorgt.
- Entwicklung von Hard- und Softwarelösungen für die intelligente und effizientere Materialversorgung.
- Optimierung der Transparenz und Flexibilität in der Zustellung mittels der Integration intelligenter und modularer Ladungsträger.
- Entwicklung eines übergreifenden, selbstadaptiven Systems, welches die Transparenz der Prozesse abbildet und auf Störungen reagieren kann.

Dazu wurden in diesem Vorhaben gemeinsam mit den ausgewählten Verbundpartnern und Unterauftragnehmern folgende innovative Themen erarbeitet:

- HAP1 – Digitale Produktentstehung
- HAP2 – Logistik
- HAP3 – Zulieferkette
- HAP4 – Demonstration

Airbus hat den Verbund geführt und war an den Hauptarbeitspaketen 2,3 und 4 beteiligt.

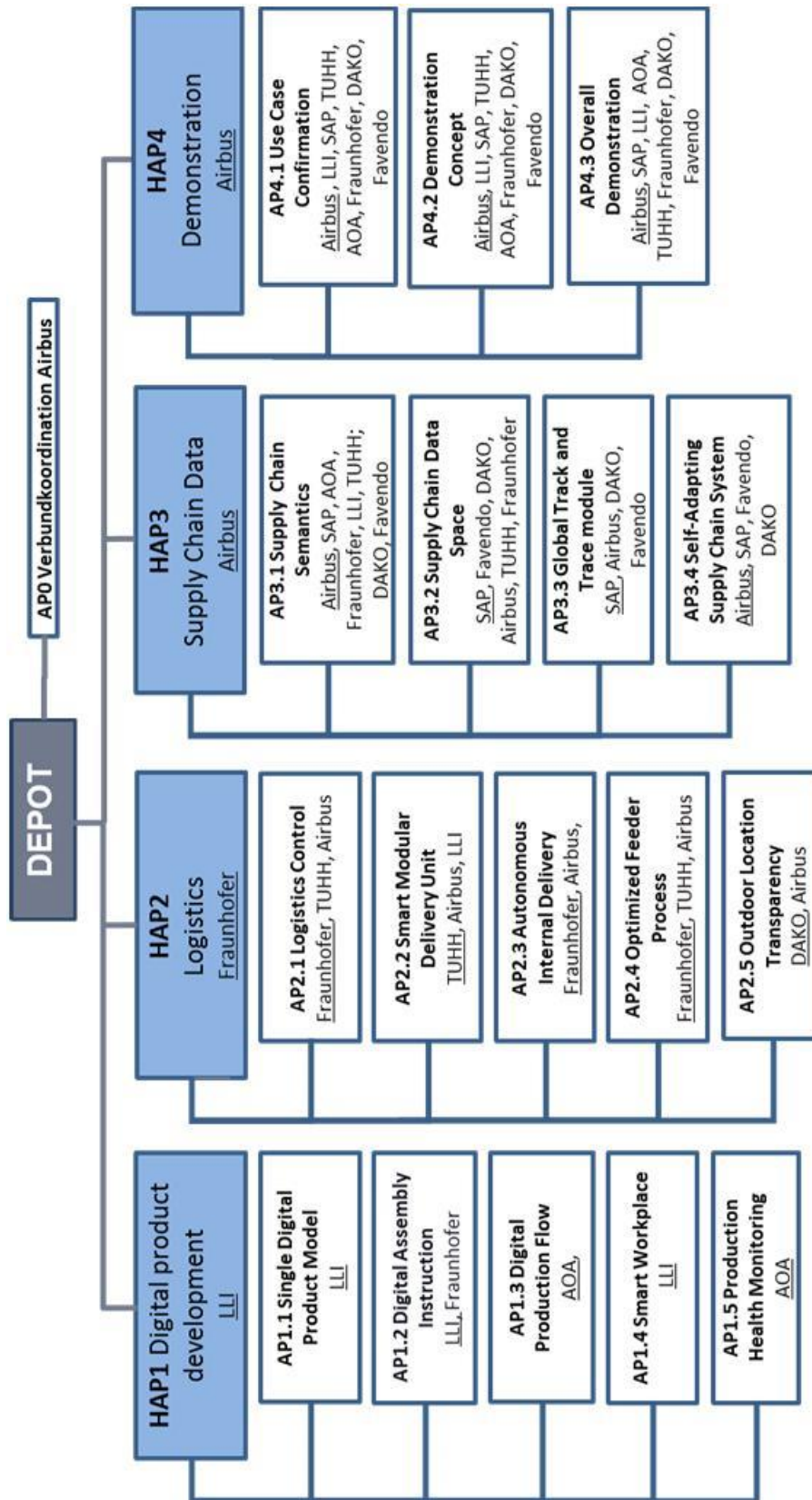


Abbildung 2: DEPOT Projektstruktur

---

## 1.2 Bezug zu den förderpolitischen Zielen der Leitlinie Luftfahrtforschung

Die Wachstumserwartungen im Luftverkehr waren bis zur COVID19 Pandemie ungebrochen positiv. Es wird erwartet, dass nach einer kurzen Erholungsphase der Passagierverkehr und der Transport von Luftfracht in den nächsten 20 Jahren weiter deutlich wachsen werden.

Diese signifikanten Wachstumsraten verlangen enorme Anstrengungen in der Forschung, Entwicklung, Produktion und Betreuung von Fluggeräten. Die Arbeitsgruppe Luftfahrtforschung hat in einem Evaluierungsprozess für einen mittelfristigen Zeitraum von bis zu 20 Jahren folgende nationale und globale Herausforderungen an die Akteure des Luftfahrtsystems prognostiziert: Verkehrswachstum, Umweltschonung, Passagierfreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit<sup>1</sup>. Diese Herausforderungen sowie die weitergehenden Ziele des Leitkonzeptes „Flightpath 2050“ und seiner Forschungs- und Innovationsagenda bildeten die Grundlage für den Leitsatz und die daraus resultierenden Handlungsfelder der „Luftfahrtstrategie der Bundesregierung“<sup>2</sup>, das Streben nach einer Vorreiterrolle für ein umweltfreundliches sowie leistungsfähiges, sicheres und passagierfreundliches Luftverkehrssystem.

Der Verbund DEPOT unterstützte das förderpolitische Ziel einer leistungsfähigen und effizienten Luftfahrt, da die Wertschöpfungskette – vom Design über die Produktion bis zur Kundenlieferung – auf die Herausforderungen und Chancen der digitalen Welt im Industrie 4.0 Kontext vorbereitet wird. Die Effizienzsteigerung und eine hohe Transparenz der Wertschöpfungsprozesse wurden durch eine enge Vernetzung zwischen Entwicklung, Produktion, Logistik und Zulieferkette ermöglicht. Die Kernziele dieses Verbunds entsprachen dem Bericht der Koordinatorin für die Deutsche Luft- und Raumfahrt, die feststellte, dass „eine starke, verlässliche und leistungsfähigere Zulieferkette (Supply Chain) eine der industriellen Top-Prioritäten in dieser Zeit ist“<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> Luftfahrt 2020 - Die deutsche Luftfahrtforschung, Partner im globalen Wettbewerb; Bericht der Arbeitsgruppe Luftfahrtforschung mit einer Empfehlung des Beirats Luftfahrtforschung, 2001

<sup>2</sup> „Die Luftfahrtstrategie der Bundesregierung“, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Berlin, 2013

<sup>4</sup> „Bericht der Koordinatorin Luft- und Raumfahrt“, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Berlin, März 2017



---

Das Ziel des Verbundprojektes LuFo V-3 DEPOT lag in der Optimierung der Wirtschaftlichkeit und Wertschöpfung von Logistikprozessen in der Luftfahrtindustrie. Dabei wurden insbesondere eine starke Einbindung der gesamten Zulieferungskette sowie die Integration von Automatisierungspotenzialen in der Produktion angestrebt. Das Projekt fokussierte damit auf das zweite Ziel „Gesamtsystemfähigkeit der deutschen Luftfahrtindustrie“ und das vierte Ziel „Internationale Angebots- und Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Zuliefererindustrie“.

Das Vorhaben zielte darauf ab, die Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Lieferkette durch Anbindung aller Partner an einen ‚Supply Chain Data Space‘ für die Abbildung des lieferantenübergreifenden Prozesses zu erhöhen. Dieser Supply Chain Data Space und die Software, die darauf zugreift, sollte für alle Partner die Transparenz im Prozess erhöhen und als Basis für automatisierte und selbst adaptierende Abläufe dienen. Damit bestand ein direkter Bezug zu den förderpolitischen Zielen zur vertikalen und horizontalen Integration der Digitalisierung in der Produktion. Insbesondere die angestrebte selbstadaptierende Funktionalität für den Umgang mit Störungen machte die Analyse großer Datenmengen erforderlich, wie sie in der Bekanntmachung als förderpolitischer Fokus benannt wird.

Durch die Zusammenarbeit im Forschungsverbund wurde die deutsche Kompetenz im Bereich automatisierter Logistikprozesse und Zuliefererintegration erweitert.

### **1.3 Wissenschaftliche und technische Arbeitsziele des Vorhabens**

Im Gegensatz zu den großen Stückzahlen hoch automatisierter Branchen bilden in der Luftfahrtindustrie geringere Stückzahlen und die vom Kunden vorausgesetzte, durch Individualisierung bedingte, hohe Variantenvielfalt andere Rahmenbedingungen. Bei der Optimierung der Produktion durch Automatisierung bestand die Herausforderung in der Anpassung der Systeme an die speziellen Anforderungen der Luftfahrtindustrie. Daher wurden für eine wirtschaftliche und effiziente Automatisierung intelligente und flexible Lösungen benötigt, welche durch den Einsatz aktueller und neuer Technologien entwickelt werden sollten.

Um die gesamte Produktentstehung vom Design über die Produktion beim Lieferanten bis hin zur Fertigung beim Hersteller auf dem Weg der Digitalisierung zu begleiten, war eine Abfolge entlang verschiedener Hauptarbeitspakete vorgesehen. Zuerst sollte das Produkt aus der Entwicklung digital in die Produktion mit einer automatisierten und standardisierten Fertigungsplanung weitergereicht werden, um dann über eine automatisch agierende und intelligente Lieferkette mit der internen Logistik des Herstellers ‚just in time‘ in die Fertigung des Herstellers an dem benötigten Orten übergeben zu werden. Es wurden hierfür intelligente Ladungsträger und Verpackungskonzepte für komplexe Bauteile sowie autonome Transportsysteme erarbeitet. Der voll integrierte Ansatz schließt weitestgehend Medienbrüche im Datenfluss zwischen Design und dem Shop Floor aus und sollte ständig prozessbezogene Daten verarbeiten und produktbezogene Informationen kontinuierlich den jeweiligen Produktionsschritten zur Verfügung stellen. Dadurch ist es möglich, Rückschlüsse auf den Status der Produktion zu ziehen und mit zunehmender Erfahrung durch das Sammeln von Daten, auch vorzeitige Rückschlüsse auf kommende Ereignisse zu treffen. Durch das konsequente Ansammeln und Analysieren von Lieferdaten sollte zudem das Fehlteilrisiko drastisch minimiert werden, um eine durchgehend laufende Produktion zu gewährleisten.

Ziel des Verbundes war außerdem, eine vernetzt ablaufende Just-in-Time Anlieferung zu entwickeln und zu erproben, die weniger Lieferungsverzögerungen, eine höhere Transparenz und geringere Personalkosten mit sich bringt. Dieses sollte durch die automatisch agierende und intelligente Lieferkette realisiert werden. Weiterhin sollten Risiken und damit einhergehende Nachfrageschwankungen durch ein selbst-anpassendes System erkannt werden und entsprechende Reaktionen eingeleitet werden. Der Austausch der Daten mit den Lieferanten sollte über einen sogenannten Supply Chain Data Space geschehen.

Mit exemplarischen Anwendungsfällen sollte die Entwicklung dieses Datenraums in einer Testfabrik im Zentrum für Angewandte Luftfahrtforschung ZAL untersucht werden.

---

### **Hauptarbeitspaket HAP1 - Digitale Produktentwicklung**

In diesem Hauptarbeitspaket wurde die Digitalisierung der Produktentstehungsprozesskette erarbeitet. Ziel war es, den Entwurf der Methodik anhand von Pilotprojekten zu bewerten und weiterzuentwickeln.

Weiterhin sollte die Flexibilisierung eines Systems zur Montageassistenz sowie die Vernetzung von Prüfständen zu einem intelligenten Produktionsnetzwerk und ein mechanisches Bearbeitungszentrum (CNC-Werkzeugmaschine) mit einer Zustandsüberwachung für eine bedarfsorientierte Instandhaltung erarbeitet und untersucht werden.

Dieses Arbeitspaket wurde durch Airbus nicht bearbeitet.

### **Hauptarbeitspaket HAP2 - Logistik**

Airbus hat im Hauptarbeitspaket HAP2 übergeordnet die Expertise als Flugzeughersteller eingebracht und begleitende, formale Technologiereifeprüfungen umgesetzt. In AP2.1 hat Airbus die Daten definiert, welche an und von dem übergeordneten Leitsystem übertragen werden. Im AP2.2 lieferte Airbus die Anforderungen an die modularen Bauteilträger, damit diese passende Anwendung in der zukünftigen Produktion finden können. Durch interne Schnittstellenkoordination und -absprachen wurden von Airbus in AP2.3 ebenfalls die Anforderungen aus Sicht des Flugzeugherstellers an die autonomen, mobilen Plattformen definiert. Airbus lieferte in AP2.4 sowohl Daten über den prozessualen Ablauf, als auch die Voraussetzungen zur Integration eines automatisierten Übergabeprozesses in der Produktion. Im AP2.5 hat Airbus interne Anforderungen zur Verfügung gestellt, die bei der Datenaufnahme für die Outdoor-Lokalisierung der Materialien erforderlich waren.

### **Hauptarbeitspaket HAP3 - Zulieferkette**

In diesem Arbeitspaket sollte in Kooperation mit den Partnern eine softwaretechnische Lösung entwickelt werden, welche die Transparenz der Materialien erhöht, eine engere Zusammenarbeit mit den Zulieferern und der internen Produktion vereinfacht und in Störfällen Lösungen zur Adaption entwickelt.

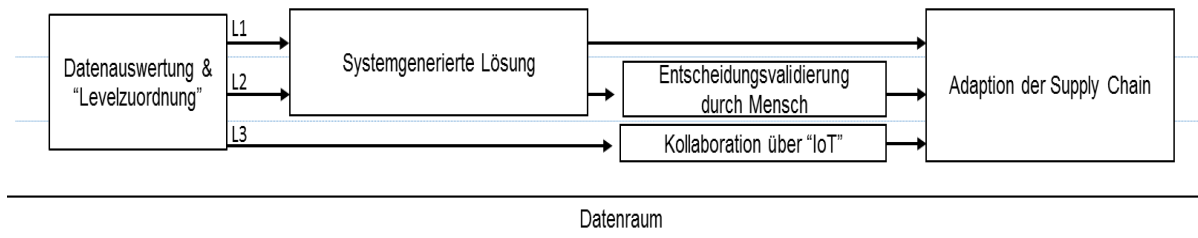


Abbildung 3: Prozessschaubild HAP3

Das Arbeitspaket 3.1 definierte hierbei die entsprechenden Prozesse, Daten und Schnittstellen. Die Aufgabe von Airbus bezog sich hierbei auf die Anforderungsdefinition, sowie der Akquise entsprechender Schnittstellen und Prozesse. Darauf aufbauend wurden von Airbus im AP3.2 die entsprechenden Schnittstellen für den Datenraum zur Verfügung gestellt, um einen übergreifenden Datenraum für das System zu ermöglichen. Im AP3.3 hat Airbus Anforderungen und benötigte Daten an das „Track and Trace“ Modul definiert.

### **Hauptarbeitspaket HAP4 - Demonstration**

Ziel dieses Hauptarbeitspakets war die Verbindung der vorhergehenden Arbeitspakete zu einem Demonstrator, sowie die Integration der Ergebnisse in reale Anwendungsfälle der Produktion. Das Arbeitspaket 4.1 diente hierbei der Detaillierung der Anwendungsfälle zwischen den Partnern. Das Arbeitspaket 4.2 schaffte die Grundlage zur Demonstration, in dem spezifische Anforderungen und Absprachen zwischen den Partnern getroffen wurden, um einen realen Demonstrator in AP4.3 zu ermöglichen.

## **2 Kurze Darstellung der Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde**

Die Forschungs- und Technologiethemen dieses Vorhabens waren Teil der strategischen, innerhalb des Airbus Konzerns abgestimmten R&T-Roadmap. Abhängig von den Projektinhalten, den innovativen und strategischen Partnern sowie den Umsetzungszeiträumen wurden sie für dieses Projekt zusammengestellt.

Die Federführung lag bei der Airbus Operations GmbH. Die Zusammenarbeit wurde in einer von allen Partnern unterzeichneten Kooperationsvereinbarung geregelt. Für die Durchführung des Vorhabens wurden die Verbundpartner entsprechend ihrer Aufgaben den Arbeitspunkten zugeordnet. Eine sinnvolle und termingerechte Bearbeitung der Aufgaben war jederzeit möglich.

### 3 Kurze Darstellung zur Planung und zum Ablauf des Vorhabens

#### 3.1 Projektstrukturplan

Entsprechend des Projektstrukturplans des Verbunds war das Projekt in vier Hauptarbeitspakete gegliedert. Das Arbeitspaket HAP4 diente der Validation im Verbund. Die ersten drei Hauptarbeitspakete umfassten die technische Erarbeitung der Ziele, wie sie in der Verbundbeschreibung dargestellt sind. Der Gesamtverbund und die zwei Hauptarbeitspakete HAP3 und HAP4 wurden von Airbus geführt. Außer in HAP1 war Airbus an allen Hauptarbeitspaketen beteiligt.

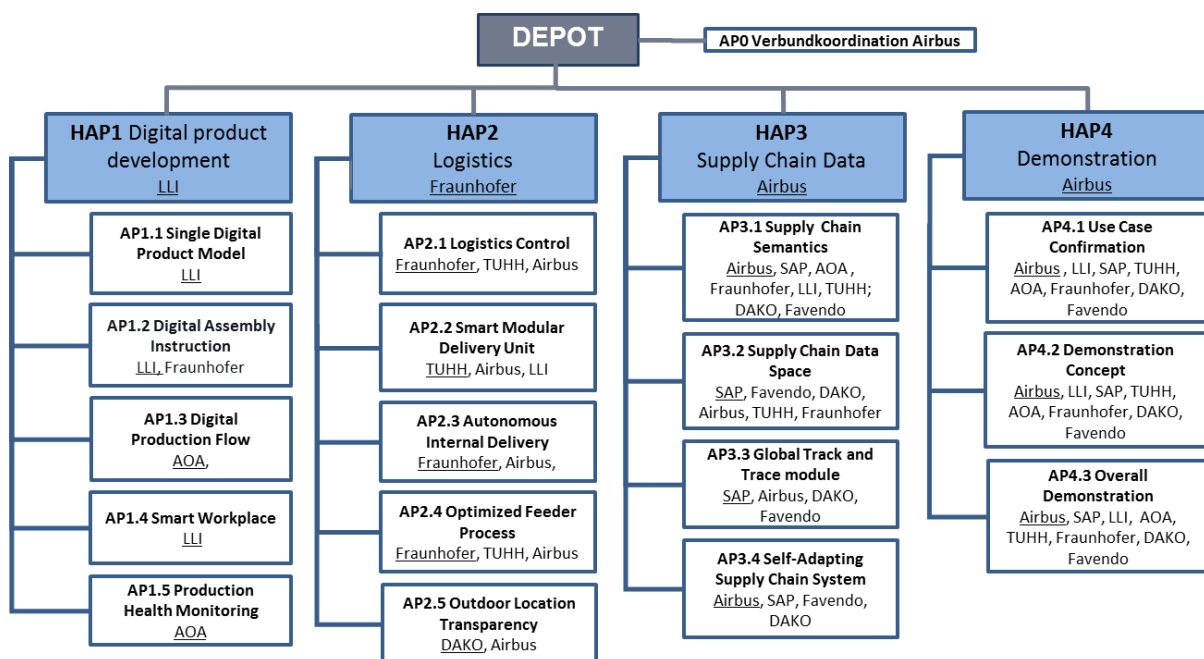


Abbildung 4: DEPOT Projektstruktur

In die einzelnen Arbeitspakete wurde die Projektleitung integriert. Sie umfasste sowohl die Koordination aller Arbeiten im Verbund, wie auch die detaillierte Kontrolle der fachlichen Teilprojekte bezüglich der fach-, termin-, kosten- und förderrichtliniengerechten Durchführung der Arbeiten.

### 3.2 Meilensteinplanung

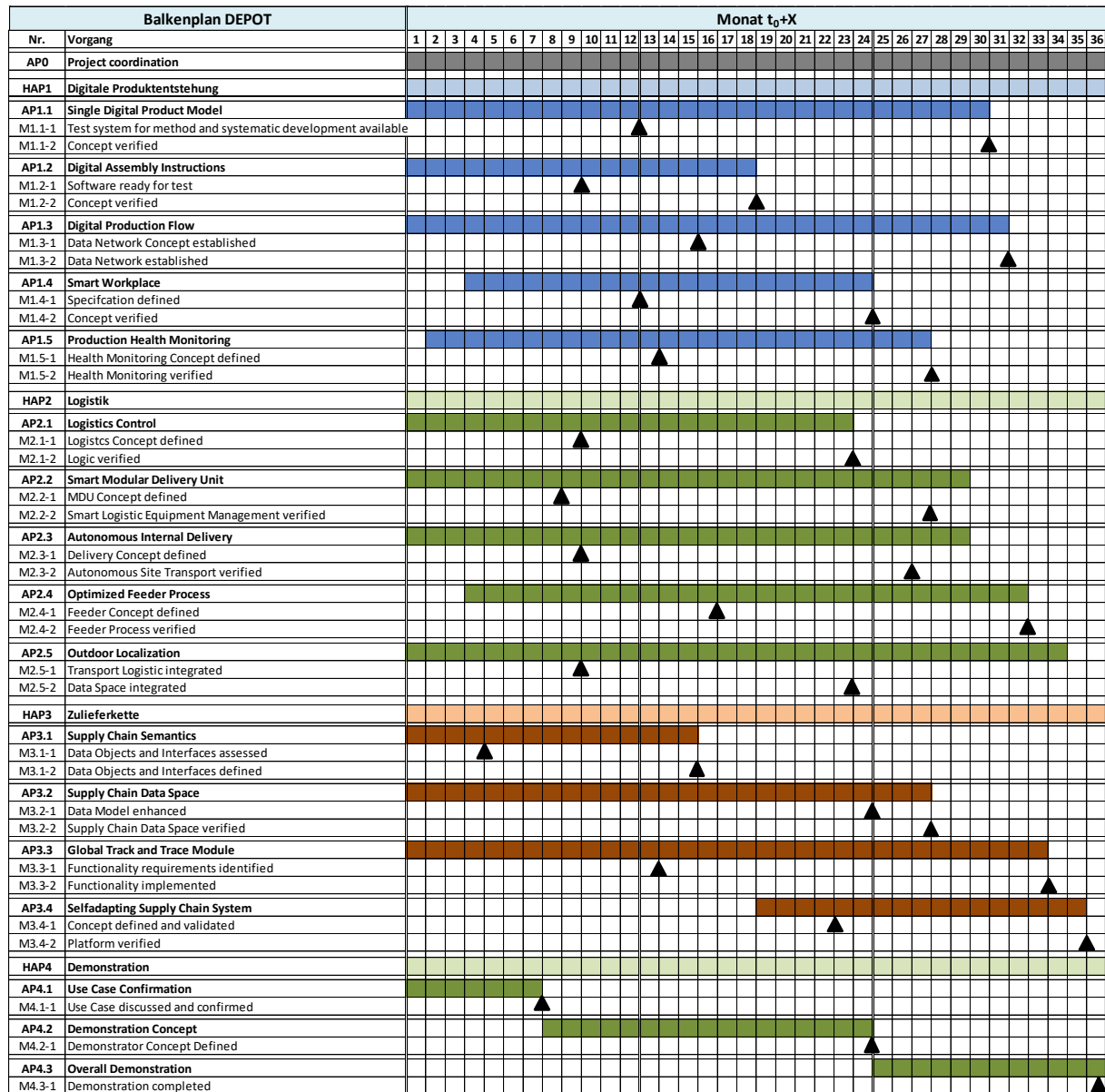


Abbildung 10: Meilensteinplan des Projekts DEPOT

Die Meilensteine der einzelnen Teilprojekte waren in Hinsicht auf eine aktive Ablaufplanung und -kontrolle definiert und wurden jeweils am Ende der einzelnen Phasen bezüglich der Ergebnisse geprüft.

Das Projekt startete 2018 mit einem vorzeitigen Maßnahmenbeginn. Innerhalb des ersten Berichtszeitraums (Januar 2018 - Dezember 2018) lag noch kein Zuwendungsbescheid vor. Auf Grund dieser Situation wurden einzelne Arbeitspakete (AP2.1, AP2.4) verzögert gestartet.

Bedingt durch die unvorhergesehenen Einschränkungen der COVID-19 Pandemie waren im Projektverlauf Verzögerungen eingetreten. Mit dem Ziel, die geplanten Ergebnisse sicherzustellen, wurde eine Projektverlängerung um 6 Monate beantragt.



## **4 Kurze Darstellung des wissenschaftlichen und technischen Standes, an den angeknüpft wurde**

### **4.1 Stand der Wissenschaft und Technik**

Die Zulieferindustrie der Flugzeughersteller ist geprägt durch eine hohe Individualisierung der Produkte und weist oftmals die Produktion einer Kleinserie auf, die größtenteils manuelle Montageprozesse beinhalten. Dem stehen hohe Anforderungen an die Dokumentation der Produkte und Produktentstehungsprozesse in der Entwicklung und Fertigung gegenüber. Eine hohe Individualisierung hat zur Folge, dass die Mitarbeiter über eine Vielzahl verschiedener Arbeitsschritte Kenntnis haben müssen. Bisher lagen jedoch eine Vielzahl von Arbeits- und Montageanweisungen ausschließlich in Papierform vor, was bei den individuellen Anforderungen zu einer unübersichtlichen Anzahl führte. Vereinzelt fand in der Produktion der Einsatz von Tablets zur Unterstützung der Mitarbeiter durch verschiedenen Zeichnungen und Dokumente statt. Eine durchgängige IT-Unterstützung und Interaktion des Arbeitsplatzes mit dem Mitarbeiter durch abgestimmte digitale Montageanweisungen und ergonomischen Optimierungen fehlte jedoch.

Die Digitalisierung der Supply Chain wird durch den Einsatz intelligenter und modularer Werkstückträger in dem Ziel nach mehr Transparenz, geringeren Logistikkosten und höherer Effizienz unterstützt. Forschungsbestrebungen, Ladungsträger mit „Intelligenz“ zu versehen, waren im Bereich der Logistik seit einiger Zeit besonders vor dem Hintergrund von Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge zu verzeichnen. So wurden im Projekt „smaRTI“ (Fraunhofer IML, 2010-2014) Ansätze für intelligente Materialflüsse untersucht, wobei auch intelligente Ladungsträger betrachtet wurden. Der Fokus lag hierbei jedoch auf der selbstständigen Planung durch das logistische Netzwerk für Konsumgüter. Im Projekt „smart WT“ (Fraunhofer IPA) waren ebenfalls intelligente Ladungsträger und die Möglichkeit zur aktorischen Unterstützung von Fertigungs- und Montageprozessen Untersuchungsgegenstand. Im Projekt „iSLT.NET“ (Gebhard Logistic Solutions, seit 02.2017) wurde an der Entwicklung intelligenter Sonderladungsträger gearbeitet. Das erste kommerziell erhältliche Produkt im Bereich intelligenter Behälter bietet nach eigenen Angaben die Firma Würth mit dem iBin an. In der Industrie weiter verbreitet waren Ladungsträger, welche mit RFID-Tags ausgestattet sind und somit auf Abruf gespeicherte Informationen bereitstellen oder beschrieben werden können. Oftmals lediglich zur Lokalisierung von Ladungsträgern und deren Bestandsmanagement genutzt, finden sich in der Automobilindustrie

weitergehende Ansätze. Hier werden zusätzlich Fertigungsinformationen, Bearbeitungsstatus, Qualitätsinformation und weitere Dokumentation auf RFID-Tags vorgehalten.

Auch zur Entwicklung modularer Ladungsträger wurden bisher Vorarbeiten in anderen Projekten geleistet. In der Ladungsträgermanagement Studie 2010 maßen 65 Prozent der Unternehmen Modularisierung das höchste Entwicklungspotential bei Ladungsträgern zu. Dies führte in den vergangenen Jahren zu verschiedenen Forschungsprojekten, um Ladungsträger durch die Bildung von Modulen konfigurierbar zu machen.

Darüber hinaus verwendet Airbus derzeit schon ein Art Kommunikationstool mit seinen Lieferanten, das sogenannte „AirSupply“. Diese Anwendung ist die derzeitige Kollaborationsplattform zwischen Airbus und seinen Zulieferern. Das Tool ermöglicht eine höhere Transparenz und Kontrolle bezüglich kritischer Prozesse in der Supply Chain. In dem Tool können unter anderem Purchase Order akzeptiert, der Austausch über den Wareneingang ausgetauscht und Termine abgestimmt werden. Damit beschränkt sich das Tool jedoch auf die Kollaboration bezüglich der Purchase Order. Eine Lokalisierung der Teile ist nicht möglich und Informationen aus anderen Funktionen, wie etwa der Produktion oder der Logistik werden nicht einbezogen.

## **4.2 Bisherige Arbeiten des Antragstellers**

Airbus hat in der Vergangenheit auf dem Gebiet der Logistik keine nationalen und europäischen Forschungsvorhaben bearbeitet. Erst durch Industrie 4.0 ist dieses Thema in den Vordergrund getreten. In dem Projekt LuFo V-2 FALURUM wurden erstmalig die Themen der Lieferkette und des autonomen Transports bearbeitet, die als Grundlage für das vorliegende Projekt gedient hat.

Erste Digitalisierungen und Integration der Zulieferer haben durch die Einführung der Kollaborationsplattform „AirSupply“ stattgefunden. Diese ermöglicht den Austausch über Purchase Order, Wareneingänge, Terminabstimmungen und weiteren Tätigkeiten.

Airbus hat sich in den vergangenen Jahren intern intensiv mit der Entwicklung der Lieferkette beschäftigt. Besonders zu nennen ist dabei die Airbus Initiative „Logistics Transformation Platform“ wobei die End-to-End Lieferkette unterstützt wird und zahlreiche Projekte zum Thema Digitalisierung in der Supply Chain gestartet wurden. Die Initiative betont unter anderem die Notwendigkeit der Lieferanten-Integration, über die Optimierung der Verpackungen und Warentransport bis zur Transparenz der Supply Chain bei dem Verbauort (engl. Point of Use) in der Produktion. Somit verfolgt Airbus mit dieser Initiative über längere Zeit die besondere Bedeutung einer optimierten Supply Chain im Rahmen der Ratenerhöhung (Ramp-Up) und ist in

der Lage an diese ersten Erfolge mit dem DEPOT Projekt an diese Ziele und die bisherige Erkenntnisse anknüpfen.

Darüber hinaus hat AIRBUS eine Projektinitiative „Quantum“ gestartet, dessen Teilprojekt Quantum 2.4 sich in erster Linie mit der Beurteilung und Vereinheitlichung der Lieferantenperformance sowie der Optimierung der Bestellprozesse befasste. Dieses sind zwei weitere elementare Bausteine zur Schaffung einer vollen Transparenz der Lieferkette und zur Vereinheitlichung der Informationsströme.

## **5 Kurze Darstellung zur Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Die nachfolgenden Übersichten stellen die Verbundpartner des Verbundvorhabens LUFO V-3 DEPOT sowie alle Unterauftragnehmer dar, die von der Airbus Deutschland GmbH beauftragt wurden.

### **Verbundpartner**

- Liebherr-Aerospace, Forschung und Technologie
- SAP, Innovation Center Network, Research Innovation
- Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF
- Technische Universität Hamburg, Institute für Flugzeug-Produktionstechnik und Technische Logistik
- Apparatebau Gauting GmbH (AOA)
- DAKO GmbH
- Favendo GmbH

## **6 Eingehende Darstellung der erzielten Ergebnisse**

### **6.1 Hauptarbeitspaket HAP1 - Digitale Produktentwicklung**

Dieses Arbeitspaket wurde durch Airbus nicht bearbeitet.

### **6.2 Hauptarbeitspaket HAP2 - Logistik**

#### **Materialflussüberwachung**

Die Produktion von Flugzeugen erfolgt überwiegend durch manuelle Fertigungsprozesse. Das hat zur Folge, dass dabei nur sehr wenige Produktionsdaten anfallen, die beispielsweise für eine automatische Baufortschritts- oder Materialflussüberwachung genutzt werden können.

Vor diesem Hintergrund hat Airbus im AP2.1 gemeinsam mit dem Start-Up Unternehmen Synergeticon einen neuen kameragestützten Ansatz - die StationCam - entwickelt, der den Flugzeugbauplatz aus verschiedenen Perspektiven (Abbildung 5) aufnimmt und relevante Fertigungsereignisse erkennt und dokumentiert (Abbildung 6), wie z.B. die Montage des Seitenleitwerks (VTP) oder die Anlieferung von Bauteilen (MDU).

Die Kameras erkennen die Fertigungsmittel, die Ladungsträger sowie Bauteile. Die dahinterliegenden Algorithmen leiten daraus den entsprechenden Produktionsfortschritt ab. Ausgegeben wird eine Datentabelle, die Ereignisse auflistet wie „MDU xy wurde um x Uhr angeliefert, Material wurde um x Uhr entnommen“. Dies geschieht durch das Erkennen von Ereignissen mit Hilfe der Algorithmen und die dreidimensionale Bewegungserfassung der erkannten Objekte sowie die Generierung von Trainingsmodellen zur Erkennung und Klassifizierung verschiedener Fertigungsmittel, Ladungsträger und Bauteile.

Die erkannten Ereignisse werden in Echtzeit mit den Plandaten verglichen und machen somit eine Abweichung vom Produktionsplan sichtbar. So werden mit Hilfe der Kameras rechtzeitig Störungen erkannt, um schneller Gegenmaßnahmen zur Beseitigung einleiten zu können. Zudem werden die Materialflüsse transparent und der Produktionsstatus automatisch sowie in Echtzeit sichtbar gemacht.

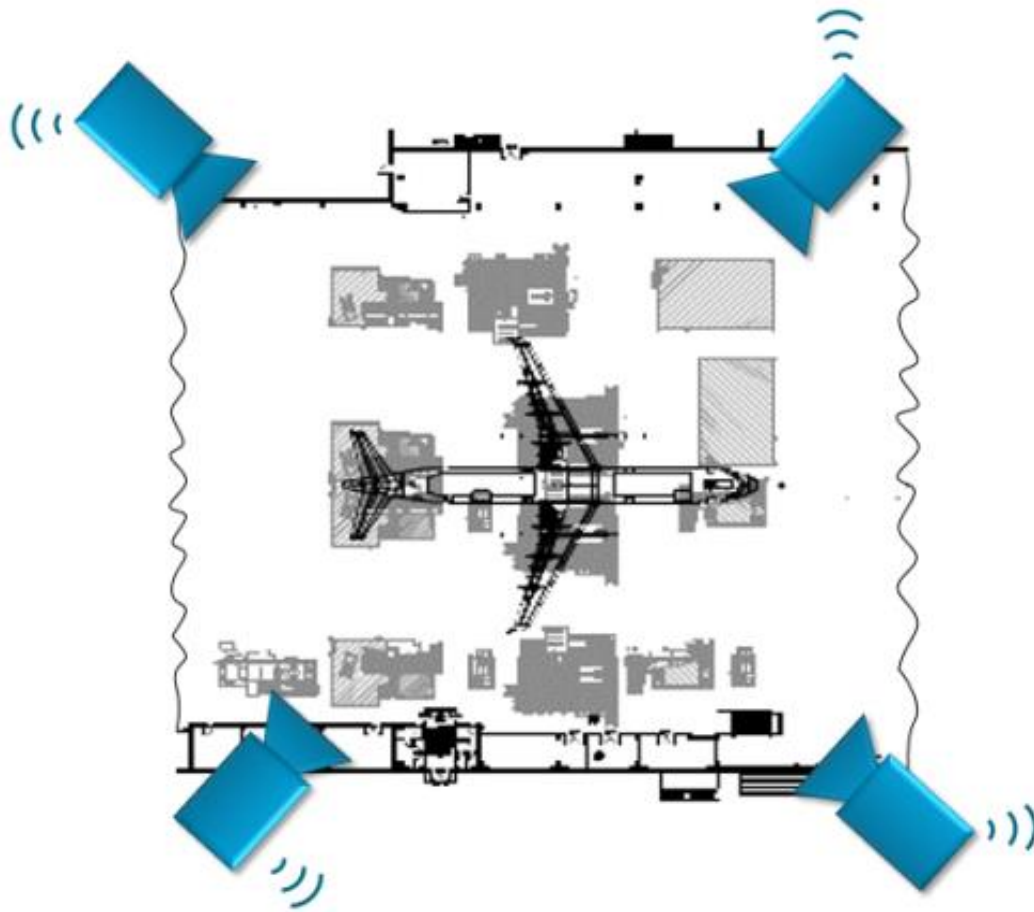


Abbildung 5: Kamerapositionierung am Flugzeugbauplatz

Zeit	Objekt	Ereignis
04.05.2019 09:20	MDU#23	Geliefert (an...)
04.05.2019 09:50	MDU#23	Bewegt (zu...)
04.05.2019 10:15	MDU#23	Entladen
04.05.2019 11:23	MDU#23	Abgeholt
04.05.2019 13:18	VTP	Geliefert (an...)
04.05.2019 14:58	VTP	Gehoben per Krahn
04.05.2019 16:51	VTP	Installiert

Abbildung 6: Beispielhafte Ereignistabelle

Da das Kamerasystem auf maschinellem Lernen basiert, wurden zunächst im Rahmen einer Anlernphase Kamerabilder gespeichert und verarbeitet. Hierbei mussten jedoch Datenschutz

---

und Persönlichkeitsrechte gewahrt und arbeitende Personen unkenntlich gemacht werden. Es wurde eng mit dem Airbus Betriebsrat zusammengearbeitet, eine Datenschutz-Folgeabschätzung durchgeführt und gemeinsame betriebliche Vereinbarungen getroffen. So wurde ein Algorithmus entwickelt, der Personen automatisch erkennt und diese anonymisiert bzw. unsichtbar macht (s. Abbildung 7). Die Kameras überwachen demnach keine Personen und nehmen keinen Ton auf. Im Anwendungsfall bzw. nach Abschluss der Anlernphase dient lediglich die Ereignistabelle als Ausgabe. Kamerabilder werden dann nicht übertragen und nicht gespeichert.

*Abbildung 7: StationCam-Testaufnahmen im Zentrum für Angewandte Luftfahrtforschung*

Nachdem das Kamerasystem im Zentrum für Angewandte Luftfahrtforschung erarbeitet wurde, erfolgte eine technische Implementierung der StationCam im realen Produktionsumfeld. Im Rahmen von Live-Demonstrationen auf dem Airbus-Werkgelände wurde das System zudem von verschiedenen Mitarbeitergruppen getestet. Anschließend wurden vier WLAN-fähige IP-Kameras an einem ausgewählten Bauplatz in der Endmontag am Standort Hamburg installiert und eine Pilotphase des Systems in der Produktion durchgeführt.

### **Ladungsträger**

Zu Beginn des Projekts wurden im Arbeitspaket AP2.2 Smart Modular Delivery Unit in Zusammenarbeit mit den beteiligten Partnern die Situation der Ladungsträger bei Airbus erfasst. Diese zeigte, dass eine Vielzahl von Ladungsträgern existierte. Der Einsatz variierte je nach Nutzung und Einsatzort. Die Ladungsträger verfügten über keinerlei Sensorik oder Aktorik zur Erfassung und Kommunikation von Materialinformationen.

Als Anwendungsfall für die intelligente Ausstattung wurden die Konstruktionsinformationen und die Anforderungen der Material Distribution Unit (MDU) des Ventilationssystem-Mischers ausgewählt, um das Sensorik Konzept an dem Ladungsträger zu testen. Hierbei wurde in enger Zusammenarbeit mit der Produktion gearbeitet, um die besonderen täglichen Herausforderungen der Airbus Produktion einfließen zu lassen.

Für die Konzeptionierung einer modularen MDU wurden mit verschiedenen Airbus-Schnittstellen Interviews geführt. Im Fokus waren sowohl der Hydraulikwagen, als auch der Rohrladungsträger. Der bisherige Hydraulikwagen war beispielsweise oftmals nur zur Hälfte beladen. Um dies zu verhindern, bot sich ein modularer Ansatz als effiziente Lösung an.

Weiterhin wurde der Rücktransport der leeren Ladungsträger nach der Entnahme des Bauteils aus der Produktion zurück zum Lager bzw. aus dem Lager zurück zum Lieferanten betrachtet. Diese meist großen Ladungsträger ließen sich weder stapeln noch zusammenklappen, so dass immer viel ungenutzte Transportkapazität bewegt wurde.

Im nächsten Schritt wurde zusammen mit den Verbundpartnern ein sinnvoller Anwendungsfall erarbeitet.

Nach detaillierterer Analyse der derzeitigen Ladungsträger, wurde der „Wanzl-Wagen“ ausgewählt. Dieser Ladungsträger wird in jeder Airbus-Halle verwendet. Wie in Abbildung 8 zu sehen, bietet der oftmals ungenutzte Leerraum in den Fächern vielfältige Möglichkeiten zur Optimierung durch eine modulare Lösung.



*Abbildung 8: Heutiger Wanzl-Wagen*

Als Grundlage für diesen Anwendungsfall wurde ein Konzept für einen modularen Ladungsträger des „Wanzl-Wagens“ erarbeitet, in 3D modelliert und als Validationsmuster aufgebaut. Anschließend wurde die technische Machbarkeit untersucht und nachgewiesen.



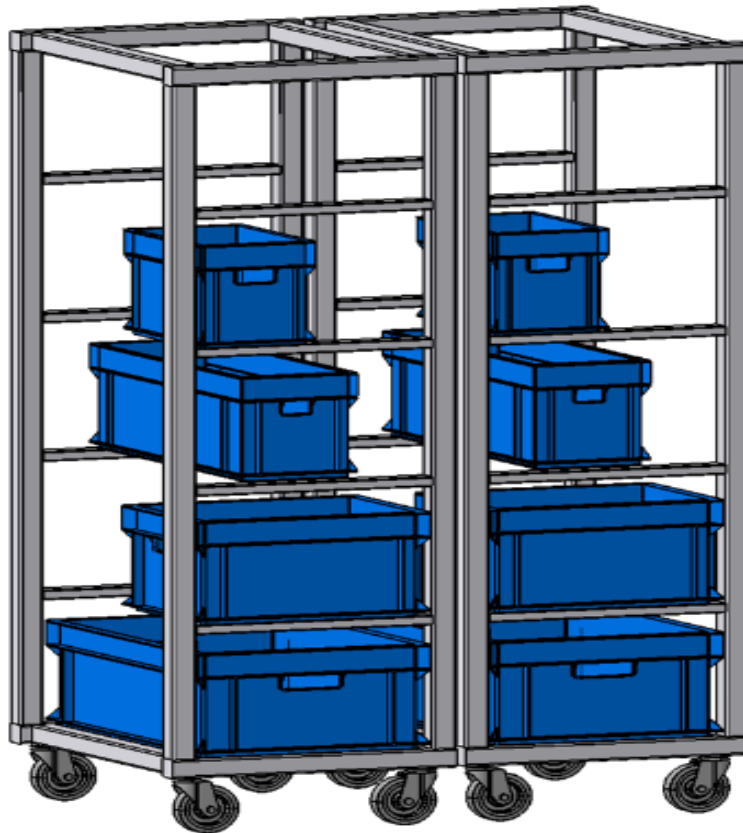


Abbildung 9: 3D Modell modularer Wanzl-Wagen

Für die Entwicklung der Bauteilerkennung wurden reale Flugzeugteile ausgewählt und für die Testuntersuchungen bereitgestellt.

### **Automated Guided Vehicle (AGV) Transport**

Im Arbeitspaket AP2.3 wurden zunächst die Produktionsumgebungen analysiert und verschiedene potentielle Einsatzmöglichkeiten für die führerlosen Transportsysteme betrachtet. Die bestehenden Ladungsträger wurden hinsichtlich ihres Potenzials zum AGV Transport (Maße, Gewicht, etc.) und der wirtschaftlichen Relevanz eines automatisierten Transports bewertet. Es stellte sich dabei heraus, dass die Integration eines AGVs für einen speziellen Sonderladungsträger (Menge = 3) wirtschaftlich uninteressant ist. Daher erfolgten eine Begehung mehrerer Produktionshallen bei Airbus und die Entscheidung, auch für dieses Arbeitspaket den „Wanzl-Wagen“ als geeigneten Ladungsträger zu nutzen. Somit ließen sich auch zusätzliche Synergien zwischen AP2.2 und AP2.3 identifizieren.

Bezüglich der vorgesehenen Anwendung wurden im nächsten Schritt die verfügbaren AGVs analysiert. Das Ergebnis war, dass keine der heute vorhandenen Lösungen auf dem Markt die Anforderungen des gewählten Anwendungsfalls sinnvoll erfüllt.

Parallel wurden bei Airbus zwei AGVs der Firma Knapp getestet. Einerseits, um Erfahrungen im Umgang mit AGVs im Produktions-/ Logistikumfeld zu machen und die Facharbeitenden an den Einsatz dieser Technologie heran zu führen und andererseits, um die technische Machbarkeit für den Anwendungsfall zu testen.



Abbildung 10: Test AGVs bei Airbus

Im Bereich der kleinen Ladungsträger, wie Boxen, waren die Ergebnisse vielversprechend.

Es wurden weiterhin Sicherheitskonzepte mit der Arbeitssicherheit erarbeitet und ergänzende Anwendungsfälle in der realen Produktionsumgebung definiert.



Abbildung 11: Sensornachrüstung am Open Shuttle 50

Aufbauend auf den Ergebnissen in der Produktion wurde der Shuttle um einen zusätzlichen Sensor nachgerüstet (Abbildung 12). Dies erweiterte den Sichtbereich des AGVs und somit die Sicherheit gegenüber Kollisionen (Abbildung 12).

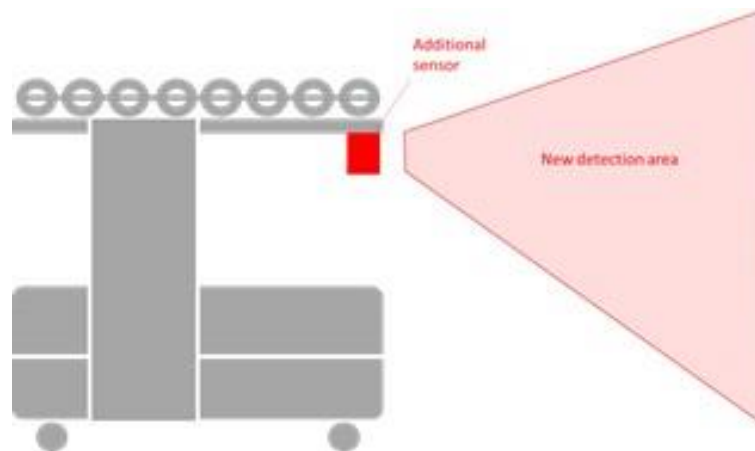


Abbildung 12: Konzept der Sensormodifikation

Weiterhin wurden Tests mit dem Open Shuttle Forklift durchgeführt. Dieser Shuttle ist in der Lage, Paletten oder größere Ladungsträger, wie einen „Wanzl-Wagen“, zu transportieren. Auch hier ergaben die Tests, dass die technischen Möglichkeiten auf dem Markt bezüglich der Arbeitssicherheit und der Produktionsgegebenheiten nicht ausreichend waren.



Abbildung 13: Open Shuttle Forklift im ZAL

Die besondere Herausforderung für den Einsatz von Flurförderfahrzeugen ist die Integration eines Liftes für den Transport über verschiedenen Ebenen hinweg. Dazu wurde in der Strukturmontage von Airbus ein weiterer Versuch aufgebaut.

Die Testumgebung erfordert die Notwendigkeit der Maschine-zu-Maschine (M2M) Kommunikation, um einen Ebenen-übergreifenden Transport sicherzustellen. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Testaufbau zur Aufnahme der vormontierten Bauteile.



*Abbildung 14: Testaufbau Materialübergabe Quelle*

In diesem Rahmen konnte gleichzeitig die automatisierte Materialflusssteuerung, beginnend von der automatischen Erkennung der Materialsteuerung über die Kommunikation mit dem Aufzug bis zum automatisierten Rücktransport leerer Ladungsträger erarbeitet werden.

### **Optimierte Materialzuführung**

Für das Arbeitspaket AP2.4 „optimierte Materialzuführung“, wurden die Anforderungen definiert. Die Vision war, dass die einzubauenden Komponenten zukünftig bis auf Armlänge automatisiert zugeführt werden sollen. Dazu wurden diverse Testaufbauten sowohl in der Laborumgebung im Zentrum für Angewandte Luftfahrtforschung (ZAL) als auch im produktiven Umfeld der Airbus Produktion installiert und die Materialzuführung untersucht. Die Herausforderung war, dass die direkte Nähe der AGVs zu den Facharbeitenden bezüglich der Sicherheitsanforderungen sehr anspruchsvoll ist.

Die abschließende Bewertung zeigte, dass die automatisierte Anlieferung auf Armeslänge („Anreicherung“) im Umfeld der Flugzeugproduktion nicht sinnvoll realisierbar ist. Die Fahrt in die Rumpftonne ist nicht überall möglich, der Platz an den Bauplätzen ist sehr begrenzt und die

die hohen Sicherheits- und Qualitätsanforderungen sowie der unverhältnismäßig hohe monetäre Aufwand im Vergleich zum Nutzen erzeugen hohe Hürden. Daher wurden die Arbeiten im AP2.4 auf den automatisierten Transport zu definierten „Bahnhöfen“ nahe des Einsatzortes des Facharbeitenden konzentriert. Der Fokus wurde dabei auf die bedarfsorientierte Reihenfolge der Anlieferung (Just in Sequenz), die Optimierung der Transportrouten und die Unterstützung der Materialentnahme durch Lichteffekte (Pick by Light) am Bauplatz gelegt. Als Resümee werden die Wege und damit die nichtwertschöpfenden Zeiten für den Facharbeitenden reduziert und optimiert, jedoch nicht eliminiert.

Airbus hat für die Umsetzung der Anwendungsfälle die Arbeitsumgebungen sowie Personal und Material bereitgestellt. Weiterhin wurden die Durchführung der Versuche und ihre Bewertung unterstützt.

### **Anwendungsfälle**

In dem Arbeitspaket 2.5 wurden die Anwendungsfälle erarbeitet. Gemeinsam haben sich die Partner auf die Untersuchung der Power Control Unit und das Fahrwerk von Liebherr sowie dem Lüfter von Diehl Aviation geeinigt. Für die entsprechenden Anwendungsfälle wurden die Prozesswege analysiert. Erstes Ergebnis des Arbeitspakets war die Ausstattung der Testfälle mit Outdoor-Trackern. Hierfür wurden die Konzepte zur Anbringung der Tracker entworfen und entsprechende Schnittstellen auf dem Prozessweg Lieferant/ Materialwirtschaftszentrum/ Produktion Airbus definiert.

Für die Anwendungsfälle wurden Trackingdaten aufgenommen (Abbildung 15). Hierbei ließen sich bereits Erkenntnisse über die Anforderungen bezüglich der Aktualisierungsfenster, der Lokalisierungsgenauigkeit, der zu trackenden Informationen wie beispielsweise Erschütterungen etc. von Airbus und den Lieferanten sammeln.

Die Erhebung großer Datenmengen ließ sich jedoch durch den hohen manuellen Aufwand bei der Anbringung der Tracker beim Lieferanten und das spätere Einsammeln bei Airbus nicht erfolgreich umsetzen.

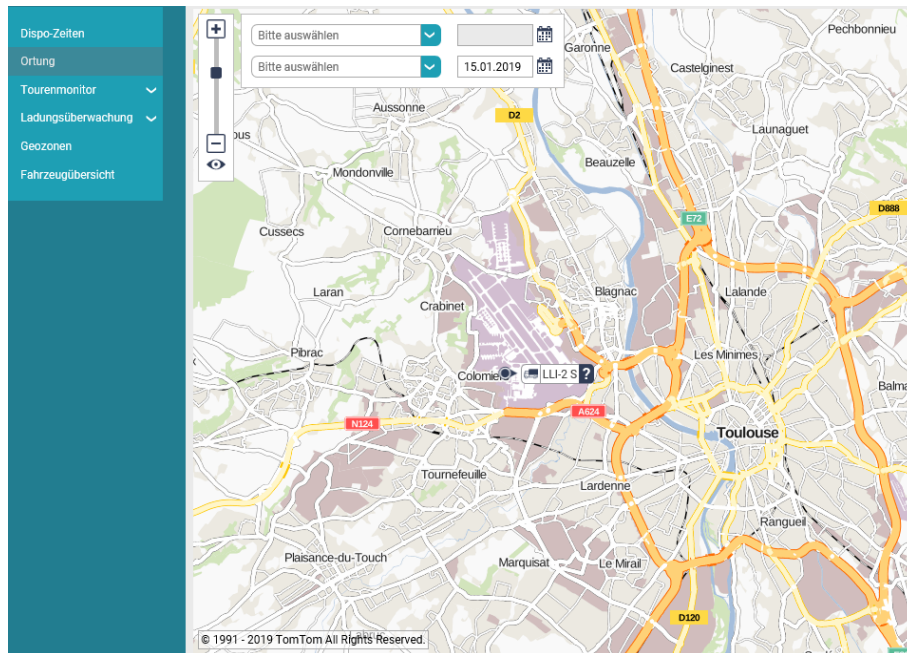


Abbildung 15: Auszug Outdoor-Tracking Fahrwerk

Nach den ersten Tests wurden die Daten in reduziertem Umfang weiterverfolgt. Gleichzeitig wurde der Fokus auf die systemtechnische Integration und Schnittstellenrealisierung zur SAP gelegt. Weiterhin wurde die Integration der Daten in den Validationsprozess im ZAL umgesetzt (siehe AP4).

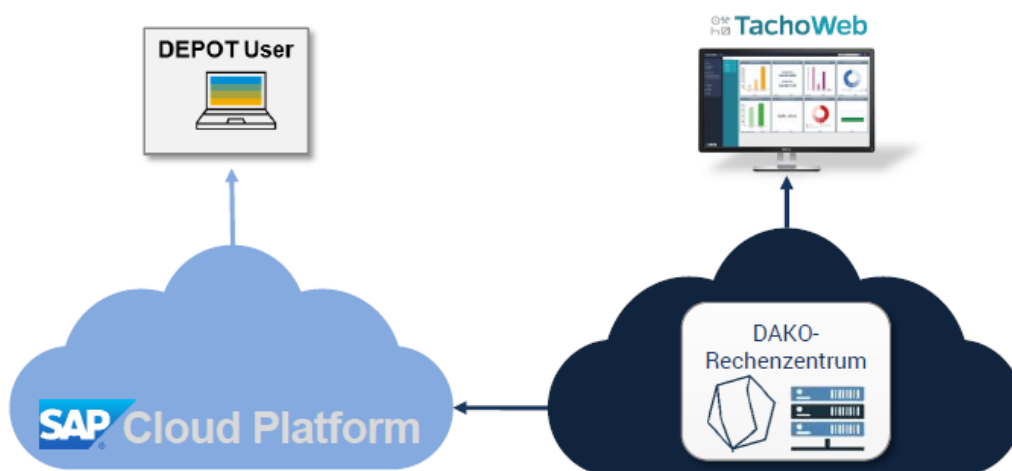


Abbildung 16: Architektur der Schnittstellen SAP cloud – DAKO

Für die Realisierung der Logistik-Schnittstellen wurden die Anforderungen detailliert und die Integration in die bisher geschaffenen Logistik-Strukturen definiert. Die interne IT-Anbindung wurde im Rahmen des HAP3 durchgeführt.

Bedingt durch die Einschränkungen der COVID-19 Pandemie konzentrierten sich die weiterführenden Arbeiten auf die Anbindung der Zulieferkette und ihre IT-technische Umsetzung.

## **6.3 Hauptarbeitspaket HAP3 - Zulieferkette**

### **Prozessanalyse**

In dem Arbeitspaket 3.1 erfolgte eine umfangreiche Prozessanalyse für die ausgewählten Anwendungsfälle. Dabei wurden die Schnittstellen entlang der Prozesskette vom Warenausgang, über die Kommissionierung im Warenwirtschaftszentrum bis zum Point-of-Use bei Airbus untersucht. Bei der Analyse der Prozesse zeigten sich die größten Herausforderungen bezüglich der großen Prozessvarianz je nach Materialart. Die Beschränkung auf ausgewählte Anwendungsfälle war daher essentiell, um Objekte und Schnittstellen zu erfassen.

Aufbauend auf den Prozessen wurden während verschiedener Workshops die Objekte und Events für die nachfolgende Programmierung der Software erfasst.

Neben der theoretischen Prozesserfassung haben sich die Projektpartner auch mit der technologischen Umsetzung auseinandergesetzt. Hierbei wurden die Schnittstellen aus dem AP2.3 Autonomous Internal Delivery und dem AP2.5 Outdoor Lokalisation betrachtet. Außerdem sollen einige Prozessabschnitte, wie der Warenausgang beim Lieferanten, als auch die Lieferwege in den Werkshallen bei Airbus mittels Indoor-Lösungen abgedeckt werden.

Hierfür hatte Airbus und favendo einen Anwendungsfall zur Lokalisierung des Materials nach der Warenannahme in der Halle bis zum Einbauort definiert. Zusammen mit der Produktion wurden die Anwendungsfälle Mixer Unit, Standard-Kleinladungsträger und Flügelnotrutschen als relevante Testszenarien festgelegt und Wege aufgenommen.



### Vorläufiger Systemaufbau / Anbringung der Gateways im Mittellager H.14

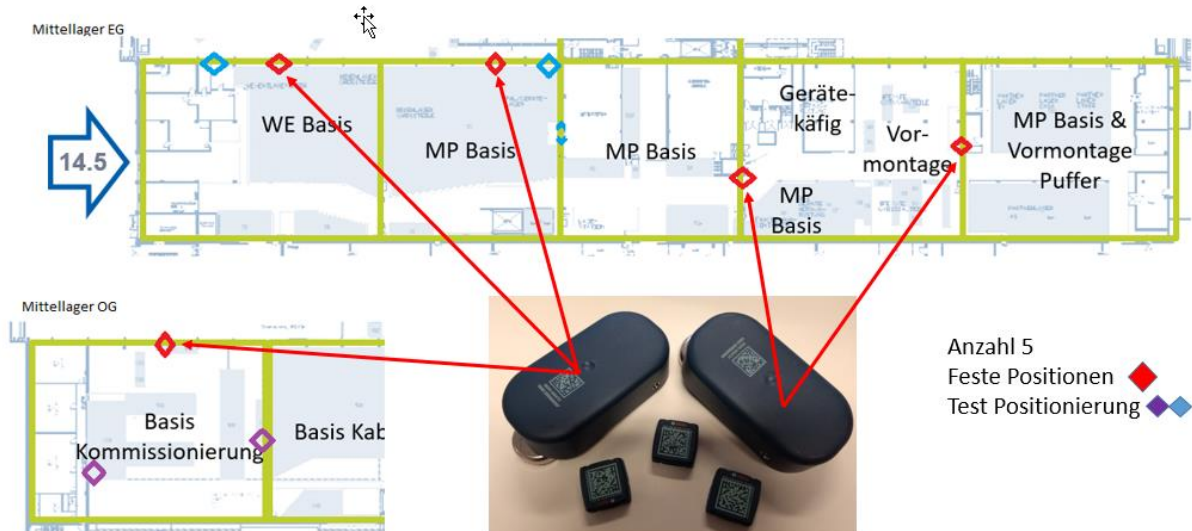


Abbildung 17: Systemaufbau Indoor-Lokalisierung Airbus

Die Bluetooth Low Energy (BLE) Technologie wurde in den Testaufbauten erprobt. Parallel wurden die Schnittstellen zum Data Space aus technologischer Sicht definiert und relevante Technologien, wie das Indoor-Lokalisierungssystem, in das System integriert. Die Anforderungen aus der Airbus Flugzeugproduktion an das System wurden mit den Partnern abgestimmt. Weiterhin wurden die Anforderungen an das Format und den Inhalt der Informationen beschrieben, die im Global-Track-and-Trace-Modul sichtbar sein sollten. Die Ergebnisse aus dem dafür organisierten Hackaton wurden auf dem „Factory of the Future Sprint Review“ vor den Airbus Programmen im Zentrum für Angewandte Luftfahrtforschung ZAL in Hamburg präsentiert.

### Architektur Konzept

Die Untersuchung der Anwendungsfälle und der Prozessanalyse (AP 3.1) konnten erfolgreich abgeschlossen werden. Für das Projekt wurde ein Architektur Konzept entwickelt und die Integration der Technologien erarbeitet. Im Laufe eines Hackathons wurden die Technologien von favendo, DAKO und die AGV Daten in das System integriert. Das Konzept wird näher in AP4 erläutert.

Die erarbeiteten Events, Objekte etc., die anhand der Anwendungsfälle „Fahrwerk“ und „Lüfter“ erarbeitet wurden, wurden in das Global Track-and-Trace (GTT) Modul überführt. Für die

einzelnen Prozessschritte von Purchase Order (PO) Übergabe an den Zulieferer bis zum Einbau der Flugzeugkomponente in der Produktion wurden die benötigten Felder, Informationen, wie „ID“, „PO“, „Item“, „Target-Date“ etc. integriert (Abbildung 18).

Anschließend wurden anhand des Validationsprozesses im Zentrum für Angewandte Luftfahrtforschung konstant Prozessdaten gesammelt, um hieraus weitere Ergebnisse und Weiterentwicklungsmöglichkeiten zu erarbeiten. Ziel war, eine ausreichende Datenmenge aufzubauen, um die Datenverarbeitung und den Algorithmus bezüglich der Mitigation der Störfälle und der Selbstadaptation des Systems umsetzen zu können.

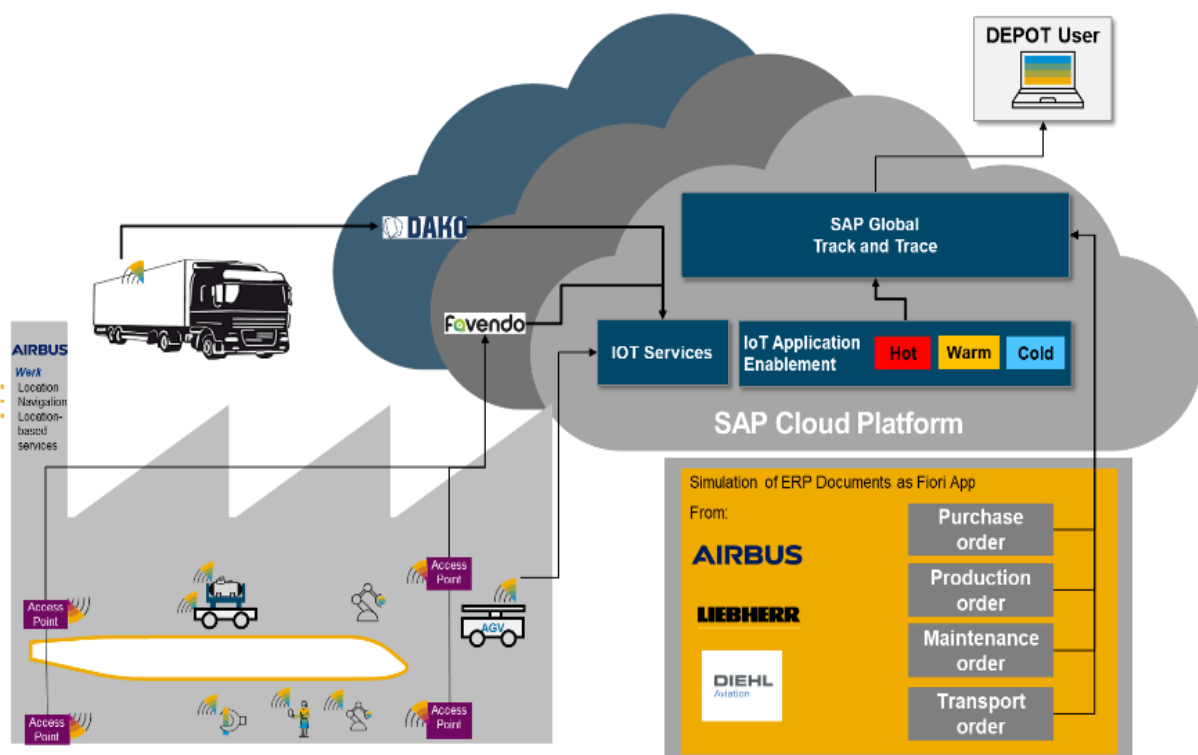


Abbildung 18: DEPOT Architektur

## IT-Anbindung

In Vorbereitung auf die Integration des self-adapting Supply Chain Systems wurde der Fokus auf die IT-Anbindung gelegt. Im Zentrum für Angewandte Luftfahrtforschung ZAL in Hamburg wurde das Setup der IT-Umgebung für den DEPOT Hackathon definiert und installiert. Dazu gehörte der Aufbau des Indoor Tracking Systems in der Halle mit Ultra-Wideband (UWB) Komponenten von Humatics & Siemens sowie die Umsetzung und der Support der Konnektivität über LAN- und WLAN-Netzwerke sowie das Hosting der Applikationen des Flottenmanagement Systems für die fahrerlosen Transportsysteme (AGV).

Ergänzend dazu wurde die IoT-Plattform zur Validation in der Airbus Single Aisle Endmontagelinie aufgebaut. Die bisherige taktische Planung wurde statisch für jeweils zwei Wochen erstellt und dann papierbasiert angepasst. Es wurde kein Manufacturing Execution System (MES) zur Rückmeldung der fertiggestellten Produktionsschritte genutzt. Die Auftragsrückmeldung erfolgte manuell nach Schichtende im Enterprise Resource Planning (ERP) System. Die Transparenz über den Produktionsfortschritt war nur eingeschränkt gegeben.

In der Halle wurden lokal einige digital gesteuerte Anlagen und Werkzeuge sowie Sensoren verwendet. Die Aggregation dieser Daten auf einem Dashboard sollte Transparenz über Materialflüsse und Prozessfortschritt in der Halle bieten. Ein Validations-Prototyp wurde entwickelt, bei dem zum einen Sensoren an allen Stationen zur Abstandsmessung und zum anderen eine SPS-Steuerung angebinden wurde. Aus den Abstandssensoren ließ sich ableiten, ob sich ein Flugzeugrumpf in der Station befindet oder nicht. Dies ermöglichte ein Monitoring der Taktzeiten.

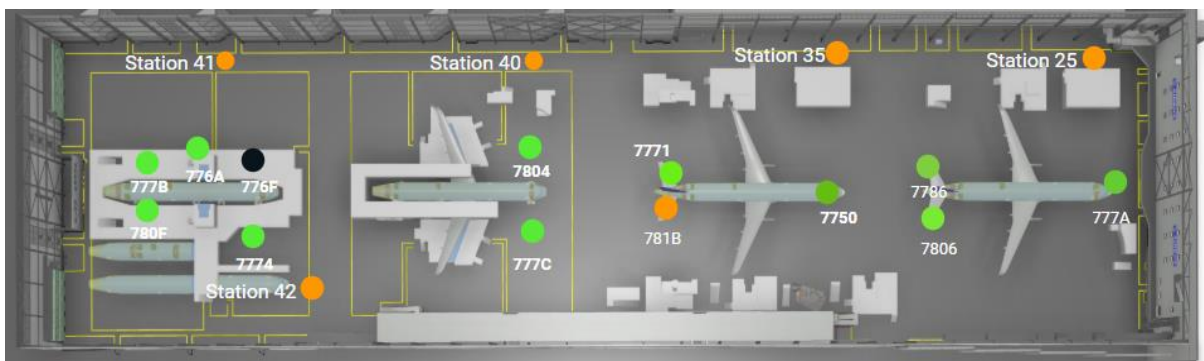


Abbildung 19: Stationen in der Halle mit angebindenen Abstandssensoren.

Das Bild zeigt die Übersicht über die Stationen in der Halle und die angebindenen Abstandssensoren. Ein grüner Punkt bedeutet, dass ein Flugzeug in der Station detektiert wurde. Inkonsistente Werte innerhalb einer Station sind darauf zurückzuführen, dass die Sensoren (noch) unregelmäßig und nicht untereinander synchronisierte Werte sendeten.

Die angebindenen SPS-Steuerungen gehören zum rechten und linken Flügeltisch. Dies sind Anlagen, auf denen in mehreren Schritten auf beiden Seiten des Flugzeuges die Flügel an den Rumpf positioniert und montiert werden. Mit der Information, wann eine bestimmte Position des Flügeltisches erreicht wurde, lässt sich ableiten, ob die Prozesse an der Station innerhalb des geplanten Zeitraumes oder ob sie verzögert stattgefunden haben. Zur Kalkulation über die Verzögerung wurde exemplarisch ein taktischer Arbeitsplan mit den SPS-Daten verglichen und Verzögerungen automatisch auf dem Dashboard angezeigt.

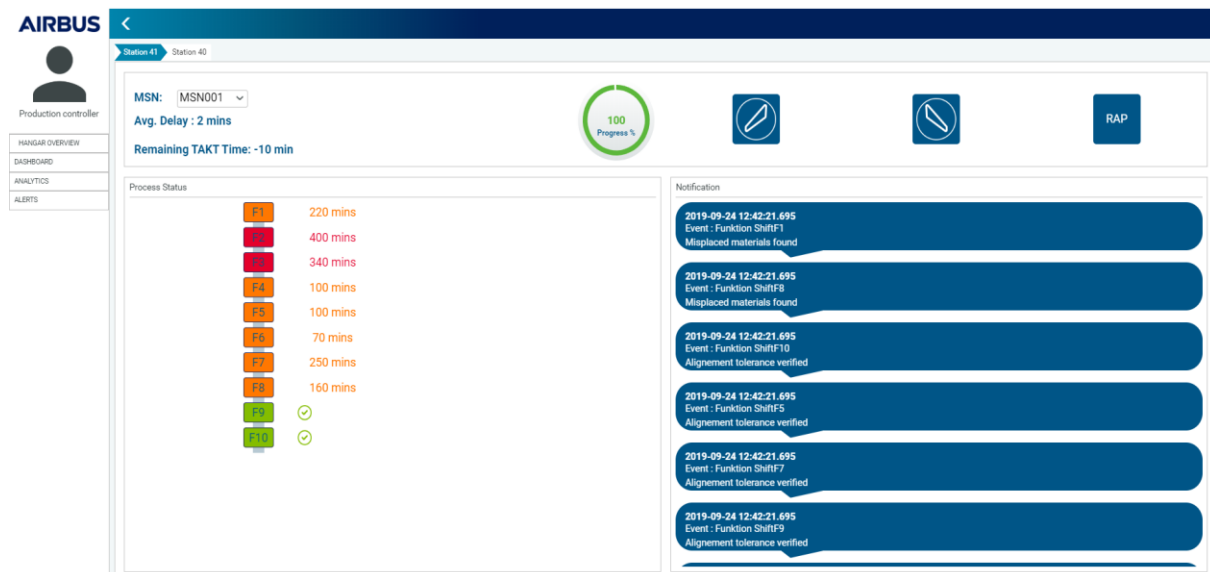


Abbildung 20: Status der Prozessschritte und deren Verzögerung

Eine Anbindung an das IT-Tool zur taktischen Prozessplanung und die Integration weiterer Datenquellen zur Überwachung der halleninternen Logistik an das Dashboard ist zukünftig vorgesehen.

### **Indoor-Lokalisierung**

Im Rahmen der Digitalisierung und Vernetzung der Zuliefererkette, wurde die bisherige IT-Architektur priorisiert und erweitert. Explizit wurde im Bereich der Indoor-Lokalisierung die physische Installation um den Entwurf eines Softwaresystems erweitert. Das Konzept sah vor, die gesammelten Daten des Lokalisierungssystems aufzubereiten und vielseitig zur Verfügung zu stellen. Dafür wurde eine entsprechende Kontextualisierung entwickelt, welche den reinen Positionsdaten weitere Informationen hinzufügt. Das gesamte Konzept wurde in den Rahmen eines Anlieferungs- und anschließenden Verarbeitungsprozess eingebunden, welcher den Anwendungsfall liefert. Darüber hinaus wurde das Konzept einer geeigneten Visualisierung ausgearbeitet, um die Daten anwenderfreundlich aufzubereiten und zusätzlich grafisch bereit zu stellen.

Im Rahmen eines Hackathons mit den Verbundpartnern, wurden die Konzepte der globalen Track & Trace Methode erarbeitet. Hierbei wurde ein besonderer Fokus auf die Kombination von Indoor- und Outdoor-Tracking mit fahrerlosen Transportsystemen sowie die Erkennung von Zonen für einzelne Prozessschritte gelegt. Das gesamte Konzept wurde entsprechend mit

einer Simulation eines Transports vor Ort im Zentrum für angewandte Luftfahrtforschung (ZAL) getestet.

### **5G Kommunikation**

Als weiteres Konnektivitätskonzept wurde ein beispielhafter Rahmen für die Nutzung der 5G-Kommunikation entworfen. Hierbei sollte mithilfe der geringen Latenzzeit von 5G die Kollaboration von Automated Guided Vehicles (AGV) innerhalb der Halle ermöglicht werden, um unter anderem Großbauteile zu transportieren. In diesem Rahmen wurde auch die zugrundeliegende Kommunikation erprobt und die Machbarkeit im größeren Rahmen abgeschätzt. Die Möglichkeit zum Informationsaustausch zwischen unterschiedlichen Einheiten im Produktionsumfeld, was durch 5G auch in hoher Dichte ermöglicht wird, fördert somit auch das Ziel einer smarten Fabrik. Die erstellte Basis wurde als Validationsumgebung genutzt, um die Automatisierungskonzepte zu erproben und zu validieren.

### **Digitaler Zwilling**

Der digitale Zwilling der Halle, der die Informationen des digitalisierten Logistikprozesses integrieren soll, wurde erweitert.

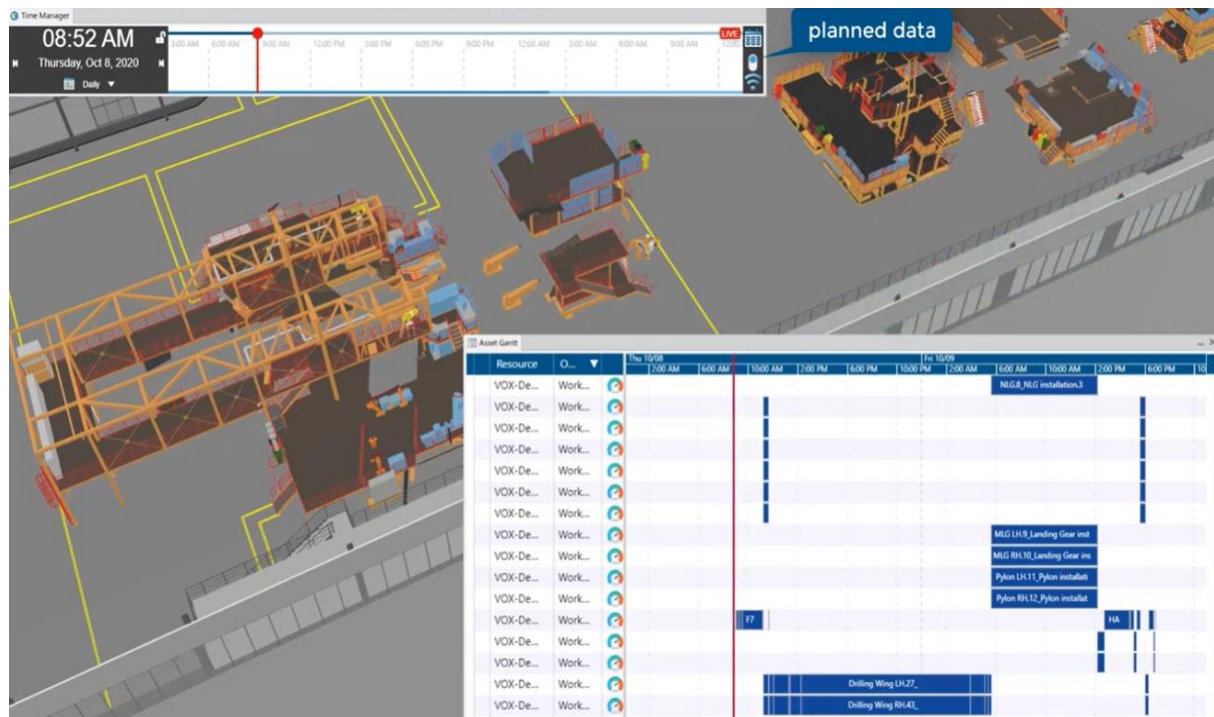


Abbildung 21: Digitaler Zwilling

Hierbei wurde eine Anbindung der Daten aus der Halle an das aktuell genutzte Modellierungs- und Simulationswerkzeug demonstriert. Dies wurde im Rahmen von Virtual Operations Experience (VOX) durchgeführt, welches eine Prozessvisualisierung auch mithilfe der 3D-Daten aus der Modellierung ermöglicht. Neben den 3D-Daten wurde hierbei auch eine ausführliche Aufbereitung der Informationen bereitgestellt, um Prozessabweichungen genauer zu verstehen und identifizieren zu können.

Ein essenzieller Teil der Gesamtintegration unterschiedlichster Bausteine eines digitalen Zwillings war die semantische Kontextualisierung der Daten. Einerseits musste die Möglichkeit gegeben sein die einzelnen Module über Schnittstellen kommunizieren zu lassen, andererseits musste jede Teilinformation dem Gesamtbild zugeordnet werden, um abschließend die Informationen aller Bereiche des digitalen Zwillings an einem Punkt abrufbereit zu haben.

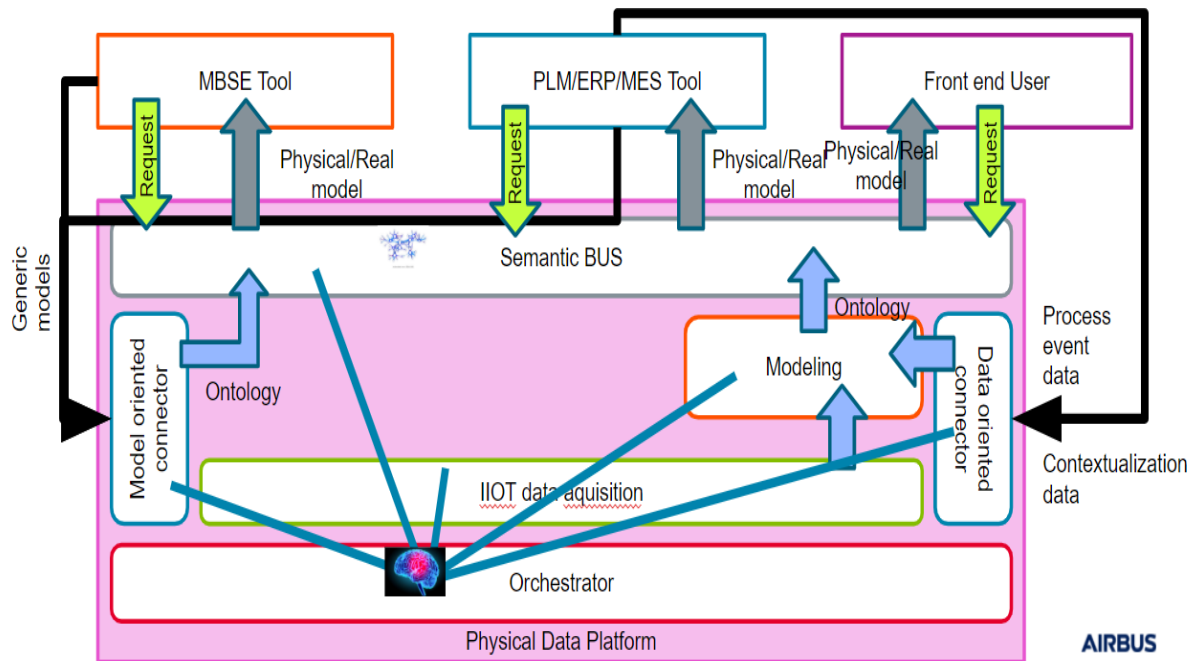


Abbildung 22: Semantische Kontextualisierung der Daten

Das Modul zur semantischen Integration wurde hierbei tiefgehend untersucht und an verschiedenen Stellen in der Gesamtarchitektur getestet. Dabei wurden die vielseitigen Schnittstellenanforderungen und die Fähigkeit zur Kontextualisierung mithilfe eines graphischen Datenbanksystems überprüft.

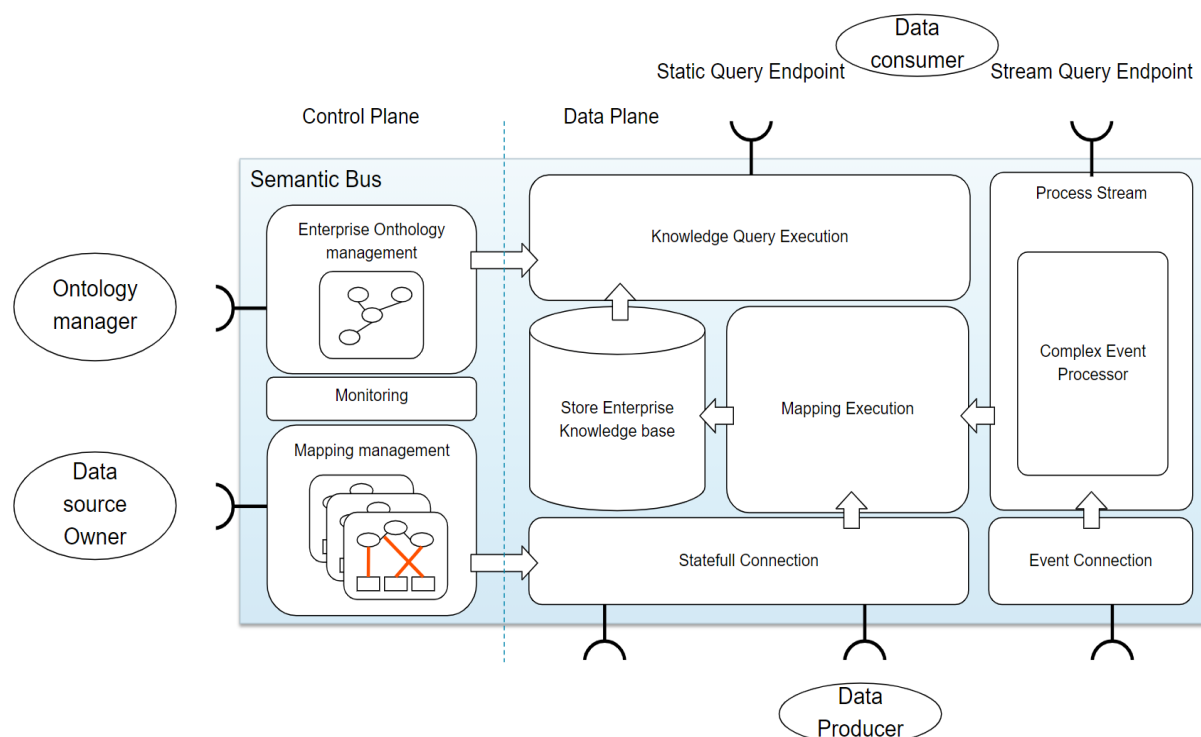


Abbildung 23: Modul zur semantischen Integration

Die unterschiedlichen Herausforderungen wurden mithilfe der IT-Forschungsinfrastruktur im Zentrum für Angewandte Luftfahrtforschung (ZAL) umgesetzt. Hierbei standen sowohl Rechenkapazität als auch modernste Netzwerkinfrastruktur zur Verfügung. Diese wurde entsprechend erweitert und an die Anforderungen der unterschiedlichen Projektanteile angepasst. Der zur Verfügung gestellte Service ermöglicht eine reibungslose Kollaboration vor Ort sowie eine dynamische Zuordnung der benötigten Ressourcen.

### Vernetzte Zulieferkette

Auch die Supply Chain und das Procurement entwickeln sich immer mehr hin zu einem Supply-Network, in dem Lieferketten immer komplexer, gleichzeitig jedoch nicht transparenter werden. Während in einem Flugzeug alle Geräte miteinander kommunizieren sollen und ein Digitaler Zwilling des physischen Produktes umgesetzt wird, fehlt dieser Ansatz bisher in der Supply Chain und der Logistik. Ziel in der „Factory of the Future“ war es daher, eine sogenannte „Interconnected Supply Chain“ zu schaffen, in welcher die Daten zwischen den Suppliern ausgetauscht und analysiert werden. Hierbei wurde die Blockchain Technologie als vielversprechende Technologie identifiziert.



---

Eine der Herausforderungen beim Verbinden einer ganzen Supply Chain bzw. eines Supply Networks ist, dass es an Vertrauen zwischen den verschiedenen Erstausrüstern (Original Equipment Manufacturer OEM) und den Suppliern untereinander mangelt. Nicht überall sind Beziehungen vertraglich geregelt und nicht jeder Supplier möchte seine komplette Lieferkette preisgeben. Informationen zu eben dieser Lieferkette sind aber in vielen Fällen notwendig.

Hier wurde als Use Case für einen Proof of Concept (PoC) der Prozess der "Contractual Compliance" ausgewählt. In diesem Prozess müssen Supplier versichern, dass bestimmte Klauseln im Vertrag nicht nur von ihnen, sondern auch von allen Zulieferern des Suppliers eingehalten werden. Aktuell gibt Airbus hier die Verantwortung vertraglich an den Tier-1 Supplier, also den direkten Supplier des Endproduktes und ist nicht in der Lage die Verträge der kompletten Lieferkette zu analysieren. Blockchain soll genau hier helfen. Die Blockchain ermöglicht durch ihr Design, dass Teilnehmer Daten teilen können, ohne sich dabei vertrauen zu müssen. Das heißt konkret, dass alle Supplier bis zur der Mine, in welcher der Rohstoff abgebaut wird, dem Netzwerk beitreten können und "öffentlich" nachvollziehbare Transaktionen tätigen können, welche bestätigen, dass bestimmte Klauseln im Vertrag enthalten sind. Hierbei müssen jedoch nicht komplette Verträge geteilt werden und somit vertrauliche Informationen preisgegeben werden. Es ist sogar möglich, dass bestimmte Supplier dem Netzwerk "anonym" beitreten können, sodass der OEM nicht sieht *welcher* Supplier in der Lieferkette ist, aber sicherstellen kann dass die Compliance Klauseln in dem Vertrag enthalten sind.

Dieser Anwendungsfall wurde als Prototyp entwickelt und eine funktionierende Anwendung mit einem lokal simulierten Netzwerk fertiggestellt.

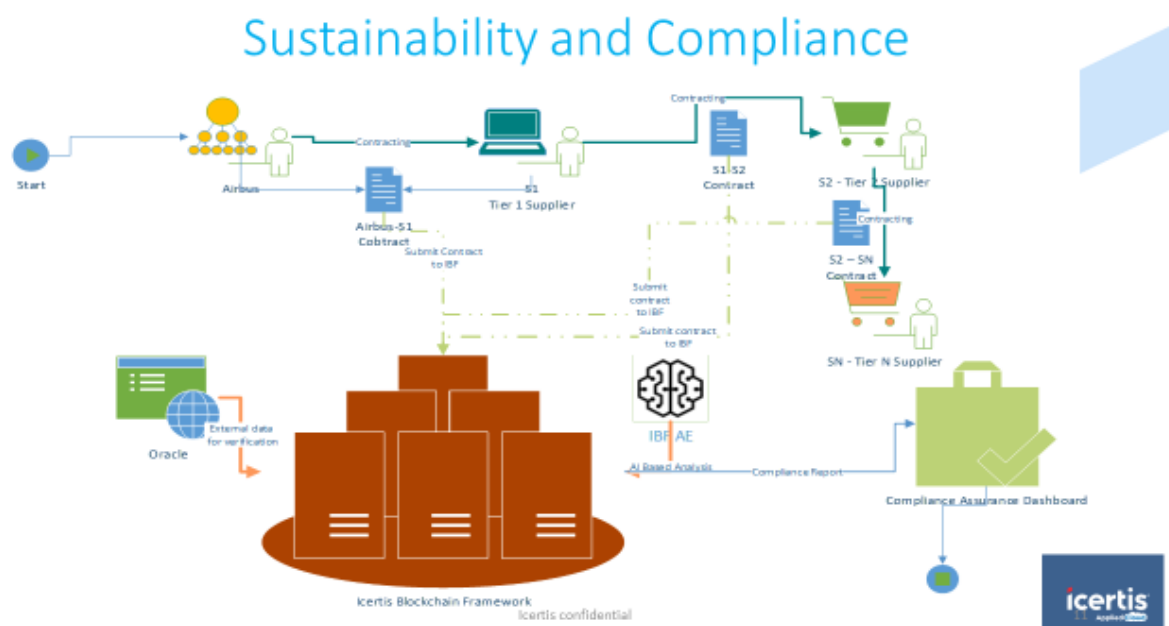


Abbildung 24: Use-Case "Prozess der Contractual Compliance"

Der „Proof of Concept“ zeigte, dass es möglich ist dieses Problem mit einer Blockchain Applikation anzugehen. Herausforderungen sind hier die benötigte Infrastruktur auf Seiten der Supplier. Es wird jedoch erwartet, dass diese erheblich geringer sind als mit einer zentralisierten Lösung.

Der Fokus der Arbeit lag auf der Ausarbeitung eines Ansatzes für eine "Interconnected Supply Chain". Vernetzt ist eine solche Supply Chain, jedoch keinesfalls ausschließlich zu externen Akteuren. Die Supply Chain der Zukunft muss auch unternehmensintern angebunden und direkt vernetzt sein, um beispielsweise Demand Forecasts präziser berechnen zu können.

Hierfür wurde als Pilotprojekt der Einsatz von "Federated Machine Learning" (FML) identifiziert. Es sollte durch Analyse von komplexen Datenmodellen ermöglichen, Forecasts automatisiert zu erstellen und die Bedarfe von einer Künstlichen Intelligenz autonom errechnen zu lassen.

Durch Fehlplanung in Bedarfen entstehen jährlich Kosten in mehrstelliger Millionenhöhe. Diese sollten durch eine solche Technologie drastisch reduziert werden. Hierzu wurde ein Proof of Concept durchgeführt, bei dem Datenmodelle erstellt wurden, die automatisch Forecasts für die Bestellung bestimmter Materialien erstellen. Im ersten Schritt handelte es sich hierbei um eine limitierte Auswahl von internen Daten.

Im nächsten Schritt wurde untersucht, wie die internen Daten von Airbus und externe Daten aus der Logistik und der Supply Chain an den Algorithmus angeschlossen werden konnten.

Nur so war es möglich, sämtliche Faktoren mit einzubeziehen um eine bestmögliche Vorhersage der Bedarfe erstellen zu können.



Abbildung 25: Vision zur Dateneinbindung

Hierbei stand auch wieder die Blockchain Technologie im Raum, besonders im Anwendungsfall von “Multi Party Computing” oder “Zero Knowledge Proofs”. Dabei können Berechnungen mit Daten durchgeführt werden, ohne dass diese Daten allen bekannt sind. Es ist also möglich, mit Daten zu rechnen, welche nicht öffentlich geteilt werden. Möchte der Supplier zum Beispiel geheim halten, wie viele Teile er jährlich verliert, so kann mit dieser Information auch gerechnet werden wenn sie verschlüsselt ist.

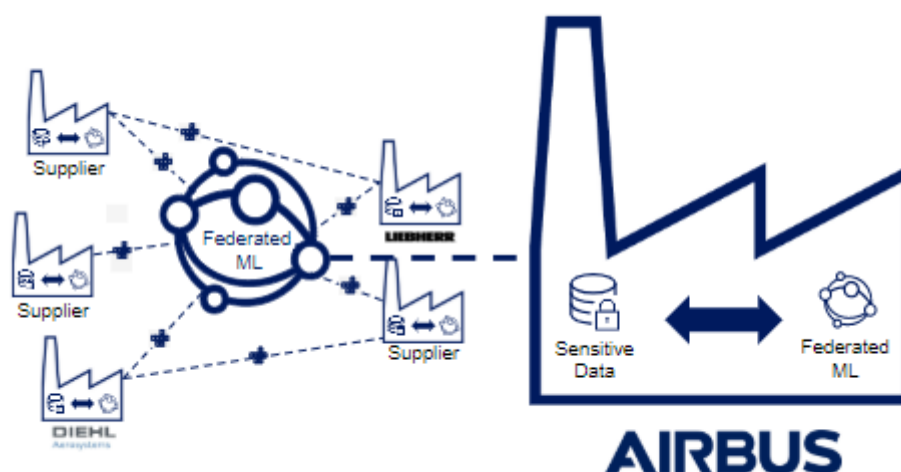


Abbildung 26: Einbindung externer Daten aus der Logistik und der Supply Chain

Beim traditionellen Machine Learning müssen Algorithmen auf großen und zentralen Datensätzen trainiert werden. Federated Machine Learning ermöglicht das Training auf verschiedenen kleineren und dezentralisierten Datensätzen. Jeder Eigentümer eines Datensatzes ist für seine Speicherung verantwortlich und kann die Daten anderer nicht lesen. Dies ermöglicht es

vielen Beteiligten, eine intelligente Lieferkette aufzubauen, ohne ihre sensiblen Daten preiszugeben oder die organisatorischen und rechtlichen Belastungen einer Vereinheitlichung auf sich zu nehmen.

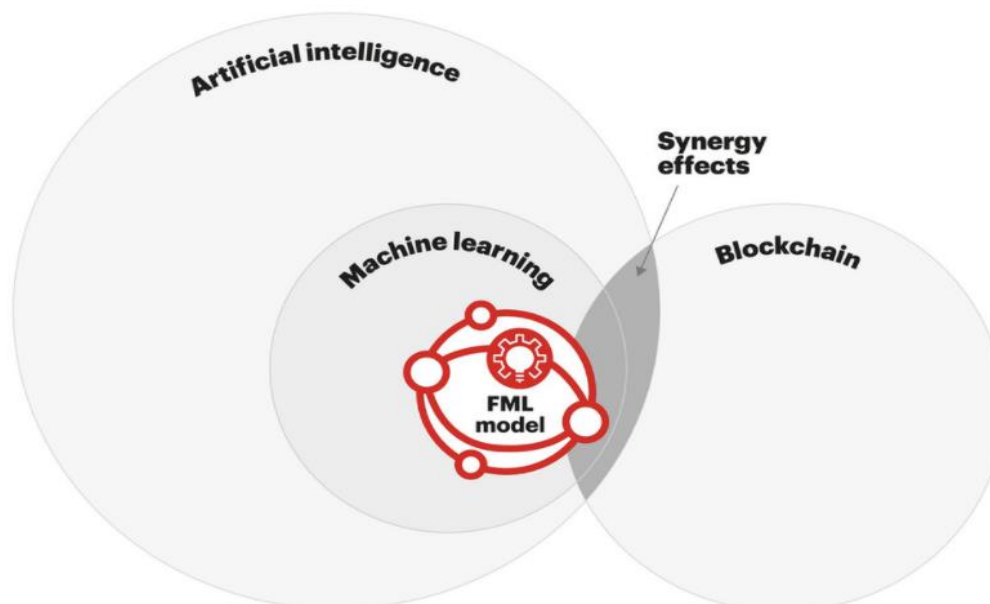


Abbildung 27: Synergieeffekte mit der Blockchain Technologie

Tatsächlich müssen die Akteure der Supply Chain mit Federated Machine Learning (FML) nicht einmal eine zentrale Plattform für Lieferantendaten bereitstellen, pflegen, sichern und orchestrieren. Eine Infrastruktur für FML ermöglicht es Unternehmen also nicht nur, die Zusammenarbeit unter Datenschutzauflagen zu verbessern, sondern auch, das zweitgrößte technologische Hindernis bei der Umwandlung in datengesteuerte Unternehmen abzuschwächen: Den Mangel an zentralen Datenplattformen.

Der Ansatz beim Federated Machine Learning ist, dass sowohl der Hersteller (Airbus) als auch seine Lieferanten eine Instanz des zentralen FML-Modells besitzen, die dann intern mit ihren eigenen sensiblen Daten trainieren werden. Die Trainingsdaten können dabei in Bezug auf Größe und Verteilung heterogen sein. Nachdem das Modell trainiert wurde, werden nur die resultierenden Lerndaten (z.B. Gradienteninformationen) gemeinsam genutzt und zentral aggregiert, um das zentrale Modell zu aktualisieren. In iterativer Weise wird dieses aktualisierte Modell wiederum an den Hersteller und seine Zulieferer zur weiteren Schulung und kontinuierlichen Verbesserung geschickt (siehe nachfolgende Abbildung).

Im Gegensatz zu den zugrundeliegenden Schulungsdaten sind Modellaktualisierungen so konzipiert, dass sie so wenige Informationen enthalten, wie für eine vorliegende Lernaufgabe erforderlich sind. Darüber hinaus gibt es verschiedene Techniken, um den maschinellen Lernprozess weiter abzusichern und die Hersteller davon abzuhalten, sensible Informationen aus den einzelnen Ergebnissen zu rekonstruieren. Beispielsweise können Daten verschlüsselt und Zufallsrauschen hinzugefügt werden, um einzelne Modell-Updates zu verschleiern. Die Erhöhung des Datenschutzes durch Techniken wie homomorphe Verschlüsselung, sichere Mehrparteien-Berechnung (Secure Multiparty Computing) oder differenzierter Datenschutz (Differential Privacy) kann jedoch die Modellleistung oder -genauigkeit verringern.

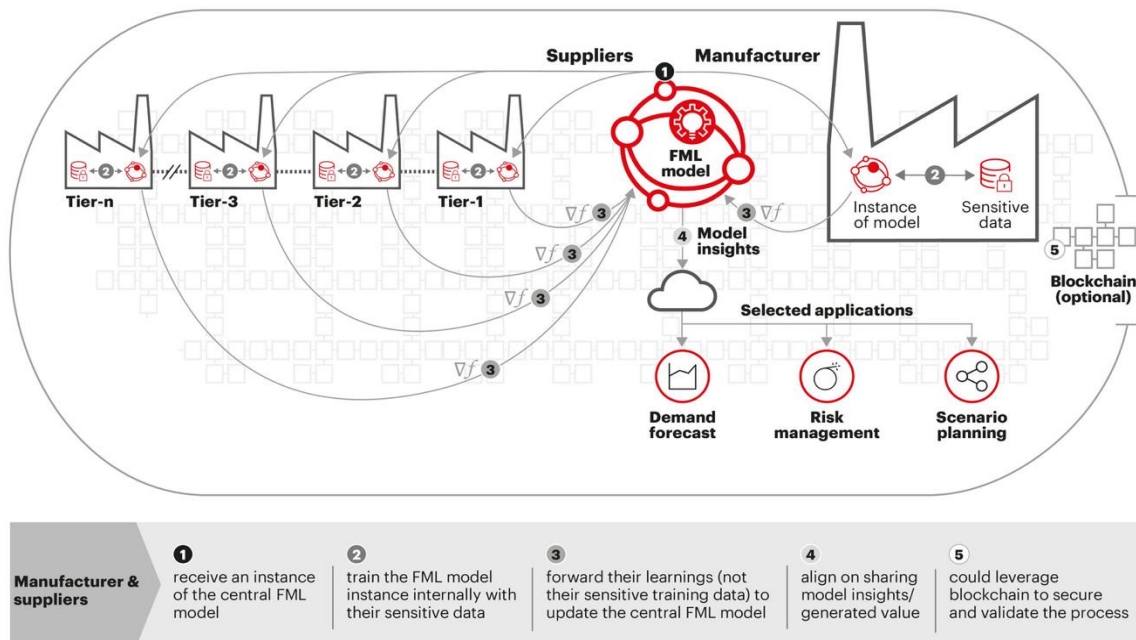


Abbildung 28: Federated Machine Learning Prozess

Im ersten Entwicklungsschritt des Projektes wurde der Algorithmus anhand des Airbus Datenmodells entwickelt und trainiert, um die optimalen Bedarfe an Teilen für die Produktion zu errechnen. Bisher wurden viele dieser Bedarfsberechnungen manuell von dem zuständigen Supply Officer gerechnet, wobei es aus vielerlei Gründen zu Fehlern kommen kann.

Es wurde ein „Proof of Concept“ umgesetzt, wobei fünf Teile aus der Flugzeugstruktur analysiert und zukünftige Bedarfe mit dem Algorithmus errechnet wurden. Die Ergebnisse waren sehr positiv. Der Algorithmus arbeitet mit intern verfügbaren Daten zur Bewegung der Teile von der Bestellung bis zur Installation, sowie den Plandaten zur Flugzeugproduktion. Zusätz-

lich wird die Saisonalität berücksichtigt, welche einen direkten Einfluss auf die Flugzeugproduktion und damit auf die Bedarfe hat. Nach erfolgreichem Proof of Concept wurde beschlossen, dass der Algorithmus mit 50 zusätzlichen Teilen umgesetzt werden sollte, um eine realistischere Einschätzung des Potentials und die Einfachheit der Skalierbarkeit besser einschätzen zu können. Im Kontext der Connected Supply Chain und Federated Machine Learning wurden spezielle Teile ausgesucht, die von Lieferanten zugeliefert werden, mit denen im weiteren Verlauf des Projektes eine Kooperation zur kooperativen Erforschung solcher Konzepte möglich ist. Als Ziel wurde gesetzt, dass ein funktionierender Prototyp des Algorithmus im operativen Einkauf eingesetzt werden soll.

Ein Großteil der Arbeit beschäftigte sich mit der Lokalisierung der relevanten Daten. Dafür wurden verschiedene Experten sowohl aus dem IT-Bereich, als auch dem operativen Geschäft zu Rate gezogen. Eine große Herausforderung war, die Sensibilität der Daten zu analysieren und die nötigen Berechtigungen zum Arbeiten mit diesen Daten zu beantragen. Wichtig war es, von vornherein die späteren operativen Einkäufer in den Prozess einzubinden, da die aktuellen Forecasts zu einem großen Teil auf deren Expertise basierten und ein funktionierender Prototyp auch ihnen die Arbeit erleichtern sollte. Deswegen war nicht nur Funktionalität des Algorithmus Teil des Pilotprojekts, sondern auch die Erarbeitung eines Konzepts zur Interaktion. Verschiedene Möglichkeiten umfassten eine Einbindung in bestehende SAP-Systeme, in denen die vom Algorithmus bestimmten Bedarfe angezeigt werden sollten, sowie eine Visualisierung der Ergebnisfindung auf einem externen Endgerät, z.B. einem iPad. Damit sollten die von der KI berechneten Bedarfe für die Supply Officer unterstützend wirken, den Bestellprozess aber nicht grundlegend automatisieren. Da bisher nicht alle zur Errechnung der tatsächlichen Bedarfe benötigten Daten zentralisiert gesammelt wurden und beispielsweise in lokalen Excel-Tabellen zu finden waren, war die Expertise des Einkäufers entscheidend zur Erstellung des Forecasts. Die KI sollte hier den Prozess unterstützen und aufzeigen, wo die tatsächlichen Bedarfe von den errechneten Vorhersagen abweichen, um somit auch die Datenqualität langfristig zu erhöhen und damit wiederum bessere Ergebnisse mit dem Algorithmus erzielen zu können.

Der direkte Einkauf ist Hauptkostenträger der Airbus Wertschöpfungskette. Selbst geringe, einstellige prozentuale Verbesserungen sparen Airbus dreistellige Millionen-Beträge.

## CONNECTED SUPPLY CHAIN

AN ML FORECAST CAN CONNECT THE SUPPLY CHAIN AND INCREASE TRANSPARENCY AND COLLABORATION

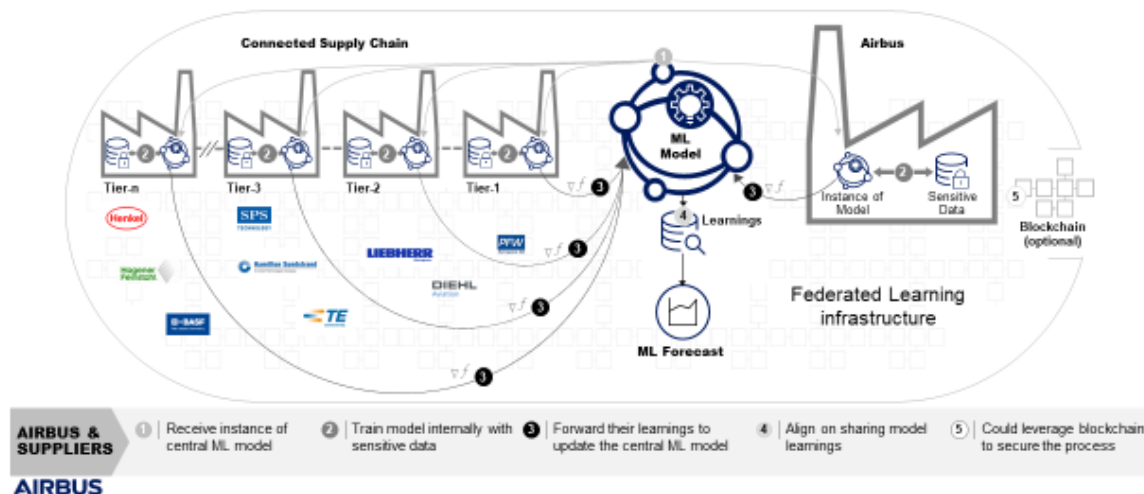


Abbildung 29: Vernetzte Zulieferkette

Ein besonderer Anwendungsfall wurde im Bereich des Bestellwesens identifiziert. Airbus verpflichtet sich gegenüber seinen Zulieferern, einen Bestellhorizont einschließlich benötigter Volumina und Lieferzeiten, den so genannten Demand Forecast zu übermitteln. Kommt es zu außerplanmäßigen Änderungen in der Bedarfsermittlung einiger Baugruppen und Flugzeugbauteile führt dies dazu, dass kurzfristig außerplanmäßige Bestellungen getätigt werden müssen. Diese sind allerdings mit deutlichen Mehrkosten verbunden.

**PREPARE THE INDUSTRIAL NEXT GENERATION**

**WITH STATE OF THE ART TECHNOLOGIES**

**EXPLOIT THE FULL POTENTIAL OF BIG DATA AND DELIVER END TO END CONTROL OF ALL SUPPLY CHAIN OPERATIONS**



Abbildung 30: End to end Control of Supply Chain

Im Rahmen des Vorhabens wurde daher die Technologie der Federated Machine Learning dahingehend weiterentwickelt, dass anhand von künstlicher Intelligenz die Varianzen in der Beschaffung und mögliche Störgrößen antizipiert und der gesamte Demand Forecast neu und optimiert errechnet werden konnte. Es wurde ein auf künstlicher Intelligenz basierendes Rechenmodell weiterentwickelt, welches anhand von Einkaufsdaten der Baugruppen und Flugzeugteilen die Einkaufsperformance deutlich bezüglich geringerer Lagerkosten und weniger Kosten aufgrund Sonderbestellungen verbessern konnte.

Im weiteren Projektverlauf wurden nun rund 500 Bauteile eines Zulieferers in den Logarithmus gespeist. Das Ergebnis war, dass die errechneten Bestellvolumina eine signifikante Einsparung alleine nur für die Sonderkosten außerplanmäßiger Bestellungen ermöglichten. Nicht mit eingerechnet sind die Einsparungen im Bereich Lagerhaltung, Verschrottung aufgrund abgelaufener Haltbarkeit einiger Bauteile, Kapitalverzinsung und Kosten für die möglichen Produktionsstillstände aufgrund fehlender Bauteile.



## HIGH-LEVEL GLOBAL ROLL OUT PLAN

THE MVP IMMEDIATELY CREATES VALUE AND FURTHER PROJECT PHASES CAN BE FINANCED VALUE BASED

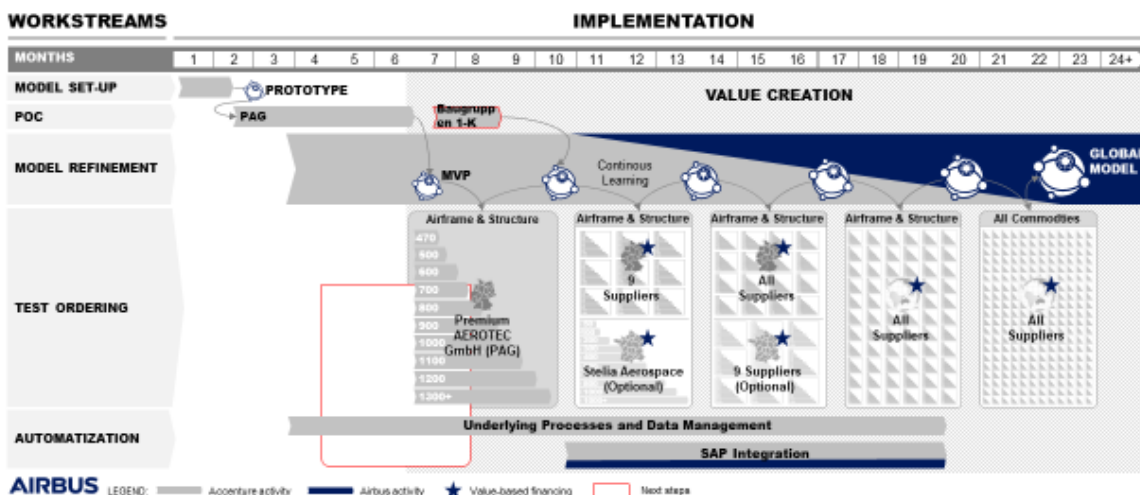


Abbildung 31: Projekt Phasen

Es wurde deutlich, dass der neu errechnete Logarithmus sowohl überflüssige Bevorratung als auch Kosten für Fehlteile hätte vermeiden können. Die Ergebnisse des Projektes sowie auch der neu erstellte Logarithmus wurden dem Airbus Management vorgestellt. Es wurde anschließend die Entscheidung getroffen, das Projekt nun weiter mit realen Zulieferern und Daten umzusetzen.

In den nächsten Schritten gilt es, den Logarithmus mit den Eigenheiten und den Störgrößen jedes einzelnen Airbus-Bauteiles dahingehend zu trainieren, dass im Ergebnis eine verbesserte und kosteneffizienter Bestellgröße errechnet werden konnte. Dazu werden im Anschluss an das Projekt von Airbus die internen Faktoren und Störgrößen in den Logarithmus eingespeist. Dies wird voraussichtlich weitere 5.000-10.000 Baugruppen und Airbus Flugzeug Teile beinhalten. Es ist vorgesehen, die Technologie zuerst mit einem deutschen Zulieferer zu testen und die Technologie anschließend auf weitere 50-200 Zulieferer auszuweiten.

Federated Machine Learning Anwendungen müssen mit vielen Daten trainiert werden. Der Algorithmus berechnet iterativ Rechenmodelle, welche das von ihm errechnete Ergebnis an das optimale Ergebnis annähert und idealerweise sogar zu 100% trifft. Ob es ein Rechenmodell für einen optimalen Beschaffungs-Forecast ist, ein Rechenmodell für autonomes Fahren in der Innenstadt oder ein Rechenmodell zum Erkennen von gefährlichen Rissen in Aluminium, man muss die Künstliche Intelligenz mit genügend Datenmaterial versorgen. Nur so kann sie

lernen, sich selbständig an das optimale Ergebnis zu nähern. Der Zugang zu den erforderlichen Datenvolumina aus Warenein- oder -ausgängen für den Beschaffungs-Forecast und den Erhalt solcher Daten in der erforderlichen Qualität ist dabei die besondere Herausforderung. Nicht immer stehen die entsprechenden Daten in ausreichender Menge zugreifbar zur Verfügung. Ähnliche Daten sind allerdings bei industriellen Partnern, Zulieferern oder anderen artverwandten Industrien (z.B. Metallbau, Automobilindustrie, Maschinenbau) zu finden.

Ziel ist es daher, eine Plattform zu erstellen, auf welcher in gesicherter Weise Daten auch von dritten Anbietern zu Verfügung gestellt werden um die Modelle der Künstlichen Intelligenz zu trainieren. Es werden hier nicht die Daten an externe Unternehmen versendet, sondern das Unternehmen, welches seine KI-Rechenmodelle trainieren möchte, kann dies auf dieser Plattform in gesicherter Form absolvieren.

Es konnte ein junges Start-Up Unternehmen gefunden werden, mit dessen Hilfe eine solche Plattform erstellt und getestet wird. Dazu wurden drei Anwendungsbeispiele erarbeitet, an denen die künstliche Intelligenz mittels Federated Machine Learning trainiert werden soll.

- Anwendung 1: Trainieren einer In-House programmierten KI anhand externen Datenmaterials eigener Filialen (innerhalb Deutschlands)
- Anwendung 2: Trainieren einer In-House programmierten KI anhand externen Datenmaterials von Dritten/ externen Firmen auf internationaler Ebene
- Anwendung 3: Ein Künstliche Intelligenz Wettbewerb: Teilnehmer sind eingeladen, Ihre KI auf der Plattform zu trainieren. Der Teilnehmer, der mit der KI die die besten Resultate erreicht, gewinnt

Ermittelt werden hier die notwendigen rechtlichen und technischen Voraussetzungen zur Erstellung einer solchen Plattform, sowie die erforderliche Rechenleistung und Datensicherheit.

## 6.4 Hauptarbeitspaket HAP4 - Demonstration

Zusammen mit Liebherr und Diehl Aviation wurden geeignete Anwendungsfälle für die Validation der Ergebnisse identifiziert. Bei Liebherr wurde die Prozesse der PCU und des Fahrwerks näher analysiert und bei Diehl Aviation erfolgte eine Einigung auf einen Lüfter. Von dem im Antrag angedachten Wassertank von Diehl Aviation wurde auf Grund seines Produktionsstandortes Dresden abgesehen. Ein Konzept zur Validation der Prozessabläufe, der Lieferwege und Technologien wurde ausgearbeitet.

In der Abbildung 32 sind farblich die Synergien zwischen dem Prozessablauf und der Realisierung im ZAL verdeutlicht. Die Fotos zeigen zudem, wie die einzelnen Komponenten zum automatisierten Prozessablauf im Zuge eines Hackathons umgesetzt wurden.

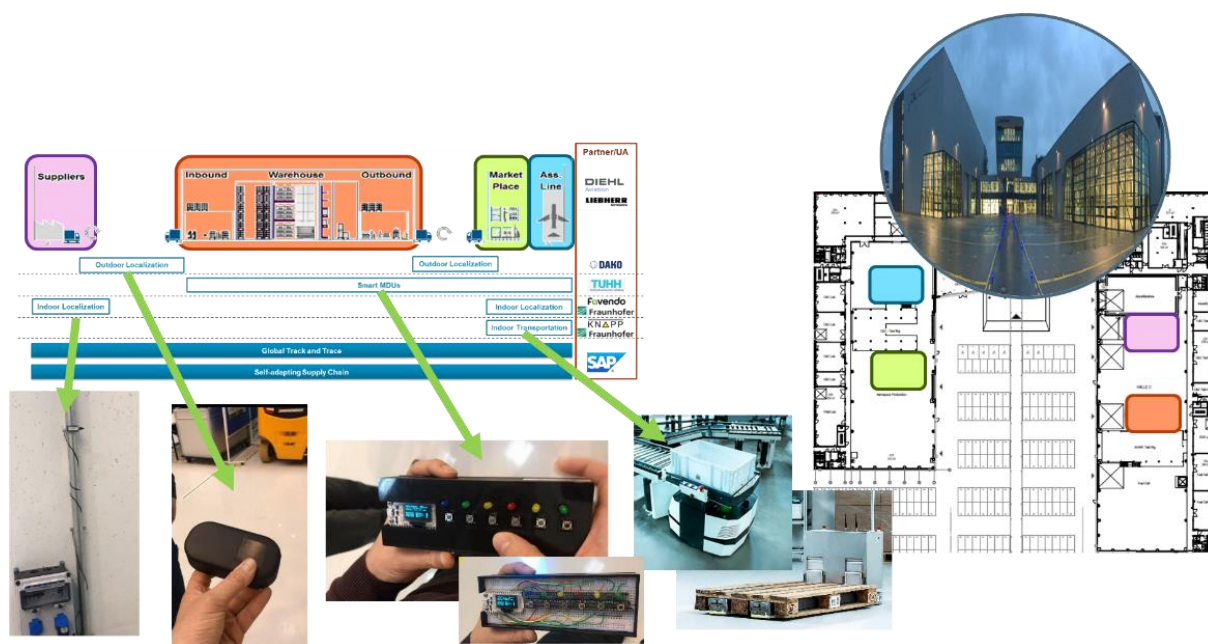


Abbildung 32: Übersicht zum Aufbau des Demoprozesses im ZAL

Entsprechend dieses Konzepts wurden anschließend die Prozessdaten erarbeitet. Sie sind insbesondere in das HAP3 eingeflossen. Die Abbildung 32 zeigt das verfolgte Konzept in der Übersicht und verdeutlicht farblich die Synergien zwischen dem Prozessablauf und der Realisierung im Zentrum für Angewandte Luftfahrtforschung ZAL.

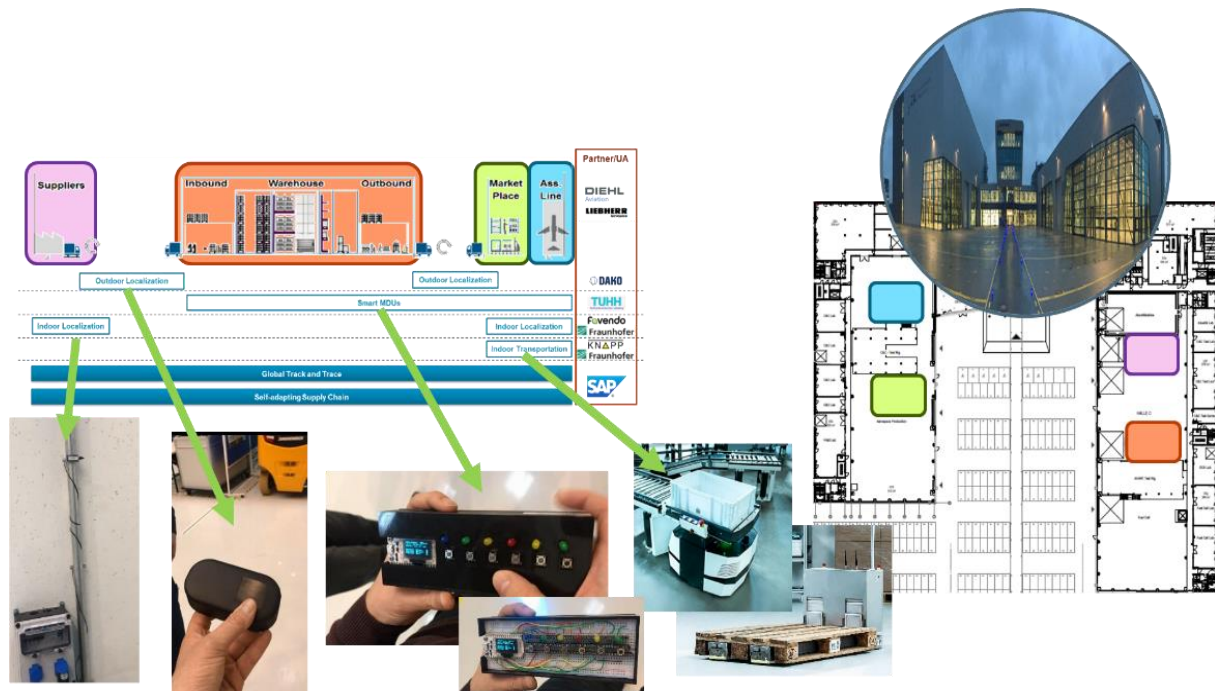


Abbildung 33: Übersicht zum Aufbau des Demoprozesses im ZAL

Hierzu erfolgte die Vorbereitung, die Organisation und die Durchführung von Systemfunktionsdemonstrationen (Proof of Concept) in zwei Hallen. Weiterhin wurden zwei Hackathons mit allen Verbundpartnern einmal im ZAL und bedingt durch COVID 19 ein weiteres Mal als virtuelle Veranstaltung vorbereitet, organisiert und durchgeführt. Ziel war die Erreichung der Systemstabilität und der Test des Systems im ZAL.

Ergänzend dazu wurde die Wirtschaftlichkeit des AGVs in Verbindung mit der Sensorik vom Zwischenpuffer in der Halle bis zum Point of Use am Bauplatz als Teil der Systemfunktionsdemonstration zum Proof of Concept analysiert und der Logistikprozess für den Proof of Concept in der Halle mit Hilfe eines Simulationstools abgebildet.

Airbus koordinierte und unterstützte die Verbundpartner bei der Durchführung von drei Systemtests. Zwischen den Test-Loops haben die Partner die Verbesserungen und der Beseitigung aufgetretener Störungen erarbeitet. Weiterhin wurde ein Testlauf durchgeführt, um die Systeme und Schnittstellen nochmal in der Gesamtheit zu testen. Die Teilnehmer waren hierbei SAP, DAKO, Airbus, favendo, IFF, TUHH und IFAM. Es erfolgte ein weiterer Durchlauf, um insbesondere die Elemente des AGV und der MDU als Vorbereitung für den Hackathon vor Ort zu prüfen. Dazu waren die Partner teilweise vor Ort als auch virtuell dazu geschaltet.

Ein weiterer Hackathon wurde durchgeführt. Die Partner haben aufgrund der Corona-Restriktionen versetzt vor Ort im ZAL oder „remote“ teilgenommen. Es erfolgten zwei Testdurchläufe

mit Fehleranalyse, Umsetzung der Korrekturen. Die Abschluss-Demonstration stellte dann das gesamte Systems dar von der Auslösung eines Bestellprozesses bei Airbus über die automatische Erfassung aller einhergehenden und darauffolgenden Events, Verlinkung von Lieferschein mit Geo-Tracker-ID, Verfolgung der Geo-Daten vom Zulieferer über das Lager bis zum Flugzeug, Integration der smarten MDU in den Prozess, Übergabe an das AGV und Transport zum Lieferpunkt. Die einzelnen Aktivitäten wurden in einem Drehbuch definiert und die Szenen parallel per Video aufgezeichnet. Nachfolgend sind die Bildausschnitte der gemeinsamen Projektergebnisse der DEPOT-Partner aus dem Ergebnis-Video dargestellt.



Abbildung 34: Zentrum für Angewandte Luftfahrtforschung als Testumgebung

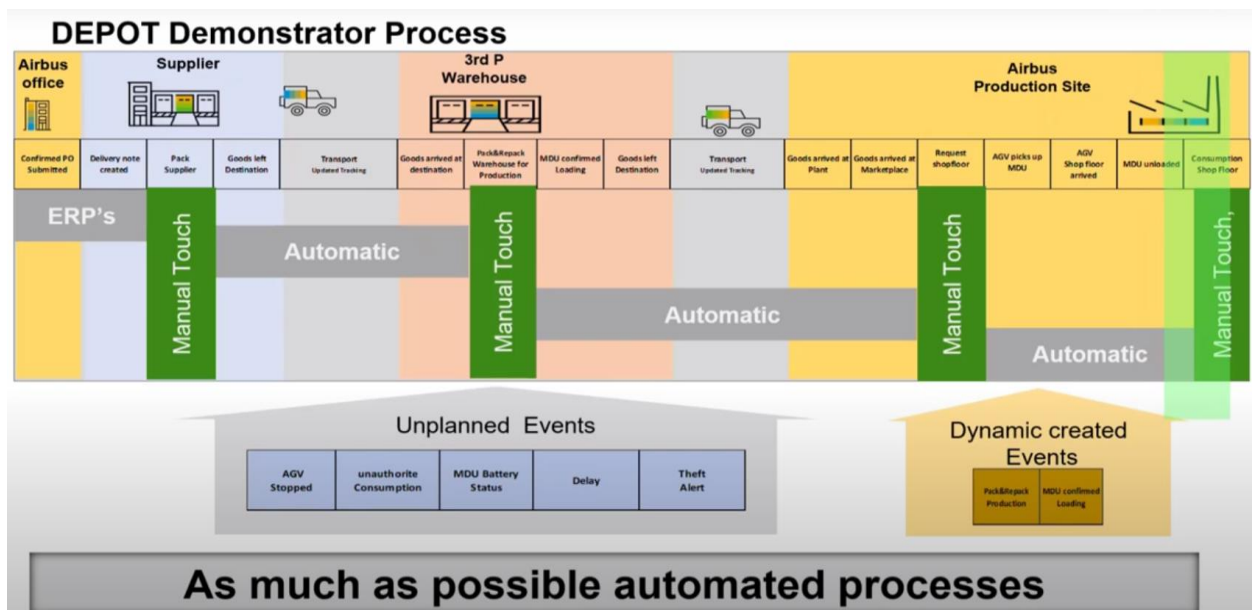


Abbildung 35: Demonstrationsprozess Ende zu Ende

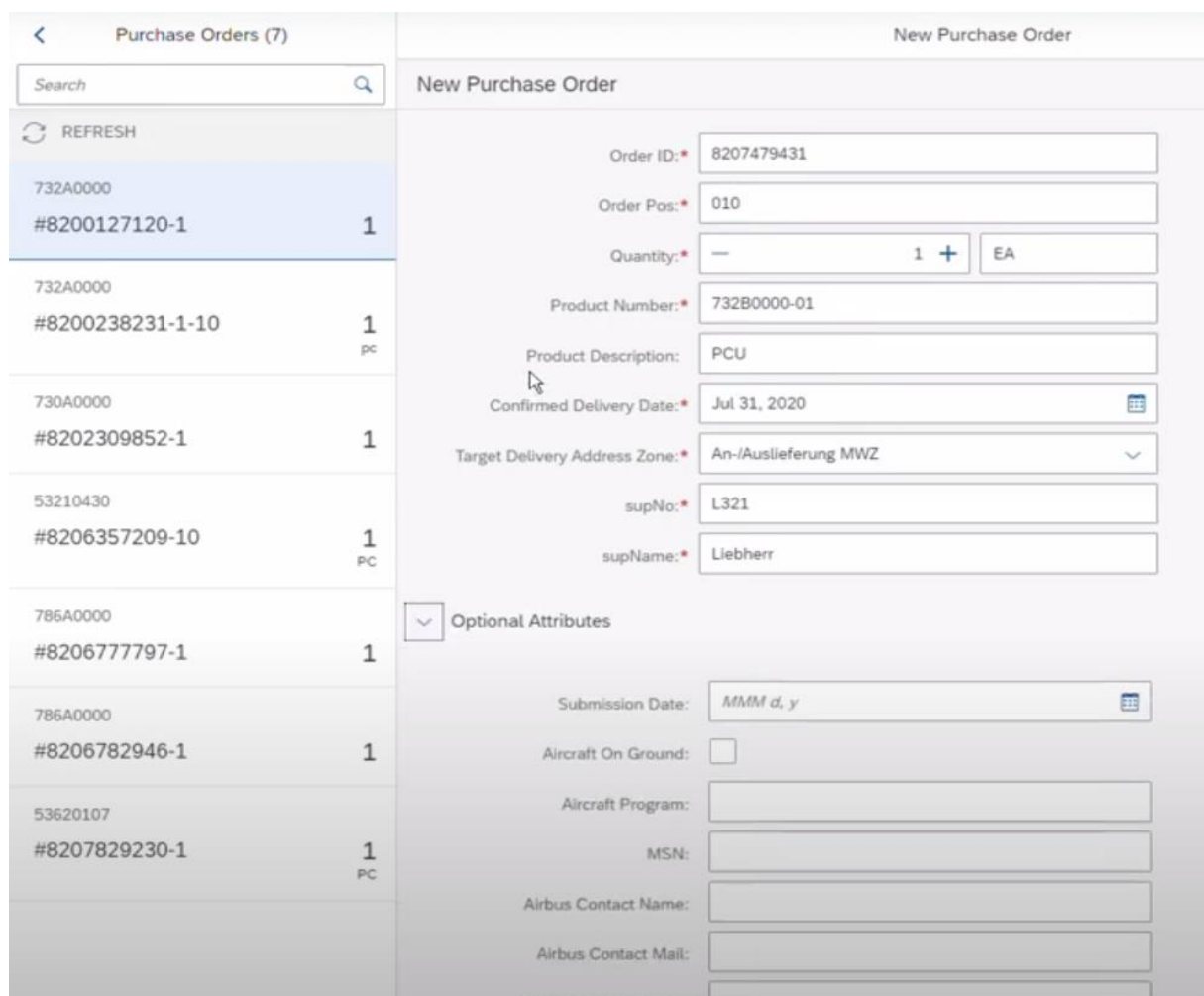


Abbildung 36: Prozessstart: Kreierung einer Bestellung mit dem ERP Simulator

**SAP Purchase Order**  
 8207479431-010-1

Current Zone: MDU: Delivery Status: **On Time** Battery Status: **OK**

Business Process Map

**Process Information**

Process ID: 8207479431-010-1	Part No.: 732B0000-01	Current Zone:	Supplier No.: L321
Purchase Order: 8207479431	Part Description: PCU	Target Delivery Zone: Z-LKWMWZ	Supplier Name: Liebherr
Purchase Order Position: 010	Position Item Quantity: 1 EA	Confirmed Delivery Date: Jul 31, 2020	Airbus Contact Name:
	Position Quantity: 1 EA	Delivery Date:	Airbus Contact Mail:
			Airbus Contact Phone:

**Tracker Information**

Type of Tracker on Part:	Type of Tracker on MDU:	Type of AGV:	MDU:
Tracker on Part:	Tracker on MDU:	ID of AGV:	Supplier MDU used:

**Event Messages**

Events (15) [Report Unplanned Event](#) [Report Planned Event](#)

Event	Event Status	Event Reason	Location	Planned Business Time	Actual Business Time	Created By	Created At
Delivery Note Created	Planned			July 31, 2020 9:35:00 AM +02:00			
Packed by Supplier	Planned			July 31, 2020 9:35:00 AM +02:00			
Goods Left	Planned		Z-LKWSUP	July 31, 2020 9:40:00 AM +02:00			
Location Update	Planned						
Goods Arrived	Planned		Z-LKWMWZ	July 31, 2020 9:45:00 AM +02:00			
Repacked at Warehouse	Planned			July 31, 2020 9:47:00 AM +02:00			
Loading confirmed by MDU	Planned			July 31, 2020 9:50:00 AM +02:00			
Goods Left	Planned		Z-LKWMWZ	July 31, 2020 9:50:00 AM +02:00			
Goods Arrived	Planned		Z-LKWARBUS	July 31, 2020 9:55:00 AM +02:00			
Goods Arrived at Marketplace	Planned			July 31, 2020 10:00:00 AM +02:00			

More  
[ 10 / 15 ]

Abbildung 37: Nachverfolgung der Bestellung und des gesamten Prozessablaufes

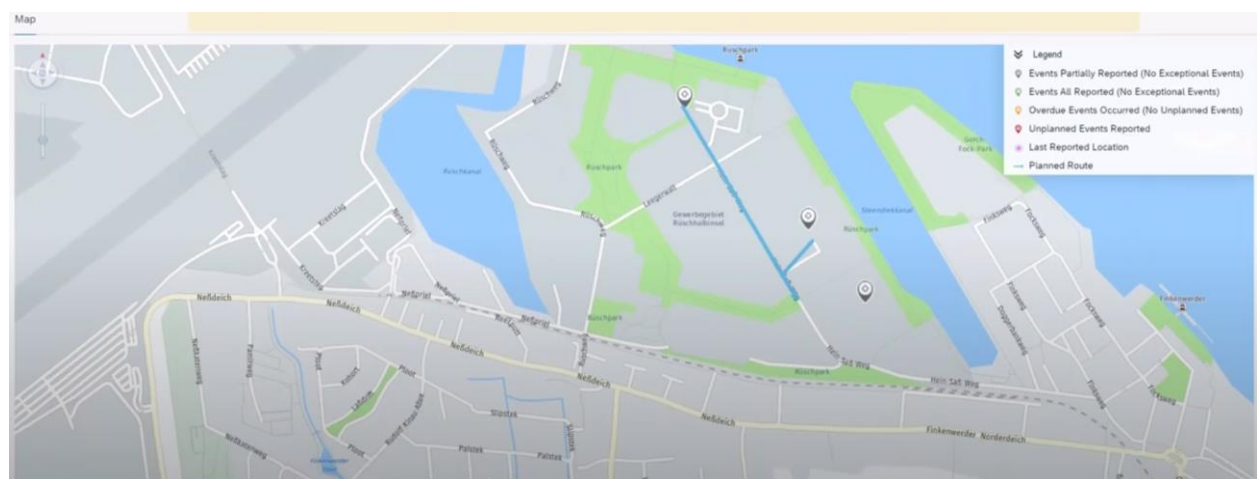


Abbildung 38: Kartenansicht im Global Track and Trace Modul

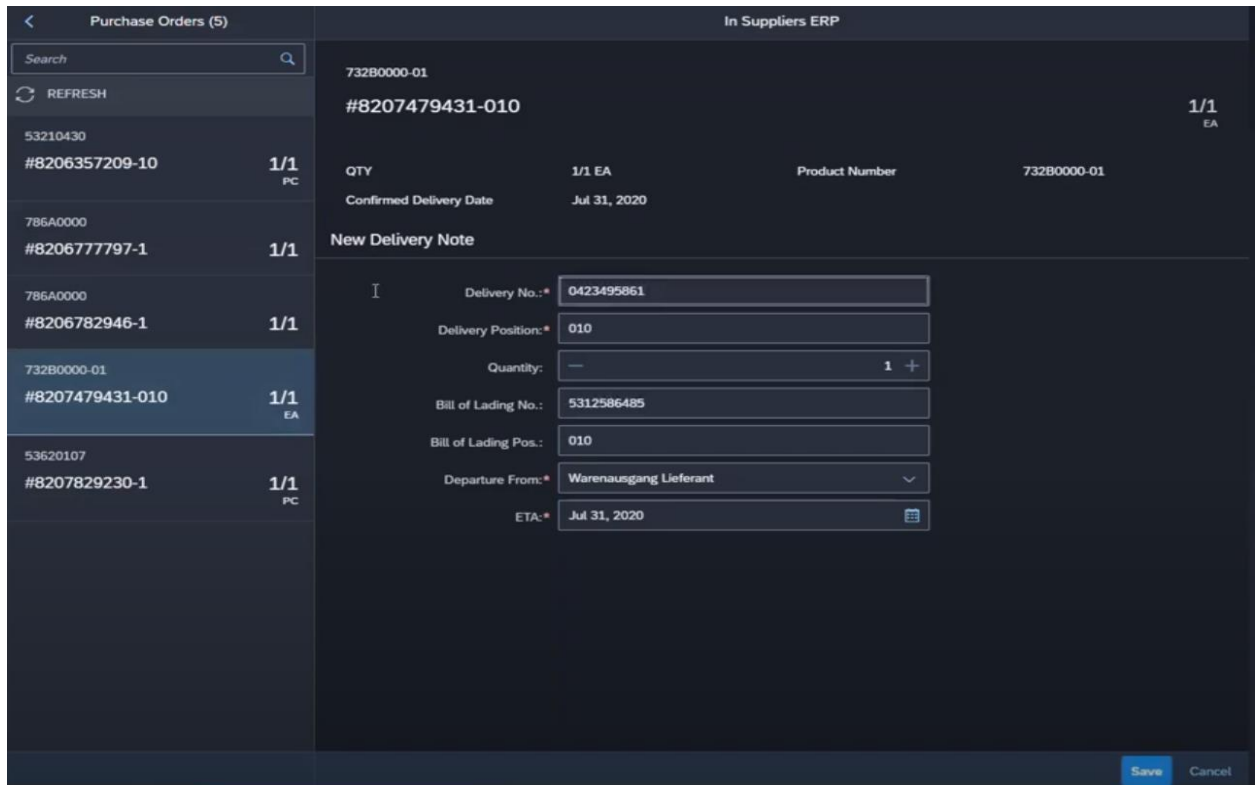


Abbildung 39: Lieferant erstellt in seinem ERP eine Lieferung

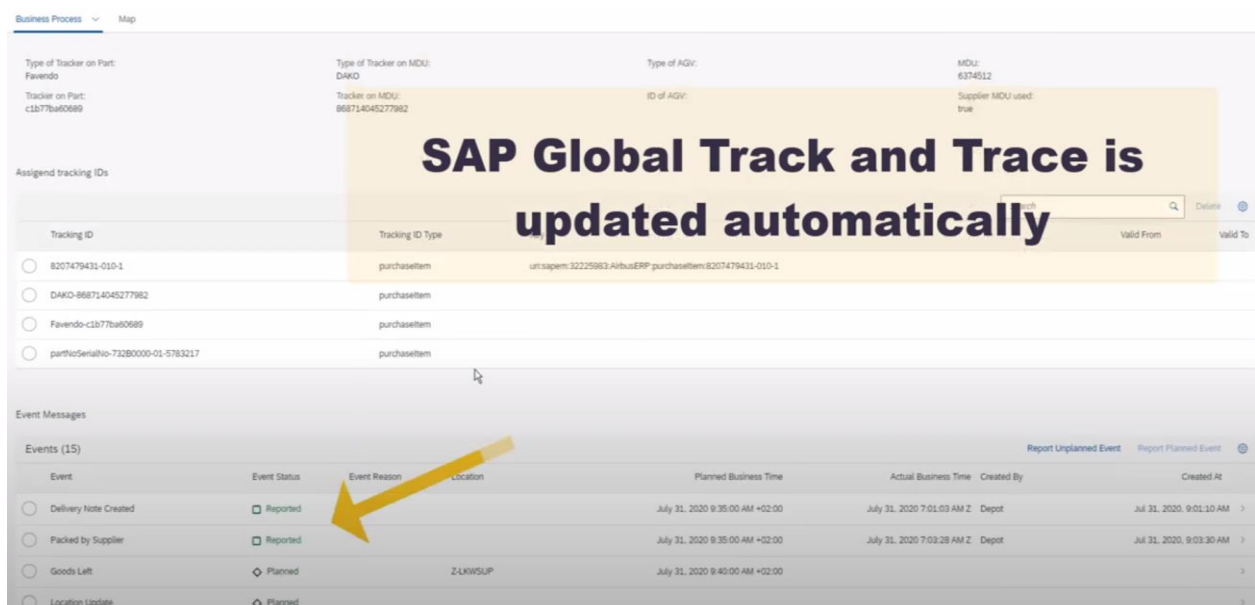


Abbildung 40: Automatisch Aktualisierung des GTT



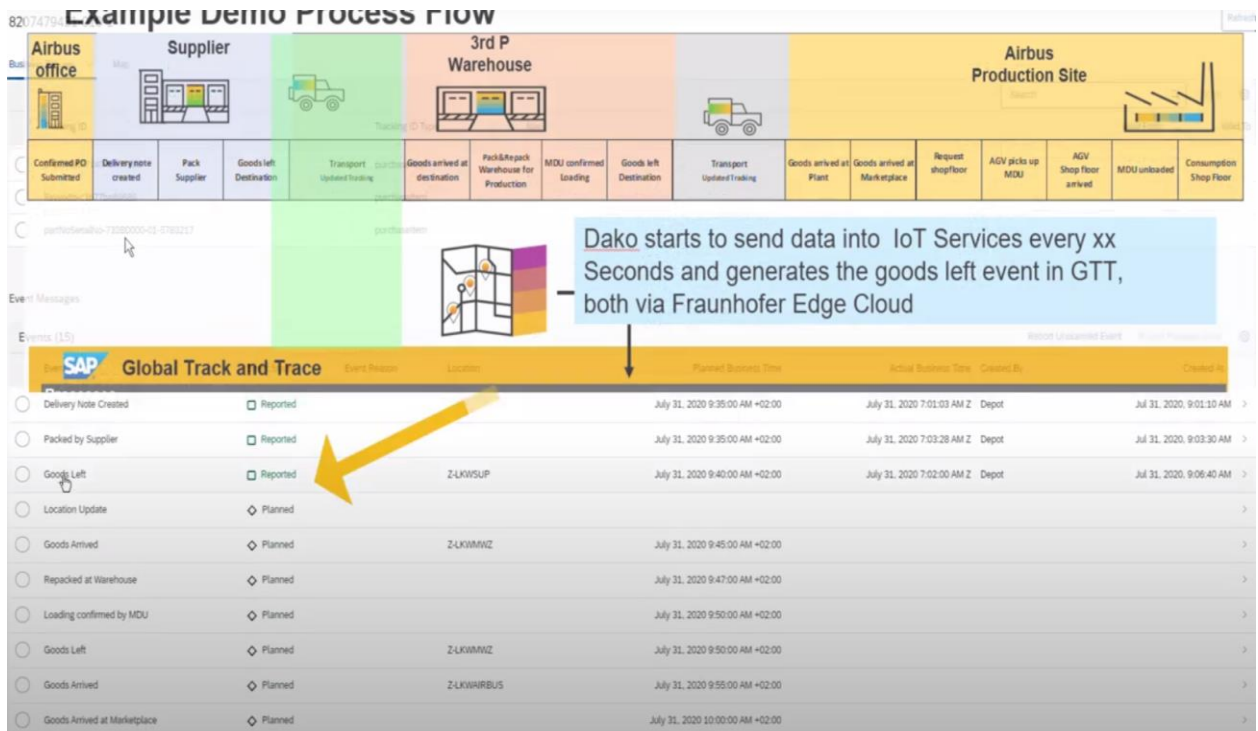


Abbildung 41: Ware verlässt den Lieferanten. DAKO GPS-Tracker sendet Geo-Daten

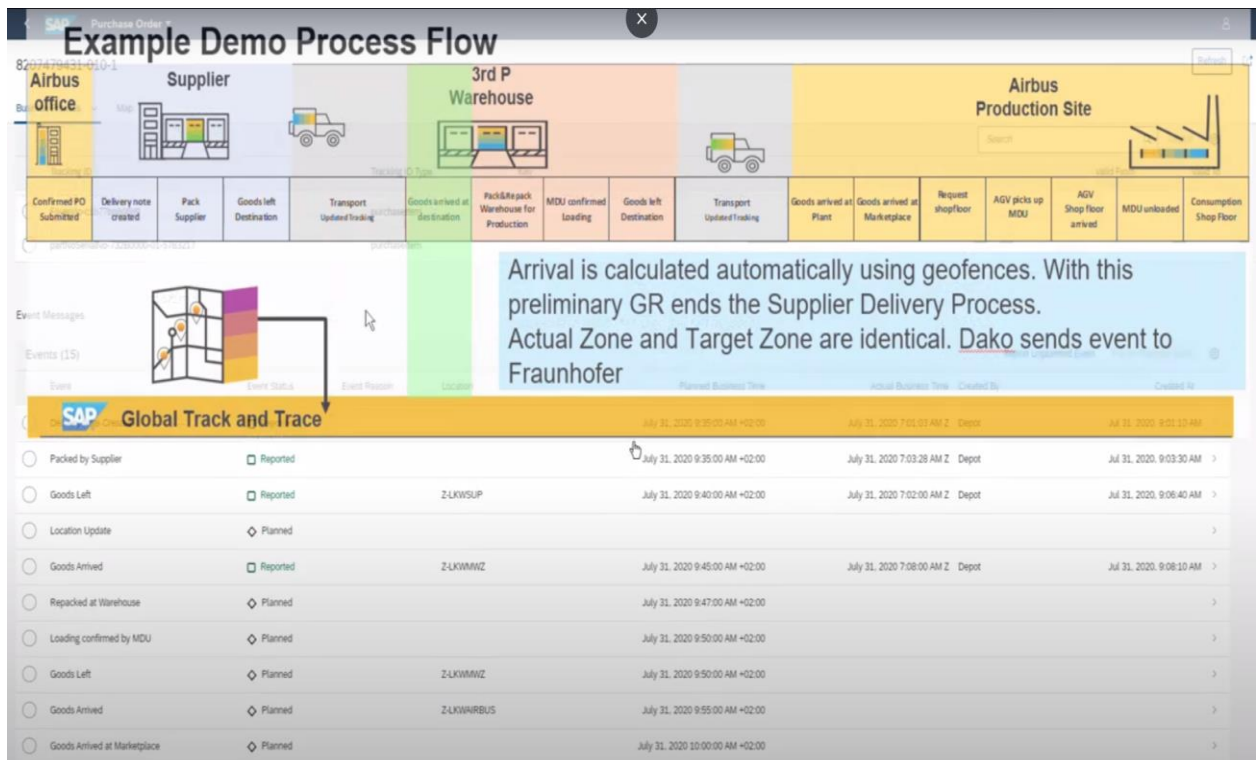


Abbildung 42: Ankunft wird mittels Geo-Zonierung automatisch erfasst

**Production Order Creator**

Delivered Items (3)

Search

REFRESH

#8200127120-1  
732A0000-654321

#8202309852-1  
730A0000-456

#8207479431-010  
732B0000-01-5783217

In Airbus ERP

#8207479431-010  
732B0000-01-5783217

Create Production Order

Production Order No.\* 7215826749

Production Order Position.\* 010

Point of Delivery.\* Bauplatz

Production Delivery Date.\* Jul 31, 2020

Target Marketplace.\* Marktplatz

Intelligent MDU used:

MDU.\* 7645627

MDU Tracker.\* Dako 866714045277982

AGV Tracker: Dako Tracker ID

Transport Order No.: 6483213845

Transport Order Position: 010

Current Warehouse.\* An-/Auslieferung MWZ

Save Cancel

Abbildung 43: Angeliefertes Material wird einem Produktionsauftrag zugeordnet

Event Messages

Events (15) [Report Unplanned Event](#) [Report Planned Event](#)

Event	Event Status	Event Reason	Location	Planned Business Time	Actual Business Time	Created By	Created At
Delivery Note Created	Reported			July 31, 2020 9:35:00 AM +02:00	July 31, 2020 7:01:03 AM Z	Depot	Jul 31, 2020, 9:01:10 AM
Packed by Supplier	Reported			July 31, 2020 9:35:00 AM +02:00	July 31, 2020 7:03:28 AM Z	Depot	Jul 31, 2020, 9:03:30 AM
Goods Left	Reported		Z-LKWSI	July 31, 2020 9:40:00 AM +02:00	July 31, 2020 7:02:00 AM Z	Depot	Jul 31, 2020, 9:06:40 AM
Location Update	Planned						
Goods Arrived	Reported		Z-LKWMNZ	July 31, 2020 9:45:00 AM +02:00	July 31, 2020 7:08:00 AM Z	Depot	Jul 31, 2020, 9:08:10 AM
Repacked at Warehouse	Reported			July 31, 2020 9:47:00 AM +02:00	July 31, 2020 7:12:29 AM Z	Depot	Jul 31, 2020, 9:12:31 AM
Loading confirmed by MDU	Planned			July 31, 2020 9:50:00 AM +02:00			
Goods Left	Planned		Z-LKWMNZ	July 31, 2020 9:50:00 AM +02:00			
Goods Arrived	Planned		Z-LKWARBUS	July 31, 2020 9:55:00 AM +02:00			
Goods Arrived at Marketplace	Planned			July 31, 2020 10:00:00 AM +02:00			

More

1/10 | 151

Abbildung 44: Automatische Aktualisierung des GTT

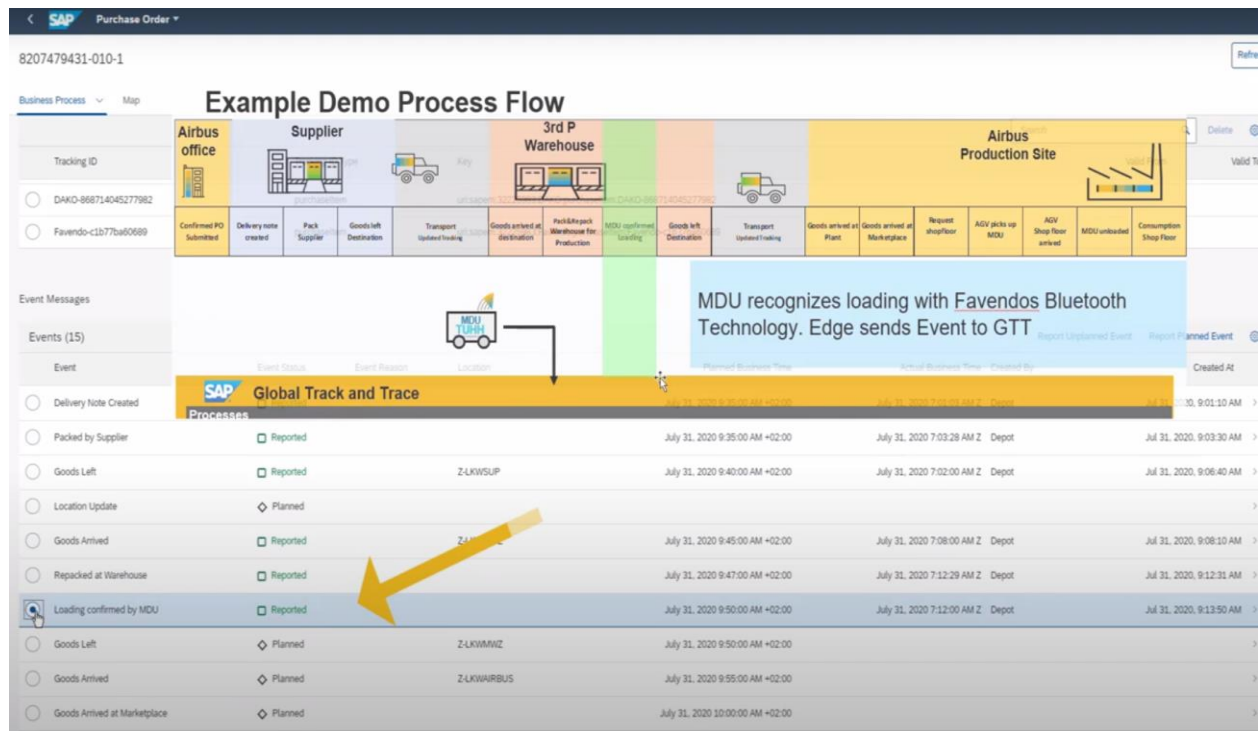


Abbildung 45: Intelligente MDU erkennt Beladung durch Favendo Tracker

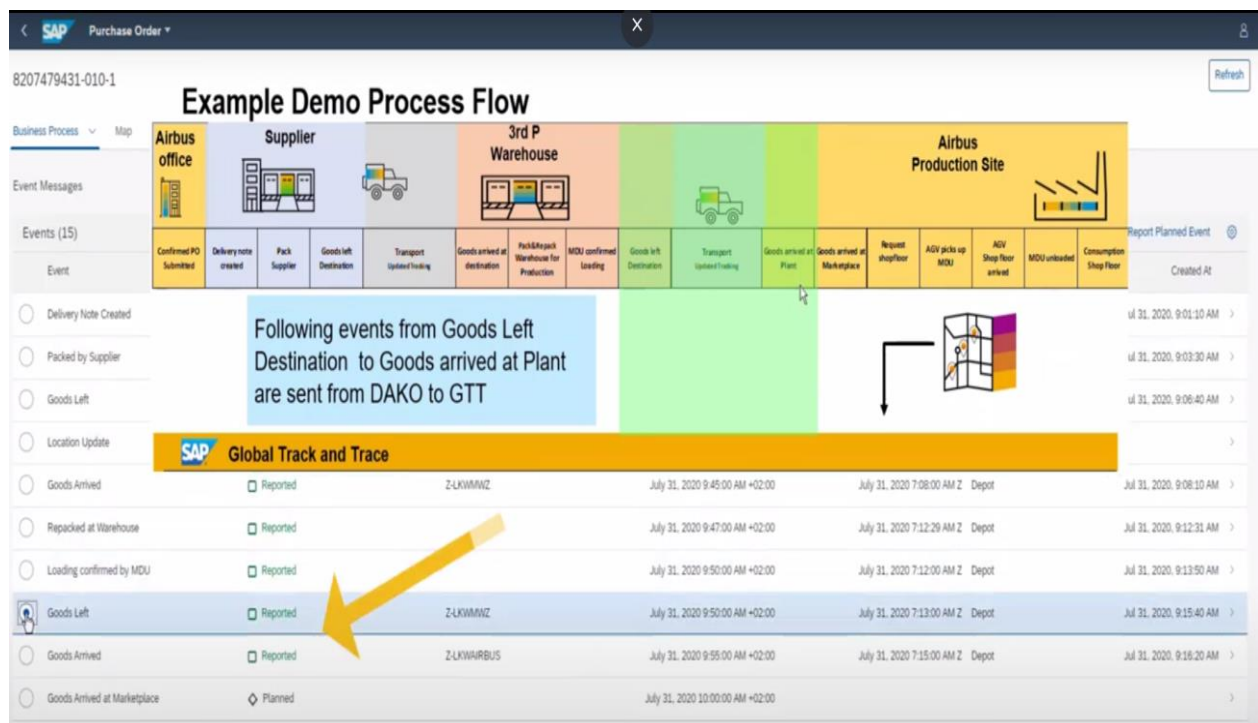


Abbildung 46: Lokalisierung durch DAKO Geo-Tracker, Erfassung in GTT

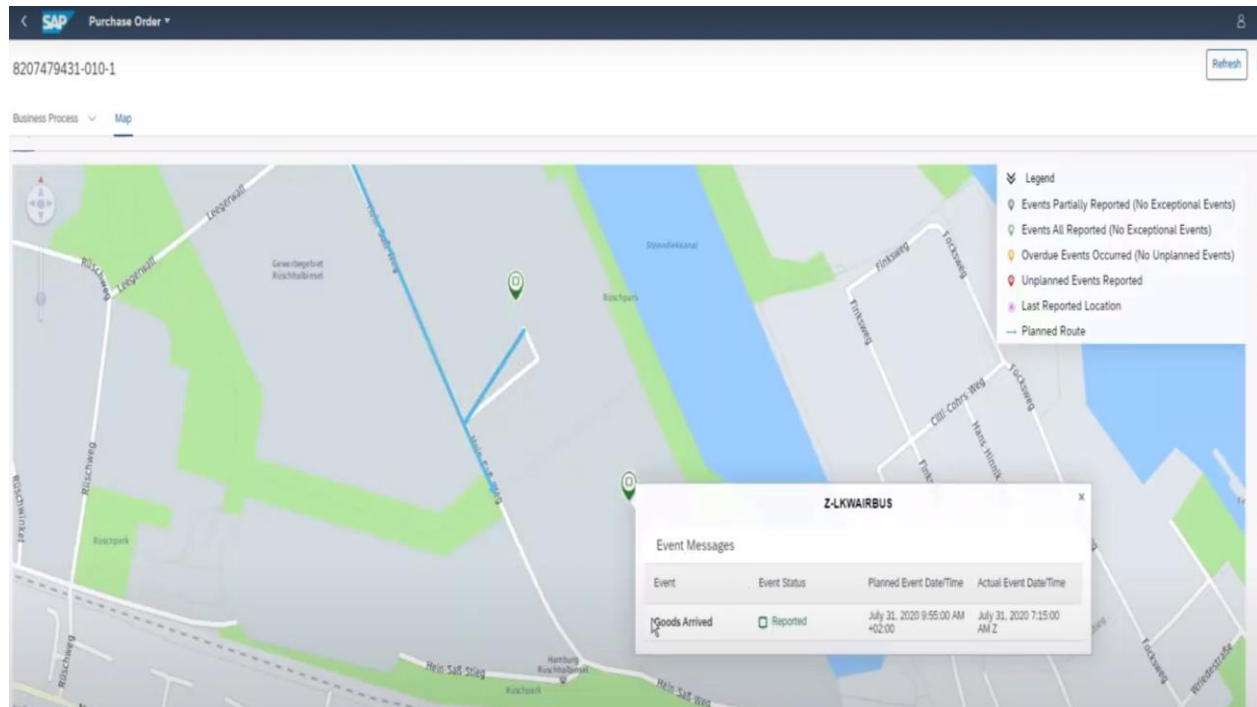


Abbildung 47: Ankunft der Ware auf der intelligenten MDU am Marktplatz

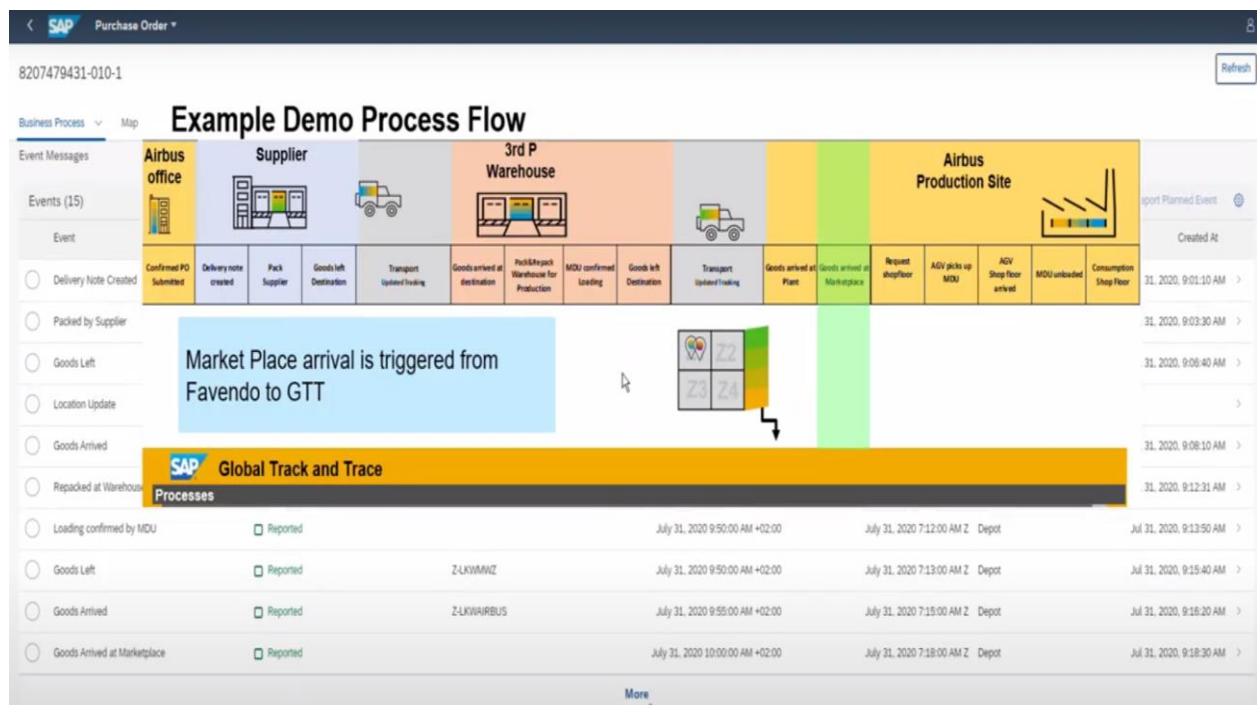
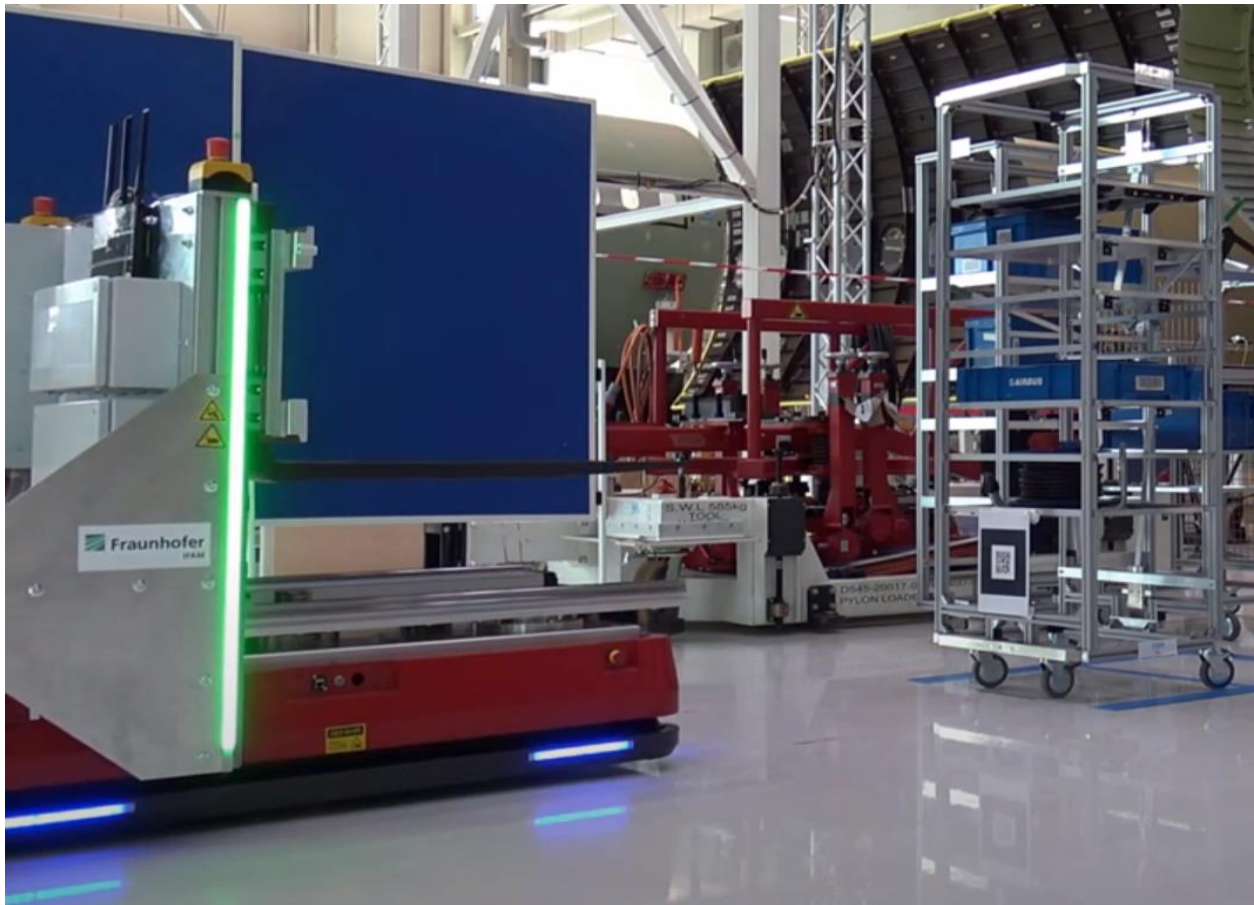


Abbildung 48: Erfassung der Ware vom Favendo-Tracker. Aktualisierung im GTT



*Abbildung 49: AGV erhält den Fahrauftrag und lädt die MDU*

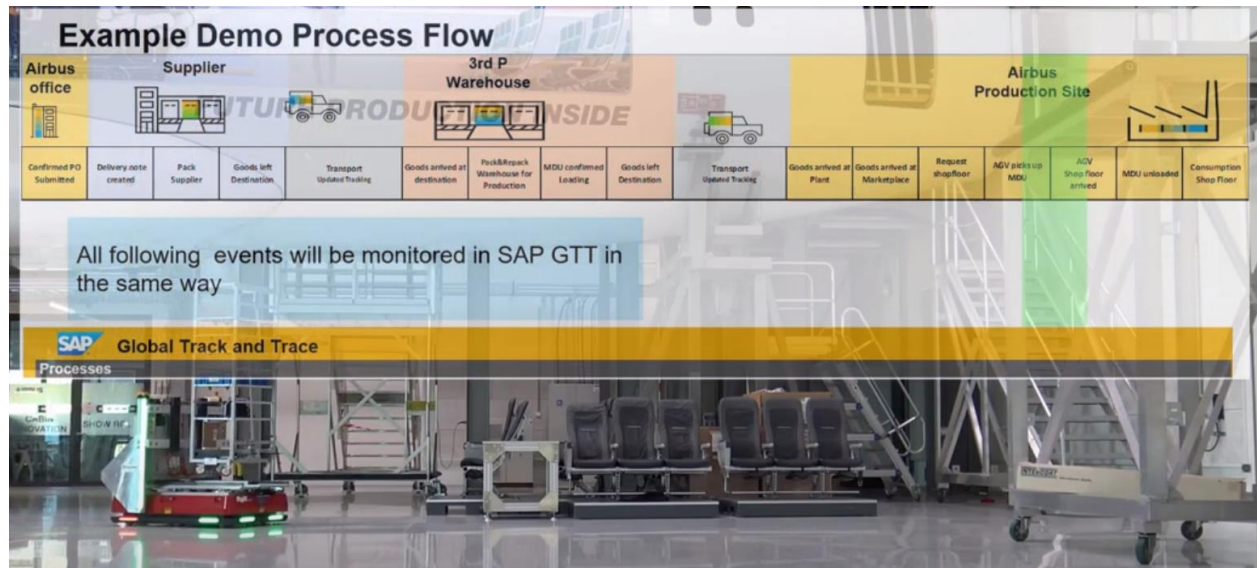


Abbildung 50: Anlieferung der Komponente wird im GTT getrackt

The screenshot displays the SAP Global Track and Trace interface for a purchase order (8207479431-010-1). It shows a list of events with columns for Event, Location, Actual Business Time, Created By, and Created At. A text box indicates that all following events will be monitored in SAP GTT in the same way.

Event	Location	Actual Business Time	Created By	Created At
Loading confirmed to	Airbus office			
Confirmed PO Submitted	Airbus office			
Delivery note created	Supplier			
Pack Supplier	Supplier			
Goods left Destination	Supplier			
Transport Updated Tracking	Supplier			
Goods arrived at destination	3rd P Warehouse	July 31, 2020 9:55:00 AM +02:00	Depot	July 31, 2020, 9:13:50 AM
Pack/Request Warehouse for Production	3rd P Warehouse			
MDU confirmed Loading	3rd P Warehouse			
Goods left Destination	3rd P Warehouse			
Transport Updated Tracking	3rd P Warehouse			
Goods arrived at Plant	Airbus Production Site	July 31, 2020 7:15:00 AM Z	Depot	July 31, 2020, 9:15:40 AM
Goods arrived at Marketplace	Airbus Production Site	July 31, 2020 7:18:00 AM Z	Depot	July 31, 2020, 9:16:20 AM
Request shopfloor	Airbus Production Site	July 31, 2020 7:19:48 AM Z	Depot	July 31, 2020, 9:18:30 AM
AGV picks up MDU	Airbus Production Site			
AGV Shop floor arrived	Airbus Production Site			
MDU unloaded	Airbus Production Site			
Consumption Shop Floor	Airbus Production Site			
Requested at Shopfloor	Airbus Production Site	July 31, 2020 10:05:00 AM +02:00	Depot	July 31, 2020, 9:19:50 AM
Picked by AGV	Airbus Production Site	July 31, 2020 10:08:00 AM +02:00	Depot	July 31, 2020, 9:21:20 AM
AGV Arrived	Airbus Production Site	July 31, 2020 10:10:00 AM +02:00	Depot	July 31, 2020, 9:22:40 AM
Consumed by production	Airbus Production Site	July 31, 2020 10:10:00 AM +02:00	Depot	July 31, 2020, 9:23:30 AM
Trackers detached	Airbus Production Site	July 31, 2020 8:15:00 PM +02:00	Depot	July 31, 2020, 9:23:40 AM

Abbildung 51: Durch Entnahme und Ablösung des Trackers wird der Prozess beendet

## **7 Veröffentlichungen**

### **7.1 Sonstige Veröffentlichungen**

Innerhalb des Projekts erfolgten folgende Veröffentlichungen:

- Zusammen mit dem Partner SAP wurde das Projekt auf der Hannover Messe 2018 und der Veranstaltung „SAP Now“ im März 2019 vorgestellt.

### **7.2 Diplomarbeiten/Studienarbeiten**

Während der Projektlaufzeit wurden keine Diplom-/Studien-/Bachelorarbeiten erstellt.

### **7.3 Erfindungsmeldungen**

Im Rahmen des Projekts wurden keine Erfindungsmeldungen beantragt.

## Abbildungs-/ Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Ziele des Verbundprojekts DEPOT .....	5
Abbildung 2: DEPOT Projektstruktur .....	7
Abbildung 3: Prozessschaubild HAP3 .....	12
Abbildung 4: DEPOT Projektstruktur .....	14
Abbildung 5: Kamerapositionierung am Flugzeugbauplatz .....	22
Abbildung 6: Beispielhafte Ereignistabelle .....	22
Abbildung 7: StationCam-Testaufnahmen im Zentrum für Angewandte Luftfahrtforschung ..	23
Abbildung 8: Heutiger Wanzl-Wagen.....	24
Abbildung 9: 3D Modell modularer Wanzl-Wagen .....	25
Abbildung 10: Test AGVs bei Airbus.....	26
Abbildung 11: Sensornachrüstung am Open Shuttle 50 .....	26
Abbildung 12: Konzept der Sensormodifikation .....	27
Abbildung 13: Open Shuttle Forklift im ZAL .....	27
Abbildung 14: Testaufbau Materialübergabe Quelle .....	28
Abbildung 15: Auszug Outdoor-Tracking Fahrwerk .....	30
Abbildung 16: Architektur der Schnittstellen SAP cloud – DAKO .....	30
Abbildung 17: Systemaufbau Indoor-Lokalisierung Airbus.....	33
Abbildung 18: DEPOT Architektur .....	34
Abbildung 19: Stationen in der Halle mit angebenen Abstandssensoren. ....	35
Abbildung 20: Status der Prozessschritte und deren Verzögerung .....	36
Abbildung 21: Digitaler Zwilling.....	38
Abbildung 22: Semantische Kontextualisierung der Daten .....	39
Abbildung 23: Modul zur semantischen Integration .....	40
Abbildung 24: Use-Case "Prozess der Contractual Compliance" .....	42
Abbildung 25: Vision zur Dateneinbindung .....	43
Abbildung 26: Einbindung externer Daten aus der Logistik und der Supply Chain.....	43
Abbildung 27: Synergieeffekte mit der Blockchain Technologie.....	44
Abbildung 28: Federated Machine Learning Prozess .....	45
Abbildung 29: Vernetzte Zulieferkette.....	47
Abbildung 30: End to end Control of Supply Chain .....	48
Abbildung 31: Projekt Phasen .....	49
Abbildung 32: Übersicht zum Aufbau des Demoprozesses im ZAL .....	51
Abbildung 33: Übersicht zum Aufbau des Demoprozesses im ZAL .....	52
Abbildung 34: Zentrum für Angewandte Luftfahrtforschung als Testumgebung .....	53
Abbildung 35: Demonstrationsprozess Ende zu Ende .....	53
Abbildung 36: Prozessstart: Kreierung einer Bestellung mit dem ERP Simulator.....	54
Abbildung 37: Nachverfolgung der Bestellung und des gesamten Prozessablaufes .....	55
Abbildung 38: Kartenansicht im Global Track and Trace Modul.....	55
Abbildung 39: Lieferant erstellt in seinem ERP eine Lieferung.....	56
Abbildung 40: Automatisch Aktualisierung des GTT .....	56
Abbildung 41: Ware verlässt den Lieferanten. DAKO GPS-Tracker sendet Geo-Daten.....	57
Abbildung 42: Ankunft wird mittels Geo-Zonierung automatisch erfasst .....	57
Abbildung 43: Angeliefertes Material wird einem Produktionsauftrag zugeordnet.....	58



Abbildung 44: Automatische Aktualisierung des GTT .....	58
Abbildung 45: Intelligente MDU erkennt Beladung durch Favendo Tracker .....	59
Abbildung 46: Lokalisierung durch DAKO Geo-Tracker, Erfassung in GTT .....	59
Abbildung 47: Ankunft der Ware auf der intelligenten MDU am Marktplatz .....	60
Abbildung 48: Erfassung der Ware vom Favendo-Tracker. Aktualisierung im GTT.....	60
Abbildung 49: AGV erhält den Fahrauftrag und lädt die MDU.....	61
Abbildung 50: Anlieferung der Komponente wird im GTT getrackt.....	62
Abbildung 51: Durch Entnahme und Ablösung des Trackers wird der Prozess beendet.....	62

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) <b>Schlussbericht</b>
3. Titel <b>Schlussbericht / Verbundvorhaben LUFO V-3 DEPOT - Digitale Entwicklung Produktion Logistik Transport</b>	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] <b>Döbertin, Oliver</b>	5. Abschlussdatum des Vorhabens <b>31.06.2021</b>
	6. Veröffentlichungsdatum <b>01.12.2021</b>
	7. Form der Publikation <b>Schlussbericht</b>
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) <b>Airbus Operations GmbH Kreetslag 10 21129 Hamburg</b>	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen <b>20X1731A</b>
	11. Seitenzahl <b>65</b>
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) <b>Bundesministerium für Wirtschaft und Energie Scharnhorststr. 34-37 10115 Berlin</b>	13. Literaturangaben <b>0</b>
	14. Tabellen <b>0</b>
	15. Abbildungen <b>51</b>
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) <b>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. / Projektträger Luftfahrtforschung und -technologie</b>	
18. Kurzfassung Das von der Airbus Operations GmbH geführte Verbundvorhaben <b>LUFO V-3 DEPOT - Digitale Entwicklung Produktion Logistik Transport</b> repräsentierte ein Forschungsnetzwerk aus Logistikspezialisten, Technologiezulieferern und einem Flugzeughersteller mit dem Ziel der Optimierung der Wirtschaftlichkeit und Wertschöpfung der logistischen Prozesse durch die Integration von Automatisierungs- und Digitalisierungslösungen der Industrie 4.0 vom Design über die Produktion beim Lieferanten bis hin zur Fertigung beim Hersteller. Der Aufbau der Hauptarbeitspakete orientierte sich an der Lieferkette mit der Design- und Produktionsoptimierung beim Lieferanten (Hauptarbeitspaket 1) und dem darauffolgenden Transport vom Lieferanten, über das Lager bis zum Einbauort am Flugzeug mit der Schnittstelle zur Produktion bei Airbus (Hauptarbeitspaket 2). Das Hauptarbeitspaket 3 bildete die übergreifende Klammer der Lieferkette und erforschte auf Grundlage einer umfassenden Datentransparenz die selbstadaptive Steuerung. Zwischen- und Endergebnisse wurden anhand definierter Anwendungsfälle im Hauptarbeitspaket 4 dargestellt.	
19. Schlagwörter <b>Digitale Entwicklung, Produktion, Logistik Transport</b>	
20. Verlag	21. Preis

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report
3. title Closure Report / Compound project LUFO V-3 DEPOT - Digital Development Production Logistic Transport	
4. author(s) (family name, first name(s)) Döbertin, Oliver	5. end of project 31.06.2021
	6. publication date 30.09.2021
	7. form of publication Final Report
8. performing organization(s) (name, address) Airbus Operations GmbH Kreetslag 10 21129 Hamburg	9. originator's report no.
	10. reference no. 20X1731A
	11. no. of pages 65
12. sponsoring agency (name, address)  Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 53107 Bonn	13. no. of references 0
	14. no. of tables 0
	15. no. of figures 51
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. / Projektträger Luftfahrtforschung und -technologie	
18. abstract The compound project <b>LUFO V-3 DEPOT - Digital Development Production Logistics Transport</b> , led by Airbus Operations GmbH, represented a research network of logistics specialists, technology suppliers and an aircraft manufacturer with the aim of optimizing the profitability and added value of logistics processes through the integration of automation and digitization solutions of Industry 4.0 from design to production at the supplier to the integration at the aircraft manufacturer. The structure of the main work packages was based on the supply chain with the design and production optimization at the supplier (main work package 1) and the subsequent transport from the supplier, through the warehouse to the installation location on the aircraft with the interface to production at Airbus (main work package 2). The main work package 3 formed the overarching bracket of the supply chain and researched self-adaptive control on the basis of comprehensive data transparency. Interim and final results were presented on the basis of defined use cases in the main work package 4.	
19. keywords Digital Development, Production, Logistic, Transport	
20. publisher	21. price