

**Abschlussbericht zu Nr. § 9 Abs. 1**  
(Beantwortung in Stichworten genügt)

**Gemeinsamer Abschlussbericht Konsortium**

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



**SMART**  
**FLEET**

Stuttgart Airport  
Aebi Schmidt Group  
Volk

|   |  |
|---|--|
| Auftragnehmer:<br><b>Aebi Schmidt Deutschland GmbH</b>  | Förderkennzeichen:<br><b>19A18018A</b> |
| Vorhabensbezeichnung:<br><b>SmartFleet – Autonome Nutzfahrzeuge für den sicheren und effizienten Flughafeneinsatz</b> |  |
| Laufzeit des Vorhabens:<br>01.03.2019 - 31.12.2022  |  |

## Inhaltsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| <b>I. Kurze Darstellung</b> .....  | 4  |
| 1. Aufgabenstellung .....  | 4  |
| 2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde .....  | 4  |
| 3. Planung und Ablauf des Vorhabens .....  | 6  |
| 4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde .....   | 7  |
| 5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen. ....  | 9  |
| <b>II. Eingehende Darstellung</b> .....  | 10 |
| 1. Der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit<br>Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele .....                          | 10 |
| AP 1: Projektkoordination .....  | 10 |
| AP 2: Prozess- und Technologieanalyse.....   | 11 |
| AP 3: Analyse der rechtlichen Rahmenbedingungen .....  | 12 |
| AP 4: Entwicklung Fahrzeugarchitektur .....  | 16 |
| AP 5: Prototypenbau .....  | 17 |
| AP 6: Aufbau Infrastruktur und Kartierung .....  | 18 |
| AP 7: Testeinsatz & Monitoring .....   | 20 |
| AP 8: Validierung & Optimierung .....  | 22 |
| AP 9: Erforschung von Prozess- und Strukturveränderungen .....   | 25 |
| AP 10: Ökonomische und soziale Bewertung.....  | 30 |
| Ökonomische Aspekte.....   | 30 |
| Soziale Aspekte .....  | 39 |
| 2 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....   | 44 |
| 3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit .....  | 44 |
| 4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des<br>fortgeschriebenen Verwertungsplans .....                            | 44 |
| 5 Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt<br>gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen. .... | 45 |
| 6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 11.....   | 45 |
| ANHANG Veröffentlichungen .....  | 46 |
| ANHANG Airport Expert Panel Realtime Survey, Results of Sept. 21 <sup>st</sup> 2022.....   | 47 |

## Abbildungsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| <i>Abbildung 1: Ablaufplan des Vorhabens</i> .....  | 6  |
| <i>Abbildung 2: Trade-off zwischen technologischen und prozessualen Aufwendungen</i> .....    | 15 |
| <i>Abbildung 3: Verbesserung der Technologie-Teilreifegrade im Vorhaben</i> .....             | 21 |
| <i>Abbildung 4: Übersicht Validierungs- und Optimierungsaspekte</i> .....                     | 23 |
| <i>Abbildung 5: Übersicht Einflussfaktoren zur Einführung automatisierter Maschinen</i> ..... | 29 |
| <i>Abbildung 6: Kapitalwertrechnung Winterdienstszenario</i> .....                            | 34 |
| <i>Abbildung 7: Kapitalwertrechnung Winterdienstszenario nordeuropäischer Flughafen</i> ..... | 35 |
| <i>Abbildung 8: Sensitivitätsanalyse Winterdienstszenario</i> .....                           | 36 |
| <i>Abbildung 9: Kapitalwertrechnung Gepäcktransport</i> .....                                 | 37 |
| <i>Abbildung 10: Sensitivitätsanalyse Gepäcktransport</i> .....                               | 38 |
| <i>Abbildung 11: Tagesgangkurve Mai 2022 für den Frachttransport</i> .....                    | 39 |
| <i>Abbildung 12: Überblick Renteneintritt Gepäcktransport</i> .....                           | 40 |
| <i>Abbildung 13: Einsatz-Schichtplan Winterdienst</i> .....                                   | 43 |
| <i>Abbildung 14: Einsatz autonomer Räumfahrzeuge Winterdienst</i> .....                       | 43 |

## Abkürzungsliste

| <b>Abkürzungen</b> | <b>Erklärungen</b>   |
|--------------------|--|
| AOZ                | Autonomous Operation Zone / Robotic Cell   |
| ASAM               | Autonomous or semi-autonomous machine  |
| CACC               | Cooperative Adaptive Cruise Control  |
| CAN                | CAN Bus system   |
| ECU                | Electronic Control Unit  |
| E-Stop             | Emergency Stop   |
| Geo Event          | Activities at a specific location where the plough, brush and blower have to be moved e. g. up/ down/ left/ right or even turned on/ off |
| GNSS               | Global Navigation Satellite System   |
| GPS                | Global Positioning System  |
| HMI                | Human Machine Interface / Display  |
| IMU                | Internal Measurement Unit  |
| RF                 | Radio Frequency  |
| RTK                | Real Time Kinematic  |
| TJS                | Towed Jet Sweeper  |
| V2V                | Vehicle to Vehicle   |

## I. Kurze Darstellung

### 1. Aufgabenstellung

Die Projektpartner Flughafen Stuttgart GmbH (FSG), Aebi Schmidt Deutschland GmbH (ASH) und VOLK Fahrzeugbau GmbH (VOLK) hatten sich zum Ziel gesetzt, basierend auf einer Analyse des flughafenspezifischen Anforderungs- und Einsatzprofils (Arbeitspaket = AP 2) und der rechtlichen Rahmenbedingungen (AP 3) einen automatisierten Gepäckschlepper sowie ein automatisiertes Kehrblassgerät zu entwickeln (AP 4), diese in Form je eines Prototypen aufzubauen (AP 5) und dann im Vorfeldbetrieb bzw. den Start- & Landebahnen (Flugbetriebsflächen) der FSG zu testen (AP 6, 7).

Mit dem Gepäcktransport und der Fahrwegereinigung wurden dabei bewusst zwei besonders kritische Prozesse ausgewählt. Für den Winterdiensteinsatz wurde der Fokus auf Start- & Landebahnen gelegt. Für beide Anwendungsbereiche galt es mit dem Einsatz der Prototypen Erkenntnisse zu gewinnen, um die Fahrzeugkonzepte zu optimieren (AP 8). Zugleich sollte analysiert werden, wie eine zukünftige Umstellung des Flughafenverkehrs auf einen automatisierten Betrieb am besten gestaltet werden kann (AP 9). Eine Bewertung der ökonomischen Vorteilhaftigkeit und der sozialen Konsequenzen (AP 10) sollte das Projekt abrunden.

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

#### Technische Voraussetzungen

Personenkraftwagen mit weitgehenden Autonomiefunktionen befanden sich zum Zeitpunkt des Projektantrages bereits in einem fortgeschrittenen Versuchsstadium. Eine Besonderheit ist dort jedoch, dass sich ein menschlicher Fahrer schon aus rechtlichen Gründen stets an Bord befinden muss (Wiener Verkehrsabkommen). Dieser kann notfalls eingreifen bzw. übernehmen und steht somit konzeptionell als Fallback-Ebene zur Verfügung. Ein vollkommen autonomer Betrieb von Personenkraftwagen war zum Zeitpunkt des Projektbeginns technisch vor allem auf kreuzungsfreien Straßen (Autobahnen) weitgehend problemlos darstellbar, auch mit hohen Geschwindigkeiten von 100 km/h und mehr. Komplexere Verkehrsszenarien (etwa im innerstädtischen Verkehr) bereiteten hingegen erhebliche Probleme.

Im industriellen Einsatz waren Fahrerlose Transportsysteme (FTS) zum Zeitpunkt des Projektantrages bereits Realität. Letztere erreichten allerdings nur sehr geringe Fahrgeschwindigkeiten von 3 bis 6 km/h. Zudem wurden entsprechende Transportgeräte ausschließlich innerhalb geschlossener Fabrikgebäude eingesetzt, so dass störende Umwelteinflüsse weitgehend ausgeschlossen waren.

Für den Gepäcktransport auf dem Flughafenvorfeld und den Schneeräumeinsatz für die Start- und Landebahnen gab es hingegen keine Fahrzeuge, die automatisiert betrieben wurden, sodass in dieser Hinsicht

absolutes Neuland betreten wurde. Der Einsatz auf Flughäfen stellt gewissermaßen eine Schnittmenge der bei obigen Fahrzeugen problembehafteten Einsatzbedingungen dar: Er ist zum einen dadurch charakterisiert, dass Einsparpotentiale, die den Aufwand der Automatisierung rechtfertigen, nur dann gehoben werden können, wenn es gelingt, vollständig auf menschliches Bedienpersonal zu verzichten. Zugleich ist hier ein Einsatz in einem komplexen Verkehrsgeschehen erforderlich, der unter Outdoor-Bedingungen (besonders Nachteinsatz und Winterwetter) erfolgt und mit Fahrgeschwindigkeiten, die um den Faktor 5 höher liegen als bei industriellen Indoor-Anwendungen. Ein Vorteil ist dabei, dass der Flughafeneinsatz ein geschlossenes System darstellt, in dem viele Variablen kontrolliert werden können.

Während der Flughafen-Einsatz somit einerseits eine Summe der Schwierigkeiten darstellt, die im Automotive- und FTS-Bereich bislang nicht adressiert wurden, handelt es sich hier andererseits um ein Einsatzgebiet, das ökonomisch kein annähernd vergleichbares Marktpotential bietet wie der Automotive-Sektor. Der Flughafeneinsatz ist daher tendenziell für große Player in der Branche unattraktiv, weshalb sich für Mittelständler entsprechende Chancen ergeben können.

### **Rahmenbedingungen (Covid/Ukraine)**

Die weltweite Covid-Pandemie hat auch für das Vorhaben größere Störungen im Projektverlauf mit sich gebracht. Darüber hinaus wurde das Projekt in Form der Ukraine Krise ein weiteres Mal mit Störungen konfrontiert. Die wichtigsten Auswirkungen der beiden Krisen waren:

- Die Arbeitszeit der Mitarbeiter aller Projektpartner musste zeitweise auf ein Minimum reduziert werden, um das Ansteckungsrisiko, bzw. Kreuzinfektionen weitestgehend zu minimieren.
- Zuarbeiten von Drittfirmen wurden verzögert geleistet, da sich diese gleichfalls in Kurzarbeit befanden.
- Projektergebnisse konnten teilweise aufgrund bestehender Reisebeschränkungen nicht zeitgemäß erzielt werden.
- Aufgrund der weltweiten Verwerfungen der Lieferketten kamen extreme Lieferverzögerungen hinzu, welche den Projektfortschritt wesentlich beeinträchtigten.
- Wirtschaftliche Belastungen, unter anderem bedingt durch die Umsatzausfälle und/ oder -Rückgänge, und zusätzlich kamen erschwerend Budgetkürzungen hinzu.
- Reisebeschränkungen während der Pandemie störten in Teilen persönliche Abstimmungen unter den Partnern, wo erforderlich, z. B. im Rahmen von Feldtests.
- Die Flughafen Stuttgart GmbH war aufgrund des dramatisch eingebrochenen Flugverkehrs besonders stark betroffen. Folglich musste sie ihre Arbeitsleistung und die Kapazitäten für Testfahrten aufgrund von z. B. Kurzarbeit (teilweise bis zu 70%), Kosteneinsparungen, etc. massiv reduzieren. Vergleichbares war auch auf anderen Flughäfen weltweit der Fall.

Alle oben genannten Punkte waren seit der COVID-Pandemie ein stetiger Begleiter im Projekt und haben die Umsetzung der definierten Arbeitspakete stets erschwert bzw. stark beeinträchtigt, weshalb das Konsortium im Jahr 2022 die kostenneutrale Projektverlängerung, vom 28.02.2022 auf den 31.12.2022, beim Projektträger beantragt und bewilligt bekommen hat. Somit konnten zumindest im beginnenden Winter 2022 die beiden Prototypen für das WinterdienstszENARIO in Betrieb genommen und unter realen Winterereinsatzbedingungen getestet werden. Der finale Test aller Prototypen war unabdingbar, damit die eingesetzten Komponenten und Sensoriken auf ihre Wintertauglichkeit überprüft werden konnten.

### 3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Wie zuvor geschildert führten die vorstehend genannten Rahmenbedingungen zu Verzögerungen im Projekttablauf. Entsprechend wurde eine Projektverlängerung beantragt und der Projektplan wie nachfolgend aktualisiert.

Legende:

- Dunkelgrau = ursprünglicher Zeitplan
- Blau = Verlängerungszeitraum
- Grün = Meilensteine

|      |  | 1   | 2 | 3 | 4 | 5   | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11  | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20  | 21  | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38   | 39 | 40  | 41 | 42 | 43 | 44  | 45 | 46 |      |      |
|------|--|-----|---|---|---|-----|---|---|---|---|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------|----|-----|----|----|----|-----|----|----|------|------|
| AP 1 | Projektkoordination                              | M 1 |   |   |   |     |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |     |    |    |    |     |    |    | M 15 |      |
| AP 2 | Prozess- und Technologieanalyse                  |     |   |   |   | M 2 |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |     |    |    |    |     |    |    |      |      |
| AP 3 | Entwicklung Fahrzeugarchitektur                  |     |   |   |   |     |   |   |   |   |    | M 4 |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |     |    |    |    | M 5 |    |    |      |      |
| AP 4 | Prototypentest                                   |     |   |   |   |     |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    | M 9 |    |    |    |     |    |    |      | M 12 |
| AP 5 | Aufbau Infrastruktur & Kartierung                |     |   |   |   |     |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |     |    |    |    | M 6 |    |    |      |      |
| AP 6 | Testeinsatz- & Monitoring                        |     |   |   |   |     |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |     |    |    |    |     |    |    |      |      |
| AP 7 | Validierung & Optimierung                        |     |   |   |   |     |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    | M 7 |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | M 10 |    |     |    |    |    |     |    |    | M 13 |      |
| AP 8 | Erforschung der Prozess- & Strukturveränderungen |     |   |   |   |     |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | M 11 |    |     |    |    |    |     |    |    | M 14 |      |
| AP 9 | Ökonomische & soziale Bewertung                  |     |   |   |   |     |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |     | M 8 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |     |    |    |    |     |    |    | M 14 |      |

ABBILDUNG 1: ABLAUFPLAN DES VORHABENS

Während der Projektarbeit wurden zwei Hauptarbeitsstränge parallel verfolgt: Automatisierung von Gepäckschleppern und Winterdienstfahrzeugen. Wo immer möglich wurden Aufgaben gemeinsam bearbeitet, um

größtmögliche Synergiepotentiale zu nutzen und eine gegenseitige Validierung sowie Absicherung der Ergebnisse sicherzustellen.

#### **4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde**

Automatisierungsbestrebungen gab es zu Beginn des Projektes in den Automobilbereichen, der Indoor-Logistik, im Hafenumfeld, im Bereich Fahrerlose Transportsysteme (FTS) und der Landwirtschaft. Im Flughafenbereich gab es hingegen noch keine wirklichen Bemühungen, was sicherlich den komplexen Anforderungen in diesem Spezialbereich (abgegrenzte Bereiche mit hohen Sicherheitsstandards) geschuldet ist. Über die rein technologische Dimension hinausgehende Erörterungen zu ökonomischen und sozialen Implikationen automatisierter Fahrzeugkonzepte im Flughafeneinsatz lagen zu Projektbeginn ebenfalls nicht vor. Die Projektpartner betraten somit auch diesbezüglich Neuland.

Weitere Details des technischen Standes werden von jedem Projektpartner im jeweils individuellen Bericht vertieft.

Zu Beginn des Projektes gab es weder im Bereich der Winterdienstfahrzeuge, noch unter den Zugmaschinenherstellern für Gepäck- und Frachtabfertigung auf Flughäfen nennenswerten Aktivitäten im Bereich des automatisierten Fahrens. Die LKW-Hersteller (Zugmaschine) hatten bereits Marketing-Showcases durchgeführt, wohingegen die Kehrblasgeräteanbieter (TJS) lediglich in den ersten Analysephasen tätig waren. Eine große Herausforderung hin zur Automatisierung der Fahrzeuge stellte vor allem die Schnittstelle zwischen den Systemen (LKW und Kehrblasgerät) dar. Für einen effizienten Winterdiensteinsatz ist eine saubere Definition der Schnittstelle unabdingbar, um eine reibungslose Funktion abbilden zu können. Im Rahmen des Förderprojektes wurde an genau diesen Punkten angesetzt.

Zwar hatte Volk schon Erfahrung mit sogenannten Fahrerlosen Transportsystemen (FTS) für innerbetriebliche Transportaufgaben, jedoch unterscheiden sich diese in mehreren relevanten Aspekten, sodass eine direkte Übertragung der dortigen Lösungen auf das Flughafenvorfeld nicht möglich war. Zu nennen ist beispielsweise, dass derartige Fahrzeuge ausschließlich im Indoorbereich und mit geringen Fahrgeschwindigkeiten, von typischerweise 3 – 6 km/h eingesetzt werden. Der Einsatz am Flughafen erfordert hingegen deutlich höhere Fahrgeschwindigkeiten und den Betrieb an 365 Tagen im Jahr unter jeglichen Einsatz- und Witterungsbedingungen. Die Firma Volk stellt bereits seit vielen Jahren Gepäck- und Frachtschlepper für Flughafenwendungen her und war insoweit zu Projektbeginn bereits bestens mit den Anforderungen und Prozessen der Kunden vertraut und konnte für die Automatisierung auf einem bewährten Basisprodukt aufsetzen. Für die softwaretechnische Integration der erforderlichen Sensoren arbeitete Volk mit einem Systempartner aus dem Bereich Intralogistik, der Firma Kinemotion, zusammen. Eine besondere Herausforderung neben der Automatisierung an sich war insbesondere auch die Steer-by-Wire-Lenksäule, die zu großen Teilen selbst entwickelt werden musste, da keine adäquaten Produkte am Markt verfügbar waren. Im Bereich der Kehrblas- bzw. Winterdienstgeräte gab es seitens der LKW-Hersteller lediglich Marketing-

Showcases. Unter den am Markt vertretenen Winterdienstgeräteherstellern waren jedoch keine Lösungen verfügbar.

Zu Projektbeginn fanden die Konsortialpartner auf Subsystem-Ebene, d. h. auf der Ebene einzelner Komponenten und Sensoren, einen entwickelten Stand der Technik vor. Entsprechende Produkte wurden serienmäßig am Markt angeboten. Auf Gesamtsystem-Ebene, d. h. auf der Ebene der funktionalen Integration der Komponenten und Sensoren zu einem funktionsfähigen, automatisiert fahrenden Prototypen, mussten die Projektpartner hingegen wesentliche Entwicklungsarbeit erbringen.

### **Regulatorisches Umfeld / Fachliteratur**

Für die beiden Use-Cases Gepäckschlepper und Winterdienst gab es keine bestehenden Richtlinien und Normen, die für die Partner im Projekt unmittelbar anwendbar gewesen wären. Das Konsortium zog daher bereits bestehende Normen und Richtlinien aus verschiedenen anderen Bereichen heran, um beispielsweise Analogieschlüsse (z. B. Mining) zu ziehen. Weiterhin wurden, wie für das manuelle Fahren auch, bestehende Richtlinien zur Maschinensicherheit verwendet:

- ISO 17757 Earth-moving machinery and mining — Autonomous and semi-autonomous machine system safety
- ISO 26262 Road vehicles — Funktionale Sicherheit
- DIN EN ISO 12100 Risikobeurteilung und Minderung
- EN 15430 Datenerfassung und Übertragung

Beispielsweise wurde im Winterdienstbereich die ISO 17757 Norm als Analogie zur Erarbeitung der Systemarchitektur als Grundlage benutzt, um die Funktionen des automatisierten Systems für die Anforderungen im Winterdienstbereich auf Flughäfen sicher auszulegen.

Beide Hersteller nutzten ISO 26262 und DIN EN ISO 12100 zur Beurteilung der Risiken, die von einer automatisierten Maschine ausgehen, sowie zur Herbeiführung von Lösungen zur Minimierung dieser Risiken. Darüber hinaus wurde EN 15430 hinsichtlich Datenerfassung und Übertragung der Daten betrachtet. Im Rahmen der Recherchetätigkeiten wurden während der Projektbearbeitung unter anderem das Straßenverkehrsgesetz und autonome Verordnungen untersucht, welche allerdings zu Beginn des Projektes in unzureichender Form als Grundlage dienten. Im Laufe der Bearbeitungszeit wurde jedoch an diesem „Graubereich“ gearbeitet und zum Ende des Projektes kamen zunehmend Verordnungen zum automatisierten Fahren auf. Diese bezogen sich jedoch hauptsächlich auf den öffentlichen Straßenverkehr und waren für den Einsatz in geschlossene Bereiche nicht unbedingt zutreffend.

Die VDA-Norm 5050, welche einheitliche Schnittstellen und Standards für zukünftige automatisierte Flotten regelt war zu Projektbeginn noch nicht verfügbar. Diese wird jedoch nach Auffassung der Projektpartner zukünftig eine sehr bedeutende Rolle spielen (siehe hierzu auch AP 3, Analyse der rechtlichen Rahmenbedingungen).

## **5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.**

Im Rahmen von Fachvorträgen und Expertengesprächen wurden relevante Quellen herangezogen, um einen Erfahrungsaustausch hinsichtlich technologischer Fragestellungen, regulatorischer Rahmenbedingungen sowie ökonomischer und sozialer Nutzung der Fahrzeugentwicklung zu realisieren. Nachfolgende Organisationen wurden hierzu kontaktiert:

- Projektaustausch mit People Mover
- Fachlicher Austausch auf Fachkonferenzen, z. B. in Berlin bzw. auf Messen (LogiMat, etc.)
- TÜV, Homologations- & Zulassungsstellen
- Patentanwälte
- Zulieferer/Komponentenhersteller (z. B. Allnav, Sick etc.)
- DIN-Normungsausschuss
- Mercedes Benz Testzentrum für automatisiertes Fahren in Immendingen
- GATE - Fachverband German Airport Technology & Equipment e.V., besonders der Arbeitskreis Automatisiertes Fahren
- Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen, ADV
- Airport Expert Panel als Plattform für Austausch mit Experten von internationalen Flughäfen, zur Validierung des Technologie- und Prozessansatzes
- Industrieexperten (z. B. Benchmarks aus anderen Industriezweigen: IAV, Volvo Mining, Mercedes Benz, landwirtschaftliche Hersteller wie etwa Valtra, Automatisierungspartner aus Hafenapplikationen sowie Werkslogistik)
- Technologiepartner im Bereich der Kommunikation, insbesondere 4G & 5G Anbieter (privat & öffentlich)
- Internationale Flughäfen und Bodenverkehrsdienstleister
- Verschiedene LKW Hersteller (z. B. Mercedes Benz/Daimler, MAN, Volvo, etc.)

## II. Eingehende Darstellung

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

#### AP 1: Projektkoordination

Zur gegenseitigen Koordination, zum Informationsaustausch und zur Sicherung des Projektfortschrittes fand über die gesamte Projektlaufzeit im 14-tägigen Turnus ein Regeltermin aller Projektpartner in Form von Telefon- bzw. Videokonferenzen statt. Daneben erfolgten zahlreiche gemeinsame Workshops zu aktiven AP's am Flughafen Stuttgart, u. a. am 20.07.2021, 26.04.2022, 21.07.2022 und 21.11.2022. Daneben nahmen die Projektpartner auch zahlreiche bilaterale Termine, bezogen auf die spezifischen Applikationen und Use Cases, wahr.

Der Austausch mit dem Projektträger erfolgte in Form von Vor-Ort-Meetings und Videokonferenzen. Vor-Ort-Termine fanden am 26.06.2019, am 18./19.09.2019 in Stuttgart sowie am 14./15.01.2020 beim Projektkoordinator Aebi-Schmidt in St. Blasien statt. Am 22.03.2021 sowie 18.11.2021 erfolgte der Austausch aufgrund der Corona-Pandemie online. Online-Workshops zu den AP's 9 und 10 wurden u. a. am 04.05. & 18.05.2021 durchgeführt.

Daneben fanden weitere gemeinsame Termine zum Austausch mit relevanten Stakeholdern statt. Bereits am 08.09.2019 wurde am Rande des Branchenevents Interairport Europe in München ein Airport Professional Experience Day mit rund 250 Teilnehmern aus der ganzen Welt abgehalten. Hierbei wurde das Projekt durch den Projektkoordinator und den Praxispartner Flughafen Stuttgart einem interessierten Fachpublikum vorgestellt. Im Rahmen einer anschließend durchgeführten Echtzeit-Online-Umfrage wurden die Erwartungen und Einschätzungen des Fachpublikums zum Thema automatisiertes Fahren auf Flughäfen erstmals erhoben, um diesen Input in das Projektdesign einfließen zu lassen. Bereits kurze Zeit später, am 23.10.2019, erfolgte darüber hinaus ein Expertengespräch mit Vertretern des Flughafens Düsseldorf über die jeweiligen Aktivitäten im Bereich des automatisierten Fahrens. Am 21.09.2022 erfolgte im Rahmen des durch den Projektkoordinator Aebi Schmidt organisierten und am Flughafen Stuttgart abgehaltenen Airport Expert Panels ein Austausch mit Flughafenbetreibern aus ganz Europa, u. a. aus der Schweiz (Zürich), aus Österreich (Wien), aus dem Vereinigten Königreich (MOD), Rumänien, der Türkei (Istanbul), Polen (Warschau), Schweden (Swedavia) und Norwegen (Avinor). Aus Deutschland nahmen darüber hinaus Vertreter der Flughäfen Frankfurt, Berlin, Köln/Bonn, Düsseldorf, Leipzig und selbstverständlich Stuttgart teil. Auch Entwicklungspartner brachten ihre Expertise im abschließenden Diskussionsforum ein, siehe Anhang: Airport Expert Panel Realtime Survey, Results of September 21st 2022. Austauschtermine mit dem parallel laufenden Projekt Airport Mover erfolgten am 02.03.2021 und 30.09.2021. Des Weiteren erfolgte am 15.06.2021 ein Gesprächstermin mit dem Vorhaben 3AS.

Die Projektpartner nahmen darüber hinaus an der Fachtagung des BMWi, BMBF und BMVI im Rahmen des Aktionsplans „Forschung für autonomes Fahren“ am 05./06.12.2019 in Berlin teil. Diese bot eine wert-

volle Plattform, um sich mit anderen, parallellaufenden Projekten auszutauschen und mit Unternehmen, die in der automatisierten Wertschöpfungskette vor- und nachgelagert sind, über aktuelle Entwicklungstendenzen im Bereich des automatisierten Fahrens zu diskutieren. Demselben Zweck dienten Besuche bei Industriemessen, wie beispielsweise die Logimat in Stuttgart, und die Teilnahme an Workshops und anderen Formaten, wie etwa der Autonomous Industrial Vehicle Technology Conference in Köln und Industriemessen wie die Logimat in Stuttgart, etc., um sich bei Zulieferern und Industrieexperten über Innovationen und aktuelle Entwicklungen zu informieren. Ein Abstimmungsgespräch mit der Autonomous Driving Unit des TÜV Süd (Dr. Abdelatif) diente der Erarbeitung der rechtlichen Grundlagen.

Um über das Projekt und den aktuellen Projektfortschritt zu informieren, wurden im Februar 2021 sowie im September 2022 Vor-Ort-Termine mit Praxisvorführungen durchgeführt, an denen Vertreter der deutschen und internationalen Presse teilnahmen [siehe Pressespiegel im Anhang]. Um einen einheitlichen Auftritt nach außen zu gewährleisten entwickelten die Projektpartner zu Beginn des Projektes eine gemeinsame Corporate Identity, die u.a. in einem Projektlogo ihren Niederschlag fand.

Angesichts einer zunehmend verschärften Pandemielage und nachgelagerter Probleme (Lieferverzögerungen, Kurzarbeit, Reisebeschränkungen, etc.) kam der Sicherstellung des Projektfortschritts und der Einhaltung des Projektplans ein zunehmender Stellenwert innerhalb der Projektkoordination zu. Hierbei wurden wiederholt Anpassungen im Projektplan erforderlich. Trotz aller Anstrengungen sah sich das Konsortium letztlich gezwungen, in Abstimmung mit dem Projektträger, einen Projektverlängerungsantrag zu stellen.

## **AP 2: Prozess- und Technologieanalyse**

Das Prozessgefüge der Gepäckabfertigung sowie des Winterdienstes wurde im Konsortium anhand von Interviews mit dem Betreiber (Flughafen Stuttgart GmbH) und einer gemeinsamen Begehung der Flugbetriebsflächen (Vorfeld, Standplätze, Rollwege, Start- und Landebahnen) sowie des Gepäckkellers analysiert. Ziel war es, die Einsatzbedingungen in den Bereichen Winterdienst und Gepäckabfertigung möglichst detailliert zu erfassen, um auf dieser Grundlage die Vorteilhaftigkeit unterschiedlicher technologischer Ausführungsvarianten beurteilen zu können. Um die Komplexität des realen Geschehens für die technische Umsetzung handhabbar zu machen, wurden für beide Einsatzgebiete mehrere Prozesse bzw. Einsatzszenarien definiert, welche klar voneinander abgrenzbar sind. Hierzu wurden mehrere Workshops mit Bereichsverantwortlichen und Einsatzpersonal aus den operativen Abteilungen durchgeführt. Im Winterdienst wurde grundlegend zwischen dem Einsatz auf der Start-/Landebahn, auf Taxiways, Verkehrswegen und Flugzeug-Parkpositionen differenziert, wobei deutlich wurde, dass eine Automatisierung unter sicherheitstechnischen Gesichtspunkten zunächst nur auf dem Runway möglich ist. Darüber hinaus wurden verschiedene Räumkonzepte in Abhängigkeit von der Schneemenge untersucht. In der Gepäckabfertigung wurde grundlegend zwischen dem Einsatz auf dem Vorfeld und im sogenannten Gepäckkeller differenziert, wobei beide

Einsatzbereiche unterschiedliche Anforderungen an die Technologie zur Positionsbestimmung mit sich bringen. Darüber hinaus wurden konkrete Abläufe bzw. Prozessschritte untersucht, wie z. B. An- und Abkuppeln, Kreuzungsverkehre, etc. Die definierten Prozesse bzw. Einsatzszenarien bildeten nicht nur die Grundlage für die technologische Auslegung bzw. Entwicklung der beiden Prototypen, sondern dienten zugleich als Input für die Arbeitspakete 9 & 10. Mit Blick auf AP 9 wurde deutlich, dass in einigen Bereichen eine Neudefinition von Prozessen erforderlich werden kann, entweder weil, es ablauftechnisch nicht sinnvoll ist, bestehende Prozesse 1:1 mit autonomen Fahrzeugen nachzubilden, oder, weil durch gegebene Grenzen der Technologie im Rahmen der Risikoanalyse eine Prozessanpassung unumgänglich wird. Dabei standen Einzelprozesse sowie die Einbindung der Fahrzeuge in das „Ökosystem“ Flughafen im Fokus. Neben dem Mischbetrieb autonomer und manuell gesteuerter Fahrzeuge und deren Abbildung in einem Leitstandsrechner stand dabei vor allem die systemtechnische Anbindung im Vordergrund.

Die Technologieanalyse untergliederte sich grob in die Bereiche Umfeldsensorik und Aktuatorik. Da das Thema Positionsbestimmung ggfs. auch infrastrukturseitige Voraussetzungen mit sich bringt und insofern von übergeordneter Bedeutung für alle Projektpartner ist, suchten die drei Projektpartner vor allem im Bereich der Positionsbestimmung gemeinsam und eng miteinander abgestimmt nach Lösungsansätzen. Hierzu wurden Gespräche mit verschiedenen Herstellern (u. a. Trimble und CPAC) durchgeführt. Die Projektpartner entschieden sich für die Verwendung eines differentiellen GPS mit Mobilfunk-Korrekturdaten. Die Bearbeitung der Bereiche Navigation und Hinderniserkennung erfolgte fahrzeugspezifisch durch die beiden Hersteller. Gleiches gilt auch für den Bereich der Aktuatorik, also die Umsetzung der Steuerungsbefehle in konkrete Fahr- bzw. Lenkbewegungen.

### **AP 3: Analyse der rechtlichen Rahmenbedingungen**

Seit 2017 gibt es in Deutschland ausdrückliche Zulassungsvoraussetzungen für autonome Fahrzeuge, welche zunächst für Fahrzeuge bis Level 4 konzipiert waren. Im Jahr 2021 wurde dieses Regelwerk noch einmal aktualisiert und deckt seitdem auch autonome Fahrzeuge mit Level 5 ab. Geregelt werden hier u.a. die technische Ausrüstung (§1a), die Rechte und Pflichten des Fahrzeugführers (§1b), festgelegte Betriebsbereiche für den autonomen Modus (§1d), die Pflichten der Beteiligten beim Betrieb mit autonomer Fahrfunktion (§1f), die Datenverarbeitung bzw. der Datenschutz (§1g) sowie die nachträgliche Aktivierung von automatisierten und autonomen Fahrfunktionen. Im Bereich der technischen Ausrüstung werden beispielsweise die folgenden Aspekte abgebildet: Erkennen von Risiken & Hindernissen, Auslegung auf Schadensvermeidung/-reduzierung, Selbstständiges Versetzen in den risikominimalen Zustand, Vorschlag alternativer Fahrmanöver an technische Aufsicht & Prüfung vorgegebener Fahrmanöver, stabile & sichere Funkverbindung.

Zu beachten ist allerdings, dass führerlose Fahrzeuge im Straßenverkehrsgesetz (StVG) nicht berücksichtigt werden. Gerade dies ist aber natürlich das Ziel der Automatisierung auf Flughäfen, da sonst keine Einspareffekte erzielt werden können. Außerdem gelten die Regelungen im StVG nur für den Betrieb auf öffentlichen Straßen. Automatisierte Fahrzeuge, die auf dem Flughafengelände verkehren, unterliegen nicht den strengen Anforderungen des StVG. Vielmehr bestimmt sich ihre rechtliche Zulässigkeit danach, ob das Fahrzeug selbst sicher betrieben werden kann und ob die Personen und Betriebsmittel in dessen Wirkungskreis geschützt sind. Trotzdem ist es lohnenswert die StVG näher zu betrachten 1.) weil bestimmte Aspekte auf dem Flughafen in analoger Weise relevant sind. 2.) weil vorstellbar ist, dass sich Flughafenbetreiber zukünftig im Rahmen ihrer Flughafenbenutzungsordnung an das StVG anlehnen.

Auf EU-Ebene bildet hierbei die Richtlinie 2006/42/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG, kurz: Maschinenrichtlinie, mit den zugehörigen/verwiesenen Normen die Grundlage der rechtlichen Beurteilung. Die Maschinenrichtlinie wird in Deutschland durch das Produktsicherheitsgesetz und die Maschinenverordnung umgesetzt. Daneben gelten für den Schutz der Beschäftigten vor allem das Arbeitsschutzgesetz, die Arbeitsstättenverordnung sowie die Betriebssicherheitsverordnung. Für den Betreiber entsprechender Fahrzeuge ist insbesondere die Gefährdungsbeurteilung wichtig, die sich als zentrale Forderung in all diesen Regelwerken findet. Demnach ist es die Pflicht des Betreibers, die Gefahren, die für die Beschäftigten entstehen können, realistisch einzuschätzen und die erforderlichen Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Im Hinblick auf automatisierte Fahrzeuge gibt hierbei die Betriebssicherheitsverordnung Hilfestellung: Im Anhang 1 sind checklistenartig ganz konkrete Anforderungen aufgelistet, die der Betreiber beim Einsatz mobiler selbstfahrender Arbeitsmittel beachten muss.

Des Weiteren haben wir uns mit den Regelungen zur funktionalen Sicherheit (ISO26262 – Road vehicles – Functional safety) beschäftigt.

Darüber hinaus gibt es in den einzelnen Applikationsbereichen weitere, spezifische Richtlinien, die herangezogen werden können. Im Bereich der Winterdienstgeräte wurden vor allem Rechtsvorschriften und Normen aus dem Mining-Bereich herangezogen ISO 17757 Earth moving machinery and mining – autonomous and semi-autonomous machine. Bei Gepäck- und Cargo-Zugmaschinen handelt es sich in rechtlicher Hinsicht um Flurförderzeuge, für welche es eine Vielzahl von einschlägigen Vorschriften gibt:

- DIN EN ISO 3691-1: Sicherheit von Flurförderzeugen - Sicherheitsanforderungen und Verifizierung
- DIN ISO 6292: Kraftbetriebene Flurförderzeuge und Schlepper - Bremsleistung und Komponentenfestigkeit
- ISO 20898: Flurförderzeuge - Elektrische Anforderungen

Diese grundlegenden Normen nehmen keine Unterscheidung zwischen manuell und automatisch gesteuerten Fahrzeugen vor, sondern regeln ganz allgemein ein einheitliches Schutzniveau zur Unfallverhütung für Flurförderzeuge. Darüber hinaus wurden inzwischen aber auch Normen herausgegeben, welche sich mit den speziellen Anforderungen für den Betrieb von automatisierten Flurförderzeugen beschäftigen und die zu erreichenden Sicherheitslevel für die einzelnen Funktionen festlegen:

- DIN EN ISO 3691-4 (Entwurf): Flurförderzeuge – Sicherheitstechnische Anforderungen und Verifizierung – Teil 4: Fahrerlose Flurförderzeuge und ihre Systeme
- ISO 24134: Flurförderzeuge – Zusätzliche Anforderungen für automatische Funktionen von Staplern

Des Weiteren werden auch Normen aus verwandten Bereichen daraufhin analysiert, ob deren Regelungsinhalte im Analogieschluss von Relevanz sind. Zu erwähnen ist hier beispielsweise die Norm ISO 17757: Earth-moving machinery and mining – Autonomous and semi-autonomous machine system safety.

Spezielle Vorschriften für den Einsatz im Flughafenumfeld und den damit verbundenen Besonderheiten existierten zu Projektbeginn noch nicht, weder auf nationaler Ebene (UVV-Vorschriften) noch im internationalen Kontext (IATA, ICAO, EASA). Zwischenzeitlich gibt es zumindest auf internationaler Ebene erste Ansätze, die für Flughafenbetreiber und Bodenverkehrsdienstleister als Orientierung/Leitfaden dienen sollen, beispielsweise IATA: Airport Handling Ground support Equipment Specifications/AHM 908 2023.

Als Grundlage für die Versicherung der Maschinen ist ein intensiver Dialog zwischen Hersteller und Betreiber bzw. Halter erforderlich. Durch technische bzw. prozessuale Regeln lassen sich damit bei der Gefährdungsbeurteilung/Risikoanalyse mögliche Risiken minimieren. Im Rahmen der engen Zusammenarbeit gibt es zwischen Halter/Betreiber und Hersteller unterschiedliche Fokusbereiche, wobei der Halter für die Erhaltung der Verkehrssicherheit, die regelmäßige Systemwartung sowie die Einhaltung der Überwachungs- & Aufsichtspflichten inkl. die Unterweisung des eingesetzten Personals verantwortlich ist, während der Hersteller primär für die Erstellung einer technisch sicheren Maschine eintritt, bzw. die Schulung des Betreibers. Wichtig: Es kommt auf die Zusammenarbeit zwischen allen Beteiligten an, weil die Reduktion der Risiken durch technische und/oder prozessuale Lösungen herbeigeführt werden kann. Beispielsweise hat das Winterdienstfahrzeug noch keine Hinderniserkennung implementiert (beispielsweise wegen der nach vorne versperrten Sicht durch den Schneepflug), weshalb während der Prototypentestphase auf dem Flughafen eine prozessuale Lösung herbeigeführt wurde. Diese bestand darin, das Fahrzeug ausschließlich auf der Start-/Landebahn einzusetzen, welche zum Einsatzzeitpunkt für alle anderen Verkehrsteilnehmer gesperrt war. Das Vorfeld musste weiterhin mit manuellen Fahrzeugen geräumt werden.

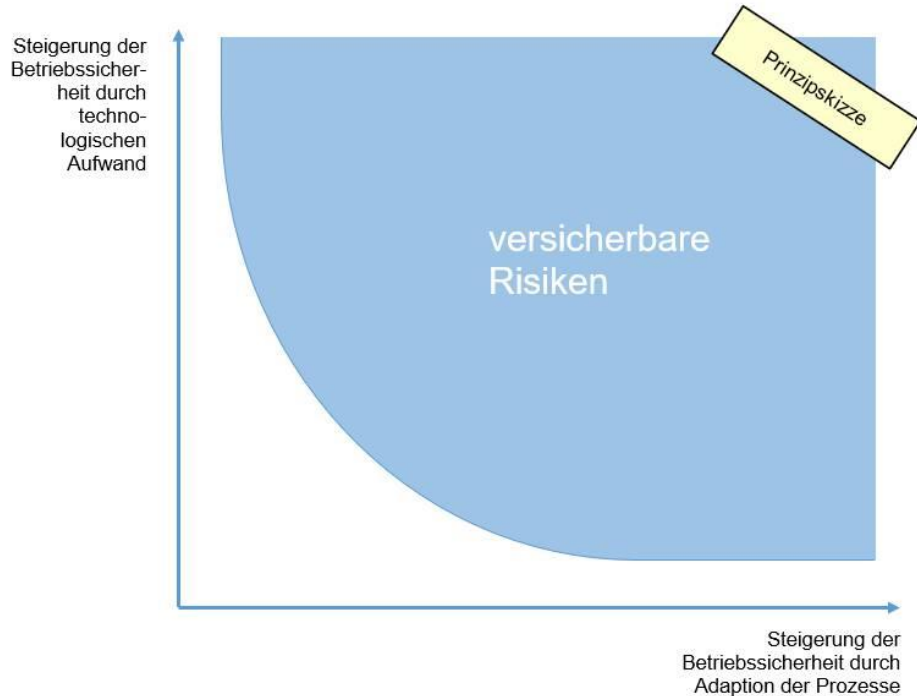


ABBILDUNG 2: TRADE-OFF ZWISCHEN TECHNOLOGISCHEN UND PROZESSUALEN AUFWENDUNGEN

Um eine Versicherbarkeit herzustellen, ist es erforderlich, dass alle beteiligten Parteien eine gemeinsame Risikoanalyse erstellen, um prozessuale oder technische Lösungen herbeiführen.

Im Zuge steigender Automatisierung werden sich stark zunehmende Dokumentationsanforderungen bzw. Nachweispflichten ergeben (bspw. Dokumentation von Freigabeentscheidungen, Aufzeichnung des Fahrzeugumfeldes, Tätigkeiten des an Bord befindlichen Sicherheitsfahrers). Diese Dokumentationsanforderungen stehen tendenziell in einem Zielkonflikt zu datenschutzrechtlichen Vorschriften, sowohl was den Umfang der Aufzeichnung an sich anbelangt, als auch die Speicherung bzw. den Schutz vor missbräuchlicher Nutzung. Beispielsweise ist der Halter verpflichtet, bestimmte Daten zu speichern, wobei bei steigendem Automatisierungsgrad die Datenmenge enorm zunimmt, wie etwa:

- Positionsdaten
- Fahrzeugbeschleunigungen
- Geschwindigkeiten
- Von extern an das Fahrzeug gesendete Befehle
- Zeiten zu der Nutzung von automatisierten Fahrfunktion
- Freigaben von Fahrmanövern
- Zustand aktiver & passiver Sicherheitssysteme
- Ggf. Übermittlung auf Verlangen an KBA & sonstige Behörden

Demgegenüber steht allerdings die Datenschutzgrundverordnung (DGSVO), welche den Schutz vor unerlaubten Eingriffen fordert, bzw. Privatsphäre und Verarbeitung der Daten hinsichtlich personenbezogenen Daten schützen soll.

#### **AP 4: Entwicklung Fahrzeugarchitektur**

Aufbauend auf den Ergebnissen der Prozess- und Technologieanalyse sowie der rechtlichen Rahmenbedingungen, definierten beide Fahrzeughersteller ein Konzept für die Fahrzeugarchitektur. Im Winterdienstbereich wurde das Konzept zunächst bis hin zum automatisierten Fahren mit Sicherheitsfahrer definiert. Dies umfasste ein Konzept, das die Sensorik & Aktuatorik zur Automatisierung des LKWs (Zugfahrzeug) und der TJS (Kehrblasgerät) inkl. Schnittstelle via Zentralrechner vorsieht, jedoch noch keine Sensorik zur Umfeldwahrnehmung beinhaltet. Für den Winterdienstbereich wurde diese Entscheidung getroffen, damit im Projekt schnellere Testergebnisse erzielt werden können, da die Sensorik im Outdoorbereich noch nicht mit dem erforderlichen Performance-Level qualifiziert war, den es laut der Risikoanalyse von Aebi Schmidt zu erfüllen galt.

Volk Fahrzeugbau hingegen beschäftigte sich gleich zu Beginn des Projektes das mit dem Gesamtsystem, also der Umfeldsensorik, dem Zentralrechner sowie der Aktuatorik und der automatisierten Steuerung des Flurförderfahrzeuges. Entsprechend wurden für den Gepäckschlepper die relevanten Systeme (z. B. Kamera, Laserscanner inkl. Warn- und Schutzfelder, etc.) für den Kollisionsschutz näher beleuchtet.

Zur Definition eines sicheren Lenksystems kooperierten beide Hersteller mit Partnern, die im Bereich der „By-wire-Lenksysteme“ bereits technische Kompetenzen bezüglich Auslegung, Ansteuerung und Einbau besaßen. Neben der Lenkung, Ansteuerung und dem erforderlichen Steuerungsrechner war vor allem auch die Positionsbestimmung bzw. die Navigation elementar. Die Projektpartner führten gemeinsam umfangreiche Vergleiche technologischer Alternativen durch, die maßgeblich vom Flughafen Stuttgart vorangetrieben wurde. Gemeinsam entschied man sich für eine Positionsbestimmung mittels RTK (Real Time Kinematic). Der Aufbau einer Basisstation wurde in Erwägung gezogen, jedoch aufgrund eines langen Vorlaufs bis zur Implementierung wieder verworfen. Beide Hersteller nutzten schließlich die sogenannte Netz-RTK-Variante, bei welcher Korrekturdaten vorhandener Referenzstationen mittels Mobilfunk übertragen werden. Dies ermöglichte eine schnelle Test- und Implementierungsphase, ohne lange Vorlaufzeiten. Die RTK-Netzvariante ist zudem ein relativ offenes System mit größtmöglicher Flexibilität. Volk Fahrzeugbau hat sich für eine Rover-Antenne vom Hersteller Trimble entschieden; wohingegen Aebi Schmidt mit einer Hemisphere Variante weitergefahren ist, da diese die beste Systemkompatibilität versprach. Beide Rover-Antennen sind in der Lage verfügbare GNSS-Signale (GPS, GLONASS, BeiDou und Galileo) zu verarbeiten und verfügen zusätzlich über ein integriertes GNSS-Inertialsystem im Falle eines kurzzeitigen Signalabbruchs. Potentielle

Vor- und Nachteile einer „zweigleisigen“ Vorgehensweise durch die beiden Hersteller wurden im Konsortium besprochen.

Wesentliche Bedeutung kommt ebenfalls einem NOT-AUS-Konzept bzw. einer Notfall-Bremseinrichtung zu. Beide Hersteller haben dies, basierend auf den rechtlichen Rahmenbedingungen der Normen und Richtlinien (AP 3), die als Analogieschluss herangezogen wurden, herausgearbeitet – auch in der jeweiligen Risikoanalyse dargestellt. Von besonders hoher Bedeutung ist dabei die Reaktionszeit des Systems ab dem Zeitpunkt des Auslösens sowie der sichere Stillstand bzw. Safe-Stop im Rahmen der Notfallszenarien, die gemeinsam mit dem Flughafen diskutiert wurden. Im Bereich des Gepäckschleppers waren dabei Kreuzungs- und Mischverkehre eine besondere Herausforderung. Für den Winterdienstinsatz werden hingegen die Betriebsflächen exklusiv freigehalten und während der Einsatzzeit für andere Verkehrsteilnehmer gesperrt.

Unterschieden hat sich beispielsweise in der Konzeptentwicklung vor allem auch, dass sich Volk mit automatisierten An- & Abhängemöglichkeiten beschäftigt hat. Demgegenüber steht das automatisierte Einsetzen der Aggregate (Schneepflug, Besen und Gebläse) zum richtigen Zeitpunkt und am korrekten Geopunkt.

#### **AP 5: Prototypenbau**

Nachdem die Entwicklung der Fahrzeugarchitektur für Volk Fahrzeugbau (Gepäckschlepper) und Aebi Schmidt (Winterdienstgeräte) abgeschlossen war, wurde mit dem Prototypenaufbau begonnen. Die Herangehensweise unterschied sich im Rahmen der Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde. Der Hintergrund waren vor allem die COVID-Pandemie und die Ukraine Krise, welche die Lieferketten wesentlich beeinträchtigten. Für beide Unternehmen kam es dadurch zu größeren Verzögerungen. Volk baute einen prototypischen Versuchsträger auf, in welchem die erforderlichen Komponenten verbaut und getestet wurden. Die Testreihe des Gepäckschleppers fand ausschließlich auf dem Gelände des Projektpartners – Flughafen Stuttgart – statt.

Aebi Schmidt hingegen behalf sich mit „Retrofit-Kits“, welche im Rahmen von iterativen Testphasen zu Ergebnissen führten, die dann bereits in technischen Optimierungen sowie einer besseren Usability im tatsächlichen Prototypen resultierten. Diese Nachrüstlösungen wurden an verschiedenen Fahrzeugen, je nach Spezifikation der Kehrblasgeräte und deren Alter sowie der Bereitschaft der jeweiligen Flughäfen einen Test durchzuführen, aufgebaut. Somit wurden bereits acht Flughäfen in die Testphase integriert. Die vielfältige Akzeptanz des Systems war ein positiver Nebeneffekt des Projektes. Nachdem schließlich der Prototyp für das automatisierte Fahren fertiggestellt wurde, erfolgten erste Validierungen auf dem Mercedes-Benz

Testgelände in Immendingen und auf dem Flughafen in Lahr, um mögliche Risiken für den Einsatz auf dem Flughafen Stuttgart ausschließen zu können.

Weitere Details zum Prototypenaufbau finden sich in den jeweiligen Individualberichten der Projektpartner.

## **AP 6: Aufbau Infrastruktur und Kartierung**

Für die Kartierung des Flughafengeländes konnte auf sogenannte GIS-Daten des Projektpartners FSG zurückgegriffen werden. Es zeigte sich, dass das dort vorgehaltene Kartenmaterial sehr umfangreich ist und somit sehr viel Rechenleistung benötigt. Dabei sind viele im Kartenmaterial enthaltene Informationen für das automatisierte Fahren nicht relevant. Daher war eine Bearbeitung der vorliegenden Materialien erforderlich (Herausnahme von sogenannten "Layern", die nicht für das automatisierte Fahren relevant sind). In einem nächsten Schritt wurden die WGS84-Koordinaten in das lokale Koordinatensystem umgewandelt und verifiziert. Dabei war ein Winkelversatz von ca. 16° zu beachten, der sich aus der Drehung des Flughafenkoordinatensystems gegenüber den üblichen Himmelsrichtungen ergibt. Das vom Flughafen Stuttgart bereitgestellte Kartenmaterial wurde dann in den Steuerungsrechner der Prototypen eingespielt.

Bei den Fahrversuchen auf dem Flughafen Stuttgart zeigte sich, dass das „Aufzeichnen“ von Fahrrouten durch manuelles Abfahren von Fahrwegen und „loggen“ der GPS-Koordinaten nicht zu zufriedenstellenden Ergebnissen führt, u. a. weil kleine Ungenauigkeiten im GPS-Signal zu einem „eckigen“ Fahrverhalten führen. Im realen Verkehrsgeschehen sind bei der Aufnahme von Fahrwegen zudem immer wieder kleine Ausweichbewegungen durch die Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern erforderlich, die sich dann in der Fahrwegvorgabe perpetuieren. Aus diesem Grund wurde als alternativer Lösungsansatz erwogen, dass Fahrwegvorgaben im CAD direkt in das Kartenmaterial eingezeichnet werden. Es zeigte sich jedoch, dass auch dieser Ansatz problembehaftet ist. Ein erstes Problem war, dass menschliche Fahrer beim Durchfahren von Kurven intuitiv kleine Optimierungen vornehmen (z. B. Vergrößerung des Kurvenradius durch optimiertes Einlenkverhalten), die so nicht abgebildet werden können, wenn der Fahrweg am Monitor definiert wird. Eine weitere Herausforderung bestand in der Diskretisierung der Daten. Dabei geht es darum, einen im CAD-System als Linie vorgegebenen Fahrweg in einzelne, diskrete Punkte aufzulösen, denen GPS-Koordinaten zugeordnet werden können. Aus diesem Grund wurde schließlich ein hybrider Ansatz verfolgt: die Fahrwege wurden zunächst manuell (Track & Trace) aufgezeichnet und dann im System nachbearbeitet.

In einem nächsten Schritt wurden dann für einzelne Routenabschnitte Geschwindigkeits- & Beschleunigungsparameter definiert. Vereinfacht gesagt, ging es beispielsweise darum, zu definieren, an welchem Punkt eine Kurve angebremst werden soll und ab welchem Punkt im Kurvenverlauf wieder beschleunigt

wird. Während die bis anhin genannten Projektschritte bei beiden Fahrzeugherstellern ähnlich waren, wurden bei der dynamischen Routenanpassung aufgrund von Hindernisumfahrung verschiedene Ansätze gewählt.

Beide Technologiepartner führten umfangreiche Messfahrten durch, um die Verfügbarkeit und Signalgüte der Mobilfunkanbieter auf Schwachstellen zu prüfen. Dabei zeigte sich z. B., dass im Bereich unterhalb der Fluggastbrücken, bzw. an bestimmten Positionen sowie im militärischen Bereich Abschattungsbereiche bestehen (z. B. GNSS-Signal wird ungenau), die unter Zuhilfenahme von Odometriedaten durch die Steuerungselektronik der automatisierten Fahrzeuge kompensiert werden müssen. Das Ziel dieser Messfahrten war es, in den Steuerungsrechnern der Fahrzeuge eine virtuelle Karte der Signalgüte zu hinterlegen, anhand derer die relative Gewichtung der unterschiedlichen Systeme zur Bestimmung von Position und Heading erfolgen kann. Eine überraschende Erkenntnis für die Projektpartner war, dass vor allem in militärisch genutzten Bereichen von Flughäfen die Signalgüte deutlich unterdurchschnittlich ist. Im Hinblick auf vollautomatisierte Flughafenflotten empfehlen die Projektpartner die Verwendung von stationären (lokalen) Korrektursendern, zur Vermeidung von Interferenzen.

Während die beiden Projektpartner im Rahmen des Projektes die Vorhaltung des Kartenmaterials dezentral in den einzelnen Fahrzeugen dargestellt haben, wurde im Laufe des Projektes zunehmend deutlich, dass zukunftsgerichtet bei einer weitgehenden Automatisierung der Flughafenverkehre eine zentrale Ablage auf Flughafenebene unverzichtbar wird, um die Güte sowie die Aktualität des Kartenmaterials gewährleisten zu können. Dabei stellen sich seitens der Fahrzeughersteller die Fragen der Kompatibilität (siehe VDA 5050).

Die Partner setzten sich intensiv mit den technischen Möglichkeiten zur präzisen Navigation auf dem Flughafenareal auseinander. Als technische Lösung für die hochgenaue Navigation wurde von beiden Fahrzeugherstellern das RTK (Real Time Kinematic)-Verfahren ausgewählt. Hierbei boten sich zwei verschiedene Lösungsansätze an. Einmal die Bereitstellung des RTK-Korrektursignals über eine fest stationierte RTK-Sendeeinheit auf/in der Nähe des Flughafens oder zum anderen die Verwendung von bestehenden mobil-gestützten RTK-Korrekturdienstleistern. In Anbetracht der geringen Fahrzeuganzahl im Projekt entscheiden sich die Partner für letzteres. Ausschlaggebend waren hierbei vor allem die höhere Flexibilität, die geringeren Kosten und der niedrige Koordinationsaufwand. Es wurden alle Prototypen mit einer virtuellen Basisstation von NTRIP bedient. Aebi Schmidt verwendete im Vorhaben die GNSS-Antennen-Lösung zur Positionskorrektur von Hemisphere, während Volk Fahrzeugbau eine Lösung von Trimble einsetzte.

Die Verwendung einer festen Basisstation ist vor allem für zukünftige automatisierte Flotten von Relevanz. Einerseits können die Kosten der Anlage dann über eine größere Fahrzeugmenge verteilt werden und zum anderen ist insbesondere die Unabhängigkeit von externen Dienstleistern speziell in Bezug auf die Ausfallsicherheit des Korrektursignals entscheidend.

## **AP 7: Testeinsatz & Monitoring**

Der Testeinsatz begann bei beiden Herstellern schon sehr frühzeitig parallel zum Aufbau der Prototypen. Gerade bei den Gepäckschleppern, die auf dem Flughafen grundsätzlich mit ungebremsten Anhängern fahren, mussten umfangreiche Bremsversuche bei unterschiedlichen Fahrbahnbedingungen und Anhängelasten durchgeführt werden, um die zulässige Fahrgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Reichweite der Lidar-Personenschutzscanner zu definieren.

Um am Flughafen Stuttgart eingesetzt werden zu können, mussten die beiden Prototypen (2021: Gepäckschlepper, 2022: Kehrblasgerät) eine sogenannte Vorfeldplakette erlangen. Hierzu wurden umfangreiche Prüfungen und Funktionstests in der Werkstatt des Flughafen Stuttgart durchgeführt, u.a. unter Einbeziehung des TÜV. Dies stellte einen potenziell kritischen Meilenstein im Ablauf des Projektes dar, weswegen der gewissenhaften Vorbereitung eine große Bedeutung zukam. Die Prüfungen erfolgten zum einen dokumentenbasiert (Konformitätserklärungen, Betriebsanleitungen, Prüfung auf Einhaltung der DGUV Regel 114-606 etc.); zum anderen mussten beide Prototypen ein praktisches Testprogramm durchlaufen, bei dem unter anderem Brems- und Fahrsicherheitstests durchgeführt wurden. Hierbei wurden vor allem die Subsysteme, die dem automatisierten Fahren dienen, und damit besonders sicherheitsrelevant sind, einer intensiven Prüfung unterzogen. Darüber hinaus war durch die beiden Fahrzeughersteller ein adäquater Versicherungsnachweis zu erbringen, wofür entsprechende Anforderungsprüfungen der jeweiligen Versicherer durchlaufen werden mussten, inkl. Vertragsergänzungen/-erweiterungen unter Berücksichtigung des Testkonzeptes. Als Herausforderung erwies es sich hierbei, dass für derartige Einsatzfälle seitens der Versicherungsgesellschaften keine standardisierten Beurteilungskriterien etabliert sind und entsprechend Präzedenzfälle herbeigeführt werden mussten.

Parallel hierzu wurde mit der Schulung des Werkstattpersonals des Flughafens begonnen. Der Schwerpunkt wurde dabei auf die von konventionellen Geräten abweichenden Systeme gelegt: Lidar-Sicherheitsscanner, Kamerasysteme, differentielles GPS, Steuerungsrechner, Steer-by-wire-Komponenten, Brake-by-wire-Komponenten, Einweisung ins Cockpit, Verhalten bei Notfällen, Bergung und Abschleppen sowie Besonderheiten mit Blick auf Wartung und Instandhaltung. Auch das Fahrpersonal wurde auf die Fahrzeuge bzw. deren automatisierte Funktionen eingewiesen.

Die Prozessverantwortlichen aus den Bereichen Gepäck- und Winterdienst waren eng in die Planung und Durchführung der Testkampagnen der Prototypen am Flughafen Stuttgart eingebunden. Dies diente mehreren Zielen: Primäres Ziel war die Definition praxisnaher Testszenarien. Durch die Nutzung des Expertenwissens dieser Mitarbeiter sollte zudem beim Testeinsatz eine möglichst reibungslose und sichere Interaktion mit anderen Verkehren bzw. Prozessen gewährleistet werden. Insbesondere bei der Benutzung von Flugbetriebsflächen, wie z. B. Start- und Landebahnen bzw. Rollwege, waren intensive Absprachen mit der Deutschen Flugsicherung (DFS) erforderlich. Zu guter Letzt strebten die Projektpartner mit der Einbeziehung der Fachverantwortlichen auch eine möglichst breite Akzeptanz der neuen Technologie an.

Neben den oben genannten Hürden zur Erlangung der Fahrerlaubnis auf dem Flughafengelände, wurden vor der Inbetriebnahme flughafenspezifisch bestimmte Themen wie etwa Datenschutz oder Mitbestimmung des Betriebsrats vertieft behandelt (vgl. hierzu AP 3).

Im Anschluss an diese Vorarbeiten erfolgte die Integration der Prototypen in den Realbetrieb. Zunächst wurde eine Ist-Analyse des komplexen Prozessgefüges durchgeführt. Im Falle des Gepäckschleppers wurde die Nord-Süd-Strecke als erstes im Realbetrieb umgesetzt. Im Anschluss wurden weitere standardisierte Routen im automatisierten Modus getestet und abgebildet. Im Winterdienstbereich wurden die sechs bestehenden manuellen „Standard-Winterdienst-Routen“ aufgenommen und im Rahmen mehrerer Testkampagnen sukzessive im automatisierten Modus abgefahren und getestet. Insgesamt wurde mit den einfacheren Szenarien gestartet und nach und nach wurden komplexere Modelle abgebildet. Des Weiteren wurden Einzelfunktionalitäten des Gesamtsystems im Rahmen normierter Tests geprüft, beispielsweise die Notbremsfunktion mittels Personenschutzscanner.

Auf technologischer Ebene war der Startpunkt für die Applikationen Winterdienst und Gepäck-/Frachtransport der Technologie-Teilreifegrad 2 (Beschreibung von Anwendungsszenarien). Zum Ende des Projektes erfolgte in beiden Applikationen eine Demonstration im Realeinsatz (Technologie-Teilreifegrad 7).

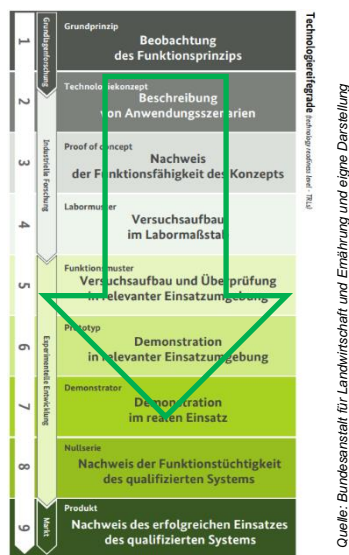


ABBILDUNG 3: VERBESSERUNG DER TECHNOLOGIE-TEILREIFEGRADE IM VORHABEN

## AP 8: Validierung & Optimierung

Für eine erfolgreiche Umsetzung der Testkampagnen war es erforderlich, die gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse aus AP 7 fortlaufend zu validieren und zu optimieren. Nach jeder Testreihe wurden auf Grundlage der gesammelten Erfahrungen relevante Optimierungsschritte eingeleitet. Beispielhaft wurden hierbei die folgenden Punkte adressiert:

| Beobachtung/Problem   | Verbesserung/Lösung   | Bewertung/Lessons learned   |
|---|---|---|
| Navigation/Routengenauigkeit.   | Neupositionierung der Antennen, weitestmöglich auseinander.   | Je weiter die GNSS-Antennen und Transponder voneinander entfernt positioniert werden, desto genauer sind die Positionierung und das Heading.  |
| Kartenmaterial anfänglich zu komplex und auf Flughafen-Koordinatensystem bezogen.   | Herausnahme von „Layern“ und Vereinfachung komplexer geometrischer Strukturen.  | Hohe zu verarbeitende Datenmengen wirken sich negativ auf die Reaktionsgeschwindigkeit der Fahrzeuge aus.   |
| Usability des Displays unzureichend praxistauglich.   | Tag- und Nachtmodus, Zoomfunktion zur besseren Darstellung von Details, Individualisierung der dargestellten Informationen.       | Konsequente Einbeziehung der Endanwender reduzieren den Nachbesserungsaufwand und verbessern die Akzeptanz.   |
| Handling WebEditor unzureichend praxistauglich.   | Einführung von Hilfsfunktionen und Aktivierung standardisierter Funktionen mittels Buttons, Optimierung von Icons und Farbgebung. | Konsequente Einbeziehung der Endanwender reduzieren den Nachbesserungsaufwand und verbessern die Akzeptanz.   |
| Unzureichende Kommunikationsgeschwindigkeit bei zentralisierter Kommunikation über die Cloud erschweren effiziente Formationsfahrten.                     | Implementierung einer dezentralen V2V-Kommunikation.  | Bei der Wahl zwischen Zentralisierung und Dezentralisierung von Funktionen ist ein situativer Ansatz erforderlich.  |
| Auflösung komplexer Verkehrssituationen bei individueller bzw. dezentralisierter Verkehrsführung unzureichend.  | Implementierung einer zentralen Steuerungseinheit für Verkehrsflüsse (air traffic control-Ansatz).                                |   |
| Notbremsfunktion bei Systemausfall nicht ausreichend (zu langer Bremsweg, da Federspeicher nur auf Hinterachse wirkt bzw. Sensoreichweite zu gering ist). | Einbau zusätzlicher Bremsmittel auf der Vorderachse, die bei Systemausfall beaufschlagt werden.                                   | Bei der nach heutigem Stand der Technik noch sehr geringen Reichweite zertifizierter Personenschutzscanner kommt der Leistungsfähigkeit der Notfallbremsanlage eine große Bedeutung zu. |
| Signalgüte variiert und verhindert zuverlässige Navigation.   | Benutzung von weiteren Datenquellen (z. B. Odometrie) und situative Gewichtung dieser Quellen.                                    | Idealerweise Aufbau von lokalen Netzlösungen beim kommerziellen Einsatz von automatisierten Fahrzeugen.   |
| Geforderte Überlappung des Räumereiches der Schneepflüge kann bei Kurvenradien nicht immer  | Verbesserung der Steuerungssoftware und Hardwareanpassung, damit die Schneepflüge zu jeder Zeit                                   | Optimale Arbeitswinkel sollen künftig erreicht werden, um Schnee möglichst effizient zu räumen.   |

|   |  |  |
|---|--|--|
| eingehalten werden (Algorithmus kommt an seine Grenzen).  | die optimalen Arbeitswinkel erreichen.   |  |
| Automation der Schneeräumfunktionen nicht immer gewährleistet.  | Optimierung der Schneeräumfunktionen durch Anpassung der Hardware und Software (CAN-Bus-Befehlsstruktur muss optimiert werden).  |  |
| „Follow the leader“ Ansatz ist teilweise zu langsam um in Notfallsituationen rechtzeitig die Start- und Landebahn zu räumen.              | Ab einer bestimmten Konvoilänge ist der Herdenansatz vorteilhaft, weil kürzere Wege zur nächsten Abfahrtsmöglichkeit erreicht werden.  | Situativer Ansatz erforderlich.  |
| Wechsel von Maschinenpositionen hinsichtlich Maschinenbreite (8m vs. 5,6m Schneepflug => Risiko Überflurbefuerung).                       | Durchführung von Routenaufnahmen für alle gängigen Schneepflugbreiten.   | Schneepfluginformation muss von Fahrzeug erkennbar sein & Einsatzbreite muss auf fahrzeugspezifische Gegebenheiten anpassbar sein.                                     |
| Fahrbahnrand nahe Gegenstände stören die Sensoren und führen zu Fahrabbrüchen.  | Anpassung der Sensorsoftware (Erhöhung der Anzahl der Auswertungssektoren).  | Im Allgemeinen ist die Verfügbarkeit von leistungsstarken Sensoren und der intelligenten Verarbeitung und Interpretation auf dem Markt noch nicht ausreichend gegeben. |
| Begegnungsverkehr in überbreiter Dimension führen zu Fahrabbrüchen (Herausforderung für Sensorik diesen nicht als Hindernis zu erkennen). | Zuverlässige Lösung dieses Problems nur durch zentralen Steuerungsrechner und Tracking aller Verkehre möglich, weil so z. B. entsprechende Ausweichbuchten vorab angefahren werden können. |  |

ABBILDUNG 4: ÜBERSICHT VALIDIERUNGS- UND OPTIMIERUNGSASPEKTE

Bereits am 08.09.2019 wurde am Rande des Branchenevents Interairport Europe in München ein Airport Professional Experience Day mit rund 250 Teilnehmern aus der ganzen Welt abgehalten. Hierbei wurde das Projekt durch den Projektkoordinator und den Praxispartner Flughafen Stuttgart einem interessierten Fachpublikum vorgestellt. Im Rahmen einer anschließend durchgeführten Echtzeit-Online-Umfrage wurden die Erwartungen und Einschätzungen des Fachpublikums zum Thema automatisiertes Fahren auf Flughäfen erstmals erhoben, um diesen Input in das Projektdesign einfließen zu lassen. Bereits kurze Zeit später, am 23.10.2019, erfolgte darüber hinaus ein Expertengespräch mit Vertretern des Flughafens Düsseldorf über die jeweiligen Aktivitäten im Bereich des automatisierten Fahrens (siehe Anhang Airport Expert Panel Realtime Survey). Darüber hinaus fanden weitere gemeinsame Termine zum Austausch mit relevanten Stakeholdern statt.

Infolge dieser Expertenbefragungen kamen die Projektpartner zum Ergebnis, dass die stark variierenden Prozessabläufe in den Winterdienstflotten der Flughäfen berücksichtigt werden müssen. Daher wurden speziell im WinterdienstszENARIO die Fahrzeuge auch an anderen Standorten wie Berlin, Lahr, Mercedes Teststrecke in Immendingen eingesetzt, um die Validierung der Prototypen auf eine möglichst breite Grundlage zu stellen.

Bereits nach den Planungen der Testläufe der Prototypen wurde deutlich, dass ausgehend vom Stand der Technik noch zahlreiche technologische Unzulänglichkeiten und fehlende Funktionen gegeben sind. Diese mussten auf der prozessualen Ebene durch Personal kompensiert werden. Optimierungspotentiale im Prozessgefüge der FSG konnten daher in diesem Schritt nicht erzielt werden.

## **AP 9: Erforschung von Prozess- und Strukturveränderungen**

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurden mögliche Prozess- und Strukturveränderungen betrachtet, die im Zuge der Automatisierung der Gepäck- und Luftfrachtabfertigungsprozesse sowie im Rahmen der Schneeräumung auf Flughäfen erforderlich werden. Mit zunehmender Deutlichkeit realisierten die Projektpartner, dass eine derartige Automatisierung nur schrittweise erfolgen kann, wobei der Skalierungsgeschwindigkeit und der Flottengröße zahlreiche Grenzen gesetzt sind:

- Zunächst ist zu beachten, dass die erzielbaren Einsparpotentiale einer Automatisierung nicht in allen Bereichen gleich groß sind. Der Einsatz von heute noch vergleichsweise teuren automatisierten Zugmaschinen wird sich daher zunächst nur in wenigen Prozessen unmittelbar rechnen. Erst wenn diese günstiger werden, wird sich auch die Anzahl der Prozesse vergrößern, in denen automatisierte Fahrzeuge ökonomisch sinnvoll eingesetzt werden können.
- Zu beachten ist auch, dass unmittelbare Kosteneinsparungen nur dort realisiert werden können, wo Prozesse heute ganz oder teilweise von Fremdfirmen abgebildet werden bzw. personelle Ressourcen fehlen, weil auf diesem Wege auf betriebsbedingte Kündigungen verzichtet werden kann. Bei der weit überwiegenden Mehrzahl von Prozessen, die durch Mitarbeiter der FSG abgebildet werden, ist hingegen die Sozialverträglichkeit des Anpassungsprozesses von großer Bedeutung. Dies impliziert lange Zeithorizonte, etwa indem alters- und fluktuationsbedingt freiwerdende Stellen nicht nachbesetzt werden oder Mitarbeiter für andere Aufgaben innerhalb der FSG qualifiziert werden. Anders im Falle der Übernahme von neuen Geschäftsprozessen können entsprechend teil-/ automatisierte Fahrzeuge einfacher implementiert werden.
- Als weiterer limitierender Faktor wurde die erzielbare Fahrgeschwindigkeit automatisierter Fahrzeuge identifiziert. Da mit diesen bislang nur Fahrgeschwindigkeiten bis etwa 10 km/h realisierbar sind, ist grundsätzlich damit zu rechnen, dass automatisierte Fahrzeuge die übrigen Verkehre auf dem Flughafenvorfeld behindern würden. Um bei insgesamt reduzierter Durchschnittsgeschwindigkeit dasselbe – durch die Zahl der Passagiere und Flugbewegung exogen vorgegebene – Prozessvolumen abbilden zu können, würde folglich zusätzliches Equipment und Personal benötigt, was Kosten verursachen würde, welche die potentiellen Einspareffekte um ein Vielfaches übersteigen. Zudem würden wohl auf einzelnen Streckenabschnitte Kipp-Punkte erreicht, ab denen das erhöhte Verkehrsaufkommen durch Staubildung eine weitere Reduktion der Durchschnittsgeschwindigkeit nach sich ziehen würde. Auch aus diesem Grund ist der Einsatz automatisierter Fahrzeuge anfangs nur in einzelnen Prozessen vorstellbar, bei denen die genutzten Fahrwege möglichst wenig von anderen Verkehren genutzt werden. Eine Vollautomatisierung der Gepäck- und Luftfrachtabfertigung sowie des Winterdienstes ist somit ökonomisch erst dann sinnvoll, wenn mit automatisierten Zugmaschinen die am Flughafen erforderliche Einsatzgeschwindigkeit von mindestens 30 km/h erreicht wird.

Abschließend wurde festgestellt, dass die Automatisierung der Prozesse auf Flughafenbetriebsflächen nur dann sinnvoll optimiert werden kann, wenn die technische Ausstattung der Fahrzeuge diese Prozesse sinnvoll unterstützen kann. Weiterhin gilt zu bedenken, dass die Einflussmöglichkeiten der mittelständischen Fahrzeughersteller limitiert sind, da die OEMs keinen vollumfänglichen Zugang zur Systemarchitektur gewähren.

Schließlich erkannten die Projektpartner, dass unter Berücksichtigung der hochkomplexen Anforderungen an Flughafenverkehre sowie der Budgets, nur ein stufenweiser Roll-Out automatisierter Verkehre realistisch ist. Dies gilt auch deshalb, weil bestehende Prozesse mit automatisierten Fahrzeugen oft nicht 1:1 abgebildet werden können, sondern vielmehr der Einsatz automatisierter Fahrzeuge häufig auch entsprechende Rückwirkungen auf die konkrete Ausgestaltung dieser Prozesse hat. Dies bedeutet, dass im Rahmen der Einführung automatisierter Konzepte/Verkehre hybride Lösungen (gemischter Einsatz von manuellen und automatisierten Fahrzeugen) unverzichtbar sind. Derartige hybride Lösungen können unterschiedlich ausgestaltet werden: So ist z. B. denkbar, bestimmte Flughafenbereiche abzugrenzen, in denen nur automatisierte Verkehre erfolgen, wohingegen in anderen Arealen manuell geführte Fahrzeuge eingesetzt werden. Dieser Ansatz hat den Vorteil, dass eine Begegnung manueller und automatisierter Verkehre, die oft besonders problembehaftet ist, weitgehend vermieden werden kann. Eine andere Möglichkeit besteht darin, bestimmte Prozesse zu automatisieren, wohingegen andere Prozesse weiterhin manuell erfolgen. Hierbei fokussiert man in frühen Phasen der Automatisierung idealerweise vergleichsweise einfache Prozesse, die sich durch wenige Schnittstellen mit anderen Prozessen auszeichnen. Denkbar wäre auch sich zunächst auf diejenigen Prozesse zu fokussieren, die nicht zeit- oder performancekritisch sind. Eine dritte Möglichkeit der Ausgestaltung besteht darin, den Automatisierungsgrad eines gegebenen Fahrzeuges sukzessive zu erhöhen; dies kann z. B. bedeuten, dass anfangs noch ein menschlicher Sicherheitsfahrer an Bord ist, in einer späteren Stufe eine möglichst weitgehende Überwachung durch einen zentralen Kontrollstand erfolgt, bevor schließlich eine vollständige Automatisierung realisiert wird. Im Winterdienst bietet bereits eine Teilautomatisierung ökonomische Vorteile, weil hierdurch Trainings- und Schulungskosten des Bedienpersonals stark reduziert werden können (beispielsweise durch GPS-gestützte Fahrtroutenvorgaben oder das sogenannte Platooning). Im Gepäckdienst gilt hingegen das „Alles-oder-nichts“-Prinzip: Rationalisierungsvorteile können hier erst dann realisiert werden, wenn auf den menschlichen Fahrer vollständig verzichtet werden kann, also im Vollautonomen-Szenario. Welcher dieser genannten Ansätze konkret zur Anwendung kommt, muss situativ, vor dem Hintergrund der spezifischen Bedingungen, des jeweiligen Flughafens entschieden werden. Denkbar ist dabei durchaus, mehrere der genannten Ansätze miteinander zu kombinieren.

Zu beachten ist, dass im Rahmen der Automatisierung auch erhebliche Investitionen in die zentrale Infrastruktur zu erbringen sind, beispielsweise zentrale RTK-Antennen, Programmierung von EDV-Schnittstellen, Einrichtung zentraler Steuerungsrechner und dergleichen. Typischerweise sind auf großen Verkehrsflughäfen neben dem Flughafenbetreiber auch mehrere Drittanbieter bzw. Abfertiger aktiv, welche im Rahmen einer Ausschreibung meist nur für wenige Jahre eine Abfertigungslizenz erhalten. Letzteres bedingt,

dass im Vergleich von Flughafenbetreibern und Dritt Fertigern unterschiedliche Möglichkeiten bestehen, derartige Investitionen abzubilden bzw. ökonomisch darzustellen. Es ist somit eine asymmetrische Wettbewerbssituation zu konstatieren, die es Drittanbietern erschwert ihre Prozesse zu automatisieren.

Abschließend haben die Projektpartner festgestellt, dass es im Rahmen der Einführung automatisierter Maschinen zur Anwendung auf dem Flughafen unabdingbar ist, dass alle Partner hinsichtlich technologischer, rechtlicher und prozessualer sowie sozialer Aspekte einvernehmlich kooperieren, um die Fahrzeuge sicher einsetzen zu können, bzw. anhand der gemeinsam erarbeiteten Risikoanalyse die Maßnahmen entsprechend umsetzen.

In nachfolgender Tabelle sind besonders relevante Einflussfaktoren sowie deren Bewertung zur Einführung von automatisierten Maschinen dargestellt:

| <b>Relevante Einflussfaktoren</b>  | <b>Bewertung/Lessons learned</b>  |
|--|---|
| Größe des Flughafens   | <p>Kleine, mittlere und größere Flughäfen (beispielsweise erreichen kleinere Flughäfen weniger Skaleneffekte im Rahmen einer Investition als größere Flughäfen).</p> <p>In kommerzieller Sicht eignen sich größere Flotten beim Ausrollen des automatisierten Fahrens besser, da beispielsweise infrastrukturelle Kosten, welche einen sprungfixen Charakter haben (z. B. Lizenzen, Leitstand, Schnittstellen ERP System), breiter aufgeteilt werden können. Bei großen Flotten lassen sich Skaleneffekte besser realisieren.</p> <p>Aus technischen Gesichtspunkten eignen sich kleine und mittelgroße Flughäfen für den Start von automatisierten Flotten besser, aufgrund der niedrigeren Prozesskomplexität und geringerer Größe.</p> |
| Breitengrad (Nord-, Mittel- und Südeuropa)   | <p>Während bei der Implementierung von automatisierten Gepäckschleppern die Geographie keine Rolle spielt, beeinflusst die geographische Lage (besonders der Breitengrad) die Kostenstruktur bei Winterdienstfahrzeugen sehr stark. Beispielsweise sind in südlicheren Gebieten Rufbereitschaftsmodelle die Regel, während in nördlicheren Breitengraden festangestellte Mitarbeiter für den Winterdienst eingesetzt werden. Entsprechend sind dort die Einsparpotentiale höher.</p> <p>Skaleneffekte mit Blick auf zentrale Infrastruktur (Leitstand, RTK-Basisstation, etc.) sind im Winterdienst in nördlicheren Breitengraden wesentlich höher, da die Flottengrößen in Gebieten mit längeren/ intensiveren Wintern größer sind.</p>  |
| Flughafenbetreiber (intern) oder Dritt Fertigern nach BADV-Regelung (externer Dienstleister) | <p>Obwohl es aus technologischer Sicht Sinn macht Funktionen in einem Steuerungsrechner zu zentralisieren, kann es für einen Dritt Fertigern kommerziell sinnvoll bzw. erforderlich sein, möglichst viel Intelligenz im Steuerungsrechner der Fahrzeuge zu implementieren, damit diese flexibel auf unterschiedlichen Flughäfen eingesetzt werden können. Der Flughafenbetreiber ist somit strukturell im Vorteil, weil die technologisch attraktivere Lösung für ihn zugleich auch die kommerziell vorteilhafte Lösung darstellt.</p> <p>Sprungfixe Kosten (z. B. Lizenzen) und geringere Durchgriffsmöglichkeiten hinsichtlich der Infrastruktur, im Vergleich zur Flughafenbetreibergesellschaft</p>                                   |

|  |  |
|--|--|
|  | <p>stellen Markteintrittsbarrieren dar, die es dem Drittabfertiger erschweren in den Markt einzutreten bzw. wirtschaftlich rentabel zu arbeiten. Auch in diesem Bereich ist der Flughafenbetreiber strukturell im Vorteil.</p> <p>Drittabfertiger bieten im manuellen Abfertigungsbetrieb einen Kostenvorteil, welche im Rahmen der automatisierten Abfertigung entfallen.</p> <p>Im automatisierten Betrieb geht der Hauptdifferenzierungsvorteil der Drittabfertiger (geringere Personal- und Prozesskosten) verloren, sodass diese gezwungen sein werden neue Kernkompetenzen zu definieren, um sich unter den veränderten Rahmenbedingungen im Wettbewerb zu behaupten.</p> <p>Technologische Gesichtspunkte rücken zukünftig stärker in den Fokus.</p>  |
| <p>Interoperabilität und Technologie-offenheit</p> | <p>Sowohl Flughafenbetreiber als auch Drittabfertiger müssen vermeiden in eine technologische Abhängigkeit zu einzelnen Lieferanten zu geraten, da einerseits monopolartige Preissituationen entstehen könnten.</p> <p>Andererseits ist es auch aus Sicht der Prozessqualität/Prozesssicherheit vorteilhaft, Insellösungen einzelner Hersteller zu vermeiden und damit die Interoperabilität der Fahrzeuge verschiedener Hersteller zu gewährleisten.</p> <p>Eine Grundlage dieser Technologieoffenheit kann beispielsweise die VDA 5050 bilden, in welcher einheitliche Schnittstellen normiert sind. Diese Norm könnte ggf. als Grundlage zukünftiger Ausschreibungen herangezogen werden.</p> <p>Für die Fahrzeughersteller bedeutet dies, dass proprietäre Lösungen aus wirtschaftlicher Sicht vermieden werden sollten.</p>   |
| <p>First-Mover vs. Fast-Follower</p>               | <p>In der Literatur zum strategischen Management wird seit den 1970er Jahren diskutiert, ob bei innovativen Produkten/ Lösungen ein „First-Mover“ oder ein „Fast-Follower“-Ansatz vorteilhaft ist. Die Projektpartner sind im Rahmen des Projektes zur Erkenntnis gelangt, dass bei der Umstellung auf automatisierte Fahrzeuge ein zu langes Abwarten problembehaftet sein kann. Die Anzahl und die Reichweite der erforderlichen Struktur- und Prozessveränderungen sind so komplex, dass jeder Flughafen/ Betreiber seine eigene Lernkurve durchlaufen muss, wozu eine entsprechende Umstellungszeit benötigt wird, was mit einem Aufbau von Know-how einhergeht.</p> <p>Zum Beispiel ist im Bereich der Gepäckabfertigung die Automatisierung von Prozessen nur dann möglich, wenn neben dem Fahrzeug an sich auch dessen Peripherie automatisiert wird (z. B. automatisiertes Laden, automatisiertes An-/ Abkuppeln, automatisierte Freigabe von Streckensegmenten) oder, falls dies nicht möglich ist, entsprechende Aufgaben durch hierfür abzustellendes Personal erledigt werden. Je nach Reichweite dieser Maßnahmen ist die Wirtschaftlichkeit der Automatisierung ggf. anfangs nicht gegeben.</p> <p>Im Winterdienstbereich können zunächst einfachere Bereiche umgestellt werden, z. B. die Start- &amp; Landebahn oder in Teilen auch Rollwege, wohingegen Kreuzungsbereiche im Vorfeld, Zugangskontrollen zwischen Land- und Luftseite oder die Freigabe für die Start-&amp; Landebahn nur bedingt automatisiert werden können. In diesen Bereichen ist es dann auch erforderlich entsprechendes Personal abzustellen, das die Prozesse koordiniert. Auch hier ist die Wirtschaftlichkeit von den Teilprozessen, die automatisiert werden, abhängig, was ggf. nicht unbedingt zu Beginn eintritt.</p> |

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
|                                     | <p>Obwohl während des Umstellungsprozesses diverse wirtschaftliche Nachteile entstehen, müssen sich die potentiellen Betreiber von automatisierten Flotten die Frage stellen, ob sie diese Nachteile speziell in der Anfangsphase unter strategischen Gesichtspunkten bewusst in Kauf nehmen.</p> <p>Im Rahmen des Forschungsprojektes haben die Projektpartner erkannt, dass flughafenspezifische Prozesse vorhanden sind, deren Prozesswissen an die automatisierten Fahrzeuge angepasst werden muss. Um die vorhandenen Strukturen so effizient wie möglich anzupassen, hat sich gezeigt, dass hybride Formen der Umstellung genutzt werden können. Der Umsetzungszeithorizont ist ein entscheidender Parameter für das Ausmaß der notwendigen Strukturveränderungen.</p>  |
| <p>Ausschreibung/ Einkauf</p>       | <p>Zukünftig werden sich die Ausschreibungskriterien verändern, da prinzipiell funktionale Lösungen ausgeschrieben werden (z. B. Räumung der Flugbetriebsflächen bzw. Gepäckabfertigung). Entsprechend sind die Ausschreibungskriterien bzw. das Lastenheft neu zu definieren, damit beispielsweise infrastrukturelle Schnittstellen zu Leitstellen oder Remote-Control-Prozesse sowie Überwachungsprozesse entsprechend der Sicherheitsvorgaben eines Flughafens eingehalten werden.</p> <p>Beschaffungsprozesse müssen wesentlich spezialisierter erfolgen, womit Know-how in anderen Bereichen des Flughafens aufgebaut werden muss. Das Know-how könnte beispielsweise intern aufgebaut oder von externen Consulting-Dienstleistern eingekauft werden.</p>  |
| <p>Beschäftigung/ Qualifikation</p> | <p>Im Zuge der Automatisierung gehen niedrig qualifizierte Beschäftigungsverhältnisse, wie z. B. LKW-Fahrer verloren, während hochqualifizierte Position wie etwa IT, Werkstatt, Einkauf, Prozessmanagement oder Leitstandspezialisten neu entstehen oder höher qualifiziert werden.</p> <p>Generell wird es zukünftig in verstärktem Maße erforderlich sein auf externes Know-how spezialisierter Berater zurückzugreifen (z. B. zur Unterstützung des Einkaufs im Beschaffungsprozess).</p>   |
| <p>Anbieter/ Hersteller</p>         | <p>Für Anbieter ergibt sich die strategische Option (und zugleich Notwendigkeit) zukünftig als Komplettanbieter von Systemlösungen aufzutreten; sie müssen also ihr Geschäftsmodell neu definieren. Das Spektrum möglicher Optionen reicht vom Angebot komplementärer Produktlösungen (z. B. Leitstand, RTK-Base, etc.) bis hin zu umfassenden Betreibermodellen. Letztere bieten für die Flughafenseite den Vorteil eines deutlich verringerten Risikos, wodurch ggf. kundenseitige „Abwarteblockaden“ überwunden werden können. Außerdem kann hierdurch die Kundenbindung erhöht werden. Mit diesen geänderten Geschäftsmodellen können auch neuartige Abrechnungsmodelle verbunden sein (z. B. „power by the hour“).</p> <p>Auf Herstellerseite stellt sich zudem die Frage ob in technologischer Hinsicht eher auf proprietäre Lösungen gesetzt werden soll, oder auf offene Standards (VDA 5050). Obwohl Fahrzeughersteller stets versucht sind proprietäre Lösungen einzusetzen, um sich dadurch vom Wettbewerb zu differenzieren, ist im vorliegenden Fall davon auszugehen, dass die Betreiberseite mittel- bis langfristig offene Standards in ihren Ausschreibungsbedingungen vorschreibt; die Eigenentwicklung proprietärer Lösungen könnte sich somit ggf. für die Hersteller als teurer Irrweg erweisen.</p> |

ABBILDUNG 5: ÜBERSICHT EINFLUSSFAKTOREN ZUR EINFÜHRUNG AUTOMATISierter MASCHINEN

## AP 10: Ökonomische und soziale Bewertung

Im Sinne einer ganzheitlichen Bewertung wurden im Rahmen des Projektes sowohl ökonomische wie auch soziale Aspekte vertieft betrachtet.

### Ökonomische Aspekte

Die Projektpartner identifizierten relevante Einflussfaktoren, um die Grundzüge einer Bewertungssystematik zu erarbeiten. Dabei erfolgte zunächst eine Fokussierung auf primär ökonomische Aspekte, obschon die kritische Reaktion des FSG-Betriebsrates auf die erste Testkampagne zeigte, dass im weiteren Verlauf auch den sozialen Aspekten eine große Bedeutung zukommen wird.

Zur Erarbeitung der Kostenstruktur des Business-Cases hat das Konsortium im Rahmen des AP 10 Angebote von Zulieferern eingeholt und vor allem mit Blick auf die Dynamisierung der Kosten Experteninterviews durchgeführt. Zur Plausibilisierung haben die Projektpartner ihre so gewonnenen Kostenansätze verglichen und hinterfragt. Darüber hinaus stütze sich der Business-Case auf interne Controlling-Daten des Flughafens Stuttgart sowie Benchmarkvergleiche.

Folgende Faktoren, die zur Kalkulation herangezogen wurden, sollen besonders hervorgehoben und detaillierter erläutert werden:

- Anschaffungskosten automatisiert: Im Winterdienstszenario ergibt sich die Preisdifferenz primär durch den Einsatz von zusätzlichen Steuerungskomponenten und der benötigten Software. Im Vergleich zum Gepäckschlepper ist die Kostenbasis relativ verlässlich bestimmbar, da im Automotive-Bereich nutzbare Komponenten während der Projektlaufzeit relativ genau abschätzbar wurden. Aus verschiedenen Gründen ist nach heutigem Stand eine vollständige Automatisierung noch nicht absehbar (anfangs Sicherheitsfahrer, später Einrichtung einer Autonomous Operation Zone, siehe unten). Weil die Sicherheitsfunktionen nicht vollumfänglich technisch abbildbar sind, sondern auch prozessual gelöst werden müssen, kann teilweise auf Standardkomponenten aus dem Automotive-Bereich zurückgegriffen werden, wo die Kosten schon heute relativ gut abschätzbar sind.
- Im Gepäcktransportszenario wurde eine Vollautomatisierung unterstellt, und insofern ein höherer Automatisierungsgrad zugrunde gelegt. Daher lassen sich die Mehrkosten gegenüber dem konventionellen Fahrzeug nach heutigem Stand nur grob bestimmen, weil für viele Komponenten noch keine Serienpreise existieren. Um der schnellen technologischen Entwicklung Rechnung zu tragen, wurde im Jahr acht ein Technologie-Upgrade angenommen. Dabei wird unterstellt, dass bis dahin leistungsfähigere Sensorik zur Verfügung steht, um beispielsweise höhere Fahrgeschwindigkeiten zu realisieren, oder zusätzliche Prozessschritte zu automatisieren (z. B. automatisiertes An- und Abkuppeln, automatisiertes Laden der Batterien beim Gepäckschlepper). Dementsprechend wurde ab dem Jahr acht eine potentielle Personalkosteneinsparung unterstellt.

- **Autonomous Operation Zone (AOZ):** Im Winterdienstszenario ist die Einrichtung einer AOZ erforderlich. Dabei handelt es sich um einen definierten Bereich, der abgesperrt ist (inkl. Zugangskontrollen), um sicherzustellen, dass dort während des Winterdiensteinsatzes der automatisierten Fahrzeuge keine anderen Verkehre stattfinden. Dies ist erforderlich, weil die erschwerten Umfeldbedingungen im Winterdienst die heute am Markt verfügbare Sensorik zum Teil noch überfordert; außerdem stellt sich im Winterdienstszenario das Problem, dass der vor dem Fahrzeug befindliche Schneepflug, in Verbindung mit „sich aufbauendem Schnee“ die Sensorsicht nach vorne stark einschränkt. Darüber hinaus ergeben sich besondere Herausforderungen durch die Größe der Fahrzeuge und die hohe Arbeitsgeschwindigkeit, um notwendige Sperrungen der Start- & Landebahnen auf ein Minimum zu reduzieren.
- **Remote Control/Fernüberwachung:** Hiermit ist die Fernsteuerung der Fahrzeuge von außerhalb gemeint, z. B. wenn die Start- und Landebahn kurzfristig für eine Notlandung verlassen und die Maschinen in einem sicheren Bereich „zwischengeparkt“ werden müssen.
- **Engineerings AOZ (autonomous operating zone):** Hier subsumieren sich alle Aufwendungen auf Hersteller- und Kundenseite, um das Betriebskonzept mit maximalem Sicherheitsstandard zu etablieren (Risikoprüfung: Minimierung der Fehlerquellen durch prozessuale, infrastrukturelle oder technische Lösungen).
- **STR spezifisch AOZ:** Hier subsumieren sich alle Aufwendungen auf Hersteller- und Kundenseite, um das Betriebskonzept mit maximalem Sicherheitsstandard für den Flughafen Stuttgart zu etablieren.
- **Routenaufnahmen und -aktualisierung:** Zu Beginn ist eine detaillierte Routenaufnahme der benötigten Fahr-/Verkehrswege initial erforderlich. Im weiteren Verlauf gehen die Projektpartner nur noch von kleineren Aufwendungen aus, um das Routenmaterial aktuell zu halten.
- **RTK Base (GPS-Korrektursender).** Hierunter ist der Aufwand zur Errichtung einer stationären RTK-Base abgebildet.
- **Lizenzkosten für automatisierte Systeme:** Hierbei handelt es sich primär um Lizenzkosten für Automatisierungssoftware des Fahrzeuges und eines Zentralsystems für den Leitstand, der zur Überwachung und Management der automatisierten Flotte dient.
- **Besetzung des Leitstandes:** Im Winterdienstszenario gehen die Partner davon aus, dass die Überwachung der Flotte mit bestehendem Personal aus der Arbeitsgruppe „Airport Coordination and Data Center (ACDC)“ abgedeckt werden kann. Grund hierfür ist die Tatsache, dass bei Schneefall/Winterdiensteinsatz die Tätigkeiten dieser Arbeitsgruppe aus dem regulären Flugbetrieb gegen null gehen, weil kein Flugverkehr und keine Flugzeugabfertigungen stattfinden. Dies muss nicht für alle Flughäfen gleichermaßen zu treffen.

- Im Falle des Gepäcktransportes ist diese Synergie nicht vorhanden. Für die Besetzung des Leitstandes werden pro Schicht 2,5 Personen (FTE: full time equivalent) angesetzt, wobei ein Jahresgehalt von 51 t € zugrunde gelegt wird. Das Aufgabenspektrum des Leitstandes umfasst zum einen das Störungsmanagement von Fahrzeugen und dem Clearing von Krisensituationen z. B. nicht lösbare Verkehrssituation durch Fernzugriff beseitigen.
- Zusätzlicher Schulungsaufwand Automatisierung: Hierunter fällt die Schulung von Personal in den Bereichen Werkstatt/Leitstand und Verkehrsführung. Aufgrund des größeren Umfangs der Flotte werden im Gepäcktransport initial höhere Schulungsaufwendungen angesetzt. Ab Periode t=2 reduziert sich der Aufwand und wird über die Zeit nahezu konstant, weil nur noch Auffrischungstrainings und Schulungen infolge von Fluktuation erforderlich sind. Im Winterdienst entfallen ca. 7 h Onlinetraining und 20 h Wiederholungstraining für die eingesparten Winterdienstmitarbeiter. Im Falle der Gepäckschlepper fallen im Jahr acht erhöhte Schulungskosten infolge eines geplanten Technologieupgrades an.
- Die Unterschiede in der Kostengruppe planmäßige Instandhaltung zwischen automatisiertem und manuellem Fahrzeug sind im Ergebnis gering. Jedoch ist zu beachten, dass sich die Aufgabenschwerpunkte im Rahmen der Instandhaltung ändern. So ist zu erwarten, dass z. B. der Reparaturumfang für Unfall- und Gewaltschäden deutlich geringer wird und der Aufwand für Softwarediagnose- und updates sowie Überprüfung der Steuerungsfunktionen zunehmen wird. Aus diesen Gründen wird der Aufwand für das automatisierte Fahrzeug geringfügig höher angesetzt.
- Einsparung von Personalkosten in der Produktion: Im Winterdienst entfallen die Kosten für die Rufbereitschaft und zur Besetzung von sechs Fahrzeugen. Kostenbasis ist das im Jahr 2022 überarbeitete Vergütungsmodell für die Rufbereitschaft im Winterdienst. Im Gepäckdienst entfallen die kompletten Personalkosten der Fahrer. Die angesetzten Kosten hierfür entsprechen den operativen Lohnkosten der Fahrer mit dem Basisjahr 2019. Zu beachten ist jedoch, dass gleichzeitig zusätzliches Personal für Überwachungstätigkeiten erforderlich ist. Außerdem wird zusätzliches Personal/Peripherie benötigt, um Lücken in der automatisierten Prozesskette abzudecken (z. B. An-Abkoppeln von Anhängern oder das Laden der Traktionsbatterien). Hierfür wurden 0,2 FTE je Fahrzeug im 2-Schichtbetrieb bei 365 Betriebstagen angesetzt.

**Abbildung 6** zeigt die relevanten Eingangsgrößen für die Kapitalwertrechnung. Im Ergebnis kann ein positiver Kapitalwert von 819 t € über den Betrachtungszeitraum von 15 Jahren erzielt werden. Die Amortisation für den Anwendungsfall Flughafen Stuttgart erfolgt im Jahr acht. Zur Einordnung des Ergebnisses sei hier angemerkt, dass die geografische Lage des jeweiligen Flughafens eine wesentliche Auswirkung auf das Ergebnis hat. Im Falle von nordeuropäischen Flughäfen kann infolge der vielen Schneetage der Winterdienst nicht mehr über ein Rufbereitschaftsmodell organisiert werden. Vielmehr

müssen hier festangestellte Winterdienstmitarbeiter zu wesentlich höheren Kosten vorgehalten werden. **Abbildung 7** zeigt exemplarisch die Ergebnissituation für einen schneereichen Standort. Es wird deutlich, dass hier der Anreiz für eine Umstellung der Flotte deutlich größer ist als beispielsweise am Flughafen Stuttgart. Diese Erkenntnis hat eine starke Auswirkung auf die zukünftigen Vermarktungsstrategien des Partners Aebi Schmidt. Zur Überprüfung der Robustheit der Kapitalwertaussage wurde eine Sensitivitätsanalyse (vergleiche **Abbildung 8**) unter Betrachtung der größten Kostenpositionen der Zahlungsreihe durchgeführt. Es kann festgehalten werden, dass etwaige Prognosefehler in den Parametern „Summe aller Ausgaben in  $t=0$ “ - hierbei handelt es sich primär um die Anschaffungskosten - sowie „Einsparung Rufbereitschaft für sechs Fahrzeuge“ die größten Effekte auf die Höhe des Kapitalwertes haben. Gleichwohl wird ein Kapitalwert zu Null € erst dann erreicht, wenn die Prognoseabweichung dieser beiden Parameter +70% bzw. -40% beträgt. Alle weiteren untersuchten Parameter drehen die Kapitalwertaussage erst bei Schwankungen von +/- 100% und sind infolgedessen als nachrangig zu bewerten.

Die Use-Cases Gepäcktransport und Winterdienst wurden vorstehend jeweils auf Stand-alone-Basis bewertet, tatsächlich ist zu erwarten, dass zentralisierte Funktionen (z. B. der Leitstand) in der Realität als Shared-services ausgestaltet werden können, wodurch sich in beiden Fällen eine geringfügige Verbesserung der ökonomischen Bewertung ergeben würde.

WinterdienstszENARIO

Beschreibung: Austausch von einer manuellen Winterdienstgruppe bestehend aus sechs Kehrblasgeräten durch eine automatisierte Winterdienstgruppe  
 Einsatzort: Einsatzgebiet: Start- und Landebahn und Taxiways

interner Zins: 5%  
 Inflation: 101,5%  
 Anzahl Fahrzeuge: 6

| in t€  | t= | 0       | 1       | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    |
|--|----|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Anschaffungskosten automatisiert                                   | -  | 3.450   |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Anschaffungskoste konventionell                                    |    | 2.850   |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Remote Control/Fernüberwachung Fahrzeuge                           | -  | 30      |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Engineerings AOZ (autonomous operating zone)                       | -  | 250     |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| STR spezifisch AOZ   | -  | 250     |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Routenaufnahmen und -aktualisierung rtk Base (GPS-Korrektursender) | -  | 11      | 2,8     | 2,8   | 2,9   | 2,9   | 2,9   | 3,0   | 3,0   | 3,1   | 3,1   | 3,2   | 3,2   | 3,3   | 3,3   | 3,4   | 3,4   |
| Lizenzkosten für automatisierte Systeme                            | -  | 30      | 61      | 62    | 63    | 64    | 65    | 66    | 67    | 68    | 69    | 70    | 71    | 72    | 73    | 74    | 75    |
| Besetzung Leitstand mit 100% Synergie                              |    | -       | -       | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| Besetzung Leitstand mit 0% Synergie                                |    | (-26)   | (-26)   | (-26) | (-26) | (-26) | (-26) | (-26) | (-26) | (-26) | (-26) | (-26) | (-26) | (-26) | (-26) | (-26) | (-26) |
| Zusätzlicher Schulungsaufwand Automatisierung                      | -  | 23      | 24      | 24    | 24    | 25    | 25    | 25    | 26    | 26    | 27    | 27    | 27    | 28    | 28    | 29    | 29    |
| Reduzierung Schulungsaufwand manuelles Schneeräumen                |    | 81      | 82      | 83    | 84    | 86    | 87    | 88    | 89    | 91    | 92    | 94    | 95    | 96    | 98    | 99    | 99    |
| Planmäßige Instandhaltung automatisiert                            | -  | 18      | 19      | 19    | 19    | 19    | 20    | 20    | 20    | 21    | 21    | 21    | 22    | 22    | 22    | 23    | 23    |
| Planmäßige Instandhaltung konventionell                            |    | 15      | 15      | 16    | 16    | 16    | 16    | 17    | 17    | 17    | 17    | 18    | 18    | 18    | 18    | 19    | 19    |
| Einsparung Rufbereitschaft für sechs Fahrzeuge                     |    | 184     | 187     | 190   | 193   | 195   | 198   | 201   | 204   | 207   | 211   | 214   | 217   | 220   | 223   | 227   | 227   |
| CF   | -  | 1.171   | 175     | 177   | 180   | 183   | 185   | 188   | 191   | 194   | 197   | 200   | 203   | 206   | 209   | 212   | 215   |
|  |    | - 1.171 | - 1.005 | - 844 | - 688 | - 538 | - 392 | - 252 | - 116 | 15    | 142   | 265   | 383   | 498   | 609   | 716   | 819   |

Co: **819**

ABBILDUNG 6: KAPITALWERTRECHNUNG WINTERDIENSTSZENARIO

**WinterdienstszENARIO**

Nordischer Flughafen

Beschreibung: Austausch von einer manuellen Winterdienstgruppe bestehend aus sechs Kehrblasgeräten durch eine automatisierte Winterdienstgruppe  
 Einsatzort: Einsatzgebiet: Start- und Landebahn und Taxiways

interner Zins: 5%  
 Inflation: 101,5%  
 Anzahl Fahrzeuge: 6

| in t€  | t= | 0     | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    |
|--|----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Anschaffungskosten automatisiert                                   | -  | 3.450 |     |     |     |     |     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Anschaffungskoste konventionell                                    |    | 2.850 |     |     |     |     |     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Remote Control/Fernüberwachung Fahrzeuge                           | -  | 30    |     |     |     |     |     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Engineerings AOZ (autonomous operating zone)                       | -  | 250   |     |     |     |     |     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| STR spezifisch AOZ   | -  | 250   |     |     |     |     |     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Routenaufnahmen und -aktualisierung rtk Base (GPS-Korrektursender) | -  | 11    | 2,8 | 2,8 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 3,0 | 3,0   | 3,1   | 3,1   | 3,2   | 3,2   | 3,3   | 3,3   | 3,4   | 3,4   |
| Lizenzkosten für automatisierte Systeme                            | -  |       | 61  | 62  | 63  | 64  | 65  | 66  | 67    | 68    | 69    | 70    | 71    | 72    | 73    | 74    | 75    |
| Besetzung Leitstand  | -  |       | 249 | 252 | 256 | 260 | 264 | 268 | 272   | 276   | 280   | 284   | 289   | 293   | 297   | 302   | 306   |
| Zusätzlicher Schulungsaufwand Automatisierung                      | -  |       | 23  | 24  | 24  | 24  | 25  | 25  | 25    | 26    | 26    | 27    | 27    | 27    | 28    | 28    | 29    |
| Reduzierung Schulungsaufwand manuelles Schneeräumen                |    |       | 81  | 82  | 83  | 84  | 86  | 87  | 88    | 89    | 91    | 92    | 94    | 95    | 96    | 98    | 99    |
| Planmäßige Instandhaltung automatisiert                            | -  |       | 18  | 19  | 19  | 19  | 19  | 20  | 20    | 20    | 21    | 21    | 21    | 22    | 22    | 22    | 23    |
| Planmäßige Instandhaltung konventionell                            |    |       | 15  | 15  | 16  | 16  | 16  | 16  | 17    | 17    | 17    | 17    | 18    | 18    | 18    | 18    | 19    |
| Einsparung Rufbereitschaft für sechs Fahrzeuge                     |    |       | 630 | 639 | 649 | 659 | 669 | 679 | 689   | 699   | 710   | 720   | 731   | 742   | 753   | 765   | 776   |
| CF   | -  | 1.171 | 372 | 377 | 383 | 389 | 395 | 401 | 407   | 413   | 419   | 425   | 432   | 438   | 445   | 451   | 458   |
|  | -  | 1.171 | 817 | 474 | 143 | 177 | 486 | 785 | 1.074 | 1.353 | 1.623 | 1.884 | 2.137 | 2.381 | 2.616 | 2.844 | 3.065 |

Co: **3065**

ABBILDUNG 7: KAPITALWERTRECHNUNG WINTERDIENSTSZENARIO NORDEUROPÄISCHER FLUGHAFEN

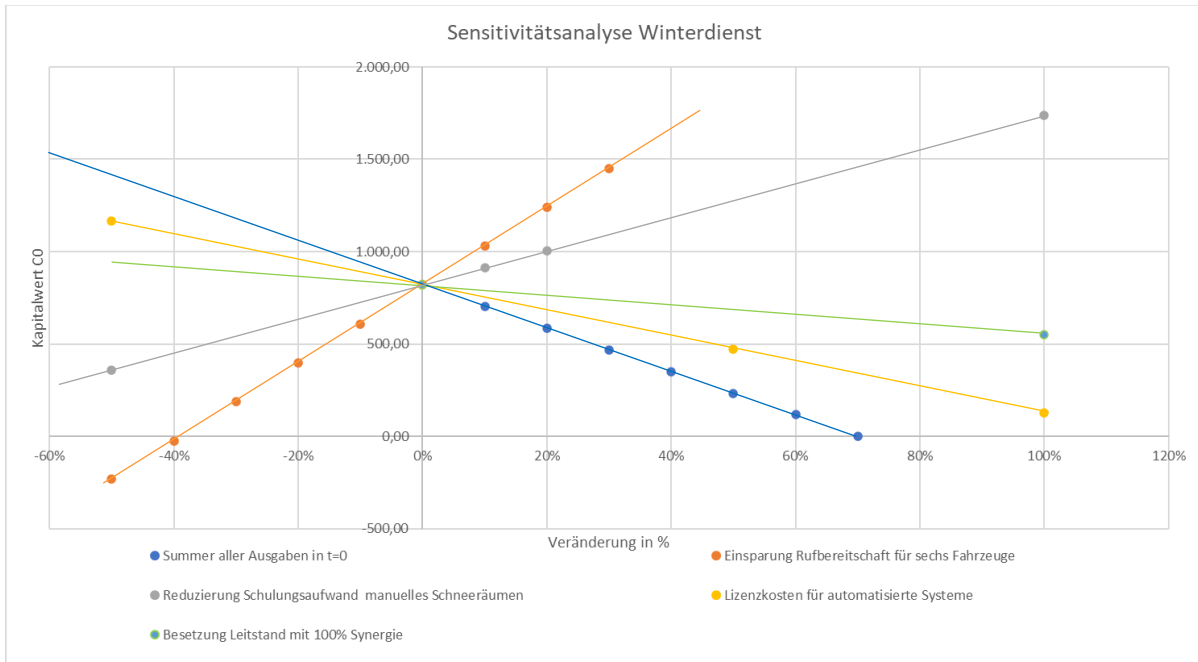


Abbildung 8: Sensitivitätsanalyse Winterdienstszenario

**Abbildung 9** zeigt die relevanten Eingangsgrößen für die Kapitalwertrechnung des Gepäcktransportes. In diesem Fall ergibt sich über den Betrachtungszeitraum von 15 Jahren ein positiver Kapitalwert von 7.077 t €. Die Amortisation für den Anwendungsfall Flughafen Stuttgart erfolgt im Jahr sechs. Im Vergleich zum Wintersdienstszenario erfolgt der Gepäcktransport ganzjährig im 2-Schichtbetrieb. Er betrifft zudem eine größere Anzahl von Fahrzeugen, woraus ein höheres Einsparpotential im Bereich Personalkosten resultiert.

**Gepäcktransportszenario**

Beschreibung: Austausch des gesamten Gepäcktransports durch automatisierte Fahrzeuge  
 Einsatzort: Gepäckverteiler und Vorfeldpositionen

interner Zins: 5%  
 Inflation: 101,5%  
 Anzahl Fahrzeuge: 18

| in t€  | t= | 0     | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    |
|--|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Anschaffungskosten automatisiert                                   | -  | 5.400 |       |       |       |       |       |       |       | 900   |       |       |       |       |       |       |       |
| Anschaffungskosten konventionell                                   |    | 2.340 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Remote Control/Fernüberwachung Fahrzeuge                           | -  | 30    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Routenaufnahmen und -Aktualisierung rtk Base (GPS-Korrektursender) | -  | 15    | 3,0   | 3,1   | 3,1   | 3,2   | 3,2   | 3,3   | 3,3   | 3,4   | 3,4   | 3,5   | 3,5   | 3,6   | 3,6   | 3,7   | 3,8   |
| Bidirektionale Schnittstelle zur ERP-Auftragssteuerung             | -  | 100   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Lizenzkosten für automatisierte Systeme                            | -  | 91    | 93    | 94    | 96    | 97    | 98    | 100   | 101   | 103   | 104   | 106   | 108   | 109   | 111   | 113   |       |
| GPS-Sender zur Abbildung aller nicht automatisierter Fahrzeuge     | -  | 2.000 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Zusätzlicher Schulungsaufwand Automatisierung                      | -  | 100   | 20    | 21    | 21    | 21    | 22    | 22    | 40    | 23    | 23    | 23    | 24    | 24    | 24    | 25    |       |
| Besetzung Leitstand mit 0% Synergie                                | -  | 906   | 919   | 933   | 947   | 961   | 976   | 991   | 1.005 | 1.020 | 1.036 | 1.051 | 1.067 | 1.083 | 1.099 | 1.116 |       |
| Zusätzliches Personal für automatisierungslücken                   | -  | 652   | 662   | 672   | 682   | 692   | 703   | 713   | 724   | 514   | 522   | 530   | 538   | 546   | 554   | 562   |       |
| Planmäßige Instandhaltung automatisiert                            | -  | 91    | 93    | 94    | 96    | 97    | 98    | 100   | 101   | 103   | 104   | 106   | 108   | 109   | 111   | 113   |       |
| Planmäßige Instandhaltung konventionell                            |    | 73    | 74    | 75    | 76    | 78    | 79    | 80    | 81    | 82    | 84    | 85    | 86    | 87    | 89    | 90    |       |
| Einsparung Fahrer  |    | 2.754 | 2.795 | 2.837 | 2.880 | 2.923 | 2.967 | 3.011 | 3.057 | 3.102 | 3.149 | 3.196 | 3.244 | 3.293 | 3.342 | 3.392 |       |
| CF   | -  | 5.235 | 983   | 1.079 | 1.095 | 1.112 | 1.128 | 1.146 | 1.162 | 263   | 1.418 | 1.439 | 1.461 | 1.483 | 1.505 | 1.528 | 1.550 |
|  |    | 5.235 | 4.299 | 3.320 | 2.374 | 1.459 | 575   | 280   | 1.106 | 1.284 | 2.197 | 3.081 | 3.935 | 4.761 | 5.559 | 6.331 | 7.077 |

Co: **7077**

ABBILDUNG 9: KAPITALWERTRECHNUNG GEPÄCKTRANSPORT

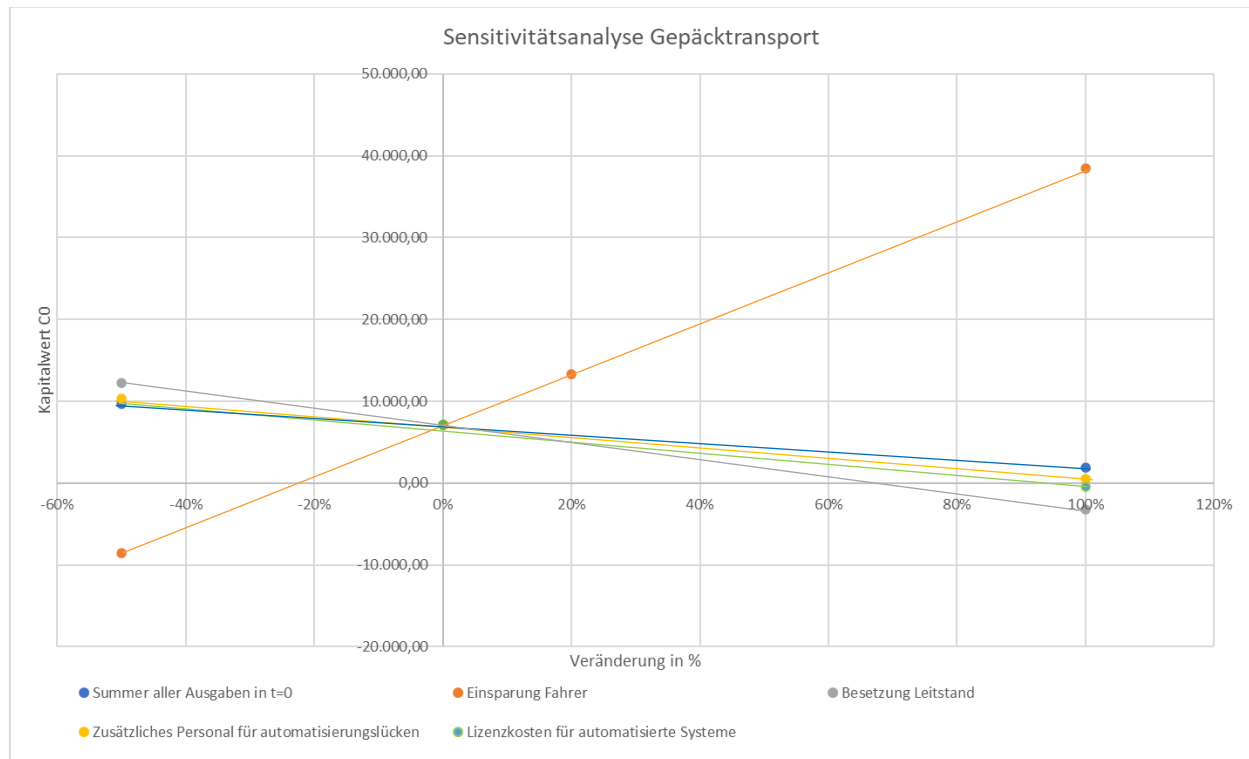


Abbildung 10: Sensitivitätsanalyse Gepäcktransport

Die obigen Zahlen verdeutlichen, dass die potentielle OPEX-Einsparungen eine enge Kopplung an die Zahl der automatisierten Fahrzeuge bzw. das mit diesen abgebildete Prozessvolumen aufweisen, also tendenziell direkt-proportionalen Charakter haben. Erforderliche CAPEX-Zusatzaufwendungen entstehen hingegen vor allem in zentralisierten Funktionen, welche auch bei geringer Flottengröße bzw. bei geringem Prozessvolumen in jedem Falle in einer Mannstärke vorgehalten werden müssen, die einen durchgehenden Mehrschichteneinsatz an 7 Tagen in der Woche ermöglicht und dabei zugleich ausreichende Reserven für Krankheitsfälle und Urlaub bietet. Vor diesem Hintergrund verzichteten die Projektpartner darauf ein ursprünglich ebenfalls betrachtetes Minimalszenario (Frachttransport mit einer Schichtstärke von drei bis vier Fahrzeugen) weiterzuverfolgen, weil sich sehr bald zeigte, dass sich mit derart geringem Prozessvolumen kein wirtschaftlicher Business-Case darstellen lässt.

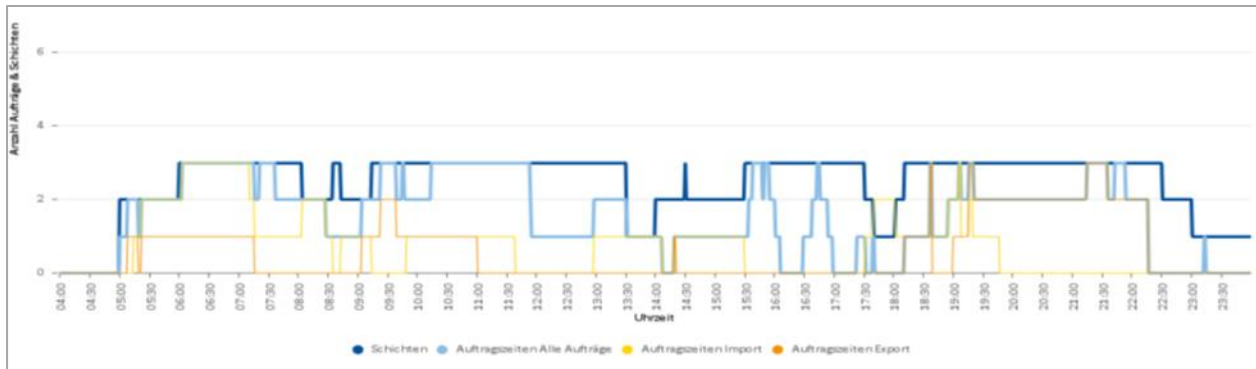


Abbildung 11: Tagesgangkurve Mai 2022 für den Frachttransport

Zur Überprüfung der Robustheit der Kapitalwertaussage wurde auch im Falle des Gepäcktransportes eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt (vergleiche **Abbildung 8**). Hier stellen die Personalkosten der eingesparten Fahrer den mit Abstand größten Einflusshebel dar, da die Kosten der Fahrer jedoch sehr gut quantifizierbar sind, ist bei dieser Kostenposition, im Rahmen der Sensitivitätsanalyse von einer Abweichung von max. 20% nach oben auszugehen. Alle weiteren untersuchten Parameter drehen die Kapitalwertaussage erst bei Schwankungen von +/- 100% und sind infolgedessen als nachrangig zu bewerten.

Nicht vergessen werden darf dabei, dass die Nutzenpotentiale der Automatisierung nicht nur rein monetärer Natur sind, sondern vielfach auch in Bereichen liegen, die nur teilweise einer ökonomischen Bewertung zugänglich sind, etwa größere Prozess- und Verkehrssicherheit, Autarkie vom Arbeitsmarkt in Zeiten wachsenden Personalmangels, Ressourcenschonung etc.

## Soziale Aspekte

Die kritische Reaktion des FSG Betriebsrates auf die erste Testkampagne zeigte, dass auch den sozialen Aspekten eine große Bedeutung zukommt. Hierbei ist zwischen verschiedenen Aspekten zu differenzieren; zum einen geht es darum, dass sich mithilfe der auf automatisierten Fahrzeugen verbauten Sensor- und Kameratechnik theoretisch Überwachungsmöglichkeiten ergeben, womit eine Datenschutzproblematik aufgeworfen wird. Zum anderen – und dies ist sicherlich der Hauptaspekt – geht es um Fragen der Arbeitsplatzsicherheit. Gerade mit Blick auf diesen zweiten Aspekt hat sich während der Projektlaufzeit eine neue Situation ergeben. Die aufgrund der demographischen Entwicklung schon seit längerem absehbare Verknappung auf dem Personalmarkt hat sich nach der Pandemie geradezu dramatisch zugespitzt. Zwischenzeitlich ist es immer aufwendiger, frei werdende Stellen mit entsprechend qualifiziertem Personal dauerhaft zu besetzen. Einerseits ist es dadurch besser als in der Vergangenheit möglich, Mitarbeiter intern auf anderen Stellen einzusetzen und weiter zu qualifizieren; zugleich hilft die Automatisierung eine sich mittelfristig

abzeichnende Personallücke zu decken. Wie in AP 9 bereits dargestellt, wird es aufgrund der Komplexität des Umstellungsprozesses nicht möglich sein, das Vorfeldgeschehen in einem einzigen Schritt zu automatisieren. Vielmehr wird hier ein stufenweiser Prozess sinnvoll sein, um auch das Risiko zu reduzieren. Im Falle der FSG ergibt sich die Möglichkeit, diesen konsekutiven Automatisierungspfad weitgehend kongruent zur altersbedingten Fluktuation auszugestalten, da die Altersstruktur der Gepäckabfertigung durch überproportional viele ältere Arbeitnehmer gekennzeichnet ist. Das aktuelle Durchschnittsalter im Bereich Gepäcktransport beträgt ca. 54,7 Jahre und die nächsten Jahre sind von zahlreichen Renteneintritten der Gepäckdienstmitarbeiter geprägt, sodass eine sozialverträgliche Einführung der Automatisierungstechnik aus diesem Blickwinkel realisierbar ist. Die Abbildung unten zeigt auf, dass innerhalb der nächsten zehn Jahre über 50% der Mitarbeiter der Gepäckabfertigung in Rente gehen werden.

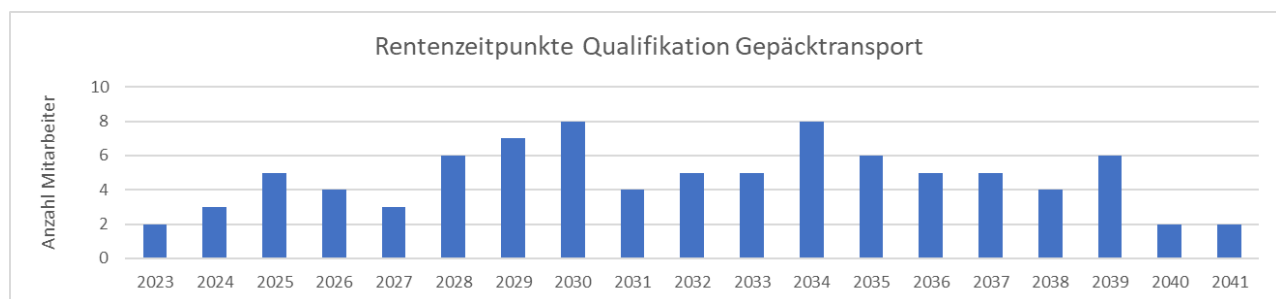


Abbildung 12: Überblick Renteneintritt Gepäcktransport

Aufgrund der schwierigen Arbeitsbedingungen im Gepäcktransport, bedingt durch Ein- & Aussteigen, Verziehen von schweren Gepäckwagen, An- und Abkuppeln sowie der mechanischen Belastung beim Fahren, ist es bereits heute notwendig den Gepäckfahrern ab einem gewissen Alter leichtere Ersatztätigkeiten anzubieten. Im Rahmen der Einführung von automatisierten Gepächtschleppern, können die Gepäckfahrer im Rahmen von Umqualifizierungsprogrammen in anderen Bereichen, wie beispielsweise Frachttransport, Frischwasser- & Abwasserservice oder auch Fluggastbrückendienst, eingesetzt werden.

Beispielsweise werden im Zuge der Einführung automatisierter Gepächtschlepper folgende Tätigkeiten entfallen:

- Gepäcktransportfahrer – Qualifikation niedrig
- Keine mittel- und langfristige Personaldienstplanung mehr erforderlich – Qualifikation mittel
- In der Personalabteilung entfallen anteilig Stellen zur Rekrutierung und Betreuung der Gepäckdienstmitarbeiter – Qualifikation mittel
- Im Management werden die Mitarbeiterführungs- und Betreuungsaufwände ebenfalls reduziert und zusätzliche Arbeitskapazität freigesetzt – Qualifikation hoch

- In der Ausbildungsabteilung entfallen Kapazitäten zur (Auffrischungs-) Schulung der Gepäckdienstmitarbeiter – Qualifikation mittel

Demgegenüber entstehen höher qualifizierte Tätigkeitsfelder, die beispielsweise in folgenden Bereichen erforderlich werden:

- Im Zuge der Automatisierung werden zunehmend hochqualifizierte Mitarbeiter für den Werkstattbereich erforderlich, da sie beispielsweise mit zusätzlichen Tätigkeiten wie etwa Softwarediagnose oder Softwareupdates, etc. beauftragt werden. – Qualifikation hoch
- Im Einkauf werden mit der Automatisierung zunehmend komplexe technologische Ökosysteme und nicht mehr Produkte ausgeschrieben, was eine höhere Kapazität bindet und damit einhergehend auch ein höheres Know-how erforderlich wird. Darüber hinaus müssen in immer größerem Maße externe Beratungsleistungen eingekauft werden, was völlig neue Anforderungen an die Mitarbeiter im Einkauf stellt, die in der Vergangenheit überwiegend mit der Beschaffung klassischer Produkte betraut waren. – Qualifikation hoch
- Mit zunehmender Automatisierung werden neue Anforderungen hinsichtlich der IT- und Datensicherheit aufkommen, welche im Rahmen der Cybersecurity abgesichert werden müssen, um Hackerangriffe zu verhindern. Dafür sind beispielsweise regelmäßige Updates und zusätzliche IT-Prüfschleifen erforderlich. Darüber hinaus wird ggf. die Betreuung lokaler und proprietärer Telekommunikations- und Datennetze erforderlich. Ebenfalls wird die Konzeption, Programmierung und Überwachung von Softwareschnittstellen als neue Aufgabe an Bedeutung gewinnen. – Qualifikation hoch
- Im Rahmen der Automatisierung werden zur Besetzung von Leitständen Spezialisten erforderlich, die auch über das entsprechende Prozesswissen verfügen, beispielsweise Synchronisation von manuellen, hybriden und automatisierten Prozessen. – Qualifikation hoch
- Die höheren Anforderungen in den vorgenannten Bereichen bedingen, dass auch in der Personalabteilung eine höhere Kapazität, ein höheres Qualifikationsniveau und ein höherer Spezialisierungsgrad zur Ausschreibung, Besetzung und Betreuung der entsprechenden Fachpositionen erforderlich werden. Insbesondere ist zu beachten, dass gerade auch im Bereich des Personalmarketings verstärkte Anstrengungen erforderlich sein werden, um entsprechend qualifiziertes Personal für den Projektpartner Flughafen Stuttgart zu gewinnen. – Qualifikation hoch

Im Winterdienstbereich am Flughafen Stuttgart besteht eine Freiwilligenstruktur, die im Einsatzfall in Form eines Bereitschaftsdienstes zur Verfügung steht. Eine Automatisierung im Winterdienstbereich führt daher

nicht zwangsläufig zum Arbeitsplatzverlust. Auf anderen, eher nördlicheren Flughäfen, gilt hingegen ein ähnliches Szenario wie im Gepäckbereich, da Winterdienstmitarbeiter in nordischen Ländern vorrangig hauptberuflich angestellt sind. In der Einführungsphase der Automatisierung müssen, bedingt durch die Freiwilligenstruktur, weniger Alternativtätigkeiten angeboten werden, da einerseits die Freiwilligentätigkeit reduziert werden kann und andererseits auch im Winterdienst ein sehr hohes Durchschnittsalter besteht.

Nachfolgende **Abbildung 13** zeigt die Organisationsstruktur und die Gruppen im Winterdienst des Flughafens Stuttgart auf. Dabei kann festgestellt werden, dass die Gruppe „Fahrer Rollfeld“ mit ca. 50% der Gesamtzahl der Mitarbeiter die mit Abstand größte Gruppe ist. Aus diesem Grunde wurde beim Automatisierungsszenario der Schwerpunkt auf diese Gruppe gelegt. In **Abbildung 14** erfolgt die monetäre Bewertung der Bereitschaftskosten der „Fahrer Rollfeld“. Das Szenario 6 Fahrer bildete eine Grundlage der Kapitalwertrechnung.

**Status Quo 1 Gruppe\***

| Funktion                                     | Winterdienst-Einsatzleiter | GL Rollfeld | Fahrer Rollfeld   | Fahrer Schleuder                                   | GL Vorfeld | Fahrer Vorfeld | EU Straßen-winterdienst | Fahrer Straße gr. LKW | Fahrer Straße kl. LKW | Summe (Gesamt) | Summe (ohne Fahrer Rollfeld) |
|--|----------------------------|-------------|---|--|------------|----------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|------------------------------|
| Anzahl MA pro Tag gem. BV                    | 2                          | 2           | 12  | 2  | 2          | 2              | 2                       | 4                     | 2                     | 30             | 18                           |
| eventuelle Reserve                           | 0                          | 0           | 2   | 0  | 0          | 0              | 0                       | 0                     | 0                     | 2              | 0                            |
| tarifl. Stundenentgelte pro MA pro Woche     | 18                         | 18          | 18  | 18   | 18         | 18             | 18                      | 18                    | 18                    |                |                              |
| Vergütung pro RB-Stunde                      |                            |             |   |  |            |                |                         |                       |                       |                |                              |
| tarifl. Stundenentgelte pro Woche gesamt     | 36                         | 36          | 252   | 36   | 36         | 36             | 36                      | 72                    | 36                    | 576            | 324                          |
| Vergütung pro Woche gesamt                   |                            |             |   |  |            |                |                         |                       |                       | 0              | 0                            |
| Anzahl benötigter MA für 3-wöchigen Rhythmus | 6                          | 6           | 42  | 6  | 6          | 6              | 6                       | 12                    | 6                     | 96             | 54                           |
|  |                            |             | zur Vereinfachung Besetzung nur aus Gleitzeitmitarbeitern | ausschließlich Schichtdienstmitarbeiter mit 12h-RB |            |                |                         |                       |                       |                |                              |

Abbildung 13: Einsatz-Schichtplan Winterdienst

**Einsatz autonomer Räumfahrzeuge**

| Anzahl eingesetzter autonomer Fahrzeuge      | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5   | 6                       |
|--|--|--|--|--|--|---|-------------------------|
| Funktion                                     | Fahrer Rollfeld                                  | Fahrer Rollfeld                                  | Fahrer Rollfeld                                  | Fahrer Rollfeld                          | Fahrer Rollfeld                          | Fahrer Rollfeld                           | Fahrer Rollfeld         |
| Anzahl MA pro Tag gem. BV                    | 12   | 10   | 8  | 6  | 4  | 2   | 0                       |
| eventuelle Reserve                           | 2  | 2  | 2  | 1  | 1  | 1   | 0                       |
| tarifl. Stundenentgelte pro MA pro Woche [h] | 18   | 18   | 18   | 18                                       | 18                                       | 18  | 18                      |
| Vergütung pro RB-Stunde                      | 30,00 €  | 30,00 €  | 30,00 €  | 30,00 €                                  | 30,00 €                                  | 30,00 €                                   | 30,00 €                 |
| tarifl. Stundenentgelte pro Woche gesamt     | 252  | 216  | 180  | 126                                      | 90                                       | 54  | 0                       |
| eingesparte Stundenentgelte pro Woche gesamt | 0  | 36   | 72   | 126                                      | 162                                      | 198                                       | 252                     |
| Vergütung pro Woche gesamt                   | - €  | 1.080,00 €                                       | 2.160,00 €                                       | 3.780,00 €                               | 4.860,00 €                               | 5.940,00 €                                | 7.560,00 €              |
| Anzahl benötigter MA für 3-wöchigen Rhythmus | 42   | 36   | 30   | 21                                       | 15                                       | 9   | 0                       |
|  | 6 bemannte Fahrzeuge pro Zug + jeweils 1 Reserve | 5 bemannte Fahrzeuge pro Zug + jeweils 1 Reserve | 4 bemannte Fahrzeuge pro Zug + jeweils 1 Reserve | 3 bemannte Fahrzeuge pro Zug + 1 Reserve | 2 bemannte Fahrzeuge pro Zug + 1 Reserve | 1 bemanntes Fahrzeuge pro Zug + 1 Reserve | kein bemanntes Fahrzeug |
| Einsparung 1. Nov. Bis Mitte April           | - €  | 25.920,00 €                                      | 51.840,00 €                                      | 90.720,00 €                              | 116.640,00 €                             | 142.560,00 €                              | 181.440,00 €            |

Abbildung 14: Einsatz autonomer Räumfahrzeuge Winterdienst

## **2 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises**

Siehe gesondertes Dokument zum Verwendungsnachweis.

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

Die Projektergebnisse konnten nur im Projektkonsortium, bestehend aus den komplementären Fahrzeugherstellern und dem Endanwender der Fahrzeuge, erreicht werden. Keiner der Partner hätte den gesamten Projektumfang alleine bewältigen können, da das finanzielle Risiko wesentlich höher gewesen wäre. Zudem ist das Zusammenspiel von technischen und prozessualen Themen sehr komplex, so dass es von keinem der drei Partner alleine hätte bewältigt werden können. Darüber hinaus bot das Konsortialprojekt die optimale Plattform, um mit verringertem Risiko die Entwicklungsergebnisse zu testen und zu validieren. Die Bewältigung des Forschungsaufwandes hätte nicht allein und aus Eigenmitteln bestritten werden können, da Anzahl und Schwierigkeit der hierzu notwendigen wissenschaftlich-technischen Neuentwicklungen und Technologieintegrationen dem entgegenstanden.

Die geleisteten Arbeiten der Projektpartner erfolgten ausgehend von dem aktuellen Stand der Technik im Bereich automatisiertes Fahren in innerbetrieblichen Anwendungen. Zu den eingesetzten Technologien und Komponenten/Sensoren lagen bereits erste Erkenntnisse aus verschiedenen Vorarbeiten der Projektpartner vor, sodass eine aufwendige Einarbeitungsphase erforderlich war. Da es sich bei den Partnern Aebi Schmidt und Volk zudem um etablierte Fahrzeughersteller handelt, konnte für die Versuchsträger auf bewährte Basistechnologie der konventionellen Fahrzeuge zurückgegriffen werden. Die Kombination von Technologiepartnern und Endanwendern hat im Projektverlauf Fehlentwicklungen bzw. unnötige Iterationschleifen verhindert und damit einen besonders effizienten Mitteleinsatz ermöglicht. Das Projekt wäre in Form einer klassischen Kunden-/Lieferantenbeziehung, die einer rein ökonomischen Logik folgt, nicht darstellbar gewesen, weil in einem solchen Setup jeder Akteur erfahrungsgemäß auf seinen Vorteil und seine eigene Absicherung bedacht ist. Der notwendige kooperative Geist ist daher nicht gegeben, was auch einer wechselseitigen Offenlegung von Geschäftsgeheimnissen unter den Partnern, welche für die Entwicklung unverzichtbar ist, entgegensteht.

## **4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans**

Im Rahmen des Förderprojektes wurde festgestellt, dass auch Teilpakete für die Flughäfen bereits wirtschaftlichen Nutzen mit sich bringen können. Entsprechend wurde von verschiedenen Experten angekündigt, dass man sich durchaus vorstellen könne zukünftig ein automatisiertes System mit Sicherheitsfahrer (Schritt 2 B + C) zu beschaffen. Die flexible Einsetzbarkeit und der modulare Aufbau des Systems verschaffen Aebi Schmidt eine Vorreiterrolle am Markt. Die in AP 7 gewonnenen Erkenntnisse wurden mit den Flughafenexperten diskutiert. Daraus resultiert ein Folgeprojekt zur Weiterentwicklung des Systems. Vor allem

wurde erkannt, dass die Entwicklung weiter vorangetrieben werden muss, um die Prozessanforderungen der Flughäfen noch akribischer abbilden zu können. Im Rahmen des Förderprojektes wurde die finale Ausbaustufe leider bei keinem Projektpartner vollumfänglich erreicht; jedoch werden Weiterentwicklungen der Systeme angestrebt.

## **5 Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.**

Im September 2022 fand in Paris, auf dem Flughafen Le Bourget, eine Leitmesse für Flughafen-Equipment statt. Die Projektpartner haben an der Messe teilgenommen, um sich umfassend zum Stand der Technik sowie Entwicklungen im Bereich der Automatisierung zu informieren. Es ist zu konstatieren, dass in den vergangenen zwei bis drei Jahren im Bereich der Automatisierung eine deutlich zunehmende Aktivität feststellbar ist. Für die Projektpartner ist es jedoch schwer zu beurteilen, ob es sich hierbei um reine Marketingaktivitäten handelt, oder ob diese auch durch technologische Substanz hinterlegt sind.

Zwar wurde von den etablierten deutschen Gepäckschlepperherstellern noch kein entsprechendes Projekt vorgestellt; jedoch stellte ein französischer Hersteller aus dem Technologiebereich, die Firma Easy Mile, in Le Bourget einen People Mover aus. Derselbe Anbieter arbeitet aktuell auch zusammen mit dem französischen Hersteller TLD an einem automatisierten Gepäckschlepper, der ähnliche Funktionalitäten aufweist, wie die im Rahmen des Förderprojektes entwickelte Zugmaschine.

Im Winterdienstbereich gibt es lediglich außerhalb des deutschen Marktes einen nennenswerten Marktbegleiter, Øveraasen/Norwegen, der zwischenzeitlich ebenfalls mit Entwicklungsaktivitäten im Bereich der Automatisierung begonnen hat. Dessen Lösungsansatz besteht ebenfalls auf automatisierter Routentechnologie und GNSS Technologien zur Positionierung, ähnlich derer, die im Rahmen des SMART FLEET Projektes entwickelt wurde.

Die Projektpartner sehen sich durch die skizzierten Aktivitäten im Wettbewerbsumfeld in ihrem Weg bestärkt.

## **6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 11.**

Im Rahmen des SMART FLEET Forschungsprojektes gab es keine Patentanmeldungen der Projektpartner. Ein Grund hierfür ist, dass die Kriterien der Neuheit und der Erfindungshöhe schwer zu erfüllen sind, da im Automotivbereich mit sehr hohen Entwicklungsbudgets an vergleichbaren Thematiken gearbeitet wird.

Getätigte Veröffentlichungen im Rahmen des Projektes sind im Anhang „Veröffentlichungen“ zu finden.

## **ANHANG Veröffentlichungen**

### **Links zu Videobeiträgen von Volk Fahrzeugbau**

<https://www.youtube.com/watch?v=Pv6JxcJWMbs>

### **Links zu Blog- und Videobeiträgen von Aebi Schmidt**

[BER setzt auf Innovationen | Blog | Aebi Schmidt Group \(aebi-schmidt.com\)](#)

[Integrierte Steuerung von LKW und Kehrblasgerät – ein weiterer Meilenstein auf dem Weg zu autonomen Einsätzen am Flughafen | Blog | Aebi Schmidt Group \(aebi-schmidt.com\)](#)

[Autonomous Operations on Airports - YouTube](#)

### **Pressespiegel Flughafen Stuttgart**

[Pressemitteilungen \(flughafen-stuttgart.de\)](#)

[Autonomer Winterdienst: Neuentwicklung am Flughafen Stuttgart im Test - YouTube](#)

## ANHANG Airport Expert Panel Realtime Survey, Results of Sept. 21<sup>st</sup> 2022

# Airport Expert Panel (Stuttgart)

## Results of realtime survey



Stuttgart Airport  
September 21, 2022



### Introduction

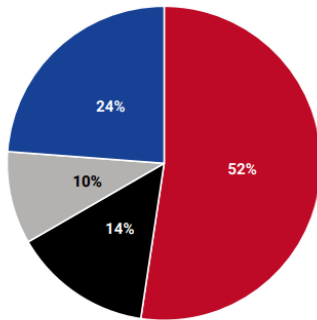
- Realtime survey along with reflection and discussion after Airport Expert Event in Stuttgart, September 21, 2022
- **21 participants to survey**
- Where applicable comparison with **numbers in orange** reflecting the results of same question at Airport Event in **2019**



[Click here to read more about the presentation on the Aebi Schmidt Group Blog](#)

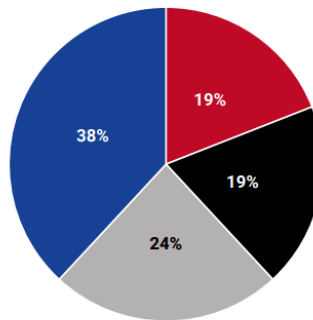
## A. General Outlook

The technology is ready and proved to work in practice. Now, at your airport, where on the road do you think you stand?



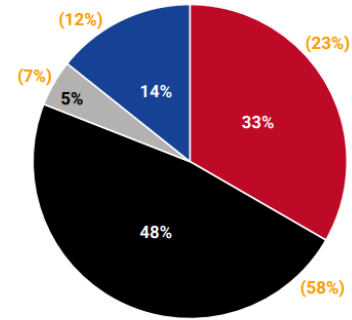
- 20 % done, 80 % ahead of you.
- 50 % done, 50 % ahead of you.
- 80 % done, 20 % ahead of you.
- I can't really answer this question.

What's the probability that your airport will integrate autonomous technologies for sweepers in the next tender?



- sure 100%
- yet 50:50
- pretty high
- probably not yet

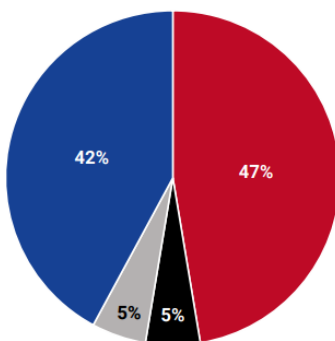
How do you expect the investment behavior in the area of Runways, Taxiways and APRON operations in the next three years?



- back to the volume before the pandemic
- growing compared to before the pandemic
- rather shrinking or will stay on lower level
- don't know

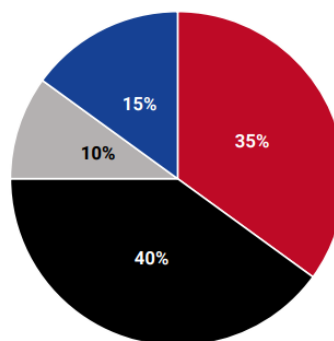
## B. Technologies

Assuming your airport is interested in autonomous operations, which steps will probably be part of an initial project?



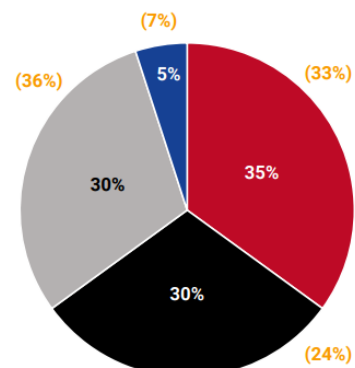
- Driver Assistance System
- Autonomous sweeper operations
- Supervised automated operations (sweeper and truck)
- Full autonomous operations

In your opinion, how important is it to integrate truck & clearing equipment into one autonomous control system?



- it's a must have
- certainly an advantage
- not a necessity
- it's not a must

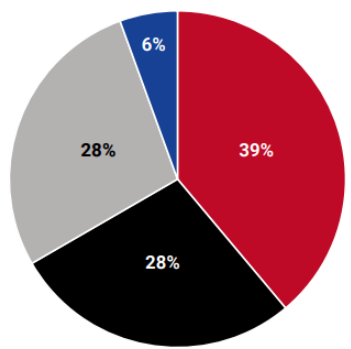
What's – from these options - the biggest challenge for airports?



- optimising operations with data management
- more efficient machines/technology
- autonomous operations
- can't really answer

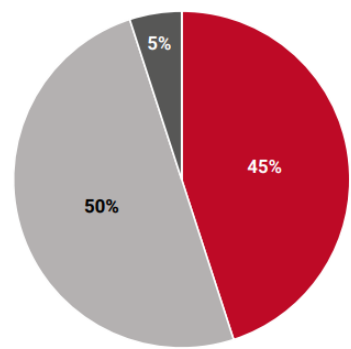
## C. Economies & Benefits

In which areas will the savings be the biggest, if you'd operate with a supervised automated or autonomous system?



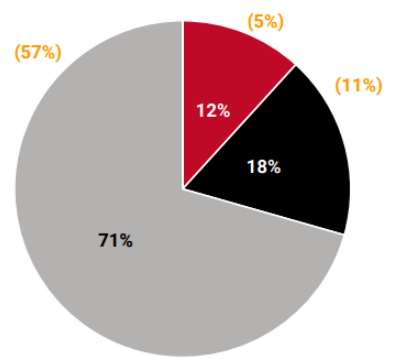
- Labour Cost
- Equipment and Maintenance cost
- Training Cost
- Other

How much will supervised automated or autonomous operations influence security and liability aspects at an airport?



- very much
- quite a bit
- not much
- not at all

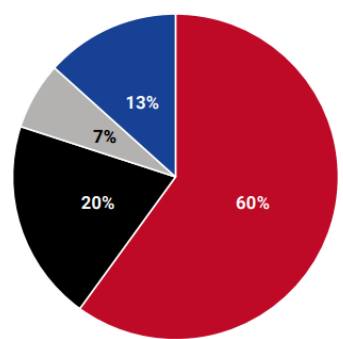
How big could the savings potential be if your operation control was working with an intelligent data management system?



- very small
- rather low
- high
- very high

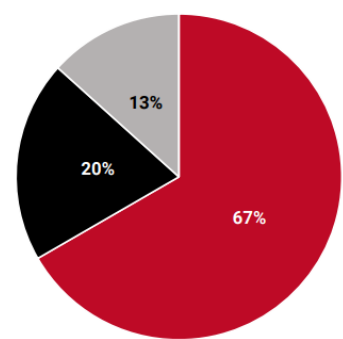
## D. The Human Dimension

Do you expect opposition to automated and autonomous operations of your current clearing crew members?



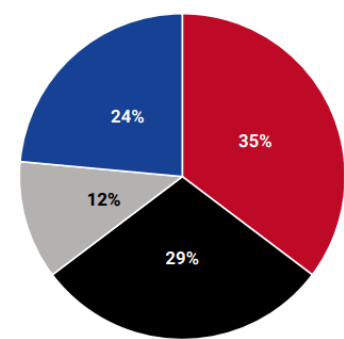
- absolutely
- from a few
- probably not
- sure not

Will hard facts of autonomous operations (e.g. lower emissions, improved security) positively influence decision makers?



- absolutely
- yes, perhaps
- don't think so
- to the contrary

By when will autonomous vehicles be commonly in operation at airports?



- 2025
- 2030
- 2035
- later

## Berichtsblatt

|  |   |
|--|---|
| 1. ISBN oder ISSN<br><b>n/a</b>  | 2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung)<br><b>Schlussbericht</b>  |
| 3. Titel<br><br><b>SmartFleet –<br/>Autonome Nutzfahrzeuge für den sicheren und effizienten Flughafeneinsatz</b>   |   |
| 4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]<br><br>Aebi Schmidt Deutschland GmbH: Theresia Winkler-Fluegel<br>Flughafen Stuttgart GmbH: Martin Hofmann<br>Volk Fahrzeugbau GmbH: Dr. Matthias Baur  | 5. Abschlussdatum des Vorhabens<br><b>31.12.2022</b><br><br>6. Veröffentlichungsdatum<br><b>09.08.2023</b><br><br>7. Form der Publikation<br><b>Bericht</b>   |
| 8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)<br><br>Aebi Schmidt Deutschland GmbH: Albtalstraße 36, 79837 St. Blasien<br>Flughafen Stuttgart GmbH: Flughafenstraße 32, 70629 Stuttgart<br>Volk Fahrzeugbau GmbH: Stahlstraße 15, 88339 Bad Waldsee   | 9. Ber. Nr. Durchführende Institution<br><b>19A18018A / B / C</b><br><br>10. Förderkennzeichen<br><b>19A18018A / B / C</b><br><br>11. Seitenzahl<br><b>84</b> |
| 12. Fördernde Institution (Name, Adresse)<br><br>Bundesministerium für<br>Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)<br>53107 Bonn  | 13. Literaturangaben<br><b>keine</b><br><br>14. Tabellen<br><b>keine</b><br><br>15. Abbildungen<br><b>47</b>  |
| 16. Zusätzliche Angaben<br><b>n/a</b>  |   |
| 17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)<br><b>TÜV Rheinland Consulting GmbH, Marcel Vierkötter, PT BVT,<br/>51101 Köln, 09.08.2023</b>   |   |
| 18. Kurzfassung<br><br><p>Die Zielsetzung des Förderprojektes war es zwei Prototypen zu entwickeln. Dabei hatten sich die Projektpartner Flughafen Stuttgart GmbH (FSG), Aebi Schmidt Deutschland GmbH (ASH) und VOLK Fahrzeugbau GmbH (VOLK) zum Ziel gesetzt, basierend auf einer Analyse des flughafenspezifischen Anforderungs- und Einsatzprofils (Arbeitspaket = AP 2) und der rechtlichen Rahmenbedingungen (AP 3) einen automatisierten Gepäckschlepper sowie ein automatisiertes Kehrblasgerät zu entwickeln (AP 4), diese in Form je eines Prototypen aufzubauen (AP 5) und dann im Vorfeldbetrieb bzw. den Start- &amp; Landebahnen (Flugbetriebsflächen) der FSG zu testen (AP 6, 7). Mit dem Gepäcktransport und der Fahrwegereinigung wurden dabei bewusst zwei besonders kritische Prozesse ausgewählt. Für den Winterdiensteinsatz wurde der Fokus auf Start- &amp; Landebahnen gelegt. Für beide Anwendungsbereiche galt es mit dem Einsatz der Prototypen Erkenntnisse zu gewinnen, um die Fahrzeugkonzepte zu optimieren (AP 8). Zugleich sollte analysiert werden, wie eine zukünftige Umstellung des Flughafenverkehrs auf einen automatisierten Betrieb am besten gestaltet werden kann (AP 9). Eine Bewertung der ökonomischen Vorteilhaftigkeit und der sozialen Konsequenzen (AP 10) sollte das Projekt abrunden. In einem geplanten technischen Weiterentwicklungsprojekt werden die gesammelten Testergebnisse als Grundlage für wesentliche Optimierungen an den bestehenden Prototypen genutzt.</p> |   |
| 19. Schlagwörter<br><b>Automatisierte Prototypen: Gepäckschlepper und Kehrblasgerät, Einsatz auf Flugbetriebs-flächen,<br/>kritische Prozesse</b>  |   |
| 20. Verlag<br><b>n/a</b>   | 21. Preis<br><b>n/a</b>   |

## Document Control Sheet

|  |   |
|--|---|
| 1. ISBN or ISSN<br><b>none</b>   | 2. type of document (e.g. report, publication)<br><b>Report</b> |
| 3. title<br><br><b>SmartFleet –<br/>Autonome Nutzfahrzeuge für den sicheren und effizienten Flughafeneinsatz</b>   |   |
| 4. author(s) (family name, first name(s))<br><br>Aebi Schmidt Deutschland GmbH: Theresia Winkler-Fluegel<br>Flughafen Stuttgart GmbH: Martin Hofmann<br>Volk Fahrzeugbau GmbH: Dr. Matthias Baur   | 5. end of project<br><b>December 31st 2022</b>                  |
|  | 6. publication date<br><b>August 09th 2023</b>                  |
|  | 7. form of publication<br><b>Report</b>                         |
| 8. performing organization(s) (name, address)<br><br>Aebi Schmidt Deutschland GmbH: Albtalstraße 36, 79837 St. Blasien<br>Flughafen Stuttgart GmbH: Flughafenstraße 32, 70629 Stuttgart<br>Volk Fahrzeugbau GmbH: Stahlstraße 15, 88339 Bad Waldsee  | 9. originator's report no.<br><b>19A18018A</b>                  |
|  | 10. reference no.<br><b>19A18018A</b>                           |
|  | 11. no. of pages<br><b>84</b>                                   |
| 12. sponsoring agency (name, address)<br><br>Bundesministerium für<br>Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)<br>53107 Bonn  | 13. no. of references<br><b>none</b>                            |
|  | 14. no. of tables<br><b>none</b>                                |
|  | 15. no. of figures<br><b>47</b>                                 |
| 16. supplementary notes<br><b>n/a</b>  |   |
| 17. presented at (title, place, date)<br><b>TÜV Rheinland Consulting GmbH, Marcel Vierkötter, PT BVT<br/>51101 Köln, 09.08.2023</b>  |   |
| 18. abstract<br><br>The objective of the funding project was to design two prototypes. Thereby the project partners Stuttgart Airport (FSG), Aebi Schmidt Germany (ASH) and VOLK Fahrzeugbau (VOLK) based their aim on the following work packages (WP) to prepare the final goal: Analysis of the airport specific mission profile and requirements (work package/ WP 2) followed by studies of the legal framework (WP 3). In the next step the automated baggage tractor and automated jet sweeper were designed (WP 4), build as two prototypes (AP 5) and tested on airfield operation areas: apron area and the runway of Stuttgart airport (AP 6, 7). Both, the baggage transport as well as the winter maintenance, are very mission critical processes. The winter maintenance focuses on runways. Whilst testing the prototypes in both cases the aim was to gain knowledge to optimize the vehicle concepts in WP 8. At the same time it was required to analyze how airfield traffic can be changed and processes optimized moving into an automated operation in the future (AP 9). An assessment of the economic potential and possible social impacts (AP 10) completed the project. In a planned technical development project the insights and test results gained shall be the basis for significant future optimization on the existing prototypes. |   |
| 19. keywords<br>Automated prototypes: baggage tractor and jet sweeper, airfield operation area, mission critical processes   |   |
| 20. publisher<br><b>n/a</b>  | 21. price<br><b>n/a</b>   |