

**FuE-Programm "Erneuerbar Mobil" des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)**

Schlussbericht

Vorhabenbezeichnung:

scale up! – Emissionsfreie Flughafenflotte

Laufzeit des Vorhabens:

vom: 01.09.2016..... bis: 31.12.2019.....

Zuwendungsempfänger:
(Auflistung aller Verbundpartner)

Flughafen Stuttgart GmbH

Öko-Institut e.V.

Losch Airport Service Stuttgart GmbH

Förderkennzeichen:
(FKZ's entsprechend der links angegebenen Verbundpartner)

16EM3123-1
16EM3123-2

16EM3123-4

16EM3123-3
16EM3123-5

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	5
1. Zusammenfassung	6
2. Zielstellung des Verbundprojektes	7
2.1. Gesamtziel des Verbundes	7
2.2. Aufgaben der einzelnen Partner	8
2.2.1. Flughafen Stuttgart GmbH	8
2.2.2. Losch Airport Service Stuttgart GmbH	8
2.2.3. Öko-Institut e. V.	8
3. Ausführliche Darstellung der erzielten Ergebnisse des Verbundprojektes	9
3.1. AP 0: Projektkoordination	9
3.2. AP 1: Beschaffung und Integration der E-Fahrzeuge in die Flotte	10
3.2.1. AP 1.1: Beschaffung von Elektrofahrzeugen	12
3.2.1.1. FSG	12
3.2.1.2. LAS	19
3.2.2. AP 1.2: Inbetriebnahme und Schulung des Personals	22
3.2.3. AP 1.3: Betrieb der Fahrzeuge	23
3.3. AP 2: Aufbau / Erweiterung Infrastruktur	24
3.3.1. AP 2.1: Planung, Aufbau und Erweiterung der Ladeinfrastruktur	24
3.3.2. AP 2.2: Optimierung der Ladeinfrastruktur (im Projektverlauf)	32
3.4. AP 3: Monitoring des Betriebs	34
3.4.1. AP 3.1: Monitoring Fahrzeugeinsatz	34
3.4.2. AP 3.2: Monitoring Ladeverhalten und Strombereitstellung	35
3.4.3. AP 3.3: Monitoring Energieverbrauch	36
3.4.4. AP 3.4: Monitoring Emissionen (Luftschadstoffe, Lärm)	38
3.5. AP 4: Bewertung des Praxiseinsatzes von E-Fahrzeuge	40
3.5.1. Überblick	40
3.5.2. AP 4.1: Ökologische Bewertung	40
3.5.3. AP 4.2: Wirtschaftliche Bewertung	41
3.5.4. AP 4.3: Technische Bewertung und Nutzerakzeptanz	41
3.6. AP 5: Energiewirtschaftliche Einbindung der Fahrzeuge	41

3.7.	AP 6: Entwicklung einer Roadmap für eine 100 % elektromobile Vorfeldmobilität am Flughafen Stuttgart	42
3.7.1.	Masterplan Ladeinfrastruktur für eine 100%-Elektrifizierung am Flughafen Stuttgart	43
3.7.1.1.	Energieversorgung-Fracht Südseite:	43
3.7.1.2.	Tanklager / östliches Vorfeld:	44
3.7.1.3.	Verkehrsleitungsgebäude	46
3.7.1.1.	BVD- Gerätehalle auf der Nordseite:	48
3.7.1.2.	Frachtübergabehalle:	49
3.7.1.3.	Terminal 4:	50
3.8.	AP 7: Übertragbarkeit der Elektrifizierungsstrategie auf andere Flughäfen und Anwendungen	51
4.	Darstellung wesentlicher Abweichungen zum Arbeitsplan	52
5.	Vergleich der Projektergebnisse zum internationalen Stand der Technik	53
6.	Zukunftsaussichten und weiterer F&E-Bedarf	54
7.	Beitrag zu den förderpolitischen Zielen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)	54
8.	Darstellung der erfolgten oder geplanten Veröffentlichung des Ergebnisses	56
8.1.	1. Working Paper	56
8.2.	2. Working Paper	56
8.3.	LCA-Bericht	56
8.4.	Bericht zu den Beschaffungen in der Projektverlängerung 2019	56
8.5.	„Interne Verwertung“: Im Rahmen des Projekts 2030 Ziel aufgestellt; weitere Pläne am Flughafen ; externe Unternehmen; Losch: andere Standorte	67

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1:	Bisherige Elektrifizierung der Vorfeldflotte und Zieljahre zur Vollelektrifizierung (Stand Ende 2019)	11
Abbildung 3-2:	Beschaffungen FSG im Plan-Ist Vergleich	13
Abbildung 3-3:	El. Passagierbus mit Li-Ion Batterie, Typ: eCobus 300, Fa. Cobus Industries GmbH	14
Abbildung 3-4:	El. Vorfeldschlepper, Typ: NT30 LR, Fa. Volk Fahrzeugbau GmbH	14
Abbildung 3-5:	El. PKW, Typ: Zoe, Fa. Renault s.a.s	15
Abbildung 3-6:	El. Passagiertreppen mit Li-Ion Batterie, Typ RUNWAY1842, Fa. Tips	15
Abbildung 3-7:	Frachtschlepper mit Li-Ionen-Technologie, Typ: Sherpa E, Fa. Goldhofer AG	16
Abbildung 3-8:	Förderband, Typ: Orbiter12e, Mulag Fahrzeugwerk H. Wössner GmbH u. Co. KG	16
Abbildung 3-9:	El. 7t. Highloader, Typ: Champ 7, Trepel Airport Equipment GmbH	17
Abbildung 3-10:	Testeinsatz am Flughafen Stuttgart: Push back Schlepper mit Li-Ionen-Technologie, Typ Bison 370, Goldhofer AG	17
Abbildung 3-11:	Testeinsatz am Flughafen Stuttgart: Behindertentransporter mit Li-Ionen-Technologie, Typ Maxus EV80, Fa. SAIC Mobility Europe	18
Abbildung 3-12:	Testeinsatz am Flughafen Stuttgart: Behindertentransporter, Typ: Thunderlift, Aviogei SSA	18
Abbildung 3-13:	Beschaffungen LAS im Plan-Ist Vergleich	19
Abbildung 3-14:	El. Vorfeldschlepper, Typ: EFZ 30 NT LR LR, Fa. Volk Fahrzeugbau GmbH	20
Abbildung 3-15:	El. Förderband, Typ: NBL ELECTRIC, TLD Europe	21
Abbildung 3-16:	El. Nutzfahrzeug, Typ: eNV200, Nissan	21
Abbildung 3-17:	El. Nutzfahrzeug, Typ: Work, StreetScooter	22
Abbildung 3-18:	Erfassungsbogen Sherpa E	23
Abbildung 3-19:	Aufbau der Busladeinfrastruktur am Terminal 1	25
Abbildung 3-20:	Aufbau der Ladeinfrastruktur in der BVD- Halle	26
Abbildung 3-21:	Planung der Ladeinfrastruktur VL-Gebäude mit Mahle ChargeBig	28
Abbildung 3-22:	Installierte Ladeinfrastruktur VL-Gebäude mit Mahle ChargeBig	29
Abbildung 3-23:	Lastgang Frachttransport	31
Abbildung 3-24:	Ladeinfrastruktur Frachttransport	32
Abbildung 3-25:	Finaler Ladeplatz der LAS Förderbänder auf 50er Positionen	33
Abbildung 3-26:	Proprietäres Monitoringsystem für eFahrzeuge bei der FSG	34
Abbildung 3-27:	Tagesgang Stromverbrauch für Busse und Schlepper in der Hochsaison	36
Abbildung 3-28:	Vergleich der Energiebedarf und Kraftstoffkosten Dieselbus und eBus	37
Abbildung 3-29:	Ergebnis Lärmexpositionspegel Vorfeldfahrzeuge	39
Abbildung 3-30:	Frachtsüdseite	44
Abbildung 3-31:	Tanklager / östliches Vorfeld	45
Abbildung 3-32:	Ex-Zoneneinteilung	46
Abbildung 3-33:	Verkehrsleitungsgebäude und angrenzende Parkplätze	47
Abbildung 3-34:	BVD- Gerätehalle	48
Abbildung 3-35:	Frachtübergabehalle	49
Abbildung 3-36:	Terminal 4	50
Abbildung 4-1:	Beschaffungen Plan-Ist Vergleich	53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Ladeleistungen der 4 Chrom AC Walloxe 30
Tabelle 3-2:	Jährliche Energiebedarfe verschiedener Fahrzeugkategorien 37

1. Zusammenfassung

Die Partner Losch Airport Service Stuttgart GmbH (LAS), Öko-Institut e. V. und die Flughafen Stuttgart GmbH (FSG), als Projektkoordinator, führten im Zeitraum Q3 2016 bis Q4 2019 das Vorhaben „scale up! – emissionsfreie Flughafenflotte“ durch. Es wurden durch die beiden Praxispartnern LAS und FSG jeweils relevante Stückzahlen an Vorfeldfahrzeugen elektrifiziert beschafft, in Betrieb genommen und wichtige Kennzahlen und Informationen im laufenden Betrieb erfasst. Zusammen mit dem Öko-Institut konnten die folgenden Kernergebnisse erarbeitet werden:

1. Flughäfen sind aufgrund ihrer definierten geografischen Ausdehnung ein idealer Anwendungsfall für batterie-elektrische Fahrzeugapplikationen.
2. Die Integration elektrischer Fahrzeuge in die Bestandsflotten und das vollständige Elektrifizieren ganzer Prozesse in der Flugzeugabfertigung, ist bei sorgfältiger Planung erfolgreich durchführbar, ohne dass es für den Betrieb mit Einschränkungen in den Arbeitsprozessen verbunden wäre.
3. Die Akzeptanz der betroffenen Mitarbeiter in der Flugzeugabfertigung und des Managements ist durchweg hoch, was auf Punkt 2 und den entfallenden Schadstoffemissionen und der drastisch reduzierten Lärmpegel der E-Fahrzeuge zurückgeführt wird.
4. Die energiewirtschaftliche Einbindung der E-Flotten konnte erfolgreich bewerkstelligt werden. Allerdings mussten nicht unerhebliche Investitionen in der Energieversorgung und Ladeinfrastruktur getätigt werden. Die E-Fahrzeuge konnten an das bestehende Lastmanagement der FSG angeschlossen werden und Engpasssituationen im Strombezug vermieden werden. Zudem wurde herausgearbeitet, dass im Szenario 2035 der öffentliche Stromverbrauch durch die Passagiere in den Parkhäusern den Verbrauch in den Abfertigungsprozessen völlig in den Hintergrund treten lässt.
5. Der Einsatz von E-Fahrzeugen ist über die Produktion, den Betrieb der Fahrzeuge am Flughafen und das anschließende Recycling bereits heute ökologisch sinnvoll, wie die durchgeführten LCA-Berechnungen für die Fahrzeugkategorien, Busse, Vorfeldschlepper und Förderbänder bewiesen hat. Bei den Treibhausgasemissionen werden Verbesserungen im Vergleich zu Diesel im Bereich von 30 % bis zu 50 % (Strommix Flughafen Stuttgart) erreicht. Zurückzuführen sind diese Ergebnisse auf die überlegene Energieeffizienz der E-Fahrzeuge im Betrieb und die Dominanz der Betriebsphase über die Produktions- und Recyclingphasen. Die Vorteilhaftigkeit der E-Fahrzeuge wird Zukunft noch größer werden, wenn der deutsche Strommix (bzw. an den Flughäfen) einen geringeren Anteil an Kohlestrom aufweist.
6. Es konnte nachgewiesen werden, dass die fast vollständige Elektrifizierung der Flughafenflotten bis 2035 ein sinnhaftes und erreichbares Ziel ist und einen wichtigen Beitrag zur Dekarbonisierung der Flughäfen leistet. Im Falle Flughafen Stuttgart 66 % im Zeitraum 2014-2035 unter der Annahme eines gleichbleibenden Flugaufkommens. Die Einsparungen im Energieverbrauch betragen je nach Prozess zwischen 60 und 80 % zur Dieselflotte. Den anfänglichen Mehrkosten bei der Anschaffung der Fahrzeuge stehen geringere Verbrauchs- und Wartungskosten gegenüber. Die Kosten für den Ausbau der Ladeinfrastruktur spielen in

der absoluten Betrachtung eine Rolle, über die lange technische Nutzungsdauer derselben relativiert sich jedoch der Anteil der LIS im TCO-Ansatz deutlich.

7. Es wurde ein intensiver Dialog aus den Vorgaben heraus mit der Aviationindustrie geführt und die Erkenntnisse am Standort Stuttgart diskutiert und auf Übertragbarkeit auf andere Flughäfen geprüft. Im Ergebnis wurden hier durch die beteiligten Experten keine unüberwindbaren Punkte detektiert und die Übertragbarkeit der Ergebnisse an andere Flughäfen und Abfertigungsdienstleister als gegeben festgestellt.

2. Zielstellung des Verbundprojektes

2.1. Gesamtziel des Verbundes

- Die Elektrifizierung der Flotte im Vorfeld deutlich zu erhöhen, die notwendigen Betriebsabläufe zu etablieren und somit den nächsten Schritt von der Prototyperprobung zur Kleinserie zu gehen. Dieses Ziel wurde mit der Inbetriebnahme von 59 Fahrzeugen und der entsprechenden LIS erreicht. Der Elektrifizierungsgrad über die beiden Partner FSG und LAS hinweg, liegt per 31.12.2019 bei 40%
- Die CO₂-Emissionen der Vorfeldmobilität deutlich zu reduzieren und damit zur Erreichung des Minderungsziels von 20 % bis 2020 (ggü. 1990) beizutragen. Auch dieses Ziel wurde gut erreicht, es konnten 70% der 2019 notwendigen Dieselmotorkraftstoffe – in einen mit nicht elektrifizierten Basisszenario – reduziert werden. Da FSG regenerativ erzeugten Strom mit dem CO₂ Koeffizient = 0g/kWh bezieht, wurden so gleichzeitig 70% weniger CO₂ Emissionen freigesetzt.
- Die lokalen Umweltbelastungen, insbesondere auch vor dem Hintergrund des Gesundheits- und Arbeitsschutzes der Mitarbeiter in der Flugzeugabfertigung, zu verbessern. Dieses Ziel wurde ebenso – sehr zur Freude der betroffenen Arbeiter – erreicht und hat eine wichtige Rolle bei der Akzeptanz der eFahrzeuge gespielt.
- Den Praxiseinsatz wissenschaftlich zu begleiten und auf Grundlage einer umfassenden Datenerfassung zum Betriebsverhalten, technischen Restriktionen und Akzeptanzaspekten fundierte Analysen zur Wirtschaftlichkeit, den ökologischen Wirkungen sowie den technischen Restriktionen durchzuführen. Die beschriebenen Arbeitsinhalte wurden vollständig abgearbeitet und wertvolle Erkenntnisse für den Einsatz von eFahrzeugen an Flughäfen gewonnen
- Eine Roadmap für den weiteren Ausbau von Elektromobilität am Flughafen Stuttgart zu formulieren und konkrete Schritte zu benennen. Die Roadmap wurde bis ins Jahr 2035 mit dem Ziel einer 100% elektrischen Flotte erstellt. Basierend darauf, hat in Q1 2020 die Geschäftsführung der FSG das Ziel verabschiedet, im Abfertigungsbetrieb bis 2030 vollständig auf eFahrzeuge umgestellt und 100% dekarbonisiert zu sein.
- Als Live-Demonstrator für das nationale / internationale Netzwerk der Flughafenbetreiber zu dienen und durch eine starke Stakeholderbeteiligung die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Flughäfen zu diskutieren und Handlungsempfehlungen zu formulieren. Hier haben die Partner FSG und LAS zahlreiche Vorordemonstrationen und Workshops mit Airlines, Flughäfen

und Abfertigungsbetrieben durchgeführt und so die Verbreitung von elektrischen Antriebssystemen gefördert.

2.2. Aufgaben der einzelnen Partner

2.2.1. Flughafen Stuttgart GmbH

FSG ist verantwortlich für die Arbeitspakete: Beschaffung und Integration der E-Fahrzeuge in die Flotte, Aufbau / Erweiterung Infrastruktur, Monitoring des Betriebs mit den Unterpunkten: Monitoring Fahrzeugeinsatz, Monitoring Ladeverhalten und Strombereitstellung, Monitoring Energieverbrauch, Monitoring Emissionen (Luftschadstoffe, Lärm), Monitoring Nutzerakzeptanz und technische Restriktionen. Zudem hat FSG die Partner in den verbleibenden Arbeitspaketen unterstützt.

2.2.2. Losch Airport Service Stuttgart GmbH

Die Losch Airport Service Stuttgart GmbH erbringt mit ihrem Fuhrpark, bestehend aus leichten Nutzfahrzeugen zur Personenbeförderung, Schleppfahrzeugen, Förderbändern zur Ein- und Ausladung von Gepäck und Ground Power Units zur Bodenstromversorgung, Abfertigungsdienstleistungen als Drittabfertiger im Rahmen der BADV-Richtlinie am Flughafen Stuttgart. Im Projekt scale up! ist sie für die Praxiserprobung von elektrisch betriebenen Alternativen der Fahrzeugkategorien Gepäckschlepper und Förderbänder in der Vorfeldmobilität mit verantwortlich. Unabhängig vom Projekt werden während der Laufzeit ebenfalls Kraftfahrzeuge mit Elektroantrieb angeschafft, um eine ganzheitlich elektrisch betriebene Abfertigung darstellen zu können.

Der Aufbau einer Ladeinfrastruktur und - besonders im Hinblick auf die starken Schwankungen des Flugbetriebs – die Erprobung von Batteriemanagementsystemen zur Umsetzung eines aussagekräftigen Monitorings, sind im Elektrifizierungsprozess berücksichtigt worden.

Die Losch Airport Service Stuttgart GmbH arbeitet bei der Beschaffung eng mit den Herstellern zusammen, um die Fahrzeuge so praxistauglich und effizient wie möglich zu konfigurieren. Im Hinblick auf die Anforderungen des Vorfelds eines mittelgroßen Flughafens mit Nachflugverbot, spielt vor allem die Kapazität der Batterie eine entscheidende Rolle, welche während der Projektlaufzeit evaluiert wurde.

Zur ökologischen und ökonomischen Bewertung der Fahrzeuggruppen erhob das Unternehmen umfangreiche Daten über das Betriebsverhalten, dazu zählen unter anderem Verbräuche, Wartungs- und Reparaturkosten.

2.2.3. Öko-Institut e. V.

Das Öko-Institut begleitete das Projekt „scale up!“ wissenschaftlich. In AP 3 unterstützten die WissenschaftlerInnen mittels Befragungen das Monitoring von Nutzerakzeptanz und technischen Restriktionen.

In AP 4 wurde der Fahrzeugeinsatz hinsichtlich Ökologie (LCA auf Fahrzeugebene, Treibhausgasbilanz der Flotte), Ökonomie (TCO-Vergleiche auf Fahrzeugebene, Abschätzung zur wirtschaftlichen Bilanz der Umstellung des Gesamtfuhrparks), Technik und Nutzerakzeptanz evaluiert.

In AP 5 wurde untersucht, wie eine sinnvolle Integration der elektrisch betriebenen Fahrzeuge in das Energiekonzept des Flughafens Stuttgart erfolgen kann. Zudem wurde der Einfluss energiewirtschaftlicher Rahmenbedingungen auf die ökologische und ökonomische Bewertung der Fahrzeuge betrachtet.

In AP 6 wurde mittels einer Roadmap bis 2035 die Umstellung des Fuhrparks auf Elektromobilität skizziert und hinsichtlich Ökologie und Ökonomie bewertet (vgl. AP 4).

Darauf aufbauend wurden die Übertragbarkeit auf andere Flughäfen diskutiert und Handlungsempfehlungen für den Flughafen Stuttgart und andere Anwender formuliert (AP 7). Diese Diskussion fußte wesentlich auf zwei Workshops, v. a. im Rahmen von zwei Workshops im Jahr 2019 statt (s. Abschnitt 3.1), die vom Öko-Institut organisatorisch und inhaltlich wesentlich verantwortet wurden.

Zudem unterstützte das Öko-Institut die übergeordnete Projektkoordination (AP 0). Dies umfasste sowohl bei der Zusammenarbeit zwischen den Partnern (z. B. Projekttreffen und Telefonkonferenzen), als auch die Abstimmung mit dem Projektträger, als auch den Einbezug weiterer Akteure mittels Interviews, Workshops etc.

3. Ausführliche Darstellung der erzielten Ergebnisse des Verbundprojektes

3.1. AP 0: Projektkoordination

Die Projektkoordination stellte die inhaltliche und termingerechte Zusammenarbeit im Projekt sicher. Es wurden die entsprechenden Projekttreffen Telkos und sonstigen Aktivitäten geplant und durchgeführt. Zudem wurde aus AP0 heraus die Projektverlängerung um 6 Monate bis 31.12.2019 erwirkt und auch Korrekturen im Fahrzeugprogramm eingeleitet. Einzelnen:

- Durchführung mehrerer Projekttreffen:
 - 13.10.2016 Kick off mit allen Projektbeteiligten unter Anwesenheit von Frau Randhahn, Projektträger
 - 07.02.2017 Gesamtprojekttreffen mit allen Projektbeteiligten in STR, Schwerpunkt AP 2,4,5
 - 17.10.2017 Gesamtprojekttreffen mit allen Projektbeteiligten in STR unter Anwesenheit von Frau Randhahn, Projektträger, Schwerpunkt AP 2,3, 6
 - 18.05.2018: 3. Projekttreffen zum Datenmonitoring (Öko – FSG) am Flughafen Stuttgart
 - 29.10.2018: 4. Gesamtprojekttreffen mit allen Projektbeteiligten am Flughafen Stuttgart unter Anwesenheit von Florian Schaller, Projektträger (Themen: Fahrzeugbeschaffung und –monitoring, Zwischenergebnisse zur energiewirtschaftlichen Einbindung, Zwischenergebnisse LCA und Wirtschaftlichkeitsanalysen, Diskussion zur Roadmap-Erstellung)

- Organisation mehrerer interner Projekttreffen zur wissenschaftlichen Begleitforschung am Öko-Institut
- Durchführung monatlicher Telefonkonferenzen zu den aktiven APs
- Beantwortung von externen Anfragen zum Projekt und Erstellung von Pressemitteilungen (Medien, öffentliche Stellen)
- Regelmäßiges Monitoring der verfügbaren Mittel

An zwei Workshops am Flughafen Stuttgart im Juni 2019 sowie in Berlin im November 2019 nahmen jeweils – neben den Vertreterinnen und Vertretern der Projektpartner sowie des Fördermittelgebers – 20 bis 30 weitere Repräsentantinnen und Repräsentanten der Branche teil. Diese umfassten zehn weitere Flughäfen aus dem deutschsprachigen Raum, elf Hersteller von Fahrzeugen, Batterien und Ladeinfrastruktur sowie fünf weitere Akteure (Ministerien, Branchenverbände / -gremien und Forschungseinrichtungen).

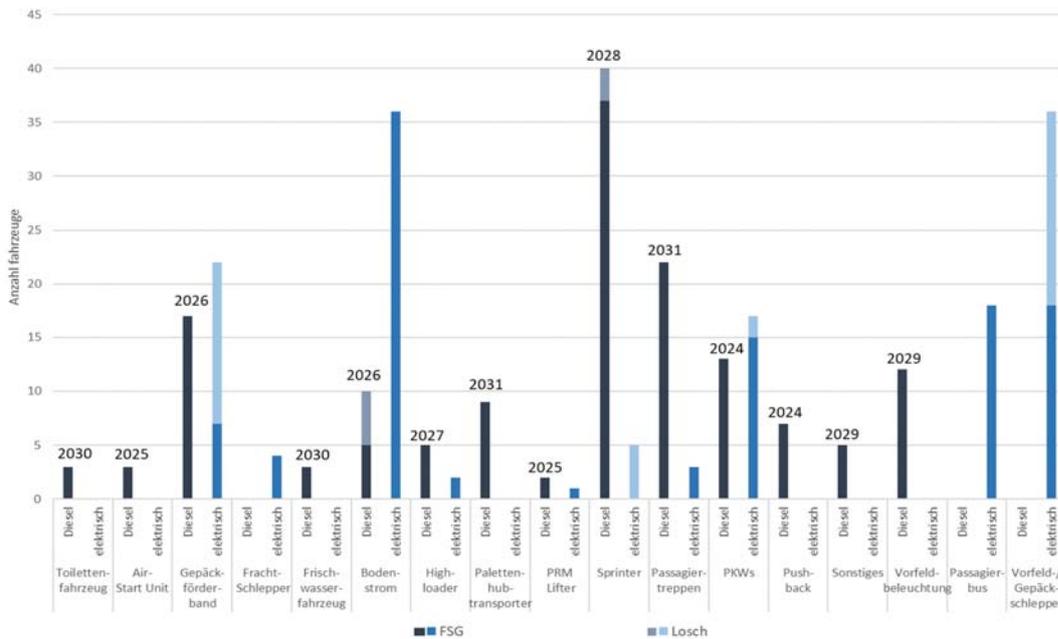
3.2. AP 1: Beschaffung und Integration der E-Fahrzeuge in die Flotte

Zusammenfassung: Im Rahmen des Projekts *scale up!* wurden durch die **LAS** zwölf Elektro-Förderbänder und vier Elektro-Vorfeldschlepper angeschafft. Insgesamt beläuft sich der Fuhrpark des Unternehmens mit Elektroantrieb auf 14 Elektro-Förderbänder, 14 Elektro-Gepäckschlepper sowie sieben leichte Nutzfahrzeuge für die Personenbeförderung und die Flugzeugreinigung. Es befinden sich noch drei leichte Nutzfahrzeuge und 13 Ground Power Units (GPUs) mit fossilem Antrieb im Fuhrpark. Die verbleibenden leichten Nutzfahrzeuge sollen sukzessive nach Ablauf der kalkulatorischen Nutzungsdauer und unter der Voraussetzung, dass es geeignete elektrische Varianten gibt, ausgetauscht werden. Die GPUs werden aufgrund der Nachrüstung auf den Positionen mit Bodenstrom nicht durch elektrisch betriebene GPUs ersetzt, sondern nach und nach außer Betrieb genommen.

Seitens der **FSG** wurden insgesamt 41 batterieelektrische Fahrzeuge für die Flugzeugabfertigung beschafft. Im Einzelnen wurden vier 12m-Förderbänder, zehn Passagierbusse, sechs Gepäckschlepper, vier Frachtschlepper, eine 7-Tonnen Hubbühne, 13 Ramp-Agenten-Pkw und drei Passagiertreppen bestellt und in Betrieb genommen. Damit einhergehend hat die FSG sechs DC-Schnelllader à 60 kW, sechs 63 A-Steckdosen, vier 32 A-Steckdosen, vier 44 kW-Wallboxen und drei Standorte mit insgesamt 68 Ladeplätzen des Typs II mit je 7 kW Leistung realisiert.

Abbildung 3-1 zeigt zusammengefasst den Status Quo der Elektrifizierung in der Flugzeugabfertigung: Von den hier betrachteten Fahrzeugkategorien sind die Vorfeldbusse und -schlepper vollständig elektrisch betrieben, bei Förderbändern und Pkw ist der Prozess etwa zur Hälfte fortgeschritten. Bei Kategorien wie den leichten Nutzfahrzeugen („Sprinter“), Passagiertreppen, Hubtransportern und Fahrzeugen zur Vorfeldbeleuchtung stehen diesbezüglich noch große Umbrüche an.

Abbildung 3-1: Bisherige Elektrifizierung der Vorfeldflotte und Zieljahre zur Vollelektrifizierung (Stand Ende 2019)



Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH, Losch Airport Service Stuttgart GmbH

Der Anteil von Elektrofahrzeugen in der Flugzeugabfertigung zu Projektende beträgt insgesamt 40 %. In den Anfangsjahren des Elektrifizierungsprozesses wurden einzelne Fracht- und Push-Back-Schlepper sowie Hubbühnen mit Blei-Säure-Batterien (PbSB) erprobt, dann aber wurde in diesen Fahrzeuggruppen auf Lithium-Ionen-Batterien (LIB) umgeschwenkt. Die heute im Einsatz befindlichen elektrischen Vorfeldschlepper nutzen PbSB, jedoch will man auch hier in Zukunft auf LIB setzen. Nur bei den Förderbändern (PbSB) wird zumindest mittelfristig von einer Technologie jenseits der LIB ausgegangen. Die während des Elektrifizierungsprozesses als Übergangslösung eingesetzten Dieselheizungen in elektrischen Vorfeldbussen sind mittlerweile vollständig durch rein elektrische Heizungen ersetzt.

Durch die Elektrifizierung konnte der Dieselverbrauch um 70 % gesenkt werden im Vergleich zu einem Szenario ohne Elektrifizierung bis zum heutigen Zeitpunkt. Die letzte Phase im Projekt *scale up!* erbrachte insbesondere Erkenntnisse zu elektrischen Frachtschleppern, Fluggasttreppen und Pkw als Ramp-Agenten-Fahrzeugen, die im Folgenden dargestellt werden.

Ein weiteres großes Potenzial wird in der Elektrifizierung der Fahrzeuge externer Tankdienstleister gesehen. Im Rahmen des Projekts wurden Eignung des Einsatzprofils, benötigte Ladeinfrastruktur, erzielbare Verbrauchseinsparungen und die wirtschaftliche Perspektive detailliert untersucht. Auf Basis der Analysen wird aktuell diskutiert, wie eine Umsetzung erfolgen kann.

3.2.1. AP 1.1: Beschaffung von Elektrofahrzeugen

3.2.1.1. FSG

Das AP1 beinhaltet alle Aktivitäten, die im Zusammenhang mit der Beschaffung der Fahrzeuge erforderlich waren. Nach wie vor ist die Ausschreibung, Beschaffung und Inbetriebnahme der eFahrzeuge deutlich komplexer als im Dieselfall. Es mussten z. B. Leistungsverzeichnisse angepasst werden und komplexe technische Klärungen mit Lieferanten und Betreibern durchgeführt werden.

Primäre Themen sind hierbei die Bestimmung der richtigen Batteriekapazität und der korrespondierenden Ladeleistung. D.h. diese so auf den Prozess, in dem die Fahrzeuge eingesetzt werden auszurichten, so dass sich keine oder nur geringe betrieblichen Einschränkungen für den Betreiber ergeben. Oftmals mussten diese Schritte zusammen mit den Anbietern gemeinsam abgearbeitet werden da nur diese eine belastbare Aussage über die Leistungsbedarfe ihrer angebotenen Fahrzeuge treffen konnten.

Ein Punkt, der fast immer im Zusammenhang mit Li-Ionen Fahrzeugen in den Bietergesprächen für viel Nacharbeit sorgte, waren die meist unzureichenden Garantiebedingungen für die Li-Ionen Batterien, sowohl in Bezug auf die kalendarische Alterung als auch auf die maximale Anzahl der Vollzyklen.

Oftmals gelang es auch nur sehr schleppend, von den Herstellern die Unterschiede bei den planmäßigen Wartungen und dem Verschleiß zwischen Dieselfahrzeug und der eVersion zu erhalten, um z.B. grobe TCO-Rechnungen vor der Vergabe anzustellen oder dies bei der Erteilung des Zuschlages mit zu berücksichtigen.

Leider gab es im AP1 auch Verzögerungen und Umplanungen bei der Beschaffung einzelner Fahrzeuge, weil angekündigte Modelstarts durch die Hersteller Verzögerungen erfuhren. So konnten z.B. nicht wie geplant zwei el. Push back Schlepper mit Li-Ionen Batterie beschafft werden. Aber auch die geplante Elektrifizierung von 6 leichten Nutzfahrzeugen konnte infolge nicht verfügbarer Modelle bei den OEMs nicht erfolgen.

Über die 3 ½ Jahre Projektlaufzeit konnte aber dennoch ein überwiegender Trend hinsichtlich der Zunahme von elektrischen Modellen auf Herstellerseite festgestellt werden. Oftmals wurden die verschärften Importregularien in China als Treiber der Elektrifizierung von Flugzeugabfertigungsgeräten von den Herstellern genannt.

In Teilen tauchten bei der Implementierung vereinzelt noch Kinderkrankheiten auf, die aber meist in kurzer Zeit eliminiert werden konnten, so dass alle Fahrzeuge seitdem zu 100% im Abfertigungsbetrieb (2-Schichtbetrieb) eingesetzt werden konnten. Nennenswerte Ausfälle oder Inanspruchnahmen von Garantieleistungen gab es keine.

Nachfolgend eine Übersicht der getätigten Fahrzeugbeschaffungen der FSG im Projektzeitraum. In Summe konnte die FSG 41 batterie-elektrische Fahrzeuge erfolgreich in Betrieb nehmen.

Abbildung 3-2: Beschaffungen FSG im Plan-Ist Vergleich

		Anzahl geplante und tatsächliche Anschaffung				
Pos	Fahrzeugkategorie	2016	2017	2018	2019	Summe
1	Förderbänder 12m		4			4
2	Gepäckschlepper		6			6
3	Frachtschlepper			4	4	4
4	Nachtluftpostschlepper		3			0
5	Mannschaftstransporter			6		0
6	Push back Schlepper			2		0
7	Highloader 7t Pb	1	1			1
8	Vorfelddbusse + Ladegerät		10	10		10
9	Rampagentenfahrzeuge				13	13
10	Passagiertreppen Li-Ionen				3	3
Gesamtsumme						41

Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH

Die einzelnen Fahrzeuge sind in den Abbildung 3-3 bis Abbildung 3-9 aufgeführt.

Ferner wurden drei Demofahrzeuge (Push-back Schlepper und Behindertentransporter in den Versionen Kleintransporter und 7,5t) in Vorbereitung der Ausschreibung durch die FSG als Testfahrzeuge in Betrieb genommen und über einen längeren Zeitraum betrieben und die Eignung im Produktiveinsatz bewertet. Vergleiche auch Abbildung 3-10 bis Abbildung 3-12. In AP1 erfolgte auch die Erfassung und die Dokumentation der Fahrzeuge in SAP in Hinblick auf Wartungs- und Pflegeinhalte (z. B. Batteriepflegeanforderungen) und die Weitergabe dieser Informationen an den Betrieb und die Werkstätten.

Abbildung 3-3: El. Passagierbus mit Li-Ion Batterie, Typ: eCobus 300, Fa. Cobus Industries GmbH



Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH

Abbildung 3-4: El. Vorfeldschlepper, Typ: NT30 LR, Fa. Volk Fahrzeugbau GmbH



Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH

Abbildung 3-5: EI. PKW, Typ: Zoe, Fa. Renault s.a.s



Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH

Abbildung 3-6: EI. Passagiertreppen mit Li-Ion Batterie, Typ RUNWAY1842, Fa. Tips



Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH

Abbildung 3-7: Frachtschlepper mit Li-Ionen-Technologie, Typ: Sherpa E, Fa. Goldhofer AG



Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH

Abbildung 3-8: Förderband, Typ: Orbiter12e, Mulag Fahrzeugwerk H. Wössner GmbH u. Co. KG



Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH

Abbildung 3-9: El. 7t. Highloader, Typ: Champ 7, Trepel Airport Equipment GmbH



Quelle: : Flughafen Stuttgart GmbH

Abbildung 3-10: Testeinsatz am Flughafen Stuttgart: Push back Schlepper mit Li-Ionen-Technologie, Typ Bison 370, Goldhofer AG



Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH

Abbildung 3-11: Testeinsatz am Flughafen Stuttgart: Behindertentransporter mit Li-Ionen-Technologie, Typ Maxus EV80, Fa. SAIC Mobility Europe



Quelle: Fa. SAIC Mobility Europe

Abbildung 3-12: Testeinsatz am Flughafen Stuttgart: Behindertentransporter, Typ: Thunderlift, Aviogei SSA



Quelle: Flughafen Stuttgart

3.2.1.2. LAS

Abbildung 3-13: Beschaffungen LAS im Plan-Ist Vergleich

		Anzahl geplante und tatsächliche Anschaffung				
Pos	Fahrzeugkategorie	2016	2017	2018	2019	Summe
1	Förderbänder geplant		6	6		12
2	Gepäckschlepper geplant		2	2		4
1	Förderbänder tatsächlich ¹		2	12		14
2	Gepäckschlepper tatsächlich			4		4
3	Nutzfahrzeuge (StreetScooter) ²			5		5
4	Nutzfahrzeuge (Nissan eNV200) ²		2			2
Gesamtsumme						25

¹ zwei Förderbänder wurden außerhalb des Projekts beschafft

² Beschaffung ist außerhalb des Förderprojekts scale up! erfolgt.

Ähnlich wie beim Flughafen Stuttgart gab es auch bei LAS Verzögerungen in der Beschaffung von Elektro-Equipment. Während des Beschaffungsprozesses der Förderbänder tat sich eine Alternative des Herstellers TLD Europe zu den bisher forcierten und bereits bekannten Förderbändern des Herstellers Mulag Fahrzeugwerk Heinz Wössner GmbH u. Co. KG auf. Ein Partner der LAS setzte diese Förderbänder des Herstellers TLD Europe aus Frankreich bereits ein. Nach umfangreichem Erfahrungsaustausch und einer Besichtigung während des Praxiseinsatzes vor Ort, wurden zwei Testfahrzeuge beschafft. Der Bestellprozess verzögerte sich allerdings, da die Konfiguration der Förderbänder und der darauf abzustimmenden Blei-Säure-Batterie einige Zeit in Anspruch nahm. Nach der Praxiserprobung wurden Konfigurationsanpassungen vorgenommen und weitere zwölf Elektro-Förderbänder bei TLD Europe bestellt.

Die beschafften Vorfeldschlepper der Firma Volk Fahrzeugbau GmbH mussten aufgrund der hinreichenden Erfahrung nur minimal angepasst werden. Aufgrund des umfangreichen Einsatzes auf dem Vorfeld (Ziehen von Gepäck, nicht fahrbaren Treppen und Ground Power Units) und der notwendigen Sicherstellung, dass die Batteriekapazität ohne Zwischenladung über einen Abfertigungstag ausreicht, wurde die größtmögliche Batterie bestellt, ohne das zulässige Gesamtgewicht des Vorfeldschleppers zu übersteigen. Während der Projektlaufzeit stieg der Marktanteil der LAS sukzessive an, sodass die vorhandene Anzahl an Vorfeldschleppern nicht mehr ausreichte. Zur Auftragssicherstellung wurden zusätzlich el. Vorfeldschlepper des Herstellers Mulag Fahrzeugwerk Heinz Wössner GmbH u. Co. KG angemietet. Durch eine integrierte Fahrantriebssteuerung mit Bremsenergieerückgewinnung benötigen diese Vorfeldschlepper eine sehr viel geringere Batteriekapazität, sind dadurch erheblich leichter, was sich z. B. positiv auf den Reifenverschleiß auswirkt. Nach einer Pro- und Contra-Befragung der

Nutzer überwiegen die Vorteile des Herstellers Volk Fahrzeugbau GmbH die des Herstellers Mulag Fahrzeugwerk Heinz Wössner GmbH u. Co. KG allerdings im Bereich Comfort und Handhabung deutlich.

Die Beschaffung der leichten Nutzfahrzeuge stellte sich aufgrund mangelnder Angebote auf dem Markt schwierig dar. Es galten zwei VW Caddys für den allgemeinen Mitarbeitertransport auf dem Vorfeld und vier Mercedes Sprinter mit Doppelkabine und Kastenaufbau für die Flugzeugreinigung zu ersetzen. Nach einigen Gesprächen mit KFZ-Herstellern, in denen eine Verfügbarkeit derartiger Nutzfahrzeuge erst zu einem späteren Zeitpunkt prognostiziert wurde, wurden zwei Nissan eNV200 gekauft und fünf StreetScooter der Deutschen Post geleast.

Abbildung 3-14: EI. Vorfeldschlepper, Typ: EFZ 30 NT LR LR, Fa. Volk Fahrzeugbau GmbH



Quelle: Losch Airport Service GmbH

Abbildung 3-15: EI. Förderband, Typ: NBL ELECTRIC, TLD Europe



Quelle: Losch Airport Service GmbH

Abbildung 3-16: EI. Nutzfahrzeug, Typ: eNV200, Nissan



Quelle: Losch Airport Service GmbH

Abbildung 3-17: El. Nutzfahrzeug, Typ: Work, StreetScooter



Quelle: Losch Airport Service GmbH

3.2.2. AP 1.2: Inbetriebnahme und Schulung des Personals

FSG: Alle unter 3.2.1 genannten Fahrzeuge wurden durch die Werkstatt abgenommen und nach erfolgter Schulung/Einweisung der Mitarbeiter auf das Fahrzeug und Ladegerät durch die Ausbildungsabteilung des Flughafens Stuttgart in den Testbetrieb und anschließend in den Regelbetrieb überführt. In Abhängigkeit der Neuerungen wurde entweder eine Theoretische und praktische Unterweisung am Fahrzeug durchgeführt oder ein Informationsblatt für den Nutzerkreis erstellt.

LAS: Hersteller-Einweisungen für Werkstattmitarbeiter und interne Trainer für TLD Elektroförderbänder, StreetScooter und Elektro-Nissans wurden vor Inbetriebnahme der Fahrzeuge durchgeführt. Für die VOLK-Elektroschlepper fand die Einweisung bereits bei Erstbeschaffung im Jahr 2014 statt. Mitarbeiter aller Abfertigungsbereiche erhielten anschließend entsprechend den Herstellervorgaben eine Fahrzeug- und Ladegeräteeinweisung durch das interne Schulungspersonal. Die Gefährdungsbeurteilungen für die Fahrzeuge und deren Ladeplätze wurden mit der Fachkraft für Arbeitssicherheit durchgeführt. Zusätzlich wurde der Werkstattleiter durch den TÜV zur Elektrofachkraft für HV-Systeme in Kraftfahrzeugen ausgebildet.

3.2.3. AP 1.3: Betrieb der Fahrzeuge

Hierunter summieren sich alle Maßnahmen, die den laufenden Einsatz und die Aufrechterhaltung der Betriebsbereitschaft betreffen, z. B. Einrichten eines Reportingsystems, das die Kommunikation mit den Fahrern im 2-Schichtmodell ermöglicht, um z. B. Störungen, Kommentare oder sonstige Probleme zeitnah zu erfassen, damit die entsprechenden Korrekturmaßnahmen eingeleitet werden können. Die nachfolgende Abbildung zeigt exemplarisch einen Überwachungsbogen bei der Inbetriebnahme der vier el. Frachtschlepper (SherpaE) im Jahr 2019 der pro Schicht und Fahrzeug erfasst wurde.

Abbildung 3-18: Erfassungsbogen Sherpa E



Sherpa Schlepper
FZ 120



Name, Vorname: _____ BDE-Nr.: _____

Datum: _____ Tor Drücker-Nr.: _____



Schichtbeginn:

Uhrzeit: _____ Uhr

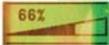
 Betriebsstunden: _____ Std.

 Batterieladestand: _____ %

Schichtende:

Uhrzeit: _____ Uhr

 Betriebsstunden: _____ Std.

 Batterieladestand: _____ %

Bemerkungen wie z.B. Probleme, Auffälligkeiten, Verbesserungsvorschläge:

Bitte bei Schichtbeginn und Schichtende ausfüllen. Vielen Dank 😊

3.3. AP 2: Aufbau / Erweiterung Infrastruktur

3.3.1. AP 2.1: Planung, Aufbau und Erweiterung der Ladeinfrastruktur

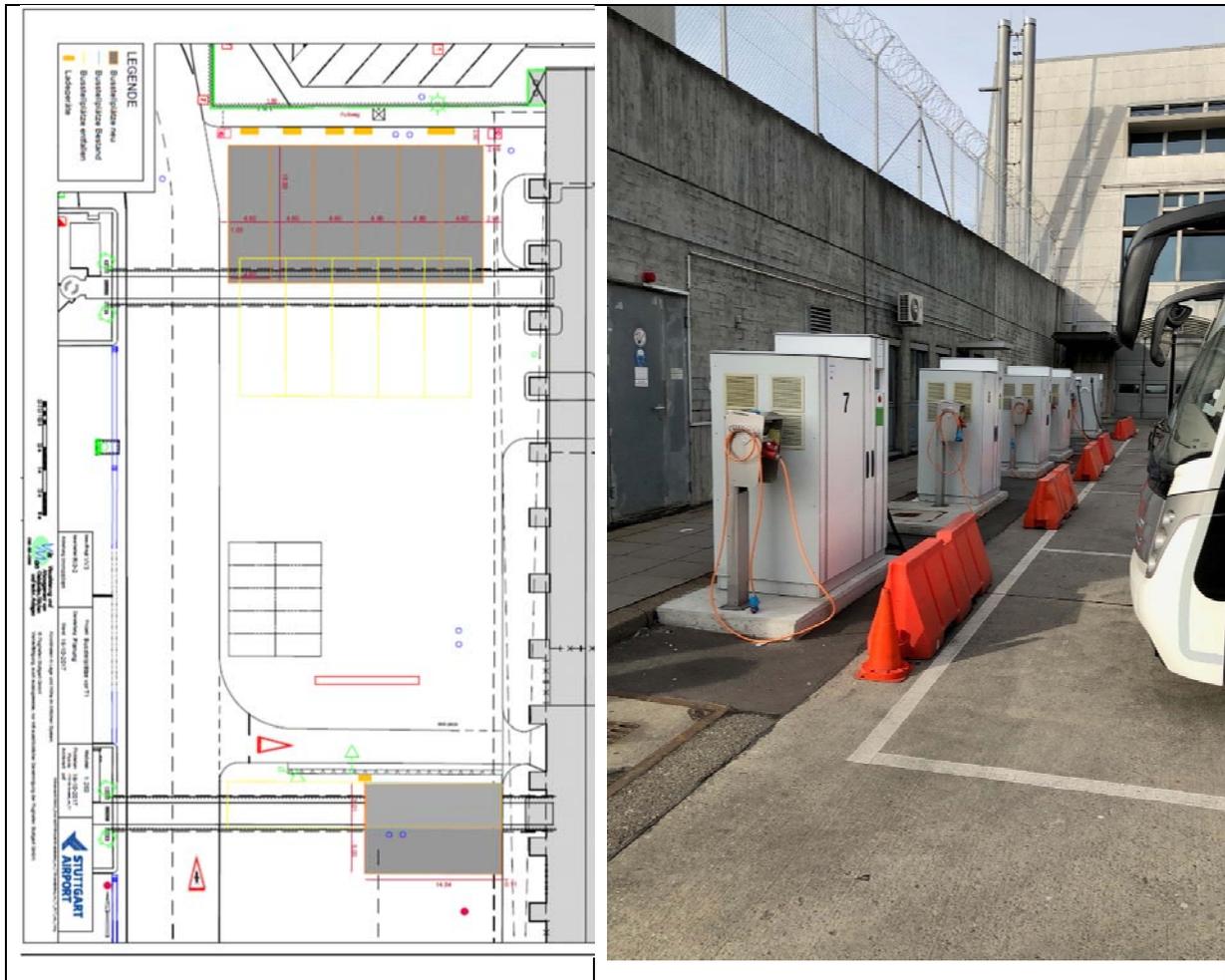
Für die 10 eBusse wurde das nachfolgend abgebildete Abstellkonzept aufgebaut und in Betrieb genommen. In Gelb dargestellt, die alte Parksituation und in Orange die neu markierten eParkplätze der Busse. Infolge der Zunahme der Busflotte konnten die alten Parkplatzbreiten nicht mehr beibehalten werden und mussten verkleinert werden so dass aus 5 auf 6 Abstellplätze erweitert werden konnte. Insgesamt hat die Elektrifizierung der Busflotte keinen Mehrbedarf an kostbarer Fläche mit sich gebracht.

Gleichzeitig konnte die Parkierung im freien Raum nicht mehr beibehalten werden, weil durch die großen Wenderadien und das ausscherende Heck des Busses eine Platzierung der Ladegeräte rund um die bestehenden Parkplätze aus Betriebssicht (Unfälle, Beschädigungen an den Ladegeräten) nicht möglich war. Am Ende kam man auf die stirnseitige Abstellung entlang einer Betonwand, hinter der auch der Trafo zu Versorgung der Buse liegt. Die Lösung ist aus elektrischer Sicht optimal, weil die Kabellängen zur Erschließung gering waren und so auch der Tiefbauanteil klein blieb. Aus betrieblicher Sicht entstand jedoch der Nachteil, dass die Fahrer rückwärts aus dem Parkplatz zurücksetzen müssen und so insgesamt ein wenig langsamer zum nächsten Job unterwegs sind.

Technisch wurden sechs DC Lader der Firma Fiscom (Siemens/Cobus) eingesetzt, die mit 700V und max. 50kW operieren. Neben der eigentlichen Ladesäule wurde zusätzlich noch ein 16A CEE Anschluss verlegt, der der Vorheizung an kalten Winternächten dient und so die Fahrerscheibe eisfrei hält.

Die Lader wurden jeweils auch mit Datenkabeln an die vorhandene Schnittstelle der FSG angebunden, so dass Ladeinformationen wie SCO_{Start/Ende}, kW, kWh, Störmeldungen aber auch Telemetriedaten der Busse wie Betriebsstunden und km-Stand, Batterietemperatur, Störungen im Bus ausgelesen und über eine Datenbank zentral ausgelesen werden können. Gleichzeitig wurde für jede Ladesäule und 16A- Abgang ein Stromzähler installiert. Die so generierten Informationen wurden dann in den nachgelagerten APs ins besonders AP3 verwendet.

Abbildung 3-19: Aufbau der Busladeinfrastruktur am Terminal 1



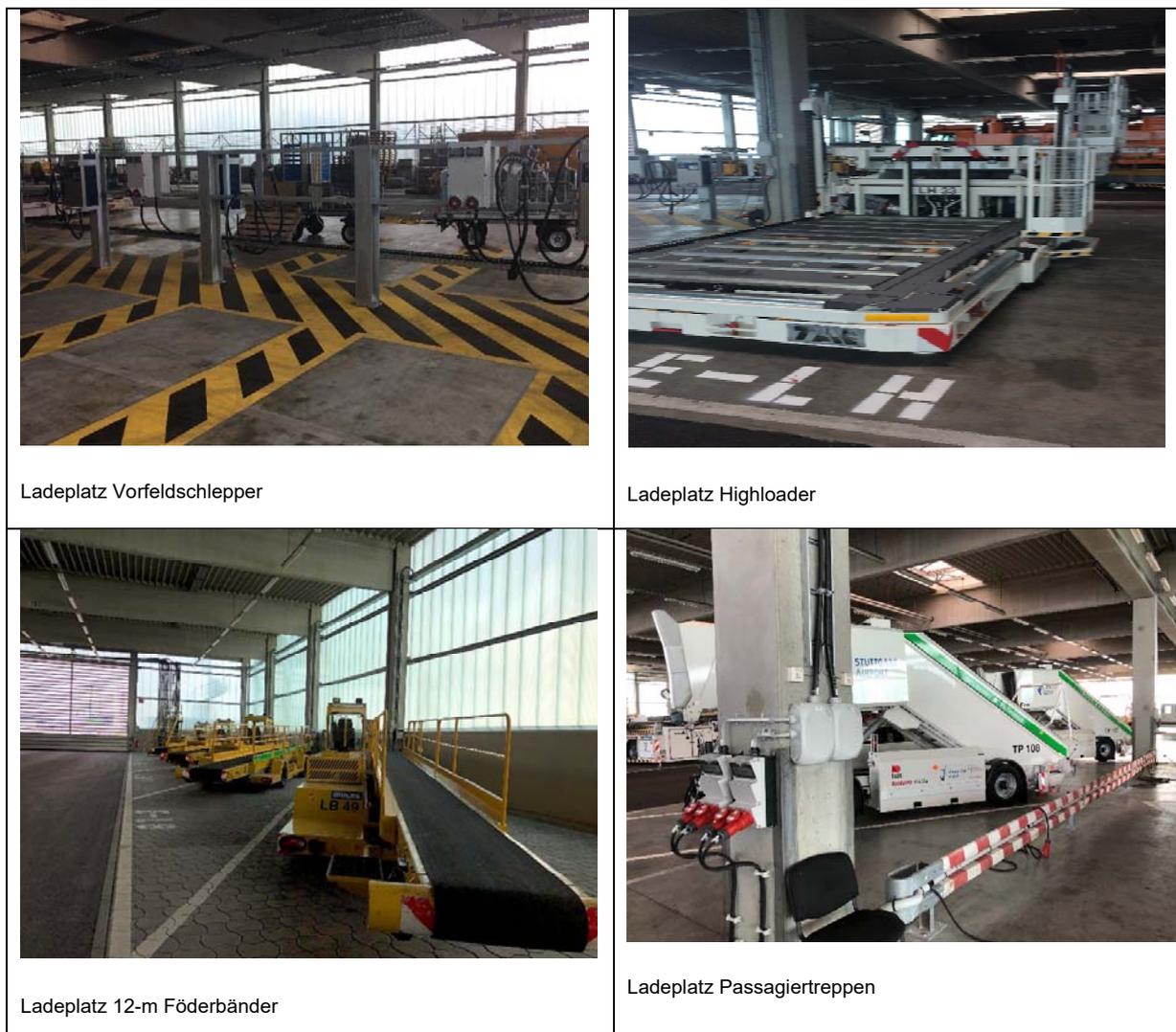
Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH

Für die Fahrzeugkategorien Vorfeldschlepper, Highloader und Passagiertreppen wurde die Stromversorgung in der sogenannten BVD-Gerätehalle erweitert bzw. angepasst.

Hierfür mussten Kabelarbeiten und Stahlbauarbeiten für die Schlepper realisiert werden, um die Ladegeräte der Firma IEB, mit 80V DC und 280 A betreiben zu können. Da die Schlepper eine 112kWh große Blei-Säure Batterie enthalten, die im Ladebetrieb H_2 freisetzt, musste eine Berechnung nach DIN EN 272-3 angestellt werden, um einen sicheren Ladebetrieb zu gewährleisten. Bei näherer Betrachtung wurde jedoch klar, dass dies nicht möglich war, da die DIN nur zwei Fälle kennt a) Halle geschlossen mit Zwangslüftung oder b) Halle mit Lüftungsöffnungen ohne Zwangslüftung. Beide Fälle waren im konkreten Fall nicht anwendbar, da die Halle im Winter geschlossen ist und keine Zwangslüftung installiert ist. Aus diesem Grund musste durch den obersten Sicherheitsbeauftragten der FSG ein Explosionsgutachten angefertigt werden. Im Ergebnis wurde festgestellt, dass die sechs Schlepper ohne weitere Maßnahmen geladen werden können, wenn diese maximal weit voneinander entfernt laden und entsprechende Warnmarkierungen, die die Explosionszonen kennzeichnen, auf dem Boden aufgebracht werden.

Mit dem Ladebetrieb der sechs Schlepper war allerdings die Grenze dessen erreicht, was ohne bauliche Maßnahmen wie z. B. Installation einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung oder Montage von Deckenventilatoren an gasendem Ladebetrieb möglich ist. Für die vier 12m Bänder und dem 7t Highloader bedeutete dies, dass dort die Ladekurve auf 96V begrenzt werden musste - was zuverlässig die Entstehung von Wasserstoff verhindert - aber auch die Lebensdauer der Batterie verkürzt. Ansonsten mussten für die Förderbänder und auch den Highloader kein weitere nennenswerte LIS aufgebaut werden. Anders verhielt es sich mit den drei Passagiertreppen mit Li-Ion-Batterie. Hier wurden Kabelarbeiten für das Bereitstellen der entsprechenden 32A CEE Stecker notwendig. Zudem musste ein geeignetes Abstellkonzept entwickelt werden, da die Geometrie und Fahreigenschaften der Treppen zu berücksichtigen waren. Am Ende fiel die Wahl auf eine V-förmige Abstellung der Treppen, die die Abstellung ähnlich dicht wie im Dieselfall ermöglicht.

Abbildung 3-20: Aufbau der Ladeinfrastruktur in der BVD- Halle





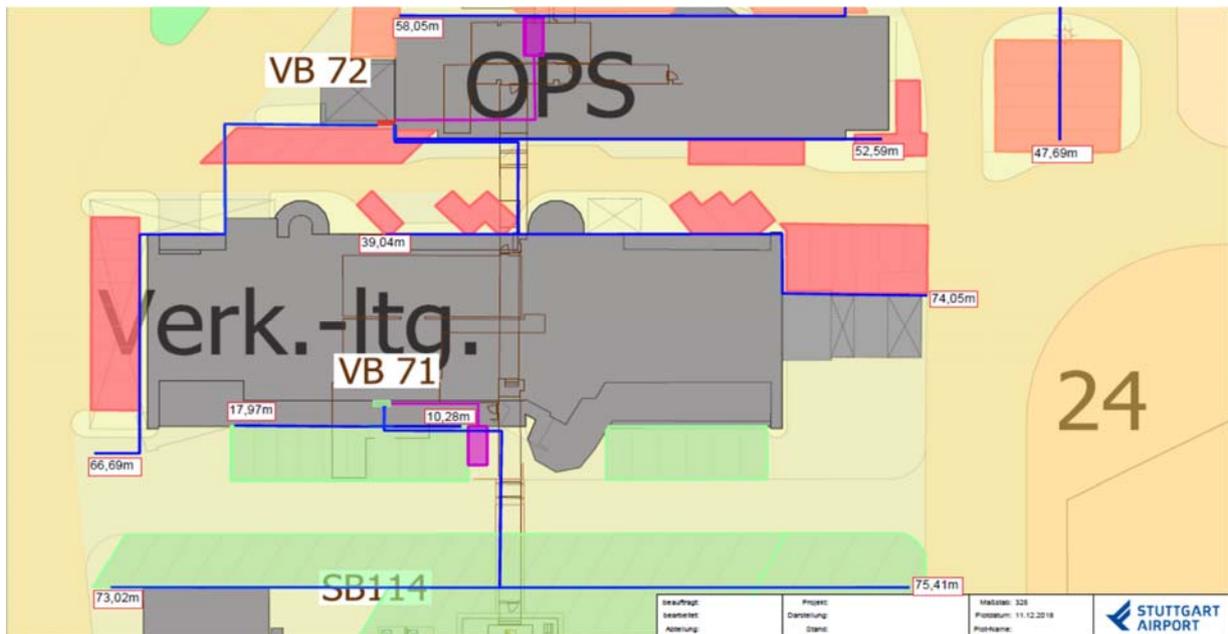
Ladeplatz Frachtschlepper

Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH

Für die Ladeinfrastruktur am VL-Gebäudekomplex der FSG, ergeben vertiefte Kostenberechnungen und Planungen, dass das ursprüngliche Konzept mit einer eigenständigen Energiestation und erdverlegter Infrastruktur den finanziellen Rahmen bei weitem sprengen würde. Zudem zeigte sich durch die Aktualisierung des Masterplans Luftseite eine mittlere Eintrittswahrscheinlichkeit, dass der VL-Gebäudekomplex nur noch 8-10 Jahre Bestand hat, die technische Nutzungszeit der Ladeinfrastruktur jedoch 30 Jahre beträgt. Aus diesen Gründen wurde an einer alternativen Lösung gearbeitet.

Zusammen mit verschiedenen Ladeinfrastrukturanbietern wurde im Sommer 2018 an der technischen Umsetzung einer überwiegend oberirdischen, lastmanagementfähigen Ladeinfrastruktur gearbeitet. Die nachfolgende Abbildung zeigt das Ergebnis:

Abbildung 3-21: Planung der Ladeinfrastruktur VL-Gebäude mit Mahle ChargeBig



Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH

Die neue Lösung wird dynamisch die freien Leistungsreserven der vorhandenen Gebäudetransformatoren (pink) nutzen, um in Schwachlastzeiten (i. d. R. 23:00-05:00 und tagsüber stark schwankend) die Fahrzeuge mit AC-Ladeleistung bis max. 7kW zu versorgen und so gleichzeitig zur Glättung der Tagesgangkurve des Strombezugs beitragen. In den Momenten in denen prioritäre Verbraucher maximale Leistung erfordern, registriert ein Smartmeter vor der Lastverteilung dies und fängt an die bestehenden Ladevorgänge in der Leistung zu drosseln. Im Extremfall erfolgt der Lastabwurf.

Es wurde nach Ausschreibung das System ChargeBig der Mahle GmbH bestellt und an drei Gebäuden (1 x Landseite und 2 x Luftseite) erfolgreich ausgerollt und die an die Gebäude angrenzenden Parkplätze erschlossen. In Summe konnten so 68 Ladepunkte aufgebaut werden. Die Verlegung erfolgte überwiegend oberirdisch, so dass sich Tiefbauarbeiten auf wenige Bereiche konzentrierten.

Das chargeBIG-Ladekonzept für einphasiges „AC Destination Charging“ ermöglicht Ladeleistungen zwischen 2,3 und 7,2 kW und setzt sich aus einer intelligenten zentralen Steuereinheit mit fest angeschlagenen Kabeln und Steckern anstelle von klassischen Ladesäulen zusammen. Dank des intelligenten Ladesystems und des Design-to-Cost-Ansatzes müssen keine Investitionen in den Ausbau des Netzes getätigt werden, was zu erheblichen Kosten- und Zeiteinsparungen beim Aufbau der Ladeinfrastruktur führt.

Über ein dynamisches, phasenindividuelles Lastmanagement wird die verfügbare Ladeleistung durch eine zentrale Steuereinheit auf die parkenden Fahrzeuge verteilt. So werden Schiefasten im Stromnetz vermieden. Das Ladesystem reagiert dabei flexibel auf andere Verbraucher im Netz

und nutzt die Elektrofahrzeuge als regelbare Last. Dies ermöglicht eine optimale Nutzung des verfügbaren Stromnetzes. Die Lösung von chargeBIG ist in der Installation und Wartung günstiger als alternative Systeme, da die Ladepunkte durch die zentrale Elektronik sehr einfach gehalten werden können, dies sorgt auch für eine erhöhte elektrische Sicherheit. Weitere Vorteile sind der hohe Komfort für den Endkunden, reduzierte Kosten bei Unfällen und Vandalismus, Kosteneinsparungen durch die Berücksichtigung von unterschiedlichen Stromtarifen und die Möglichkeit das Ladesystem mit Batteriespeicher und PV zu kombinieren.

Diese LIS wurden primär für die Elektrifizierung der PKWs im Abfertigungsprozess „Rampagenten“ verwendet. Mit der Maßnahme wurde der Prozess von 0 auf 50% Elektrifizierungsquote gehoben. Es werden jedoch auch im AC-Betrieb Busse und beispielsweise die Sherpa E Frachtschlepper dort mit Energie versorgt bzw. als Notladeplatz dienen. Die bevorstehende Elektrifizierung der leichten Nutzfahrzeuge im Bereich der Flugzeugladegruppen wird ebenfalls über ChargeBig erfolgen können. Die Betriebserfahrung betrug je nach Standort 12-6 Monate. In dieser Zeit kam es lediglich zu einer Störung, die durch einen Neustart der Recheneinheit jedoch sofort wieder behoben werden konnte. Die Akzeptanz der Nutzer ist durchgehend hoch. Probleme durch Nässe oder gefrierender Schnee sind nicht aufgetreten.

Abbildung 3-22: Installierte Ladeinfrastruktur VL-Gebäude mit Mahle ChargeBig



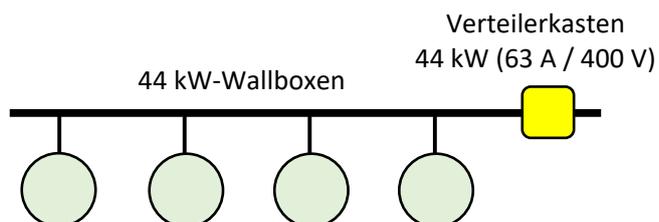


Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH

Für den Betrieb der vier im Projekt erworbenen Frachtschlepper sollte ursprünglich zur elektrischen Versorgung eine Energiestation aufgebaut werden, da im Frachtbereich lediglich eine 63A CEE Steckdose mit max. 44kW Leistung verfügbar war. Im Zuge der Bietergespräche wurde dann eine Lösung erarbeitet, die den zuverlässigen Ladebetrieb von vier Schleppern erlaubt, ohne eine Kompaktstation mit mehreren Abgängen aufbauen zu müssen.

Kernstück der Ladelösung sind vier AC-Wallboxen der Firma ChrOhm, jede für sich für 44kW Leistung ausgelegt. Die Wallboxen wurden durch ein Kommunikationskabel untereinander verbunden, so dass in Abhängigkeit der Anzahl angeschlossener Schlepper die Ladeleistung linear aufgeteilt wird. Folgende Ladeszenarien sind damit möglich:

Tabelle 3-1: Ladeleistungen der 4 Chrom AC Wallboxen

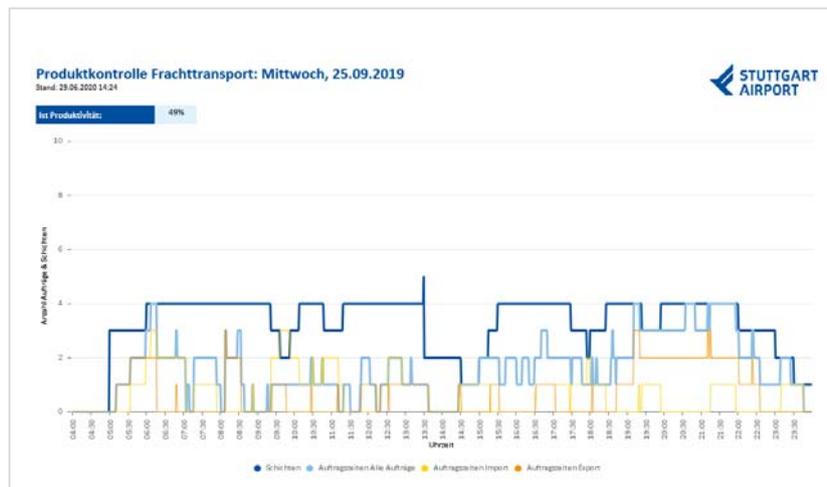


Gleichzeitig eingesteckt	Ladeleistung [kW]			
	1	2	3	4
Schlepper 1	44	22	14,6	11
Schlepper 2		22	14,6	11
Schlepper 3			14,6	11
Schlepper 4				11
Summe	44	44	44	44

Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH

Für den Regelbetrieb bedeutet dies, dass wenn kein Frachttransport stattfindet, die Schlepper in der Zeit von 00:00 Uhr bis 05:30 Uhr mit jeweils 11 kW geladen werden können. Pro Schlepper (70kW Stunden Li-Ion-Batterie) können so 60kWh eingelagert werden. Wird unterstellt, dass der Schlepper mit einem SOC zu Schichtende größer 10% angeschlossen wird, ist der Schlepper morgens zum Start vollgeladen. Tagsüber können die Schlepper je nach Bedarf mit 44-11 kW zwischengeladen werden. Wie Abbildung 3-23 deutlich zeigt, ist der Frachttransport von großen Schwankungen des Arbeitsvolumens über den Tag gekennzeichnet, so dass ausreichend Zeit für das Zwischenladen der Fahrzeuge vorhanden ist.

Abbildung 3-23: Lastgang Frachttransport



Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH

Die Erfahrung nach Inbetriebnahme der Schlepper und Ladeinfrastruktur haben keinerlei Restriktionen in der Verfügbarkeit und Reichweite gezeigt. Der Schleppertausch Diesel gegen Elektro konnte wie geplant im Verhältnis 1:1 erfolgen. Die ausgerollte Ladesituation zeigt Abbildung 3-24.

Abbildung 3-24: Ladeinfrastruktur Frachttransport



Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH

3.3.2. AP 2.2: Optimierung der Ladeinfrastruktur (im Projektverlauf)

Im Zuge der Inbetriebnahme der LAS-Förderbänder wurde eine provisorische Lademöglichkeit in der BVD-Gerätehalle in Betrieb genommen. Für die endgültigen Ladeplätze wurde zusammen mit LAS das finale Ladekonzept abgestimmt. Die Implementierung wird in 2020 außerhalb des Projektrahmens gemäß der nachfolgenden Abbildung stattfinden. Es wird im Hinblick auf die 100% el.-Flotte zwingend notwendig werden, bei allen vorfeldseitigen Baumaßnahmen zu prüfen, ob und wie gegebenenfalls Synergien zu Ladeinfrastruktur genutzt werden können.

Abbildung 3-25: Finaler Ladeplatz der LAS Förderbänder auf 50er Positionen



Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH

Fazit: Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit der Anschaffung von neuen elektrischen Betriebsfahrzeugen in den nächsten Jahren die Ladeinfrastruktur sukzessiv angepasst werden muss. Da hierfür einige Bereiche gute Ausgangsbedingungen bieten, sollte zumindest mittelfristig die Kapazität an Lademöglichkeiten durch ein Umsetzen der oben vorgestellten Maßnahmen, ausreichend sein. Um die Ladeinfrastruktur zukünftig flexibler nutzen zu können, sollten die Ladepunkte mit CCS-Technologie (Combined Charging System) ertüchtigt werden. Durch das deutlich schnellere Aufladen der Batterie und den einheitlichen Ladesteckertyp wird keine 1:1-Beziehung zwischen Lademöglichkeit und E-Fahrzeug nötig sein, wie es heute noch bei den meisten elektrifizierten Fahrzeugkategorien der Fall ist.

3.4. AP 3: Monitoring des Betriebs

Ziel dieses Arbeitspaketes war es, den Einsatz der Fahrzeuge anhand geeigneter Systeme und Kennzahlen zu überwachen und zu gewährleisten, dass die Fahrzeuge und deren Ladesysteme repräsentative Arbeitsprogramme absolvieren. Damit wird sichergestellt, dass spätere Auswertungen in denen es um Akzeptanz, Reichweiten, Energiebedarf, Vergleichbarkeit mit dem Diesel geht, eine solide Grundlage haben.

3.4.1. AP 3.1: Monitoring Fahrzeugeinsatz

Das Monitoring des Fahrzeugeinsatzes wurde im Berichtszeitraum entsprechend der etablierten Datenerfassung- und Datenübermittlungsroutinen für alle betrachteten Fahrzeugkategorien fortgesetzt und Daten zum Fahrzeugbetrieb in regelmäßigen Abständen an die wissenschaftliche Begleitforschung übergeben aber natürlich auch für interne Auswertungen genutzt. Die Vorfeldschlepper und Passagiertreppen der FSG wurden mit entsprechenden Datenloggern ausgestattet. Abbildung 3-26 zeigt exemplarisch die Datensicht auf die Schlepper.

Abbildung 3-26: Proprietäres Monitoringsystem für eFahrzeuge bei der FSG

Fahrzeug	Ladestation	Ladebetrieb (ein/aus)	Ladeleistung (kW)	Ladestörung (normal/gestört)	Ladezustand (%)	Batterie-Temperatur	Elektrolyt	Fahrzeugstörung	Fehlercode	km-Stand	Betr. Std.
FZ100	-	✘	0.087	✓	100	-	normal	✓	0,0	54855,6	4260
FZ101	-	✘	0.09	✓	100	-	normal	✓	0,0	49189,0	3873
FZ102	-	✘	0	✓	100	-	normal	✓	0,0	57782,3	4444
FZ103	-	✘	0	✓	100	-	normal	✓	0,0	53213,8	4172
FZ104	-	✘	0	✓	90	-	normal	✓	0,0	53619,4	3920
FZ105	-	✘	0	✓	100	-	normal	✓	0,0	53574,5	3869
FZ107	-	✘	0	✓	100	-	normal	✓	0,0	33216,0	2543
FZ108	-	✘	0	✓	90	-	normal	✓	0,0	24502,3	1838
FZ109	-	✘	0	✓	100	-	normal	✓	0,0	33226,6	2479
FZ110	-	✘	0	✓	100	-	normal	✓	0,0	27667,8	2089
FZ112	-	✘	0	✓	100	-	normal	✓	0,0	30787,0	2354

Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH

Aus dem Dispositionssystem der FSG wurden wo vorhanden, die auf den verschiedenen Fahrzeugen erfassten Schichtstunden, die Anzahl der Jobs (z.B. Gepäckfahrten) ermittelt. Die nachfolgende Übersicht zeigt die erhobenen Daten je Fahrzeugkategorie. Der Umfang der

erhobenen Daten richten sich zum einen nach der Anzahl der Fahrzeuge, nach der Art und Weise wie die Fahrzeuge im Dispositionstool der FSG modelliert sind. Ziel war es, die Vergleichbarkeit von Dieselfahrzeug und eVersion herzustellen. Zum Teil mussten auch manuell Daten erhoben werden, wie im Falle der thermischen und elektrischen PKWs der Rampagenten, der Kilometerstand.

Busse: km, Bh, SOC_{Start/Ende}, °C- Batterie_{Start/Ende}, Störungen, kWh, Schichtstunden, Fahrten

Schlepper: km, Bh, SOC_{Ende} °C- Batterie_{Start/Ende}, Störungen, kWh, Schichtstunden, Fahrten

Passagiertreppen: km, Bh, kWh, SOC<20%

Förderband: Bh, kWh

Highloader: Bh, kWh

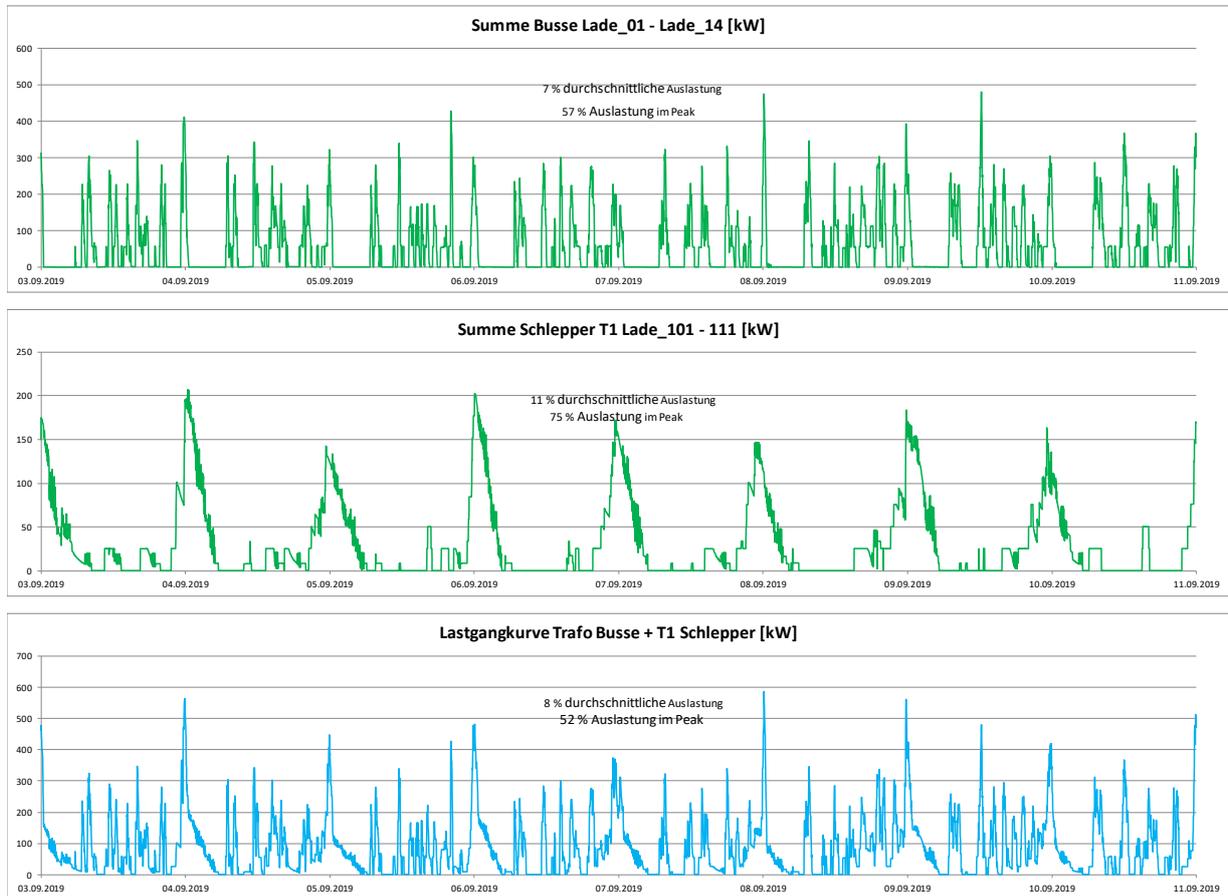
Rampagentenfahrzeug (Renault ZOE): km, kWh

Wo möglich, wurden Input-Output Betrachtungen angestellt. Als Input wurden Schichtstunden und kWh und als Output entsprechend gefahrene Kilometer, Betriebsstunden der Fahrzeuge und deren Jobs definiert und erfasst. Die Auswertungen wurden monatlich ab Inbetriebnahme der Fahrzeuge durchgeführt, um jahreszeitliche Abhängigkeiten zu erkennen.

3.4.2. AP 3.2: Monitoring Ladeverhalten und Strombereitstellung

Im Zuge der Errichtung der Ladeinfrastruktur und des Aufstellens der Ladegeräte wurden zum einen digitale Stromzähler und zum anderen die Datenanbindung der Ladegeräte an die IT der FSG etabliert. So lassen sich die Stromverbräuche den jeweiligen Fahrzeugkategorien zuordnen und Ladekurven und Ladeverhalten darstellen. LAS wählte als Datenerfassungssystem eine Lösung von HawkerEnergys GmbH. Die Daten wurden monatlich ausgelesen und als Excel-Datei exportiert, womit die erfassten Betriebsstunden und geladenen kWh ausgewertet werden konnten. Des Weiteren erhöht das Batteriemanagementsystem hierdurch die Lebensdauer der Batterien, indem Aussagen zur Temperatur, dem Wasser- und Säurestand und Informationen über das Verhältnis von Tiefenentladungen getroffen werden. FSG hat die entsprechenden Daten in einem proprietären System herstellerunabhängig aufgebaut. Typische Auswertungen sind die im Weiteren abgebildeten Strombedarfskurven für die Anwendungen Bus- und Gepäcktransport. Gut erkennbar sind die batterietechnologisch bedingten Unterschiede in der Ladekurven. Diese Art von Information wurde auch im AP 5 - Energiewirtschaftliche Einbindung der Fahrzeuge weiterverarbeitet.

Abbildung 3-27: Tagesgang Stromverbrauch für Busse und Schlepper in der Hochsaison



Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH

3.4.3. AP 3.3: Monitoring Energieverbrauch

Hier wurden die Energieverbräuche für die im Projekt beschafften Fahrzeuge ermittelt und dem Dieselreferenzfahrzeug gegenübergestellt. Das Ergebnis für das Jahr 2018 ist nachfolgend beispielhaft dargestellt. Gut zu erkennen ist der Effekt der Saisonalität, die hier primär mit dem Heizbedarf für den Fahrgastraum zu erklären ist.

Abbildung 3-28: Vergleich der Energiebedarf und Kraftstoffkosten Dieselbus und eBus

Kennzahlen Vergleich Diesel / Elektro														STUTT GART AIRPORT		
Fahrzeugart	Busse															
Datenquelle																
Jahr	2018															
Art Kennzahl																
Berechnete Kennzahlen Diesel																
Kennzahl	Monat	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Summe Jahr		
kWh pro Job		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	144,02 kWh		
Kosten pro Job		15,86 kWh	21,57 kWh	13,82 kWh	8,98 kWh	8,18 kWh	8,16 kWh	8,22 kWh	7,48 kWh	9,05 kWh	12,30 kWh	13,11 kWh	17,29 kWh	19,38 kWh		
kWh pro Schichtstunde		2,19 €	2,98 €	1,88 €	1,14 €	0,68 €	1,00 €	1,03 €	0,94 €	1,27 €	1,75 €	2,06 €	2,47 €	317,16 kWh		
		29,29 kWh	44,05 kWh	31,13 kWh	19,40 kWh	18,77 kWh	19,79 kWh	19,87 kWh	18,39 kWh	22,93 kWh	26,97 kWh	27,46 kWh	39,11 kWh			
Berechnete Kennzahlen Elektro																
Kennzahl	Monat	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Summe Jahr		
kWh pro Job		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	65,73 kWh		
Kosten pro Job		11,76 kWh	12,22 kWh	8,32 kWh	3,29 kWh	2,65 kWh	2,39 kWh	2,40 kWh	2,46 kWh	2,61 kWh	3,86 kWh	6,63 kWh	7,15 kWh	9,46 kWh		
kWh pro Schichtstunde		1,64 €	1,71 €	1,18 €	0,49 €	0,40 €	0,36 €	0,36 €	0,37 €	0,39 €	0,57 €	0,96 €	1,06 €	143,29 kWh		
		21,90 kWh	25,20 kWh	18,56 kWh	7,25 kWh	6,08 kWh	5,78 kWh	5,95 kWh	6,18 kWh	6,72 kWh	9,47 kWh	14,50 kWh	15,70 kWh			
Berechnete Kennzahlen Vergleich																
Kennzahl	Monat	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Durchschnitt Jahr		
Ersparnis Elektro zu Diesel kWh pro Job		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	54,36%		
Ersparnis Elektro zu Diesel Kosten pro Job		25,88%	43,36%	39,84%	63,33%	67,60%	70,77%	70,86%	67,07%	71,11%	68,60%	49,39%	58,60%	51,18%		
Ersparnis Elektro zu Diesel kWh pro Schichtstunde		25,23%	42,69%	37,19%	57,18%	41,17%	64,24%	65,01%	60,79%	69,44%	67,48%	53,55%	57,19%	54,82%		
		25,24%	42,79%	40,37%	62,61%	67,59%	70,80%	70,05%	66,42%	70,71%	64,90%	47,18%	59,85%			

Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH

Ausgehend von den ermittelten Ergebnissen wurde in Vorbereitung für AP 6: Entwicklung einer Roadmap für eine 100 % elektromobile Vorfeldmobilität am Flughafen Stuttgart für alle Fahrzeugkategorie die entsprechenden Überleitungen ermittelt. In Tabelle 3-1: Tabelle 3-1 sind die Ergebnisse über alle relevanten Fahrzeugkategorien dargestellt, wobei die in scale up! beschafften Fahrzeugkategorien für die Effizienzvergleich auf Basis von IST-Werten ermittelt wurden in blau markiert sind. Die restlichen Kategorien wurden daraus abgeleitet.

Tabelle 3-2: Jährliche Energiebedarfe verschiedener Fahrzeugkategorien

Anwendung	Fahrzeugkategorie	Stromverbrauch E-Fahrzeug [kWh]	Kraftstoffverbrauch Dieselfahrzeug [kWh]
Abwasser	Lkw 7,5t / Sonder-Lkw	13.635	34.087
Be- und Entladung Gepäck	Förderband	3.000	15.000
Gepäck- und Frachttransport	Frachtschlepper	14.978	93.612
Frischwasser	Lkw 7,5t / Sonder-Lkw	17.225	43.063
Stromversorgung Flugzeug am Boden	GPU selbstfahrend	19.426	64.753
Stromversorgung Flugzeug am Boden	GPU gezogen	11.400	57.000
Stromversorgung Flugzeug am Boden	E-Vorfeldpos.	6.475	64.753
Ein-/Aussteigen/-laden	Hubbühne	3.900	15.100
Ein-/Aussteigen/-laden	Hubtransporter	5.400	18.000
Gepäck- und Frachttransport	Palettentransporter	2.885	9.616
Betankung	Lkw 20t / Sonder-Lkw	4.630	15.434
Werkstatt	Lkw 7,5t / Sonder-Lkw	1.873	6.243
Feuerwehr	Lkw 20t / Sonder-Lkw	4.921	16.404

Werkstatt	LNF	2.934	9.779
Mannschaftstransport	LNF	3.989	13.298
Sonstiges BVD	LNF	1.987	6.624
Feuerwehr	LNF	2.790	9.300
Werkstatt	Pkw	1.188	3.959
Follow-me	Pkw	11.289	37.631
Rampagenten Fahrzeug	PKW	3.452	13.782
Sonstiges BVD	Pkw	2.579	8.595
Feuerwehr	Pkw	2.265	7.550
Ein-/Aussteigen/-laden	Fluggasttreppe	1.972	10.384
Push-Back	Push-Back-Schlepper	24.600	82.000
Betankung SkyTanking	Lkw 20t / Sonder-Lkw	29.903	85.437
Beleuchtung Vorfeld (selbstfahrend)	Lkw 7,5t / Sonder-Lkw	5.610	18.700
Passagiertransport	Vorfelddbus	36.012	102.891
Beförderung von Gepäckwagen (& Treppen & GPUs)	Vorfeldschlepper	17.091	56.970
Ein-/Aussteigen/-laden	Medical Highloader	31.454	78.634
Air Start Unit	Air Start Unit	7.248	24.159
Cleaning	LNF	2.925	9.750
Feuerwehr	Bus	1.595	5.315
Winterdienst	Lkw 20t / Sonder-Lkw	6.548	21.827

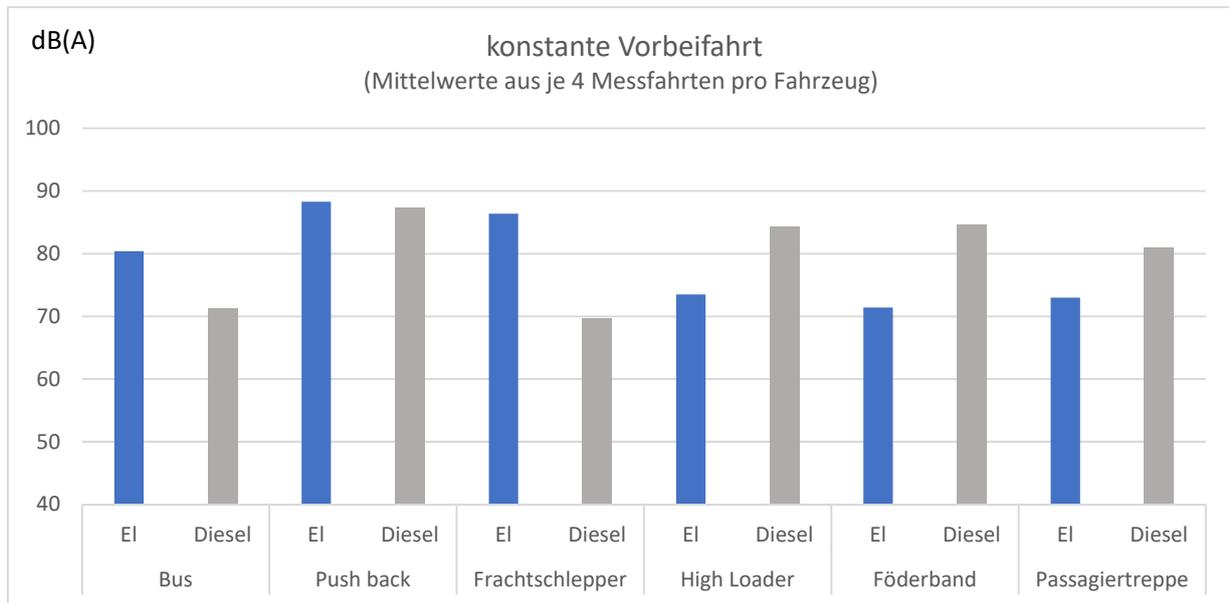
Quelle: Flughafen Stuttgart

3.4.4. AP 3.4: Monitoring Emissionen (Luftschadstoffe, Lärm)

Für die von FSG und LAS im Vorhaben beschafften eFahrzeuge und deren Dieselpendants wurden auf dem Vorfeld Lärmmessungen durchgeführt. In allen Messungen war das elektrische Fahrzeug deutlich leiser als das Thermische. In Abbildung 3-29 sind die ermittelten Durchschnittswerte der Lärmmessung abgebildet. Einzige Ausnahme war der elektrische Test Push back Schlepper. Als Ursache wurde das Übersetzungsgetriebe ausgemacht. Die schlechten Werte wurden an den Hersteller übermittelt und um Nachbesserung in der Serie gebeten. FSG und LAS werden keine eFahrzeug bestellen, die lauter ist als der Diesel sind.

Die geringeren Schalldruckpegel führen unmittelbar zu einer Verbesserung der Arbeitsbedingungen für die Mitarbeiter im Bereich Bodenverkehrsdienste und sind ein wichtiger Baustein was die Akzeptanz der eFahrzeuge betrifft. Über alle Fahrzeugkategorien beträgt die Reduktion des Schallpegels 7,3 dB(A).

Abbildung 3-29: Ergebnis Lärmexpositionspegel Vorfeldfahrzeuge



Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH, Losch Airport Service Stuttgart GmbH

Ursprünglich war auch eine Messung der Luftschadstoffe geplant, diese wurde jedoch zunehmend als rückwärtsgewandte Aktion im Konsortium betrachtet und daher nicht mehr weiterverfolgt. Im Ergebnis scheint die absolute Aussage, dass in der elektrischen Flotte lokal keine Luftschadstoffe mehr entstehen, ausreichend und der Nutzen einer detaillierten Form nur gering wäre.

AP 3.5: Monitoring Nutzerakzeptanz und technische Restriktionen

Die Akzeptanz elektrischer Fahrzeugvarianten auf Seiten der Nutzer sowie bei der Fuhrparkleitung und beim Management lieferte wichtige Hintergrundinformationen zur Einführung der Elektromobilität in der Vorfeldmobilität. Die Befragung relevanter Akteure, sowohl der am Forschungsprojekt beteiligten Akteure der FSG und LAS als auch externer Akteure (u. a. Fahrzeughersteller, weitere Flughafenbetreiber etc.) erfolgte ausschließlich über qualitative Befragungsformate.

Um einen Überblick über die Praxistauglichkeit, zentrale Hemmnisse und die Akzeptanz bei den Beteiligten zu gewinnen, wurde ein umfassender Interviewleitfaden erstellt.

Neben dem Interviewleitfaden wurde das generelle methodische Vorgehen bzgl. der Bewertung der Nutzerakzeptanz erarbeitet sowie mit den Praxispartnern FSG und LAS besprochen. Daneben fand durch FSG und LAS eine Klärung der Interviewinhalte mit dem jeweiligen Betriebsrat statt (u. a. Befragungsinhalte, Datenschutz etc.) sowie eine Auflistung relevanter und geeigneter Gesprächspartner.

In Q1/Q2 2018 wurden insgesamt elf Tiefeninterviews mit MitarbeiterInnen am Flughafen Stuttgart zur Akzeptanz von Elektromobilität durchgeführt. Dabei wurden unterschiedliche Zielgruppen adressiert (u. a. Fahrpersonal, Werkstattleitung, Managementebene, Geschäftsführung). Zusätzlich wurde in dieser Phase ein Tiefeninterview mit dem Verantwortlichen des Fuhrparkmanagements eines anderen deutschen Flughafens geführt.

Im letzten Projektjahr wurden im Zuge der Erstellung der Roadmap drei weitere Hintergrundgespräche mit VertreterInnen eines anderen deutschen Flughafens, eines Fahrzeugherstellers und eines Ladeinfrastrukturanbieters geführt.

Zentrale Ergebnisse der Gespräche wurden im 1. Working Paper sowie in Kapitel 2.4 des zweiten Working Papers dargestellt.

3.5. AP 4: Bewertung des Praxiseinsatzes von E-Fahrzeuge

3.5.1. Überblick

Die Evaluierung des Praxiseinsatzes von Elektrofahrzeugen hinsichtlich der ökologischen Wirkung (AP 4.1), der Wirtschaftlichkeit (AP 4.2) sowie der technischen Hemmnisse und der Akzeptanz bei den Nutzern (AP 4.3) erfolgten jeweils sowohl auf der Ebene einzelner Fahrzeuge bzw. Fahrzeugkategorien als auch aggregiert für die gesamte Vorfeldflotte. Die Analysen basierten auf den erhobenen in der Betriebsphase erhobenen Daten (AP 3) dar und dienten als Grundlage für energiewirtschaftliche Betrachtungen (AP 5) und Potenzialuntersuchungen (AP 6).

3.5.2. AP 4.1: Ökologische Bewertung

Für den Projektpartner Öko-Institut war die zentrale Fragestellung im Rahmen des Projekts *scale up!*, inwieweit eine Elektrifizierung der Flotte im Realbetrieb gegenüber der bisher üblichen Referenztechnologie dieselmotorischer Fahrzeuge eine ökologische Verbesserung erbringt.

Kern der ökologischen Bewertung war eine umfassende Lebenszyklusanalyse (LCA), die für verschiedene Fahrzeugkategorien Umweltwirkungen in der Herstellungs-, Betriebs- und Entsorgungsphase bilanzierte. Vertiefende Analysen fokussierten auf den Vergleich verschiedener Batterietechnologien. Dabei konnte auf Daten aus dem Realbetrieb am Flughafen sowie auf Herstellerangaben für die Produktions- und End-of-Life-Phase zurückgegriffen werden. Die LCA wurde in einem umfassenden Bericht dokumentiert und durch ein externes Review Panel überprüft. Der Bericht und das Testat der Reviewer wurden gemeinsam mit diesem Schlussbericht eingereicht. Für Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse sowie daraus ableitbare Optimierungspotenziale sei auf den LCA-Bericht sowie auf Kapitel 4.1 des 2. Working Papers hingewiesen.

Für die Nutzungsphase spielt der angenommene Strombezug eine entscheidende Rolle, weshalb an dieser Stelle die LCA mit den Ergebnissen von AP 5 verknüpft wurde (s. Abschnitt 3.6).

Bei der ökologischen Bewertung der Gesamtflotte wurde auf den Treibhausgasausstoß fokussiert. Die Emissionen der konventionellen wie auch der elektrischen Fahrzeuge konnten aus den

erfassten Energieverbräuche abgeleitet werden. Die Abschätzungen zum CO₂-Ausstoß der Gesamtflotte sowie die Effekte der Flottenelektrifizierung auf den Treibhausgasausstoß finden sich in den Ergebnissen zur Roadmap (s. Abschnitt 3.7)

Da, anders als beim Treibhausgasausstoß, bei Lärm und Luftschadstoffen der genaue Ort der Emission entscheidend ist und somit für eine fundierte Bewertung umfassende Feldmessungen sowie Analysen von Einsatz- und Bewegungsprofilen erforderlich gewesen wären, musste in diesen Wirkungskategorien auf eine Betrachtung für die Gesamtflotte verzichtet werden.

3.5.3. AP 4.2: Wirtschaftliche Bewertung

Auch die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit des E-Fahrzeugeinsatzes in der Vorfeldmobilität konnte umfassend auf Realdaten von Betreibern und Herstellern gestützt werden. Anschaffungskosten, Finanzierungsmodalitäten, Energiekosten sowie Ausgaben für Wartung und Instandhaltung konnten somit bestmöglich praxisnah abgebildet werden. Es ist jedoch zu betonen, dass v. a. Angaben zu Wartungs- und Instandhaltungskosten sowie Aussagen über zukünftige Fahrzeuganschaffungskosten aufgrund der fehlenden Langzeiterfahrungen, Risikoaufschlägen der Hersteller bzw. des frühen Marktstadiums weiterhin unter großen Unsicherheiten stehen.

Gesamtnutzungskosten-(TCO-)Analysen auf Basis von Einzelfahrzeugen finden sich v. a. im 1. Working Paper, während das 2. Working Paper in Abschnitt 3 eine Abschätzung der jährlichen Kosten der Elektrifizierung der Gesamtflotte bietet. Es werden jeweils wesentliche Einflussgrößen diskutiert.

3.5.4. AP 4.3: Technische Bewertung und Nutzerakzeptanz

Im Projekt konnte insgesamt nachgewiesen werden, dass elektrisch angetriebene Fahrzeuge trotz der deutlichen Unterschiede in den Eigenschaften (u. a. Reichweite, Lade-/Tankdauer, Fahrverhalten) den hohen Anforderungen an Fahrzeuge in der Vorfeldmobilität gerecht werden. Auch die Akzeptanz der NutzerInnen ist nach einer gewissen Anlaufphase gegeben.

Das 1. Working Paper zeigt am Beispiel der zuerst umfassend elektrifizierten Fahrzeugkategorien die Entwicklung der Verfügbarkeit und der Bewertung durch das Fahrpersonal inkl. der durch die NutzerInnen unmittelbar wahrnehmbaren Verbesserungen (Lärm, Luftschadstoffe). Im 2. Working Paper wird gezeigt, wie bei weiteren Fahrzeugklassen auf Erfahrungen aus den Pilotanwendungen aufbauend werden und so eine technische und hinsichtlich der Nutzerakzeptanz weitgehend reibungslose Einführung stattfinden konnte.

3.6. AP 5: Energiewirtschaftliche Einbindung der Fahrzeuge

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurde einerseits untersucht, wie eine sinnvolle Integration der elektrisch betriebenen Fahrzeuge in das Energiekonzept des Flughafens Stuttgart erfolgen kann (AP 5.1). Dazu wurden Ladeprofile der bereits elektrifizierten Fahrzeuggruppen ausgewertet und daraus auch Abschätzungen für noch nicht umgestellte Kategorien abgeleitet. Auf der Erzeugungsseite wurden die vorhandenen und geplanten Kapazitäten (Erdgas-BHKW und Photovoltaik) zugrunde gelegt.

Die Betrachtung wurde auch für den Zustand einer weitestgehend elektrifizierten Vorfeldflotte im Jahr 2035 durchgeführt. Dabei zeigte sich zwar unter den angenommenen Rahmenentwicklungen die untergeordnete Bedeutung des Energiebedarfs der Vorfeldflotte im Vergleich zu heute bereits vorhandenen elektrischen Verbrauchern sowie den stark wachsenden Anforderungen der (öffentlichen) Elektromobilität auf der Landseite. Jedoch war ebenfalls zu erkennen, dass ohne Steuerung der Ladevorgänge auf dem Vorfeld vorhandene Stromverbrauchsspitzen verstärkt werden. Innerhalb der vorhandenen Flexibilität ist also eine Steuerung der Ladevorgänge aus Kosten- und Energiesystemperspektive vorteilhaft. Eine genauere Erläuterung der Methodik sowie detailliertere Ergebnisse finden sich im 2. Working Paper in Abschnitt 5.

Weiterhin wurde in diesem AP untersucht, welchen Einfluss die energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen auf Bewertung des Ladestroms der Fahrzeuge haben, und inwiefern beispielsweise durch intelligentes Lademanagement der Fahrzeuge die Integration in das Gesamtsystem verbessert werden kann (z. B. durch eine Minimierung der Netzbelastung oder der indirekten Treibhausgasemissionen bei der Strombereitstellung). In einem eigenen Papier (Seebach 2019) wurde erläutert, warum bei klassischen Ökostrom-Herkunftsnachweisen die Wirkung auf den Ausbau erneuerbarer Energien relativ gering ist, warum zusätzliche Kriterien notwendig sind und welche ambitionierteren Bezugsoptionen zur Verfügung stehen. Zentrale Ergebnisse finden sich auch im 1. Working Paper sowie in Abschnitt 4.2 des 2. Working Papers.

3.7. AP 6: Entwicklung einer Roadmap für eine 100 % elektromobile Vorfeldmobilität am Flughafen Stuttgart

Die im Rahmen des Projekts erfolgten Schritte zur Umstellung der Flughafenflotte auf elektrischen Antrieb stehen im Kontext des Ziels eines CO₂-freien Flughafenbetriebs, welcher auch die Vorfeldmobilität als zentralen Emittenten umfasst. In diesem Arbeitspaket wurde zunächst der Gesamtfuhrpark jenseits der bisher elektrifizierten Fahrzeugkategorien, inkl. Fahrzeugen von Drittfirmen, mit den jeweiligen Fahrzeugeigenschaften und Anforderungsprofilen in den Blick genommen und in Steckbriefe gefasst (AP 6.1).

Basierend auf den konsolidierten Erkenntnissen zu technischer Eignung der bisher angebotenen E-Fahrzeuge, Akzeptanz, Marktentwicklung, Kostentrends, Energiebedarfen usw. (AP 6.2) wurde untersucht, ab wann unter welchen Bedingungen ein Beginn der Elektrifizierung in den jeweiligen Fahrzeuggruppen realistisch ist (AP 6.3).

Daraus wurde ein Fahrplan hin zu einer weitestgehend elektromobilen und emissionsfreien Vorfeldmobilität entwickelt (AP 6.4). Es konnte gezeigt werden, dass schon bis 2030 eine fast vollständige Umstellung erreicht sein kann. Ausnahmen bilden Winterdienst und Teile der Feuerwehrflotte, bei denen große Hemmnisse in der Elektrifizierung gesehen werden. Unter der Grundannahme von weiter steigendem Fahrzeugbedarf und Abfertigungsaufkommen können Energiebedarf und CO₂-Emissionen gegenüber dem Ausgangspunkt der Elektrifizierung um etwa die Hälfte gesenkt werden. Dies erfordert jedoch punktuell eine vorgezogene Umstellung vor Ende der Lebensdauer der bisher genutzten Dieselfahrzeuge. Unter der Grundannahme einer relativ konservativen Fahrzeugkostenentwicklung führt die Elektrifizierung bis zuletzt zu Mehrkosten.

Vorgehensweise bei der Herleitung sowie Effekte der weiteren Elektrifizierungs-Roadmap auf Fuhrparkkosten, Energiebedarfe und CO₂-Emissionen wurden im 2. Working Paper (Abschnitt 3) dargestellt, diskutiert und zentrale Einflussgrößen in einer Sensitivitätsanalyse variiert. Die Erkenntnisse aus der Roadmap flossen in die Betrachtung der Übertragbarkeit und die Handlungsempfehlungen ein.

3.7.1. Masterplan Ladeinfrastruktur für eine 100%-Elektrifizierung am Flughafen Stuttgart

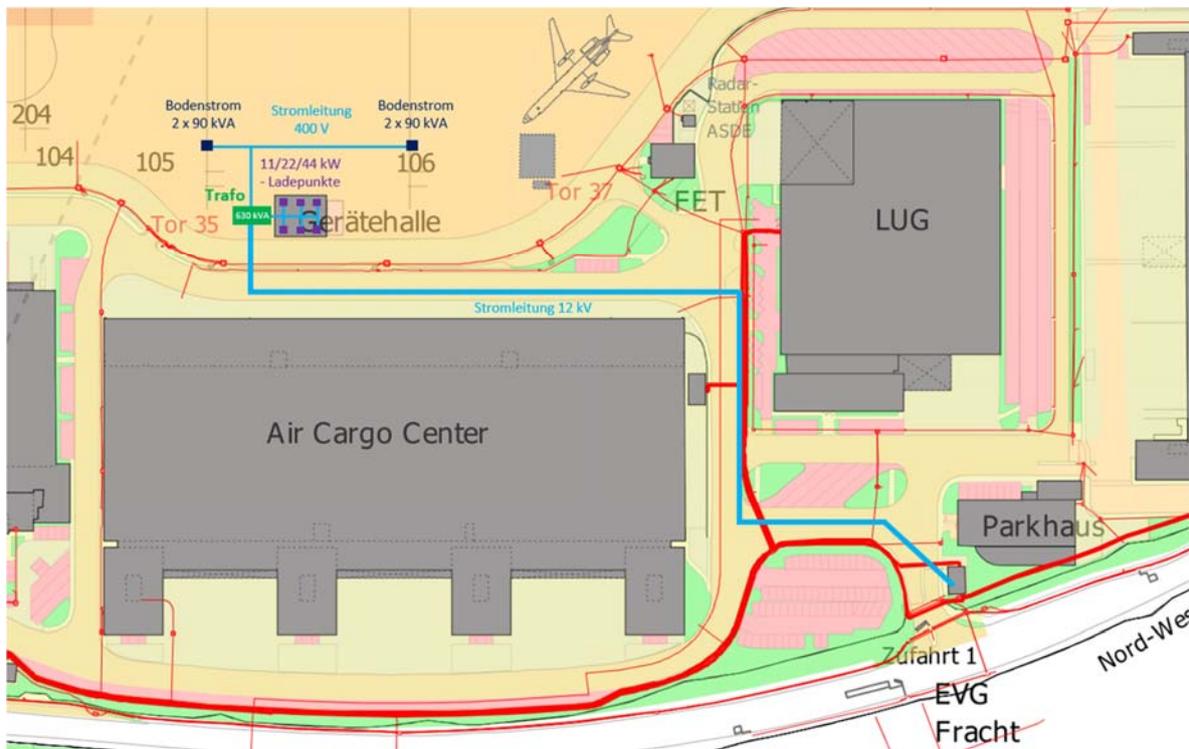
Um die flächendeckende Flottenelektrifizierung realisieren zu können, bedarf es dem weiteren massiven Ausbau der Ladeinfrastruktur und Netzinfrastruktur. Im Folgenden wird beschrieben an welchen luftseitigen Standorten die FSG für die eigene Flotte und die von Dritten die elektrische Versorgung ausbauen wird.

Hierfür müssen neue Stromleitungen gelegt und weitere Energiezentralen (NSHV) installiert werden. Die folgenden Abschnitte stellen die Erschließungsmöglichkeiten der Ladeinfrastruktur, sowie frei verfügbare Stromkapazitäten an den jeweiligen Positionen dar.

3.7.1.1. Energieversorgung-Fracht Südseite:

Auf der Südseite des Flughafens könnten sechs neue Lademöglichkeiten für Equipment für die Flugzeugabfertigung, sowie Bodenstromversorgung mit 400 Hz für die Flugzeugabstellpositionen 105 und 106 entstehen. Für die Lademöglichkeiten würde sich die südliche BVD-Gerätehalle anbieten, da die Fahrzeuge dort nachts abgestellt werden und in dieser Zeit die Fahrzeugbatterien wieder vollständig aufgeladen werden könnten. Die Ladepunkte würden beispielsweise zwei Highloader mit 44 kW (400 V / 63 A), zwei Palettentransporter mit 22 kW (400 V / 32 kW) und zwei Förderbänder mit 11 kW (400 V / 16 A) mit Strom versorgen. Die zwei Bodenstromversorgungspositionen könnten je Position mit einer Leistung von 2 x 90 kVA ertüchtigt werden und so die Stromversorgung von Flugzeugen bis zu der Größe einer Boeing 747 ermöglichen.

Abbildung 3-30: Frachtsüdseite



Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH

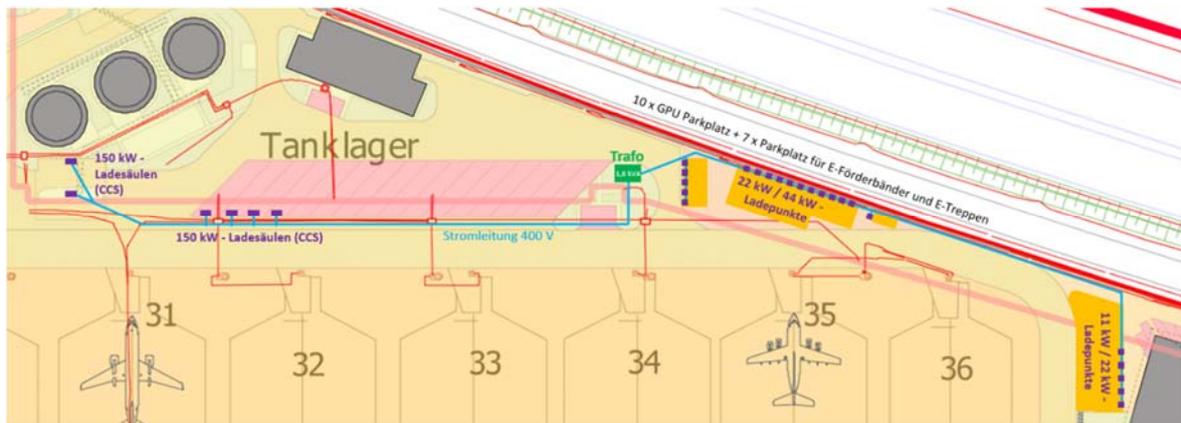
Da bisher noch keine Stromleitung in diesem Bereich verlegt wurde, könnte dies von der vorhandenen Energiezentrale bei Zufahrt 1 aus geschehen. Zusätzlich empfiehlt sich die Installation einer neuen NSHV-Energiezentrale mit 630 kVA Leistung direkt neben der BVD-Gerätehalle. Die neu verlegten Stromleitungen transportieren den Mittelspannungsstrom von der bestehenden MSHV-Energiestation bei Zufahrt 1 zu der neuen 630 kVA-Energiezentrale. Diese wandelt den Strom anschließend auf Niederspannung um. Mit dem Niederspannungsstrom könnten nun die sechs neuen Ladestationen in der BVD-Halle und die zwei neuen Bodenstromversorgungspositionen 105 und 106 versorgt werden. Übrig bleibt eine Transformationsleistung von 115 kW (400 V / 166 A), welche für die Ladeinfrastruktur von anderen elektrischen Betriebsfahrzeugen genutzt werden könnte. Damit wäre die Ladeinfrastruktur auf der Frachtsüdseite ausreichend ausgebaut, um die Flugzeugabfertigung und die Frachttransportprozesse auch in Zukunft zu bewältigen.

3.7.1.2. Tanklager / östliches Vorfeld:

In AP 6 wurde das Potenzial für eine 100 %-Elektrifizierung der Tankdienste am Beispiel der Fa. Skytanking Stuttgart GmbH betrachtet. Um eine Elektrifizierung der Flugfeldbetankungsfahrzeuge zu ermöglichen, muss auch hier zunächst eine Ladeinfrastruktur aufgebaut werden. Dieser

Bereich bietet zudem die Möglichkeit für 22 neue Abstell- und Ladepositionen für E-Fahrzeuge der FSG (siehe gelbe Markierungen). Da es dort noch keine NSHV-Energiezentrale gibt, würde eine gemeinsame Investition der Fa. Skytanking und der Fa. Flughafen Stuttgart GmbH in eine 1,6 MVA großen Energiezentrale für beide Unternehmen finanzielle Vorteile bieten. Des Weiteren müssten neue Stromleitungen zu den Ladestationen und der Energiezentrale verlegt werden.

Abbildung 3-31: Tanklager / östliches Vorfeld



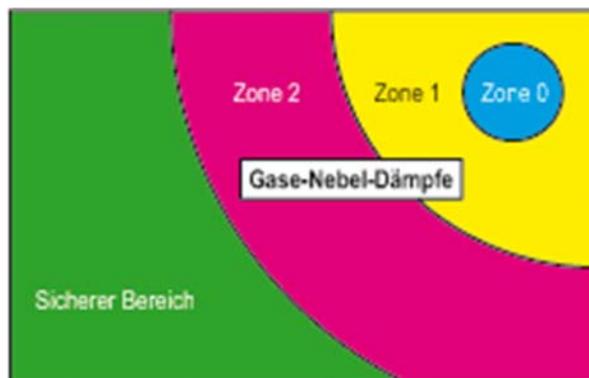
Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH

Um eine 100 %-Elektrifizierung der Skytanking Fahrzeugflotte zu ermöglichen, sollten insgesamt 6 High-Power-Charging (HPC)-Ladestationen mit 150 kW CCS-Ladeleistung integriert werden. 2 davon würden sich unmittelbar bei der Kerosin-Abfüllstation befinden, um die 20-minütige Befüllungszeit für Zwischenladungen zu nutzen. Die restlichen 4 CCS-Ladestationen könnten bei den Abstellplätzen der Flugfeldbetankungsfahrzeuge stehen. Somit hätte die Skytanking Stuttgart GmbH einen Bedarf von 900 kW Ladeleistung. Die restlichen 700 kW Transformationsleistung könnte die FSG für die Abstellplätze mit integrierten Ladepunkten östlich von den Skytanking Parkplätzen nutzen. Diese 700 kW sind ausreichend um 10 Ladepunkte mit 44 kW (400 V / 63 A) für batterie-elektrische GPUs, sowie 7 Ladepunkte mit 22 kW (440 V / 32 A) für E-Treppen und E-Förderbänder mit Strom zu versorgen. Links neben dem östlichen Hangar befinden sich weitere nicht erschlossene Abstellflächen für Equipment für die Flugzeugabfertigung. Diese Fläche bietet Platz für etwa 10 weitere Fahrzeugabstellpositionen. Da noch 105 kW Transformationsleistung zur Verfügung stehen, könnten in diesem Bereich 4 x 22 kW (400 V / 32 A) Ladestationen und ein 11 kW-Ladepunkt (400 V / 16 A) installiert werden.

Bei der zukünftigen Investition in die Komponenten für die CCS-Ladestationen sind einige Sicherheitsbestimmungen zu beachten. In dem Fall, dass 2 CCS-Ladesäulen direkt bei der Betankungsanlage aufgebaut werden, muss der Explosionsschutz zu 100 % gewährleistet sein. Alle Komponenten die sich in einem gefährdeten Bereich befinden, benötigen ein EX Zertifikat. Bei einem zertifizierten Gerät kann man aufgrund der Kennzeichnung am Typenschild erkennen, für welche Zone das explosionsgeschützte Betriebsmittel eingesetzt werden darf.

Explosionsgefährdete Bereiche werden in sechs Zonen eingeteilt, wobei sich die Einteilung nach der Wahrscheinlichkeit richtet, wie häufig und wie lange damit zu rechnen ist, dass eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre auftritt. Es wird dabei zwischen brennbaren Gasen, Nebeln, Dämpfen und brennbaren Stäuben unterschieden. Für Gase-Nebel-Dämpfe ergeben sich die Zonen 0, 1 und 2. Die Anforderungen an die dort eingesetzten Betriebsmittel sind von Zone 2 nach 0 steigend. Betriebsmittel für Zone 0 müssen so gebaut sein, dass selbst beim Versagen einer Zündschutzart oder beim Auftreten von zwei Fehlern ein ausreichender Explosionsschutz gewährleistet ist. So muss z.B. ein in Zone 0 eingebauter passiver, potenzialfreier Sensor, der in einem eigensicheren Stromkreis betrieben wird, eine zusätzliche, eigene Zulassung aufweisen.

Abbildung 3-32: Ex-Zoneneinteilung



Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH

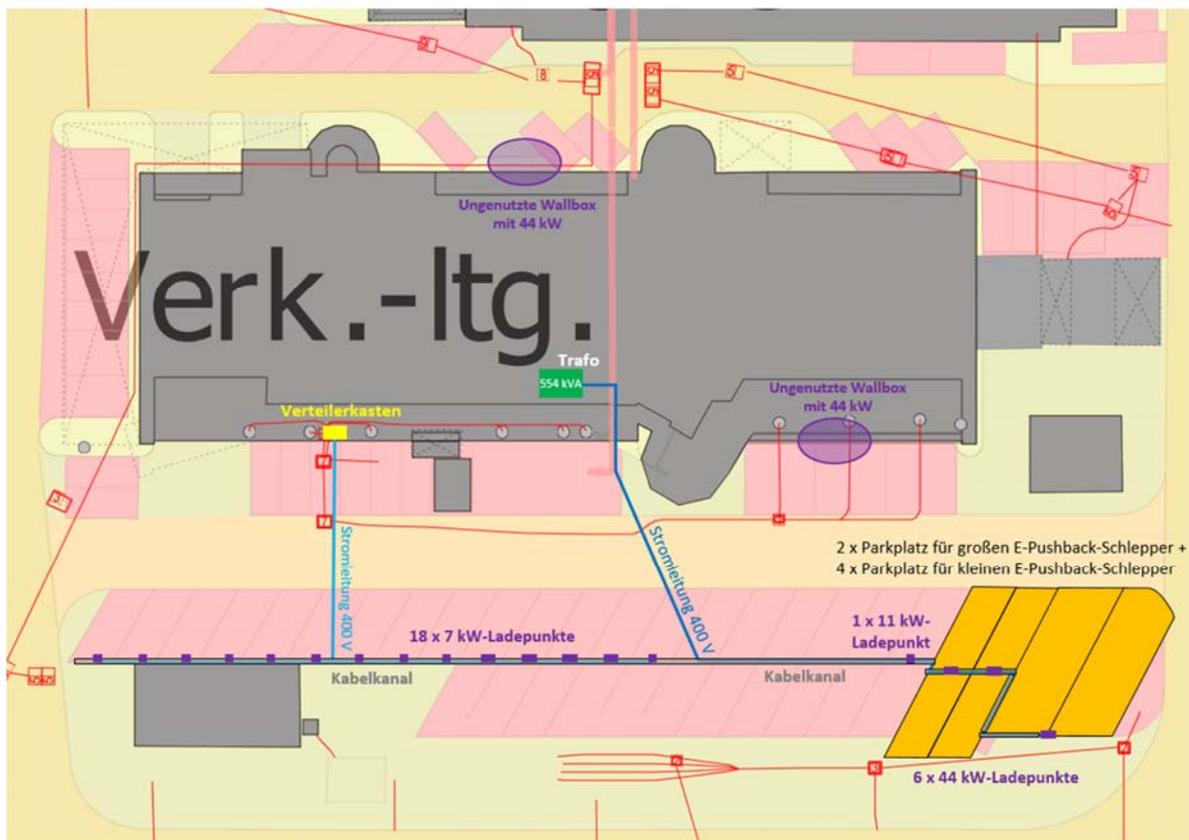
Da aktuell noch keine genauen Informationen über die explosionsschutz-technische, rechtliche und wirtschaftliche Umsetzbarkeit vorliegen, muss dies in den weiteren Schritten genauer betrachtet werden. Falls sich herausstellen sollte, dass ein Aufbau der Ladesäulen in unmittelbarer Nähe zu den Abfüllstationen nicht realisierbar ist, könnten alle CCS-Ladestationen bei den Abstellflächen der Flugfeldbetankungsfahrzeuge installiert werden und die Fahrzeugbatterien in Phasen mit geringem Auftragsvolumen zwischenladen.

3.7.1.3. Verkehrsleitungsgebäude

Auch um das Verkehrsleitungsgebäude gibt es noch Erschließungspotenzial für die Ladeinfrastruktur. Im Untergeschoss des VL-Gebäudes befindet sich bereits eine NSHV-Energiezentrale (554 kVA) mit einer freien Kapazität von 277 kVA (400 V / 400 A). Es sind bereits 126 kW für 18 x 7 kW-Ladestationen mit dem intelligenten Ladesystem chargeBIG von Mahle über den Verteilkasten auf der Südseite am VL-Gebäude erschlossen. Die übrigen 428 kVA bieten sich für den Aufbau einer Ladeinfrastruktur auf den südlichen Parkplätzen an. Über den Verteilerkasten können maximal 36 Ladepunkte mit je 7 kW Leistung versorgt werden. Hierfür müssten zunächst neue Stromleitungen verlegt werden. Eine Möglichkeit wäre es, die Stromleitungen oberirdisch

ohne Tiefbau in einem betonierten Kabelkanal direkt an den Parkpositionen entlang zu verlegen. Ein Kabelkanal stellt eine gute Maßnahme gegen die Beschädigung der Stromleitung dar.

Abbildung 3-33: Verkehrsleitungsgebäude und angrenzende Parkplätze



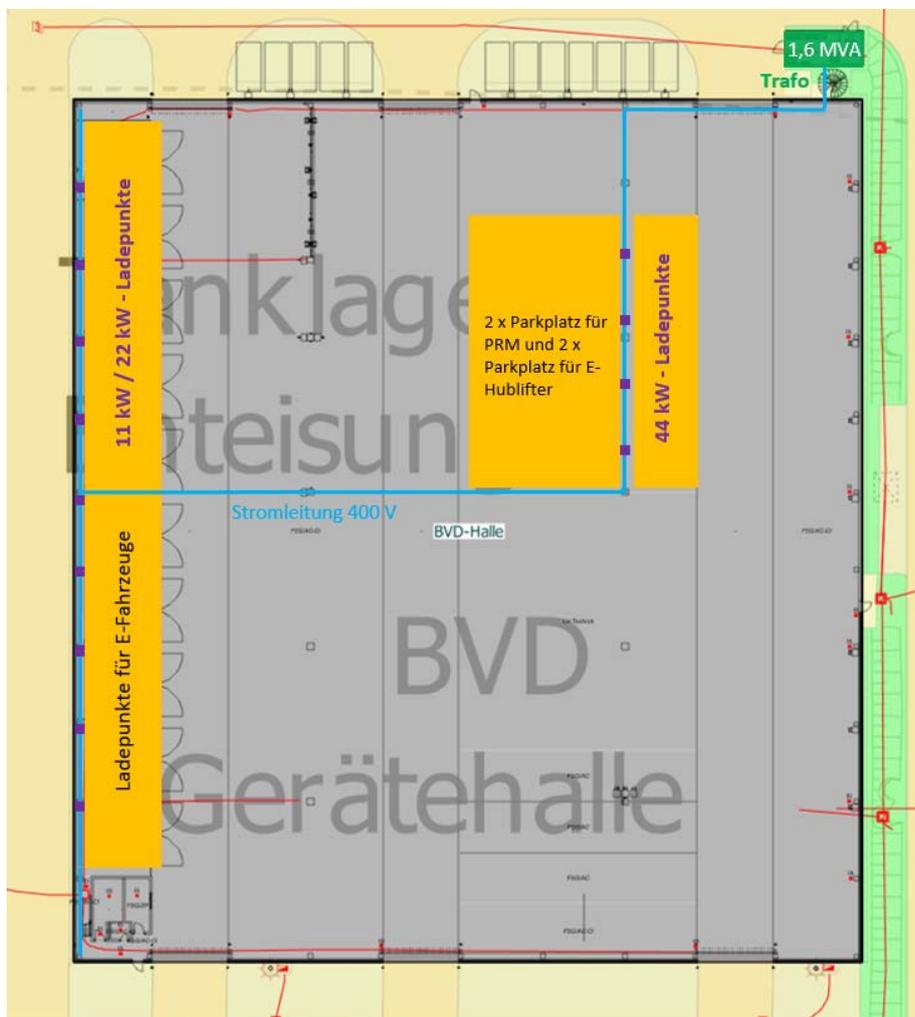
Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH

Auf der rechten Seite der Parkplätze (siehe gelbe Markierung) gibt es Erschließungspotenzial für 6 Ladestationen mit je 44 kW (400 V / 63 A) für E-Pushback-Schlepper und ein Ladepunkt mit 11 kW (400 V / 16 A) für andere elektrische Betriebsfahrzeuge. Diese Ladepunkte könnten über die vorhandene NSHV-Energiezentrale mit Strom versorgt werden. Die restliche Transformationsleistung würde über den Verteilerkasten auf die 18 neuen Ladepunkte auf der westlichen Parkplatzseite mit je 7 kW verteilt werden. Durch eine Verlegung der Stromleitung gibt es zusätzlich die Möglichkeit die 2 x 44 kW (400 V / 63 A) der ungenutzten Wallboxen am VL-Gebäude für die Ladeinfrastruktur auf dem südlichen Parkplatz zu nutzen. Die vorhandene Transformationsleistung sollte durchaus genügen, um auf nahezu allen Parkplätzen in diesem Bereich Lademöglichkeiten zu installieren.

3.7.1.1. BVD- Gerätehalle auf der Nordseite:

Um den Ausbau der Ladeinfrastruktur in der BVD-Halle voranzutreiben, sollte zunächst die nordwestlich liegende 1,6 MVA-Energiezentrale mit einem NSHV-Abgangsfeld erweitert werden. Dadurch würde die Transformationsleistung um zusätzliche 346 kW (400 V / 500 A) erhöht werden. Durch die gewonnene Leistung könnte der mittlere Strang mit 4 x 44 kW-Ladepunkte (400 V / 63 A) ausgestattet werden. Die 4 Ladepositionen würden beispielsweise 2 PRM-Fahrzeuge und 2 Hublifter mit Strom versorgen. Auf der Westseite der BVD-Halle gibt es die Möglichkeit 8 Ladepunkte mit je 2 x 11 kW (400 V / 16 A), bzw. 2 x 22 kW (400 V / 32 A) zu erschließen.

Abbildung 3-34: BVD- Gerätehalle

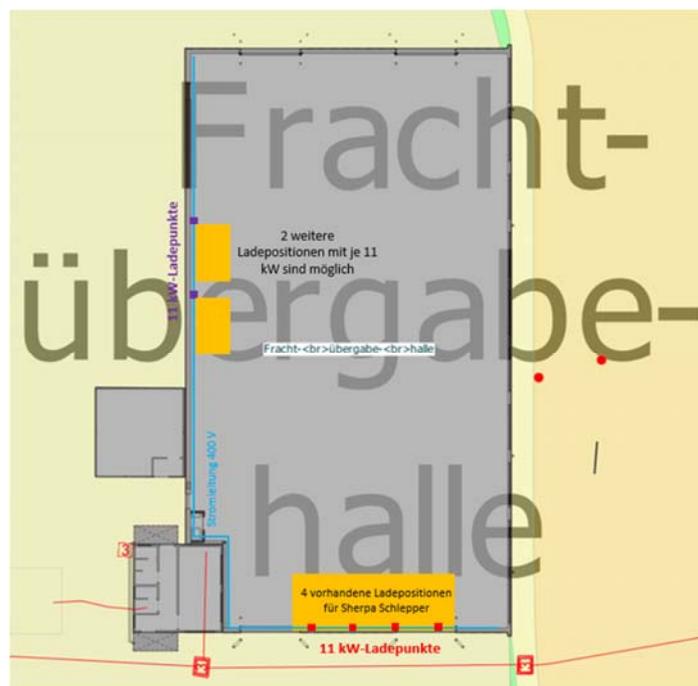


Da hierfür die zusätzlich gewonnene Transformationsleistung nicht ausreichen würde, aber noch ein ungenutztes Stromkabel mit 88 kW (400 V / 125 A) und ein Stromkabel mit 66 kW (400 V / 93 A) freier Leistung in der BVD-Halle zur Verfügung steht, könnten durch Umverlegung der Stromleitung die neuen Ladestationen mit ausreichend Strom versorgt werden. Es würde sich anbieten, diese Ladepositionen für das Aufladen von GPUs zu nutzen, da diese in etwa die Größe der Abstellplätze haben. Für den Ausbau der Stromleitungen in der BVD-Halle müssten neue Kabeltrassen verlegt werden. Durch Einführung von intelligentem Ladeverhalten mithilfe von Lastmanagementmaßnahmen würden sich mehr elektrische Fahrzeuge mit der gleichen Anzahl an Lademöglichkeiten in der BVD-Halle aufladen lassen.

3.7.1.2. Frachtübergabehalle:

In der Frachtübergabehalle sind momentan keine weiteren Ladepositionen geplant. Auf der Südseite der Halle sind bereits 4 Wallboxen mit je 11 kW (400 V / 16 A) für die batterie-elektrischen Sherpa-Frachtschlepper installiert. Es stehen noch weitere 31 kW (400 V / 45 A), welche bei Bedarf erschlossen werden könnten, zur Verfügung. Eine Erweiterung von beispielsweise 2 Ladepositionen mit je 11 kW (400 V / 16 A) Ladeleistung wäre durch den Ausbau der Stromleitung durchaus möglich. Eventuell müsste der Verteilerkasten mit einem breiteren Abgang nachgerüstet werden.

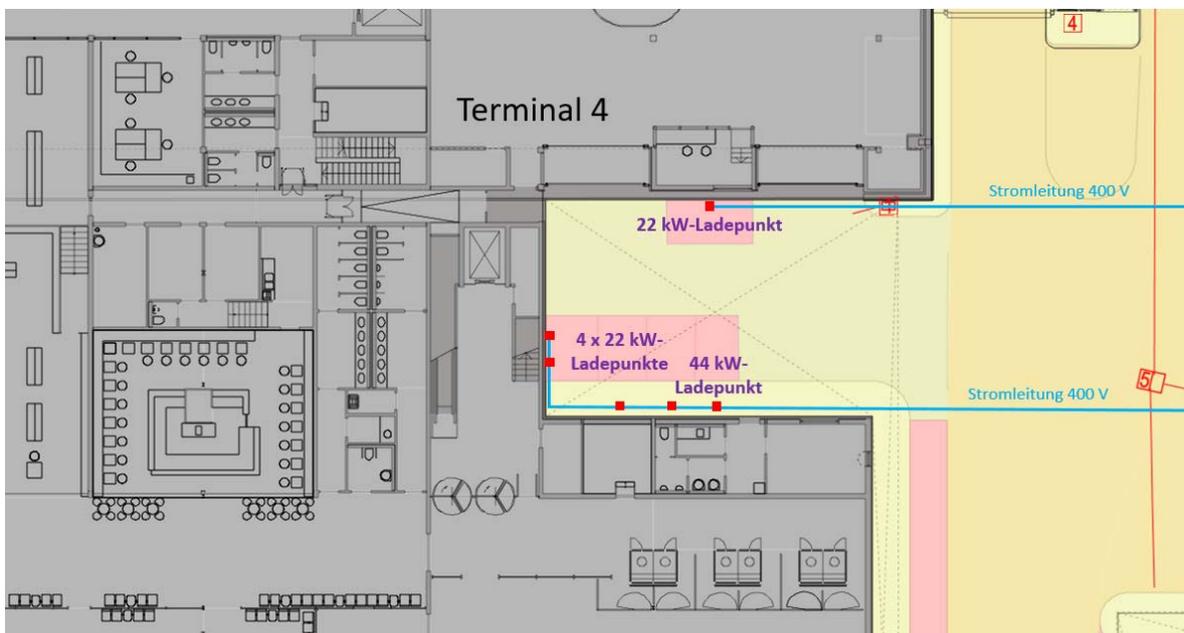
Abbildung 3-35: Frachtübergabehalle



3.7.1.3. Terminal 4:

Im Terminal 4 sind vorerst keine weiteren Lademöglichkeiten vorgesehen, allerdings befinden sich hier 6 verfügbare CEE-Steckdosen für batterie-elektrische Fahrzeuge. 5 davon haben bei dem Gleichzeitigkeitsfaktor 1 eine Leistung von je 22 kW (400 V / 32 A). Zusätzlich gibt es eine 44 kW CEE-Steckdose (400 V / 63 A) für größere E-Fahrzeuge. Das ergibt zusammen eine frei verfügbare Reserve von 154 kW (400 V / 107 A).

Abbildung 3-36: Terminal 4



Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit der Anschaffung von neuen elektrischen Betriebsfahrzeugen in den nächsten Jahren die Ladeinfrastruktur angepasst werden muss. Da hierfür einige Bereiche gute Ausgangsbedingungen bieten, sollte zumindest mittelfristig die Kapazität an Lademöglichkeiten, durch ein Umsetzen der oben vorgestellten Maßnahmen, ausreichend sein. Um die Ladeinfrastruktur flexibel nutzen zu können, sollten langfristig die Ladepunkte mit CCS-Technologie (Combined Charging System) ertüchtigt werden. Durch das deutlich schnellere Aufladen der Batterie und einem einheitlichen Ladesteckertyp wird keine 1:1-Beziehung zwischen Lademöglichkeit und E-Fahrzeug nötig sein, wie es heute noch bei den meisten elektrifizierten Fahrzeugkategorien der Fall ist.

Legende:

	Geplanter Parkplatz		Geplante Stromleitung (400 V / 12 kV)
	Geplante Bodenstromversorgungsposition		Vorhandene Stromleitung
	Geplanter Ladepunkt		Geplante NSHV-Energiezentrale
	Vorhandener Ladepunkt		Vorhandener Verteilerkasten
	Ungenutzter Ladepunkt		Geplanter Kabelkanal

3.8. AP 7: Übertragbarkeit der Elektrifizierungsstrategie auf andere Flughäfen und Anwendungen

Vor dem Hintergrund der globalen Zielsetzung eines treibhausgasneutralen Flughafenbetriebs und angesichts der Vorreiterrolle des Flughafens Stuttgart im Bereich der Elektrifizierung der Vorfeldmobilität war es ein zentrales Ziel dieses Vorhabens, die Analyseergebnisse hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf andere nationale und internationale Flughäfen zu prüfen und als Live-Demonstrator für andere Flughäfen zu dienen (AP 7.1). Aus diesem Grund wurde im Verlauf des Projekts (u. a. zwei Workshops und Hintergrundgespräche im Jahr 2019) mehrfach VertreterInnen anderer Flughäfen eingebunden. Insbesondere im 2. Projektworkshop im November 2019 standen Erfahrungen und Einschätzungen anderer Flughafenbetreiber im Fokus. Dabei konnte festgestellt werden, dass die andernorts weniger fortgeschrittene Elektrifizierung der Fahrzeugflotte beispielsweise in einer anderen Priorisierung von Emissionseinsparungen gegenüber anderen Zielsetzungen begründet ist, oder auch in Vorbehalten hinsichtlich des Technologiepfads bei manchen beteiligten AkteurlInnen.

Es wurde diskutiert, welche Rolle Eigenschaften von Flughäfen wie etwa Flugplan (z. B. Nachtflugverbot), Bedeutung von Urlaubs- und Geschäftsreisen (ferienbedingte Nachfragespitzen), das Verhältnis aus Low-Cost-Carriern und etablierten Fluggesellschaften, Flughafen-Layout (Flächenreserven, Wegstrecken), die Rolle von Drittunternehmen und der politische Handlungsdruck seitens Anteilseignern spielt. Zudem wurde dargestellt, wie die Übertragbarkeit von äußeren Einflussgrößen wie Fahrzeugverfügbarkeit und öffentlicher Förderung abhängt und inwieweit am Flughafen Stuttgart getroffene Entscheidungen z. B. hinsichtlich der Ladeinfrastruktur an anderen Standorten möglicherweise anders ausfallen könnten (s. 2. Working Paper, Abschnitt 6.2).

Die Übertragung auf andere Anwendungen (AP 7.2) war weniger ausführlich als geplant Gegenstand des Forschungsprojekts. Im Rahmen der Workshops wurde konstatiert, dass Synergien mit anderen Fahrzeugmärkten und Anwendungen kaum genutzt werden können, weil der Entwicklungsstand hinsichtlich der Elektromobilität zu unterschiedlich ist: Verwandte Fahrzeugtypen aus dem Bereich der Baumaschinen sind bisher weit weniger als Vorfeldfahrzeuge mit elektrischem Antrieb verfügbar. Bei Massenmarktfahrzeugen wie etwa leichten Nutzfahrzeugen hingegen sehen sich Flughäfen mit dem Problem konfrontiert, dass sie im Vergleich sehr geringe Fahrzeugzahlen nachfragen und diese zudem sehr spezielle Auf- und Einbauten benötigen. Somit ist auch hier ein gemeinsames Auftreten mit anderen Nachfragern, das zur Senkung von Kosten und Definition technischer Standards führen könnte, kaum möglich.

AP 7.3: Nationaler und Internationaler Dialog: Der Flughafen Stuttgart verfügt über eingespielte Kommunikationswege über nationale und internationale Netzwerke der Flughafenbetreiber (u. a. Airport Council International (ACI) Europe, Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen (ADV). Im Laufe des Projektes wurden zahlreiche Veranstaltungen, Vorortdemonstrationen mit verschiedenen Flughäfen, Abfertigungsgesellschaften und Fahrzeugherstellern mit dem Ziel durchgeführt, die Erfahrungen mit Elektrofahrzeugen in der Vorfelddmobilität zu teilen und eine gemeinsame Strategie und Handlungsempfehlungen für den weiteren Ausbau zu entwickeln. In diesen Dialogprozess wurden dann auch weitere Stakeholder (u. a. Politik, Airlines, Zivilgesellschaft) im Rahmen von zwei durchgeführten Workshops eingebunden und an der Diskussion der notwendigen Rahmenbedingungen (technisch, organisatorisch und regulatorisch) für eine erfolgreiche Elektrifizierung der Vorfelddmobilität beteiligt.

Als Fazit des Projekts wurden im 2. Working Paper (Abschnitt 6.3) unter den Überschriften

- „Fahrzeugverfügbarkeit und Technikentwicklung“,
- „Umstellung des Fahrzeugbetriebs“,
- „Wirtschaftlichkeit und Förderung“,
- „Dilemma aus Handlungsdruck und Technologieverfügbarkeit“ sowie
- „Ladeinfrastruktur, Strombereitstellung und Strombezug“

jeweils die zu lösenden Herausforderungen zusammengefasst und Handlungsempfehlungen an Flughafenbetreiber, sonstige Fahrzeugbetreiber, -hersteller sowie die Politik formuliert (AP 7.4).

4. Darstellung wesentlicher Abweichungen zum Arbeitsplan

Bedingt durch hohe HerstellerAuslastungen, komplexe Konfigurationsanpassungen des Equipments während des Bestellprozesses oder aufgrund fehlender Alternativen zu dieselbetriebenen Fahrzeugen, konnte das geplante Vorfeldequipment während der Projektlaufzeit nur verzögert oder teilweise gar nicht beschafft und integriert werden. Durch eine Verlängerung der Projektlaufzeit bis zum 31.12.2019 konnte zumindest bei den von der Verzögerung betroffenen Kategorien ein Monitoring des Betriebs inkl. Erfahrungen zum Fahrzeugeinsatz und zur Akzeptanz sichergestellt werden, um in der Begleitforschung alle wesentlichen Ziele umfassend erreichen zu können. Jedoch wurde, wie in Abschnitt 3.5.2 begründet, auf die Untersuchung der Wirkung der Elektrifizierung auf Lärm- und Luftschadstoffemissionen der Gesamtflotte verzichtet. Wie in Abschnitt 3.8 dargelegt, konnten zudem Synergien mit und Übertragbarkeit auf andere Fahrzeuganwendungen weniger als geplant thematisiert werden. Abbildung 4-1 zeigt die Abweichung bei den Fahrzeugbestellungen über die Projektlaufzeit. Position 3 konnte nicht realisiert werden, weil dieses Marktsegment als unsicher eingestuft wurde und deshalb weitere Investitionen mehr nicht durchgeführt werden konnten. Pos. 5 und 7 konnten infolge stark verzögerter Markteinführung auf Herstellerseite nicht mehr im Projektumfang realisiert werden.

Abbildung 4-1: Beschaffungen Plan-Ist Vergleich

Pos	Partner	Fahrzeugkategorie	Anzahl geplante Anschaffung gem. Bewilligung					Anzahl tatsächliche Anschaffung				
			2016	2017	2018	2019	Summe	2016	2017	2018	2019	Summe
1	FSG	Förderbänder		4			4		4			4
2	FSG	Gepäckschlepper		6			6		6			6
3	FSG	Frachtschlepper			4		4				4	4
4	FSG	Nachtluftpostschlepper		3			3					0
5	FSG	Mannschaftstransporter			6		6					0
6	FSG	Push back Schlepper			2		2					0
7	FSG	Highloader 7t Pb	1				1		1			1
8	FSG	Vorfelddbusse + Ladegerät		10			10			10		10
9	FSG	Rampagentenfahrzeuge									13	13
10	FSG	Passagiertreppen Li-Ionen									3	3
Zwischensumme FSG							36					41
11	LAS	Förderbänder		6	6		12		2	12		14
12	LAS	Gepäckschlepper		2	2		4			4		4
Zwischensumme LAS							16					18
Gesamtsumme							52					59

Quelle: Flughafen Stuttgart GmbH, Losch Airport Service Stuttgart GmbH

5. Vergleich der Projektergebnisse zum internationalen Stand der Technik

International ist beispielsweise der Flughafen **Zürich** hervorzuheben, wo bereits im Jahr 2016 30 % der 2.000 eingesetzten Fahrzeuge über einen elektrischen Antrieb verfügten (Flughafen Zürich 2019). Zur Stromversorgung wird dort stärker als in Stuttgart auf Schnellladeinfrastruktur gesetzt. Zudem ist die Interoperabilität ein wichtiges Prinzip: Es werden für verschiedene Fahrzeugtypen nutzbare zentrale Ladezonen aufgebaut. Am vor Frankfurt drittgrößten europäischen Flughafen **Amsterdam-Schiphol** sind die Fortschritte bei der Elektromobilität auf dem Vorfeld eng mit einer sehr ambitionierten Entwicklung auf der Landseite verbunden. So steht der Marke von ca. 40 Vorfelddbussen eine Zahl von über 100 ÖPNV-Bussen im Umfeld gegenüber (Royal Schiphol Group 2020). Die Ausschreibung der Busverkehre sieht einen Ausbau auf über 250 E-Busse zur Anbindung vor. Der Flughafen hat in den vergangenen Jahren zudem eine komplett elektrische Taxiflotte, elektrisches Carsharing und umfangreiche Lademöglichkeiten für Privatnutzerinnen und -nutzer aufgebaut. Auf dem Vorfeld wurde z. B. die Stromversorgung weitgehend auf mobile und stationäre e-GPUs umgestellt.

Durch die mit scale up! erreichte Elektrifizierung in der Vorfeldflotte nimmt STR einen Spitzenplatz in Sachen Decarbonisierung ein und befindet sich auch im europäischen Maßstab im Spitzenfeld.

Die zuletzt in München 2019 stattgefundenen Leitmesse für Airport Equipment „Interairport“ hat eindrucksvoll gezeigt, dass das Angebot an elektrischen Fahrzeugen deutlich zugenommen hat. Dennoch sind weitere Impulse aus dem Bereich elektrische Baumschienen erforderlich, um bessere Preise und ein breiteres Angebot auch im Airportsegment zu erreichen.

6. Zukunftsaussichten und weiterer F&E-Bedarf

Im Projekt *scale up!* konnten Praxistauglichkeit und ökologischer Nutzen von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen auf dem Flughafenvorfeld gezeigt werden. Wie in Abschnitt 6.2 des 2. Working Papers besprochen, ist die Übertragbarkeit der Erkenntnisse vom Flughafen Stuttgart auf andere Standorte grundsätzlich gegeben. Auch Klimaziele der Flughafenbetreiber und ihrer Verbände sowie Angebotspolitik der Fahrzeughersteller deuten darauf hin, dass der Trend zur Elektromobilität verstetigt wird.

Der Bedarf an Grundlagenforschung wird angesichts der technologischen Reife von E-Fahrzeugen gering eingeschätzt. Vom Durchbruch weiterer batterietechnologischer Generationen könnte auch die Vorfeldmobilität in Form von sinkenden Kosten bzw. größeren Reichweiten profitieren. Jedoch konnte gezeigt werden, dass auch mit der heutigen Technologie die Anforderungen erfüllt werden können.

Als zentrales Themenfeld mit besonderem Entwicklungsbedarf kann das Thema „gesteuertes Laden“ genannt werden. Wenn zukünftig der Trend zu vollelektrischen Fuhrparks geht und auf der Landseite durch Flughafenbeschäftigte, Fluggäste, ÖPNV und Pkw-Fernverkehr massive zusätzliche Energiebedarfe infolge der Elektromobilität entstehen, wird der Bedarf steigen, die Stromnachfrage bestmöglich zeitlich zu koordinieren und auf die Produktion abzustimmen.

Weiter ist aus Betreibersicht festzuhalten, dass ohne die in Anspruch genommenen Förderprogramme auch infolge der hohen eFahrzeugpreise eine rasche Umsetzung in STR unrealistisch gewesen worden wäre. Das Umstellen der Flotte auf umweltschonende Batterieelektrische Fahrzeugflotten an den deutschen Flughäfen bedarf weiterhin der staatlichen Unterstützung, insbesondere die Errichtung der notwendigen Ladeinfrastrukturen. Durch die massiven Umsatzrückgänge infolge der Corona-Krise wird der finanzielle Spielraum für Flughafenbetreiber und Abfertigungsdienstleister deutlich kleiner als bisher, um in zum Diesel vergleichsweise teure E-Fahrzeuge investieren zu können, auch aus diesem Grund empfiehlt sich durch geeignete Förderprogramme die Branche im Konvertierungsprozess zu begleiten.

7. Beitrag zu den förderpolitischen Zielen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)

Scale up! adressierte mit dem Einsatz von elektrischen Nutzfahrzeugen für Flughafenanwendungen in der Vorfeldmobilität und der wissenschaftlichen Begleitung des Praxiseinsatzes zentrale Schwerpunkte des Förderprogramms Elektromobilität.

Im Wesentlichen bezog sich das Vorhaben auf die Förderschwerpunkte 2.1 „Ermittlung der Umwelt- und Klimafaktoren durch Flottenversuche (in den Fahrzeugsegmenten: Förderbänder, Vorfeldschlepper, Fluggasttreppen, Passagierbusse, Rampagentenfahrzeuge, Frachtschlepper und Highloader) und 2.3 „Erschließung des Klima- und Umweltvorteils von Elektrofahrzeugen im Zusammenwirken mit Energieversorgungssystemen“ sowie auf Förderschwerpunkt 2.4 „Markteinführung mit ökologischen Standards“, in dessen Rahmen eine relevante Anzahl an Elektrofahrzeugen für den Flotteneinsatz beschafft und betrieben wurde (vergl. Abbildung 4-1).

Bei scale up! handelte es sich um einen Feldversuch mit 59 Elektrofahrzeugen unter Alltagsbedingungen, der wichtige Hinweise in Bezug auf Technologiereife und Nutzerakzeptanz ergab und damit wichtige Erkenntnisse zur Marktentwicklung im Kontext der Vorfeldmobilität liefern konnte. Bei den eingesetzten Fahrzeugen handelt es sich um Fahrzeuge der Klassen N1 bis N3 für die Anwendung im Logistikbereich, die durch eine eingeschränkte Marktverfügbarkeit gekennzeichnet sind und für die bisher nur wenige Erkenntnisse aus dem Praxiseinsatz vorlagen.

Die wissenschaftliche Begleitung und die beiden Partner FSG und LAS stellte eine kontinuierliche Erfassung der Betriebsdaten (u. a. Energieverbrauch unter realen Bedingungen) der Fahrzeuge sicher und untersuchten die Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz der elektrischen Fahrzeugvarianten im Vergleich zu den bisherigen konventionellen Referenzfahrzeugen. Die umfassende ökologische Bewertung des Praxiseinsatzes inklusive der Beleuchtung der Energiebereitstellung beinhaltet unter anderem eine Lebenszyklusanalyse (LCA) für die eingesetzten Fahrzeugtypen für unterschiedliche Nutzungsszenarien sowie die Diskussion über die weitere Optimierung der Umweltwirkungen. Erstmals konnte für die typischen Fahrzeuge im Flughafenkontext die Sinnhaftigkeit batterie-elektrischer Fahrzeugkonzepte im Rahmen einer ausführlichen LCA nachgewiesen werden.

In Hinblick auf den über die Klimawirkung hinausgehenden umweltbezogenen Mehrwert einer elektromobilen Vorfeldmobilität wurden – auch vor dem Hintergrund des Arbeitsschutzes – die Lärmsituation im Detail beleuchtet und u. a. Feldmessungen durchgeführt. Auch hier konnten signifikante Verbesserungen durch den Einsatz von eFahrzeugen nachgewiesen werden.

Die **intelligente Verknüpfung zwischen der Elektromobilität und dem Energiesystem** stellte ein weiteres zentrales Handlungsfeld im Vorhaben dar, da die Herausforderung bestand, eine erhebliche Anzahl an Elektrofahrzeugen (59) in das Stromnetz und die Stromversorgung des Flughafens zu integrieren. Hierfür wurden insgesamt 87 Ladepunkte über die verschiedenen Prozessbereiche am Flughafen installiert.

Im Rahmen des Vorhabens wurden entsprechende Verfahren zur Kopplung der Elektromobilität an erneuerbare Energien weiterentwickelt und eine möglichst geeignete Einbindung der Elektrofahrzeuge in das lokale Netz des Flughafens umgesetzt werden. Mit Blick auf die Nutzungsanforderungen spielt die Entwicklung und Erprobung von Ladetechnologien für kurze Ladezeiten sowie ein integriertes Netz- und Lademanagement eine besondere Rolle. Im Rahmen der übergeordneten energiewirtschaftlichen Analysen in AP 5 wurde die Verbindung zum Gesamtenergiesystem hergestellt und die Bedeutung der Energievorkette des Energieträgers Strom im Besonderen diskutiert und der energiewirtschaftliche Forecast für das Ziel „100% eFlotte in 2035“ ausgearbeitet.

8. Darstellung der erfolgten oder geplanten Veröffentlichung des Ergebnisses

8.1. 1. Working Paper

Am 31.01.2019 wurde aus dem Projekt heraus ein [erstes Working Paper](#) mit der Darstellung von praktischen Erkenntnissen zu den ersten Fahrzeuggruppen sowie Zwischenergebnisse zur LCA, Wirtschaftlichkeit etc. veröffentlicht.

8.2. 2. Working Paper

Im Juli 2020 wird aus dem Projekt heraus ein zweites Working Paper mit finalen Ergebnissen zur Roadmap, LCA, Übertragbarkeit, Handlungsempfehlungen etc. veröffentlicht.

8.3. LCA-Bericht

Im Juli 2020 wird aus dem Projekt heraus ein detaillierter, durch externe Experten begutachteter Bericht zum Life Cycle Assessment finalisiert.

8.4. Bericht zu den Beschaffungen in der Projektverlängerung 2019

Nachfolgen sind die Erfahrungsberichte für die Aktivitäten die in der Projektverlängerung erfolgten dargestellt:

Sherpa E – Elektrische Frachtschlepper

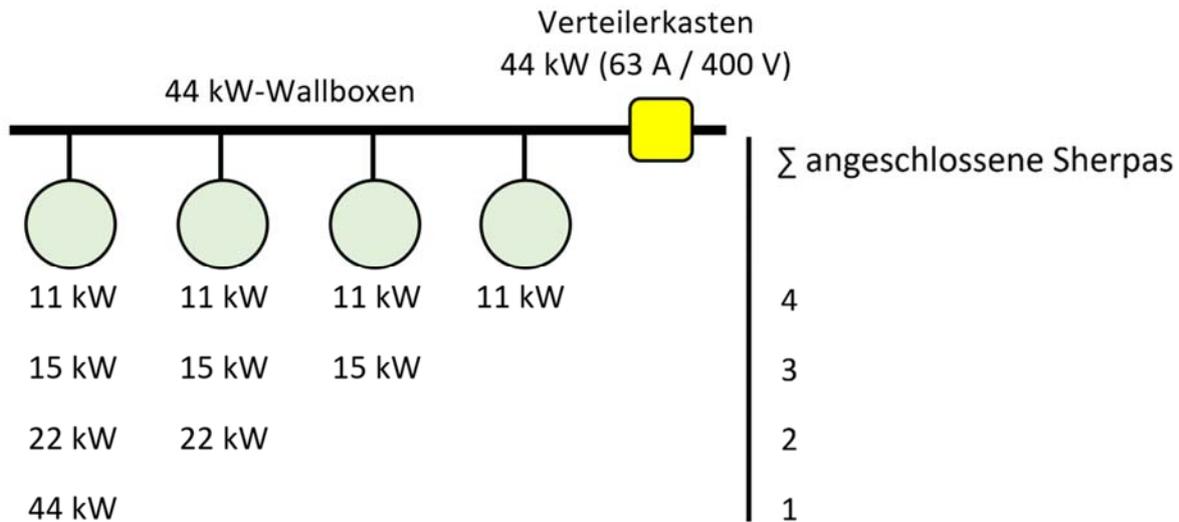
Seit der zweiten Jahreshälfte sind am Flughafen Stuttgart vier batterie-elektrisch betriebene Frachtschlepper (Sherpa E) als Ersatz für die bisher eingesetzten Diesel-Schlepper im Einsatz. Das Model Sherpa E wurde von der Goldhofer AG zusammen mit der Suncar HK AG entwickelt. Die Frachtschlepper wickeln den Frachtguttransport auf dem Flughafen emissionsfrei ab. Sie transportieren die Fracht zu den Frachtflugzeugen oder als Beifracht zu den Passagierflugzeugen. Bereits seit 2018 ist der Passagier- und Gepäcktransport auf dem Vorfeld batteriebetrieben und abgasfrei. Durch die neuen Goldhofer-Modelle wird dies nun auch im Frachtbereich ermöglicht.



Gründe für den Austausch sind die mit den neuen Fahrzeugen einhergehenden Effizienzsteigerungen sowie die Förderung nachhaltiger Umweltverträglichkeit. Die Energieeinsparung liegt bei 84 % gegenüber dieselbetriebenen Frachtschleppern. Statt durchschnittlich 59,95 kWh je Betriebsstunde werden mit der Elektrovariante nur noch 9,54 kWh / Bh verbraucht. Die Sherpa E-Schlepper sorgen außerdem für Emissionssenkungen und Lärmreduzierungen auf dem Vorfeld. Durch den Elektroantrieb wird der CO₂-Ausstoß gegenüber den Dieselschleppern auf dem Vorfeld um ca. 95 Tonnen CO₂ reduziert. Der Stuttgarter Flughafen bewältigt etwa 25.600 Tonnen Luftfracht pro Jahr.

Energieverbrauch pro Betriebsstunde Diesel vs. Elektro				
	Sherpa E	Diesel	Differenz	Differenz %
kWh / Bh	9,54	59,95	50,41	84%

Die Sherpas haben eine Schleppkapazität von 80 Tonnen und werden von einem PEM-synchron-Motor mit einer Leistung von 67 kW angetrieben. Aufgeladen werden die Fahrzeuge mit einem Typ 2-Stecker auf Wechselstrombasis über die 4 x 44 kW-Wallboxen der Schweizer Firma „crOhm“. Diese wurden in der Frachtübergabehalle auf der Südseite des Flughafens installiert. Durch ein intelligentes Ladesystem kann die 44 kW-Ladeleistung (63 A / 400 V) des Verteilerkastens flexibel über jede Wallbox einzeln abgerufen werden. So wird es beispielsweise ermöglicht, ein Fahrzeug mit 44 kW Ladeleistung aufzuladen. Wenn alle 4 Schlepper gleichzeitig laden, wird die verfügbare Leistung dementsprechend aufgeteilt und jedes Fahrzeug wird mit 11 kW versorgt. Damit verlängert sich zwar auch die Ladedauer, da aber in der Regel nur über Nacht bei langer Standzeit alle Schlepper gleichzeitig geladen werden, wird über Tag ein schnelles Zwischenladen mit 22 kW oder 44 kW ermöglicht. Damit ist eine komplett leer gefahrene Batterie in 1-2 Stunden wieder zu 100 % aufgeladen.



Der Sherpa E hat eine Lithium-Ionen-Batterien mit einer Kapazität von 62 kWh eingebaut. Eine Lithium-Ionen-Batterie ist im Vergleich zu einer Blei-Säure-Batterie haltbarer, kann in geschlossenen Räumen geladen werden und hat deutlich reduzierte Ladezeiten. Da in der Frachtübergabehalle nur ein 63 Ampere-Verteilerkasten zur Verfügung steht, würde ein zuverlässiger Betrieb mit Blei-Säure-Batterien aufgrund der viel zu langen Ladezeiten nicht möglich sein. Erst durch die Lithium-Ionen-Batterien wird ein schnelles Zwischenladen ermöglicht. Als Speichermaterialien für die Lithium-Ionen werden Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt-Oxide (Li-NMC 18650) verwendet. Entwickelt wurde die Batterie von der Kreisel Electric GmbH & Co KG. Der Hersteller gewährt 5 Jahre Garantie auf die Batterie. Die maximale Ladeleistung der elektrischen Frachtschlepper beträgt 44 kW.



Um die Fahrzeuge kontinuierlich zu verbessern und an die Fahrerwünsche anzupassen, gibt es Rückmeldebögen während den ersten Monaten nach Inbetriebnahme, die nach jeder Schicht von den Fahrern ausgefüllt werden. Dort können Schäden gemeldet und Verbesserungsvorschläge geäußert werden. Außerdem wird der Batteriestand und die Betriebsstundenzahl zu Schichtbeginn und Schichtende festgehalten. Dies ermöglicht die Kontrolle über die Richtigkeit der Tachoangaben in den Einführungsmonaten. Die Daten werden regelmäßig in einer Datenbank eingeplegt und an den Fahrzeughersteller weitergeleitet, um die Probleme zu beheben und die Verbesserungsvorschläge umzusetzen.



STUTTGART
AIRPORT

Sherpa Schlepper
FZ 122



Name, Vorname: _____

Datum: 04.11.2018

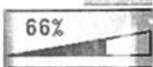


1. Schichtbeginn:

Uhrzeit: 14¹⁵ Uhr



Betriebsstunden: 133,9 Std.



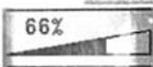
Batterieladestand: 32 %

2. Schichtende:

Uhrzeit: 23⁰⁰ Uhr



Betriebsstunden: ~~98~~ 136,5 Std.



Batterieladestand: 98 %

Bemerkungen wie z.B. Probleme, Auffälligkeiten, Verbesserungsvorschläge:

Hydraulikpumpe sollte besser funktionieren (schneller)

Bitte bei Schichtbeginn und Schichtende ausfüllen. Vielen Dank 😊

In der Praxis hatten die Sherpa E vor allem in den ersten Wochen viele Ausfallzeiten. Unter anderem war anfangs der Kühlkreislauf zu stark parametrierter, dies führte zu Ausfällen der Heizung in den Fahrerkabinen. Außerdem gab es Probleme mit den Sitzkontaktschaltern, weshalb die Rückfahreinrichtungen häufig ausgefallen sind. Auch der Fahrtrieb war zu Beginn zu aggressiv eingestellt, deshalb musste die Beschleunigungsrampe flacher ausgerichtet werden.

Weitere Probleme bereitete das Ladeverhalten der Sherpas. Als die Fahrzeuge in Betrieb genommen wurden, fehlte eine Verriegelung für die Ladestecker. Es war somit möglich, den Typ 2-Stecker einfach unter Last aus dem Fahrzeug zu ziehen, ohne vorher den Ladevorgang abzuschalten. Bei Ladeleistungen von bis zu 44 kW pro Fahrzeug ist eine Verriegelung dringend notwendig und wurde deshalb nachträglich eingebaut. Ein weiteres Problem besteht darin, dass die Ladeleistungen über die Knöpfe an den Wallboxen versehentlich verstellt werden können. Da die Funktionen der Wallboxen mühsam im Handbuch nachgelesen werden müssen und die meisten Fahrer lieber durch Testen der Knöpfe die jeweiligen Funktionen rausfinden, ist es bereits vorgekommen, dass versehentlich die Ladeleistung gedrosselt wurde. Diese Einstellmöglichkeiten sollen zukünftig deaktiviert werden, um dieses Problem zu umgehen.



Eine weitere Komplikation bestand in der verzögerten Kommunikation zwischen Wallbox und Fahrzeug. Wenn ein Ladekabel in einen Sherpa eingesteckt wurde und bereits ein oder mehrere Fahrzeuge mit dem Ladesystem von „crOhm“ verbunden waren, dauerte es immer ein paar Minuten, bis sich die Leistung der Wallboxen regulierte und auf alle Fahrzeuge gleich verteilt hat. Die 44 kW Ladeleistung (63 A / 400 V) der Wallboxen werden vollständig von einem Sherpa genutzt, falls kein weiteres Fahrzeug mit dem Ladesystem verbunden ist. Wenn nun ein weiterer Sherpa zum Laden angeschlossen wurde, benötigte dieser zusätzlich 6 Ampere aus der Stromleitung, ohne dass die Ladeleistung des schon vorher angeschlossenen Sherpas gedrosselt wurde. Erst nach ein paar Minuten wird die Ladeleistung zu je 22 kW (bei 2 Sherpas) aufgeteilt. Dies führte kurzzeitig zu einer Überlastung der Leistungskapazität des Verteilerkastens, bei der die Gefahr bestand, dass die Sicherungen des Verteilerkastens rausfliegen. Wenn 3 Sherpas gleichzeitig zum Laden angeschlossen wurden und ein Sherpa bereits am Laden war, musste das 63 A-Ladesystem kurzzeitig sogar 18 Ampere (6 A + 6 A + 6 A) zusätzlich stemmen. Um diese Problematik in den Griff zu bekommen, wurde die maximale Ladeleistung des Verteilerkastens, durch eine Aufrüstung der Komponenten, auf 82 Ampere erhöht.

Des Weiteren muss die Lautstärke der E-Schlepper noch optimiert werden. Der Motor ist nicht von den anderen Fahrzeugkomponenten entkoppelt, deshalb wird Lärm in das Gehäuse übertragen. Dies führt dazu, dass die Sherpas teilweise lauter als die dieselbetriebenen Schlepper sind. Die Einsteckhöhe des Ladekabels am Fahrzeug sollte ebenfalls noch angepasst werden. Diese ist momentan deutlich zu weit unten, sodass sich die Fahrer sehr tief bücken müssen, um das Fahrzeug aufzuladen. Viele Kleinigkeiten, wie die Neupositionierung der Seitenspiegel oder die Einstellung der Sitzfederung, wurden inzwischen angepasst. Teilweise kamen wegen den Ausfällen und Reparaturarbeiten die alten Dieselschlepper wieder zum Einsatz, um das Auftragsvolumen bewältigen zu können.

Durch die gute Kooperation mit dem Fahrzeughersteller konnten die meisten Probleme inzwischen beseitigt werden und die Sherpa E können ihrer Arbeit zuverlässig nachkommen. Aufgrund der hohen Ausfallzeiten war die Fahrerezufriedenheit anfangs ziemlich schlecht. Da die meisten Verbesserungsvorschläge berücksichtigt wurden, ist nun auch die Akzeptanz für die Fahrzeuge auf dem gewünschten Niveau.

MAHLE chargeBIG – intelligentes Ladesystem

Mit der Anschaffung des chargeBIG-Ladesystems setzt der FSG bei der Elektrifizierung von Flottenparkplätzen auf eine kostengünstige Lösung und nutzt ihre bestehende Infrastruktur optimal aus, statt großflächig in den Netzausbau investieren zu müssen. ChargeBIG ist ein Corporate Start-up von MAHLE, das darauf abzielt, Leistungsengpässe im Stromnetz zu verringern und einen schnellen Aufbau einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur zu ermöglichen.



Das chargeBIG-Ladekonzept für einphasiges „AC Destination Charging“ ermöglicht Ladeleistungen zwischen 2,3 und 7,2 kW und setzt sich aus einer intelligenten zentralen Steuereinheit mit fest angeschlagenen Kabeln und Steckern anstelle von klassischen Ladesäulen zusammen. Dank des intelligenten Ladesystems und des Design-to-Cost-Ansatzes müssen keine Investitionen in den Ausbau des Netzes getätigt werden, was zu erheblichen Kosten- und Zeiteinsparungen beim Aufbau der Ladeinfrastruktur führt.

Über ein dynamisches, phasenindividuelles Lastmanagement wird die verfügbare Ladeleistung durch eine zentrale Steuereinheit auf die parkenden Fahrzeuge verteilt. So werden Schieflasten im Stromnetz vermieden. Das Ladesystem reagiert dabei flexibel auf andere Verbraucher im Netz und nutzt die Elektrofahrzeuge als regelbare Last. Dies ermöglicht eine optimale Nutzung des verfügbaren Stromnetzes. Die Lösung von chargeBIG ist in der Installation und Wartung günstiger als alternative Systeme, da die

Ladepunkte durch die zentrale Elektronik sehr einfach gehalten werden können, dies sorgt auch für eine erhöhte elektrische Sicherheit. Weitere Vorteile sind der hohe Komfort für den Endkunden, reduzierte Kosten bei Unfällen und Vandalismus, Kosteneinsparungen durch die Berücksichtigung von unterschiedlichen Stromtarifen und die Möglichkeit das Ladesystem mit Batteriespeicher und PV zu kombinieren.



Auf dem Vorfeld kommt das Ladesystem jeweils auf der Nord- und Südseite des Verkehrsleitungsgebäudes zum Einsatz. Des Weiteren wurden Abstellpositionen für Betriebs- und Werkstattfahrzeuge auf dem Betriebswerkstattgelände mit dem intelligenten Ladesystem erschlossen. Die Erfahrungen mit dem System von MAHLE sind bisher durchweg positiv. Es gab lediglich zu Beginn ein kleineres Softwareproblem, welches schnell behoben werden konnte.

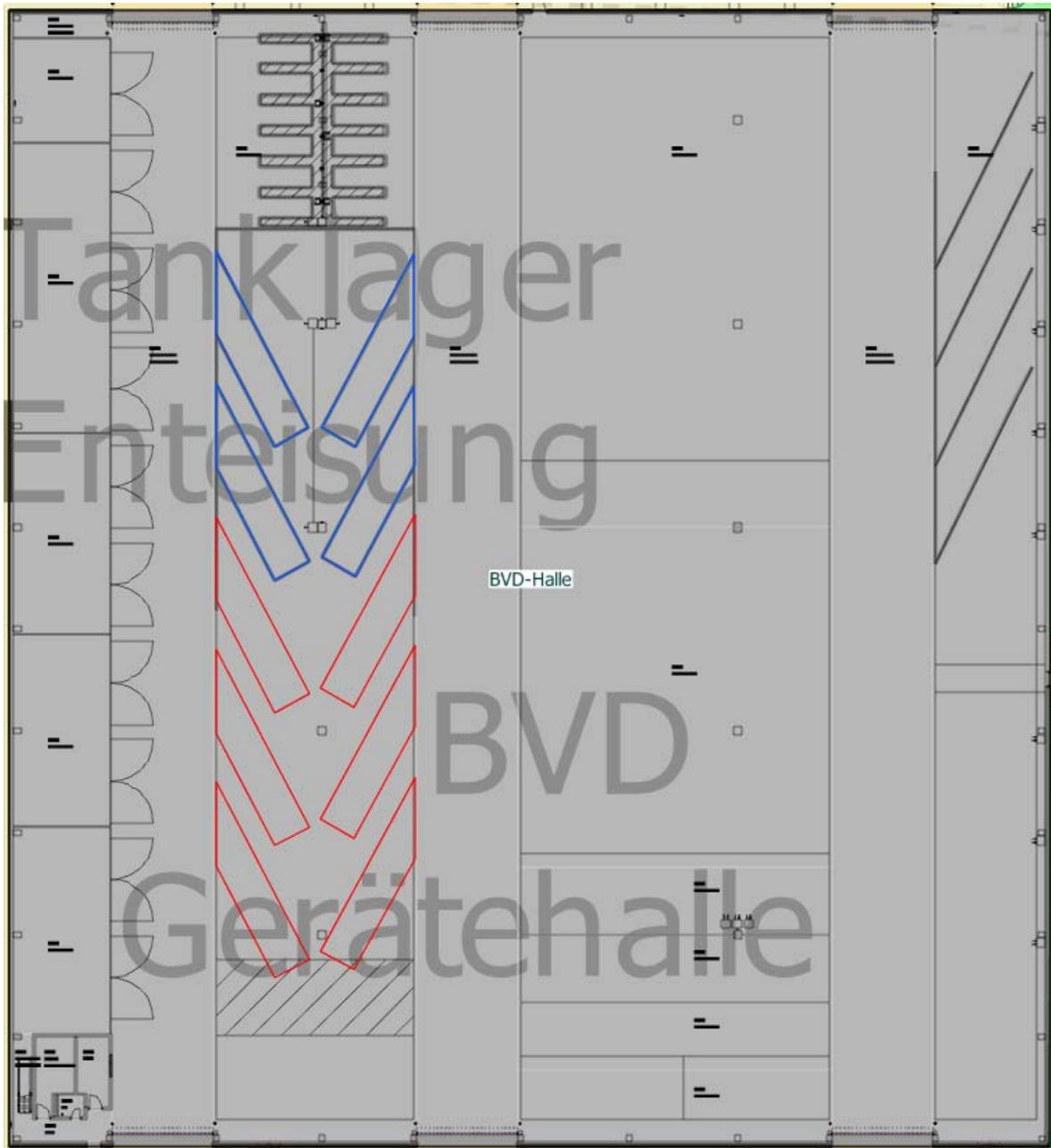
Elektrische Fluggasttreppen

Seit November 2019 sind 3 elektrische Fluggasttreppen des Modells „Runway 1842Ce“ am STR im Einsatz. Entwickelt wurden die Treppen von der slowenischen Firma „TiPS“. Eine Fluggasttreppe ist eine Zugangstreppe zum Besteigen oder Verlassen eines Flugzeuges. Die neuen Treppen ermöglichen das Ein- und Aussteigen von Flugzeugen bis zu einer Boeing 757. Bisher sind die Fahrerrückmeldungen bezüglich der Fahreigenschaften und des Komforts gut, was sich auch an den steigenden Betriebsstunden der Fahrzeuge widerspiegelt.



Eine Herausforderung bestand anfangs darin, ein geeignetes Abstellkonzept zu finden. Da der Platz in der BVD-Gerätehalle sehr beschränkt ist, wurden sämtliche Abstellmöglichkeiten getestet, bis eine zufriedenstellende Lösung gefunden werden konnte. Die Fahrer der elektrischen Treppen können nun mithilfe der eingebauten Rückfahrkamera unkompliziert und exakt eine platzsparende Abstellposition einnehmen. Dafür werden die Treppen jeweils schräg zueinander eingeparkt. Eine spezielle Markierung auf dem Rückfahrkamera-Display zeigt den Fahrern an, bis zu welcher Stelle Sie zurückfahren müssen. Dies erleichtert das Einparken der großen Fahrzeuge ungemein.

Da in den nächsten Jahren im Rahmen des internen Arbeitspaketes „Entwicklung einer Roadmap für eine 100 % elektromobile Vorfeldmobilität am Flughafen Stuttgart“ einige neue Treppen angeschafft werden, sollte langfristig ein neues Abstellkonzept entwickelt werden, ggf. außerhalb der BVD-Gerätehalle. Mit dem aktuellen Abstellkonzept passen etwa 6 weitere elektrische Treppen in der Gerätehalle nebeneinander. In der folgenden Abbildung sind die vier vorhandenen Abstellpositionen in blau und die 6 geplanten Abstellpositionen in rot markiert.



Die elektrische Ladeinfrastruktur wurde für die Abstellpositionen in der BVD-Gerätehalle ausgebaut, um eine ausreichende Stromversorgung der E-Treppen zu gewährleisten. Stand Februar 2020 sind die neuen elektrischen Fluggasttreppen durchschnittlich etwa 80 Kilometer gefahren. Dabei wurde ein Verbrauch von 3,26 kWh / Betriebsstunde ermittelt. Das entspricht einer Energieeffizienzsteigerung von 81 % gegenüber dieselbetriebenen Treppen, welche im Durchschnitt etwa 17 kWh / Bh benötigen.

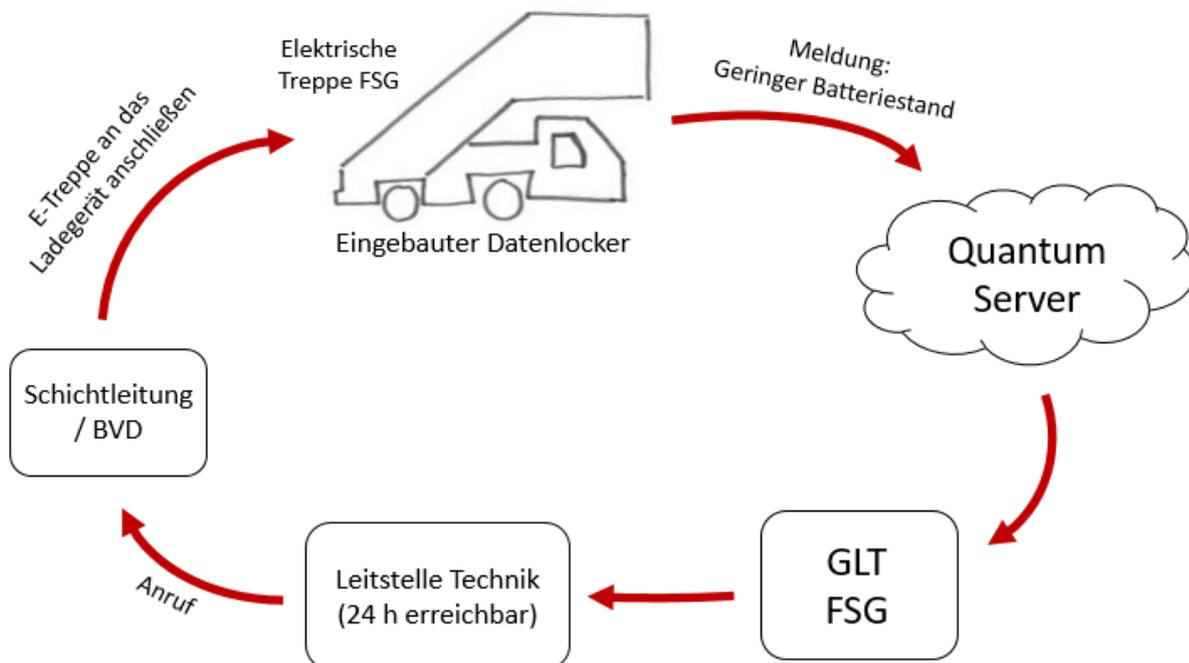
Energieverbrauch pro Betriebsstunde (Diesel vs. Elektro)				
	E-Treppen	Diesel	Differenz	Differenz %
kWh / Bh	3,26	16,82	13,56	81%

Da es bei den Treppen eine hohe Mitarbeiterzufriedenheit gibt und die Fahrzeuge sich bereits in den ersten Monaten problemlos in den Abfertigungsbetrieb integrieren ließen, soll zukünftig ein geeignetes Einsatzkonzept entwickelt werden. Eine bessere Koordination soll die Auslastung und die Produktivität der

Fahrzeuge verbessern. Bisher werden die E-Treppen immer dann eingesetzt, wenn sie gerade verfügbar sind. Anschließend werden sie wieder in der BVD-Halle abgestellt.

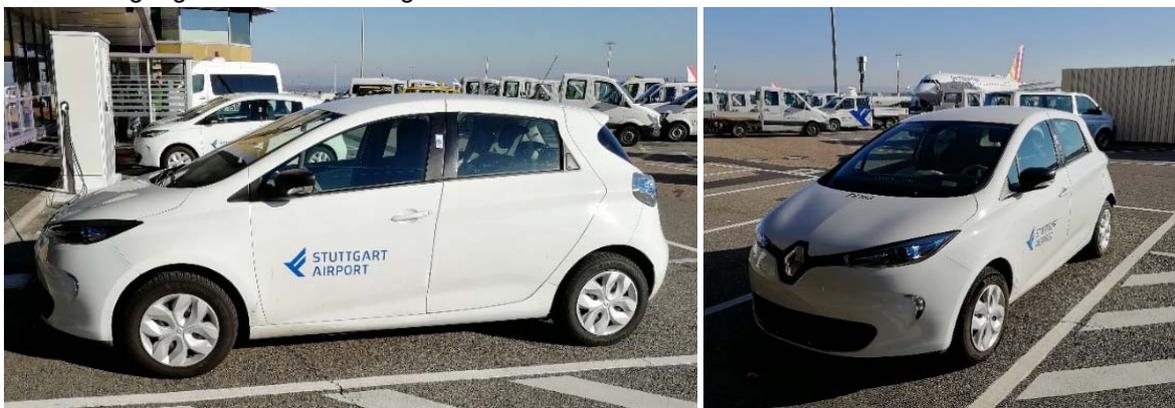


Im Gegensatz zu den dieselbetriebenen Fluggasttreppen benötigen die elektrische Treppen ein Lademanagementsystem, damit die Batterien an den Einsatzzeiten ausreichend geladen sind. Jede E-Treppe ist mit einem Datenlocker ausgestattet, welcher bei niedrigem Batteriestand automatisch eine Meldung an die Cloudlösung von Quantum sendet. Der Quantum-Server übermittelt die Daten an die Gebäudeleittechnik (GLT) des Flughafens. Anschließend wird die Leitstelle Technik des Flughafens kontaktiert, diese ist 24 Stunden erreichbar. Die Leitstelle Technik ruft bei der Schichtleitung an. Nun wird der zuständige Mitarbeiter angefunkt, damit er die E-Treppe in die BVD-Halle an das Ladegerät anschließen kann. Grundsätzlich werden die E-Treppen immer nachts geladen, wenn kein Flugbetrieb stattfindet. Zu Beginn gab es Schwierigkeiten mit der Datenübertragung des Datenlockers, inzwischen wurde dieses Problem gelöst.



Renault ZOE's – Elektrische Ramp Agent Fahrzeuge

Auch die Fahrzeuge für die Ramp Agents fahren elektrisch. Zum Einsatz kommen seit 2018 Renault ZOE's mit einer 41 kWh Lithium-Ionen-Batterie und einem 80 kW (108 PS) starken Motor. Als Ansprechpartner für Cockpit- und Kabinenbesatzung sowie Schnittstelle zwischen OPS (Operations Office, Einsatzzentrale der Fluggesellschaft), Gatepersonal, Technik und Vorfelddararbeitern, überwacht und koordiniert der Ramp Agent alle Dienstleistungen, die an einem Flugzeug während dessen Bodenzeit geleistet werden. Dazu gehören unter anderem die Beladung, das Tanken, die Innenreinigung, das [Catering](#), Versorgung mit Frischwasser und Abtransport des Abwassers sowie die Überwachung des [Boardings](#) der Passagiere. Um schnell zu den verschiedenen Flugzeugabstellpositionen zu gelangen, benötigt ein Ramp Agent ein Fahrzeug. Der Flughafen Stuttgart hat für diesen Zweck 15 elektrische Renault ZOE's angeschafft. Zusätzlich ist ein Renault ZOE als Abteilungsfahrzeug für die Abteilung „Commercial Management (AC)“ im Einsatz. Das Abteilungsfahrzeug wird unter anderem für außerhalb stattfindende Fortbildungen, Messebesuche oder Kontrollvorgänge auf dem Vorfeld genutzt.



Die Mitarbeiterakzeptanz ist bisher sehr gut. Es gab noch keine Probleme oder größere Ausfälle der ZOE's, lediglich Instandhaltungsmaßnahmen wurden durchgeführt. Es wird eine Bereitstellungsquote von nahezu 100 % erreicht. Die Investition in emissionsfreie Elektrofahrzeuge verbessert die Ökobilanz des Flughafens, reduziert den Lärm auf dem Vorfeld und sorgt für eine geringere Schadstoffbelastung am STR. Die Fahrzeuge haben ihre Abstellpositionen auf der Nord- und Südseite des Verkehrsleitungsgebäudes. Aufgeladen werden Sie mit dem intelligenten Ladesystem „chargeBIG“ von MAHLE mit einer Ladeleistung bis zu 7,2 kW.

Stand Ende 2019 sind die Renault ZOE's durchschnittlich etwa 5000 km auf dem Vorfeld gefahren. Die Effizienzsteigerung gegenüber einem dieselbetriebenen VW Polo beträgt 75 %. Statt 13.782 kWh werden mit dem Renault ZOE durchschnittlich nur noch 3.452 kWh verbraucht, wie unsere Datenerfassung zeigt.

Energieverbrauch pro Jahr (Renault ZOE vs. VW Polo (Diesel))				
	Renault ZOE	VW Polo	Differenz	Differenz %
kWh / a	3.452	13.782	10.330	75%

Die Effizienzsteigerung ist vor allem auf die Wärmerückgewinnung durch die eingebaute Wärmepumpe, die Bremsenergieerückgewinnung (Rekuperation) und dem hohen Wirkungsgrad des Elektromotors zurückzuführen.

8.5. „Interne Verwertung“: Im Rahmen des Projekts 2030 Ziel aufgestellt; weitere Pläne am Flughafen ; externe Unternehmen; Losch: andere Standorte

FSG: Mit den guten betrieblichen Erfahrungen, der breiten Akzeptanz des Betriebs und mit dem Nachweis, dass die LCA der eFahrzeuge der der Dieselfahrzeuge bereits heute deutlich überlegen ist rückte das Ziel der 100% elektrischen Vorfeldflotte näher. FSG hat vor diesem Hintergrund auf Geschäftsführungsebene das von scale up! vorbereitete Ziel, bis 2030 in der Flugzeugabfertigung CO₂- neutral zu sein, im ersten Quartal 2020 verabschiedet. Dies lässt sich nur durch eine konsequente und ambitionierte Elektrifizierung der Flotte erreichen, so dass die Weichen für die zukünftigen Fahrzeugbestellungen der FSG auf nachhaltige Weise gestellt wurden.

Bedingt durch die gravierenden Einbrüche der Umsätze bei der FSG infolge der Corona-Pandemie und den damit verbundenen Investitionsstopps und Kostensenkungsprogrammen, sind in den kommenden zwei Kalenderjahren nur leider wenige oder keine Ersatzinvestitionen in der Flotte geplant

Allerdings konnten bereits vor der Krise ausgelöste Bestellungen wie geplant realisiert werden, so dass in Q1-Q2 2020 folgende elektrische Fahrzeuge in Betrieb genommen wurden: Zwei eBusse, eCobus3000 mit Li-Ionen Batterie, vier Gepäckschlepper mit Li-Ionen Batterie, ein 14t- Highloader mit Li-Ionen Batterie und ein Behinderten-Hublifter mit Li-Ionen Batterie.

Durch die breite Elektrifizierung kann FSG Ihren Kunden zukünftig eine CO₂- freie Abfertigung anbieten. Zudem ist FSG daran interessiert mittelfristig auch externe Dritte, die relevante CO₂-Emissionen auf dem Vorfeld verursachen, z. B. Tank- und Cateringdienstleister, in Ihren Elektrifizierungsbemühungen zu unterstützen oder überhaupt erst ins Rollen zu bringen. Eine CO₂-freie Flotte soll zudem eines der Zuschlagskriterien für die Vergabe von Lizenzen bzw. der Aufnahme der Geschäftstätigkeit am Flughafen Stuttgart für die obengenannten Dienstleister werden.

LAS: Das seitens LAS etablierte Ziel, die Gepäckabfertigung und Flugzeugreinigung 100% elektrisch zu betreiben, konnte während der Projektlaufzeit realisiert werden.

Nach Ende der kalkulatorischen Nutzungsdauer sollen die letzten vorhandenen leichten Nutzfahrzeuge, welche für den Mitarbeitertransport auf dem Vorfeld eingesetzt werden, bei entsprechend vorhandenem Herstellerangebot zeitnah gegen Elektrofahrzeuge ersetzt werden, sodass LAS zukünftig alle im Portfolio vorhandenen Dienstleistungen 100% elektrisch anbieten kann. Die noch verbleibenden dieselbetriebenen Ground Power Units werden mit Elektrifizierung der Vorfeldpositionen nach und nach abgeschafft. Für die weitere Betrachtung der TCO wird derzeit an der Implementierung eines umfassenden Telematiksystems für Elektroequipment gearbeitet.

Nach Neuvergabe der BADV-Lizenz am Stuttgarter Flughafen im Jahr 2022 wird die Auftragslage und das damit verbundene benötigte Equipment neu kalkuliert, um eine Investitionsplanung für die folgenden Jahre durchzuführen.

9. Literaturverzeichnis

Flughafen Zürich (2019): Konzept E-Infrastruktur Flughafen Zürich. scale-up! Workshop, 19.11.2019.

Royal Schiphol Group (2020): Optimum Mobility. Mobility and transport projects. Online verfügbar unter <https://www.schiphol.nl/en/schiphol-group/page/mobility-and-transport-projects/>, zuletzt geprüft am 02.06.2020.

Seebach, Dominik (2019): Sinnvolle Bezugsoptionen für Ökostrom für den Flughafen Stuttgart. Arbeitspapier im Rahmen des Vorhabens „Scale Up: Emissionsfreie Flughafenflotte Flughafen Stuttgart“. unveröffentlicht. Öko-Institut.