

MyShuttle: Abschlussbericht.

Autoren

Letzte Änderung

Letzte Änderung durch

Urheberrecht

Projektkonsortium

30.04.2020

Projektkonsortium

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Jegliche kommerzielle Nutzung bedarf einer vorgängigen, ausdrücklichen Genehmigung. Bei Fragen bitte an nmd@sbb.ch wenden.

Inhaltsverzeichnis

1.	Abstract	7
2.	Ausgangslage und Projekt-Setup	7
2.1.	Ausgangslage	7
2.2.	Projektziele	8
2.3.	Agiles Projektmanagement	15
2.4.	Projektbudget	16
2.5.	Kommunikation und Öffentlichkeitsveranstaltungen	16
3.	Implementierung	19
3.1.	Fahrzeug	19
3.1.1.	Beschaffung und Homologation	19
3.1.2.	Fahrzeugtechnologie	19
3.1.3.	Fahrzeuginstandhaltung	20
3.2.	Infrastruktur	22
3.2.1.	Ladeinfrastruktur	22
3.2.2.	Verkehrsplanung und Signalisation	23
3.2.3.	Vernetzte Strasseninfrastruktur (V2I)	24
3.3.	Dispositionssystem	25
3.3.1.	ÖV-Integration	25
3.3.2.	Proof of Concept der ÖV-Integration	27
3.3.3.	On-Demand als Teil einer intermodalen Route	29
3.3.4.	Kundeninformation vor Ort	32
3.3.5.	Die MyShuttle-Web-App	34
3.3.6.	Fahrt und Halt auf Verlangen	34
3.3.7.	Integrierte Kundeninformation am Beispiel der App SBB Mobile	37
3.4.	Betrieb	38
3.4.1.	Betriebsvorbereitung und Betriebsführung	38
3.4.2.	Betriebsüberwachung und Integration Betriebszentrale	39
3.4.3.	Betriebsprozesse	39
3.4.4.	Schichtplanung	42

4.	Erkenntnisse	44
4.1.	Betrieb	44
4.1.1.	Datenauswertung	44
4.1.2.	Weitere Betriebseinflüsse	50
4.1.3.	Subjektive Betriebseindrücke	51
4.2.	(Öffentlichkeits-)Fahrten	52
4.2.1.	Zielsetzung der Cases	52
4.2.2.	Auswertung der Cases	53
4.3.	Potentieller Business Case	60
4.4.	Umweltauswirkungen	60
4.5.	Forschungsfragen	62
4.5.1.	Angebotsgestaltung	62
4.5.2.	Positives Reiseerlebnis für die Kunden	63
4.5.3.	Umsetzung mit möglichst wenig infrastrukturellen Anpassungen	63
4.5.4.	Schlanke Ladeinfrastruktur für SFF	64
4.5.5.	Digitale Integration in ein intermodales, anbieterübergreifendes Informations-, Buchungs- und Bezahlssystem	65
4.5.6.	SFF-Bedürfnisse an Mobilitätsknotenpunkte	65
4.5.7.	Notwendige Schritte für ein künftiges Partnerökosystem	66
4.5.8.	Notwendiger verkehrspolitischer und regulatorischer Rahmen	66
5.	Fazit	67

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektumfang	9
Abbildung 2: Projekt-Meilensteine	9
Abbildung 3: Ursprünglich geplantes Angebotskonzept	11
Abbildung 4: Genehmigte Routen durch ASTRA	12
Abbildung 5: Übersicht Cases	14
Abbildung 6: Sprintplanung in JIRA	15
Abbildung 7: Beispielhafter Sprintverlauf	16
Abbildung 8: Presse-Event	17
Abbildung 9: Fahrzeug-Branding	17
Abbildung 10: EZ10-LiDAR-Schemata	20
Abbildung 11: Laden des Shuttles	22
Abbildung 12: Baustelle entlang der Route.....	23
Abbildung 13: Abfahrtsanzeige an provisorischer Haltestelle Technologiecluster	24
Abbildung 14: Relevante Kundeninformationskanäle.....	25
Abbildung 15: Schematische Darstellung unterschiedlicher IT-Systeme.....	26
Abbildung 16: PoC für einen Adapter zwischen CUS und Bestmile	27
Abbildung 17: Abgleich des Soll-Ist-Fahrplans	28
Abbildung 18: Informationsfluss für ÖV-Integration.....	28
Abbildung 19: MetaRouter mit Shuttle-Angebot.....	29
Abbildung 20: MetaRouter-Buchung und Buchungsbestätigung des Shuttles.....	29
Abbildung 21: Shuttle erhält eine Mission im Bestmile-Backend.....	30
Abbildung 22: Das Shuttle erscheint in den Informationssystemen der SBB.....	30
Abbildung 23: Pooling der Buchungen im Bestmile-Backend.....	31
Abbildung 24: Anzeige der gepoolten Fahrten in SBB Systemen	31
Abbildung 25: Anschlussmöglichkeiten (Anzeige im Shuttle)	32
Abbildung 26: Darstellung der «Linie 17» am Bildschirm im Bahnhof	32
Abbildung 27: «Linie 17» in INFO+ ersichtlich	33
Abbildung 28: MyShuttle Web-App.....	34
Abbildung 29: Zug On-Demand-App – Fahrt und Halt auf Verlangen	35
Abbildung 30: Driver App – Statistik der Fahrt- und Haltewünsche	36
Abbildung 31: On-Demand Angebot zum Start der Reisekette	37
Abbildung 32: On-Demand Angebot am Ende der Reisekette	37
Abbildung 33: Typischer Arbeitsplatz in der SBB Betriebszentrale (BZ)	39
Abbildung 34: Digitalisierung der Checklisten.....	40
Abbildung 35: Ablauf der betrieblichen Prozesse.....	41
Abbildung 36: Fahrzeug-Einsatz gemäss Schichtplanung	43
Abbildung 37: Anteil an automatisierten Fahrten	44
Abbildung 38: Anzahl Fahrgäste in Relation zu gefahrenen Kilometern.....	45
Abbildung 39: Eingriffe in den Fahrbetrieb.....	46
Abbildung 40: Lokalisierung der Emergency Stops entlang der Route 5.....	47
Abbildung 41: Falschparker an Haltestelle Technologiecluster Zug.....	48
Abbildung 42: Vegetation im Sensorbereich.....	48
Abbildung 43: Ursachen für Fahreingriffe	49
Abbildung 44: Linksabbiegen aus dem Tech Cluster Zug.....	50
Abbildung 45: Niederschlagsmenge Januar und März 2019.....	51
Abbildung 46: Montierte Umlenkblende im Shuttle	51
Abbildung 47: Aktuelle Transportmittel-Nutzung	54

Abbildung 48: Sicherheitsempfinden der Verkehrsmittel.....	55
Abbildung 49: Shuttle als Anschlussmobilität.....	56
Abbildung 50: Beurteilung Fahrerlebnis.....	57
Abbildung 51: Einschätzung Unfallrisiko.....	58
Abbildung 52: Erneute Shuttle-Benutzung.....	59

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht Software-Fehler	21
Tabelle 2: Übersicht Hardware-Fehler	22
Tabelle 3: Einsatzplanung Betrieb	42
Tabelle 4: Ausfüllungsgrad der Fragebögen	54
Tabelle 5: Betriebskosten	60

Abkürzungsverzeichnis

Fachbegriff	Bedeutung
API	A pplication P rogramming I nterface Technische Schnittstelle für Software
ASTRA	Bundesamt für S trassen
BAKOM	B undesamt für K ommunikation
BAV	B undesamt für V erkehr
BZ	B etriebszentrale der SBB
CUS	C ustomer S ystem Kundeninformationssysteme der SBB an Bahnhöfen
FAQ	F requently A s ked Q uestions (dt: häufig gestellte Fragen)
GS UVEK	G eneralsekretariat des Eidgenössischen Departements für U mwelt, V erkehr, E nergie und K ommunikation Ist zuständig für die finale Zulassung von Pilotprojekten
KOMO	K oordinationsstelle für nachhaltige M obilität
LiDAR	L ight D etection A nd R anging Methode zur optischen Abstands- und Geschwindigkeitsmessung
ÖPNV	Ö ffentlicher P ersonennahverkehr
ÖV	Ö ffentlicher V erkehr
PoC	P roof of C oncept
SFF	S elbstfahrendes F ahrzeug Bezeichnet ein Fahrzeug, das teilweise oder vollständig durch einen Computer und Sensoren gesteuert wird
SiFa	S icherheitsfahrer Der Sicherheitsfahrer ist zu jeder Zeit im Fahrzeug. Er lenkt das Fahrzeug im manuellen Betrieb. Im automatisierten Betrieb beobachtet er aufmerksam die Umgebung und greift bei Bedarf korrigierend ein.
SLA	S ervice L evel A greement
VDV	V erband D eutscher V erkehrsunternehmen e.V.
V2I	V ehicle- to - I nfrastructure Communication
V2V	V ehicle- to - V ehicle Communication
V2X	V ehicle- to - E verything Communication
ZVB	Z ugerland V erkehrsbetriebe

1. Abstract

Dieser Bericht fasst die wesentlichen Erkenntnisse aus dem in Zug durchgeführten Projekt MyShuttle zusammen. Mit MyShuttle wurde über die Gesamtlaufzeit von drei Jahren untersucht, inwiefern ein automatisiertes Fahrzeug¹ wertstiftend im innerstädtischen Fliessverkehr eingesetzt werden kann.

Das Projekt wurde von 2017 bis 2019 in einem Konsortium von folgenden Partnern durchgeführt: SBB Schweizerische Bundesbahnen, Mobility Genossenschaft, Zugerland Verkehrsbetriebe, Tech Cluster Zug² und Stadt Zug.

Durch den Einsatz von agilen Methoden in der praktischen Anwendung wurden mit Kundenbefragungen und Datenanalysen die technische Verwendbarkeit und Entwicklung von Kundenangeboten validiert.

Auf verschiedenen innerstädtischen Routen wurde getestet, wie sich unterschiedliche Rahmenbedingungen, wie die physische Umwelt oder das Verkehrsaufkommen, auf das Fahrzeug, den Betrieb und die Kundenakzeptanz auswirkten. Gleichzeitig wurde mit fortschreitendem Projektverlauf geprüft, wie das MyShuttle in die bestehenden Informationssysteme des öffentlichen Verkehrs eingebunden werden kann.

Das Projektkonsortium kommt zum Schluss, dass für den selbstfahrenden Personentransport im Fliessverkehr eine intelligentere, antizipative Fahrzeugtechnologie notwendig ist. Das Interesse und Vertrauen der Fahrgäste in diese Art der Fortbewegung ist jedoch positiv zu werten. Um im untersuchten Gebiet relevante Wertangebote zu schaffen, soll ein selbstfahrendes Fahrzeug die für eine Strecke typische Fahrzeit eines Linienbusses nicht oder nur gering überschreiten.

2. Ausgangslage und Projekt-Setup

2.1. Ausgangslage

Verschiedene Studien und Pilotprojekte zeigten, dass die Mobilität der Zukunft in der Schweiz eine automatisierte sein wird. Dies geht Hand in Hand mit dem Versprechen eines Verkehrssystems, das benutzerfreundlich, effizient, umweltfreundlich und langfristig für alle Beteiligten profitabler ist. Das Potential eines selbstfahrenden Fahrzeugs kann aus Sicht der Projektpartner voll ausgeschöpft werden, wenn es im öffentlichen Verkehr richtig eingesetzt wird.

Diese Technologien sowie Angebotsmodelle sind für die Unternehmen im Mobilitätsbereich, bzw. für gewisse Standortpartner, potentiell sehr disruptiv. Die Unternehmen, die das Projektkonsortium stellten, haben daher entschieden, das Thema automatisiertes Fahren proaktiv in Form eines Pilotprojekts zu untersuchen, um einerseits auf potentiellen Wettbewerb vorbereitet zu sein und andererseits auch Chancen für das eigene Unternehmen zu erkennen.

Um erste Erfahrungen zu sammeln, hatten die SBB, Mobility Genossenschaft, Stadt Zug, Zugerland Verkehrsbetriebe (ZVB) und Tech Cluster Zug gemeinsam im Jahr 2017 dieses Pilotprojekt lanciert, um die Integration von selbstfahrenden Fahrzeugen in ein bestehendes Mobilitätssystem zu untersuchen.

Das bis zum Projektstart einzige sich bereits in Durchführung befindliche Projekt dieser Art war das der schweizerischen PostAuto AG. Es verlief mehrheitlich auf privaten Arealen oder auf verkehrsberuhigten öffentlichen Strassen. Das Pilotprojekt MyShuttle, das auf Hauptstrassen mit Tempolimits um die 50 km/h und im Mischverkehr durchgeführt wurde, war daher schweiz- und

¹ Ein computergesteuertes Fahrzeug, das ohne Eingriffe des Fahrers definierte Fahrmanöver durchführen kann.

² Immobilienentwicklungsunternehmen der Metall Zug AG

sogar europaweit eine herausragende Neuheit. Das Pilotprojekt zielte auf die Nutzerakzeptanz, die technologische Fahrzeugmaturität, die Betriebsführung und die intermodale Integration in Kundeninformationskanäle sowie Leitstellen ab.

Während andere Pilotprojekte in der Schweiz mit mehreren Fahrzeugen durchgeführt werden, fokussierte sich das MyShuttle-Projekt mit starkem Forschungscharakter auf ein einziges Fahrzeug, prüfte aber verschiedene Routen mit zunehmender Komplexität ab. So stand im Mittelpunkt dieses Pilotversuchs das Fahrzeug des französischen Herstellers EasyMile (EZ10³). Dieses war im internationalen Vergleich mit den am Markt erhältlichen automatisierten Shuttles – neben den Fahrzeugen von Navya – Marktführer.

Die Ausnahmegenehmigung erfolgte durch das GS UVEK⁴. Ein derartiges Pilotprojekt bedingt eine detaillierte Beschreibung der Vorgehensweise sowie der Projektergebnisse.

Dieser Bericht enthält einen Überblick über die wesentlichen Elemente, die für den Betrieb eines automatisierten Shuttles erforderlich sind, und beschreibt einige der notwendigen Schritte sowie die Erfahrungen aus dem Einsatz auf der öffentlichen Strasse von Zug. Die Analyse der Kennzahlen basiert auf verschiedenen Cases, um die Funktionstauglichkeit der automatisierten Nutzung des Shuttles zu testen sowie die Hypothesen zur Kundenakzeptanz zu überprüfen.

2.2. Projektziele

Zum Projektstart wurde der Projektumfang im Konsortium definiert, wie er in Abbildung 1 dargestellt ist. Im Kernfokus des Projekts stand die Prüfung der Kundenakzeptanz (Nutzerbedürfnisse), der technischen Maturität (Hardware und Infrastruktur) sowie der Integrierbarkeit des Angebots in das bestehende Mobilitätssystem (intermodale Integration).

Im äusseren Feld der Grafik sind die erweiterten, relevanten Interessensgebiete aufgelistet, die in unterschiedlichem Detaillierungsgrad behandelt wurden.

³ Der EZ10 ist die zweite automatisierte Fahrzeugkleinserie der Toulouser Firma EasyMile.

⁴ Das Generalsekretariat des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (GS UVEK) ist zuständig für die finale Zulassung von Pilotprojekten.

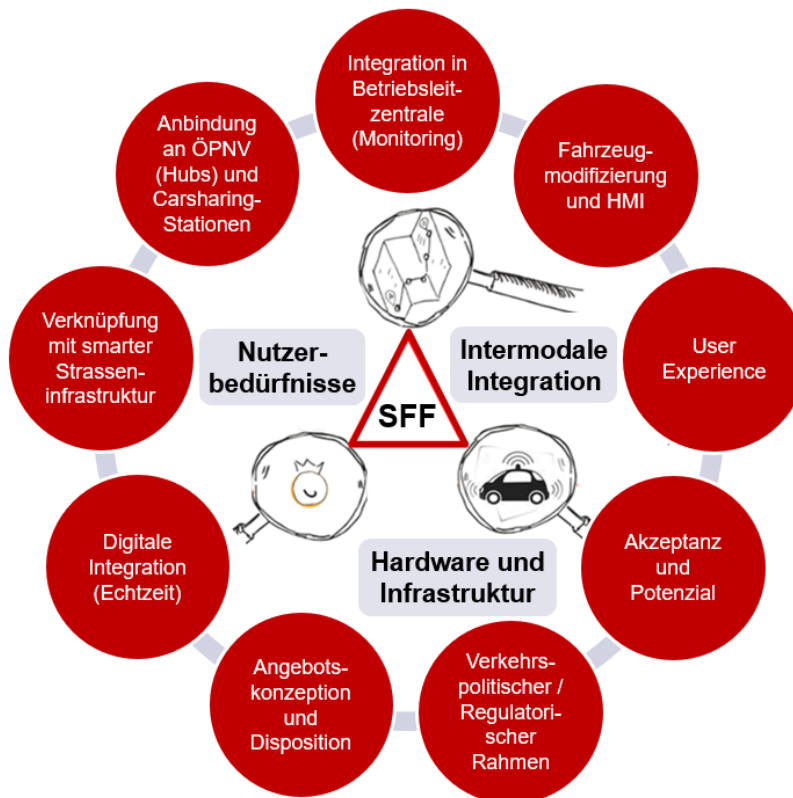


Abbildung 1: Projektumfang

Neben dem Projektumfang wurden Meilensteine gemäss Abbildung 2 definiert.

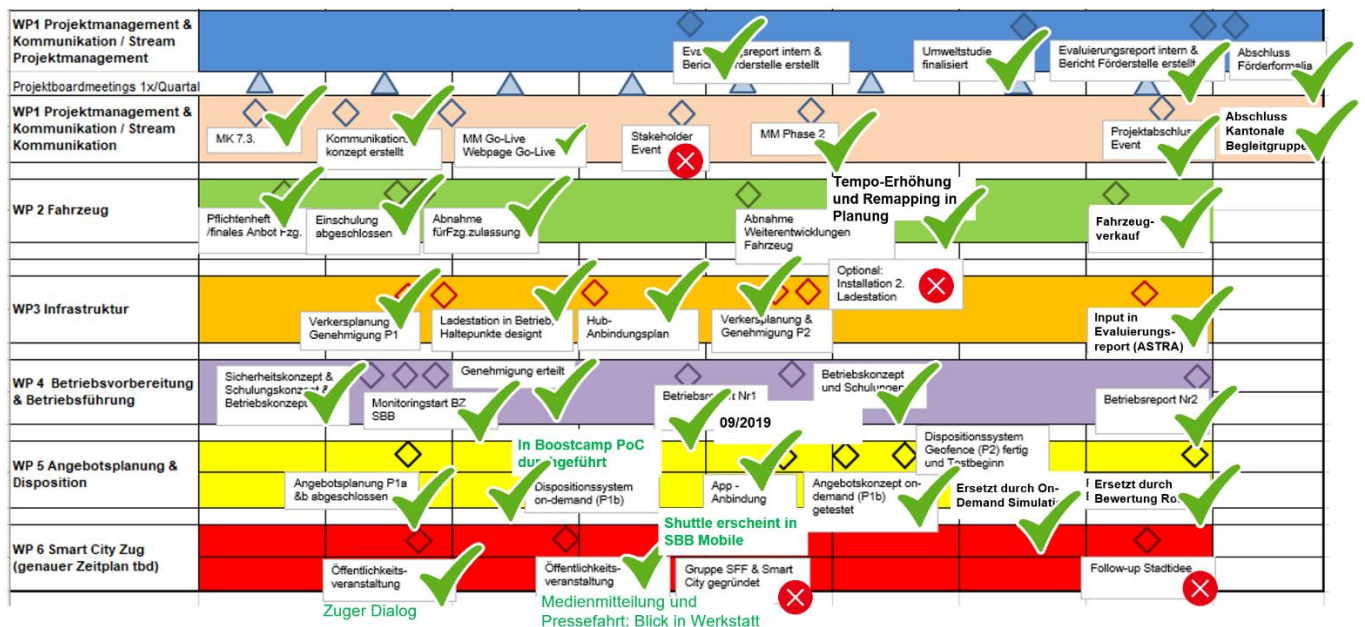


Abbildung 2: Projekt-Meilensteine

Die Projektmeilensteine wurden in grosser Mehrheit erfüllt. Nachfolgend sind die nicht erreichten Meilensteine aufgelistet. Die Gründe für das Nichterreichen liegen zum einen im Herstellerwechsel zu Projektbeginn und in der technischen Fahrzeugmaturität (s. hierzu auch Kapitel 3.1.1).

- **Induktives Laden:** Mit dem ursprünglich ausgewählten Fahrzeuglieferanten Local Motors war die Integration einer induktiven Ladevorrichtung von BRUSA⁵ vereinbart worden. Diese Lösung konnte mit EasyMile nicht umgesetzt werden.
- **Beschaffung einer Flotte:** Es war vorgesehen, dass mindestens zwei Fahrzeuge angeschafft werden, um gewisse Flotten- und Dispositionsfähigkeiten zu erproben. Aufgrund des herausfordernden Zulassungsprozesses, der hohen Kosten und der technischen Anfälligkeit des Fahrzeugs wurde dann jedoch auf weitere Fahrzeuge verzichtet.
- **Betriebszeiten des Fahrzeugs auf der öffentlichen Strasse:** Aufgrund der Herausforderungen durch das Fahrzeug, vor allem aber der niedrigen Geschwindigkeit, konnte nur ausserhalb der Hauptverkehrszeiten gefahren werden. Zwar konnte das Fahrzeug im vollen Mischverkehr betrieben werden, dennoch verhinderten die genannten Einschränkungen den Test von alltagstauglichen Anwendungsfällen und begrenzten die Betriebszeiten des Fahrzeugs deutlich. Testfahrten mit der Bevölkerung fanden aus diesem Grund später als geplant statt.
- **On-Demand-Gebietsservice:** Der Endausbau des Pilotprojekts hätte den automatisierten Service beinhalten sollen, in der Stadt Zug im Fliessverkehr an beliebigen Orten Kunden aufzunehmen. Dies scheiterte an den fehlenden «Mission Management»-Fähigkeiten von EasyMile, die dem Fahrzeug ermöglichen würden, durch ein fremdes Dispositionssystem angesteuert zu werden.

Das ursprünglich ausgearbeitete Angebotskonzept war in vier Phasen unterteilt (s. Abbildung 3). Je länger das Projekt andauerte, desto mehr wurde das Konzept zu einer Vision umfunktioniert. Dabei waren die Phasen 0 und 1 im Rahmen des Machbaren, die Phasen 3 und 4 hingegen dienten eher als Leuchtturm, als ein konkretes Ziel.

⁵ BRUSA war initialer Partner des MyShuttle-Projekts. Nach dem Fahrzeugherstellerwechsel ist BRUSA im Einvernehmen aus dem Projekt ausgetreten, weil die Integration der BRUSA-Technologie seitens EasyMile zu teuer gewesen wäre.

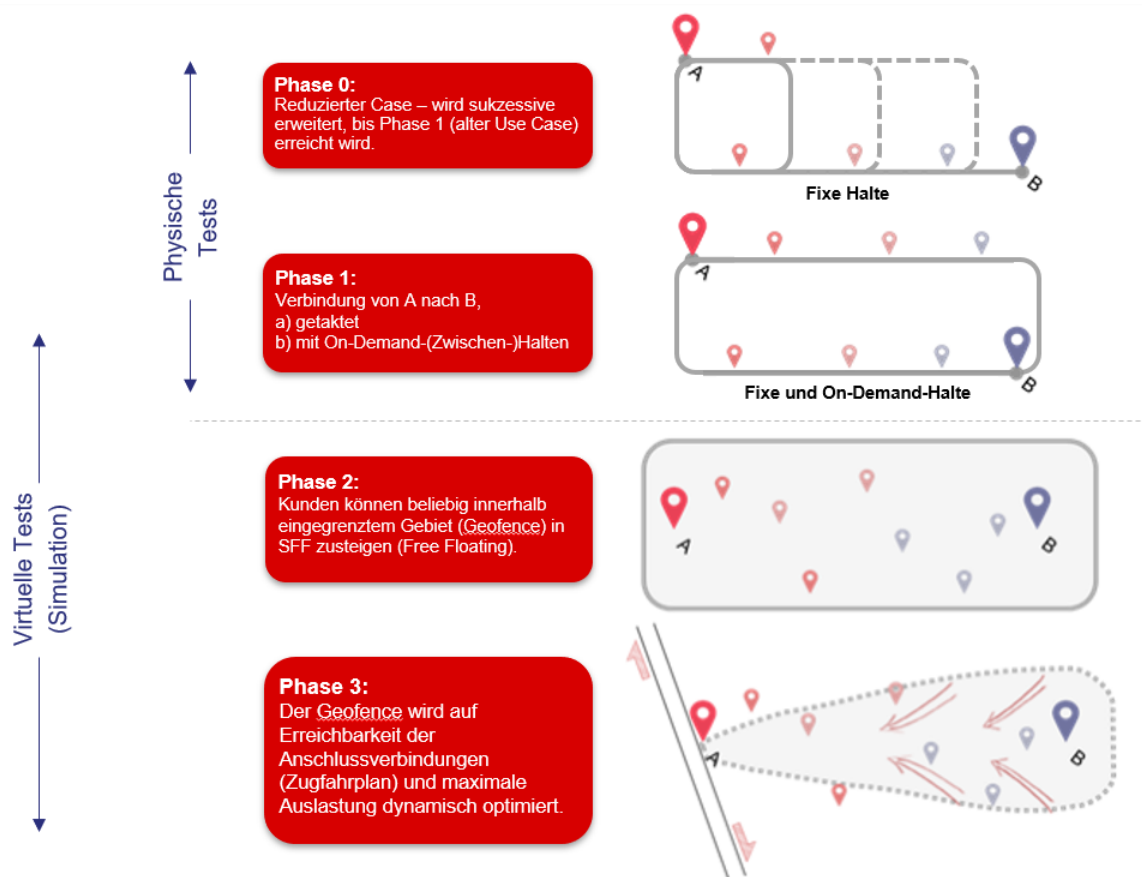


Abbildung 3: Ursprünglich geplantes Angebotskonzept

Die Phasen waren hinsichtlich betrieblicher und funktionaler Komplexität aufeinander aufgebaut. Das Projekt sollte seinen Höhepunkt in Phase 3 erlangen, in der es möglich sein sollte, mit dem MyShuttle in einem Gebiet an beliebigem Ort zu beliebiger Zeit Kunden aufzunehmen und Bedarfe an Fahrten zu bündeln. All dies sollte unter der Prämisse geschehen, dass Anschlüsse garantiert werden könnten.

Die Phase 0 beschreibt den Betriebsaufbau, bei dem es darum geht, die Betriebsprozesse zu trainieren und zu festigen. Phase 1 wurde in 1a, einen klassischen getakteten Linienverkehr, und 1b, einen Linienverkehr mit Fahrt und Halt auf Verlangen, aufgeteilt. Die darauffolgenden Phasen konnten aufgrund der mangelnden technischen Maturität der Automatisierung nicht durchgeführt werden. Phase 3, wie bereits beschrieben, hätte auf Phase 2 aufgebaut werden sollen: auf einem bekannten bedarfsorientierten Gebietservice (wie es beispielsweise der Ridesharing-Dienst⁶ Uber anbietet).

Die hohen Ambitionslevel des Projektkonsortiums zeigten sich auch in der Streckenwahl. So plante man, mit dem Shuttle im Mischverkehr auf öffentlicher Strasse zu fahren, auf der bis zu 50 km/h zugelassen sind. Ziel war es, eine realistische Einsatzsituation abzubilden, um maximal viele Einflussfaktoren und Grenzen des Gesamtsystems ermitteln zu können.

⁶ Angebote, bei denen ein Fahrzeug oder eine Fahrt von mehreren Parteien geteilt genutzt wird.

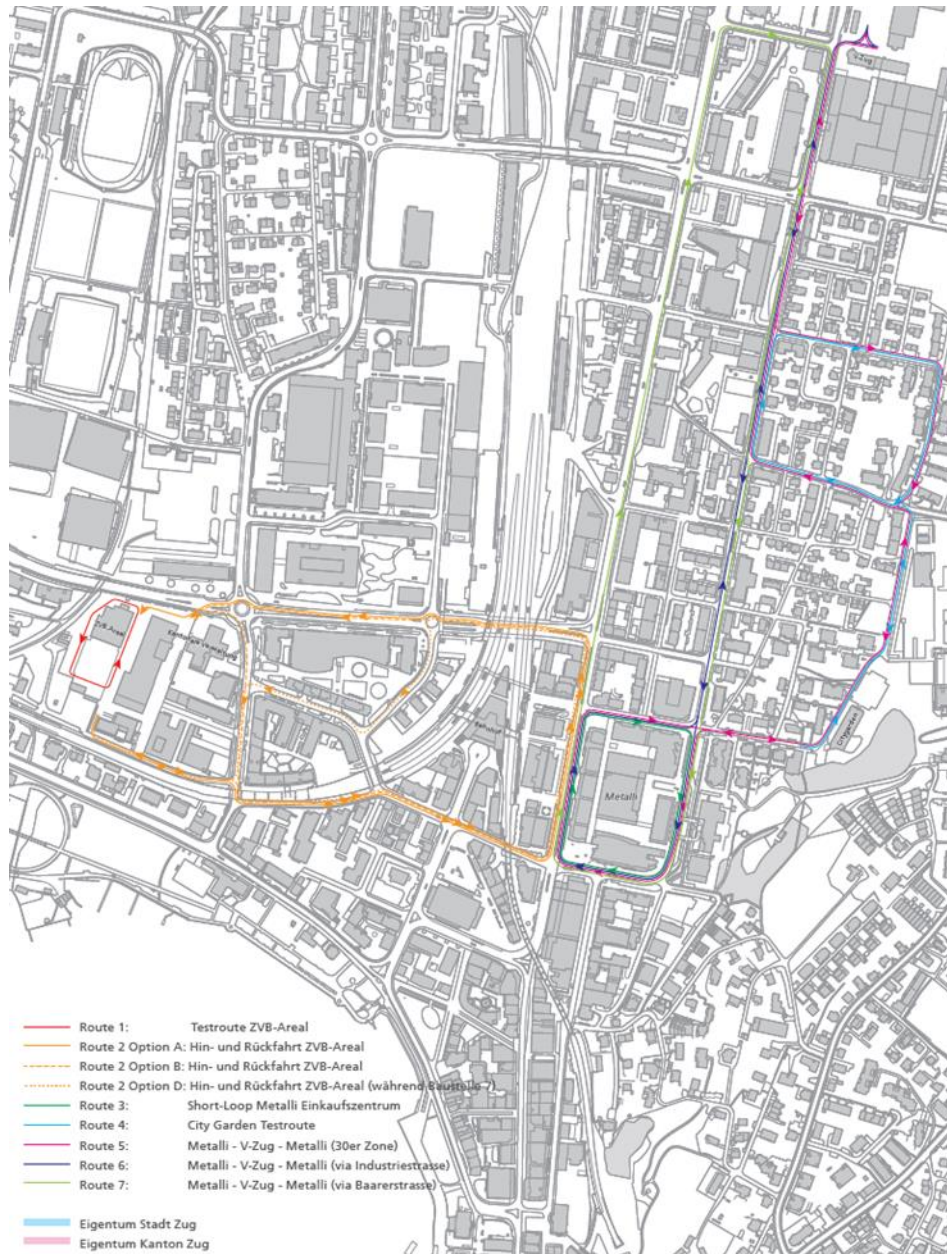


Abbildung 4: Genehmigte Routen durch ASTRA

Die Routenführungen waren modular konzipiert. Für den Fall, dass Teilstrecken nicht befahren werden konnten, waren alle möglichen Routensegmente zum grossen Teil ebenfalls durch den initialen Antrag vom ASTRA genehmigt worden.

Route 1: Testroute ZVB-Areal

- Einfache Testroute auf dem ZVB-Areal
- Verwendungszweck: Funktionstest des Fahrzeugs vor Betriebsbeginn und Test von Upgrades der Hard- und Software

Route 2: Hin- und Rückfahrt ZVB-Areal

- Route für den Transfer des Fahrzeugs von der Garage zum Einsatzort. Wurde anfangs manuell⁷ befahren, ab Mitte 2019 wurde Route 2D automatisiert befahren.
- Verwendungszweck:
 - Zuführung des Fahrzeugs zum Einsatzort
 - Rückfahrt in die Garage

Route 3: Short-Loop Metalli Einkaufszentrum

- Kurze Runde um das Einkaufszentrum Metalli; entsprach einem kleinen Teil der grossen Route 5
- Verwendungszweck: zu Demonstrationszwecken

Route 4: City-Garden-Testroute

- Gekürzte Variante der Route 5. Das Fahrzeug wendete auf dem Parkplatz des Hotels City Garden.
- Verwendungszweck: Test des Fahrzeugs unter einfachen Verkehrsbedingungen

Route 5: Metalli–V-Zug–Metalli (vermehrt Tempo 30)

- Diese Route verband das Gelände von V-Zug mit dem Bahnhof. Es wurden die Strassen in den Quartieren von Zug verwendet, um den Einfluss auf den Verkehr gering zu halten.
- Verwendungszweck:
 - regelmässiger Betrieb, je nach Phase öffentlich oder für eine geschlossene Kundengruppe
 - Anbindung von V-Zug an den Bahnhof
 - Zwischenstopp an Haltestellen Göbli und V-Zug möglich

Route 6: Metalli–V-Zug–Metalli (via Industriestrasse, Tempo 50)

- Diese Route verband das Gelände von V-Zug mit dem Bahnhof. Die Route folgte den Hauptstrassen und mied damit anspruchsvolle Routen im Quartier. Im Gegenzug war das Fahrzeug stärker dem Verkehr ausgesetzt.
- Verwendungszweck:
 - Verkürzung der Route 5
 - vollständige Befahrung der Industriestrasse
 - Zwischenstopp an Haltestellen Göbli und V-Zug möglich

Route 7: Metalli–V-Zug–Metalli (via Baarerstrasse, Tempo 50)

- Diese Route verband ebenfalls das Gelände von V-Zug mit dem Bahnhof. Es handelte sich um einen Rundkurs im Uhrzeigersinn, der hauptsächlich Hauptstrassen nutzte. Dieser Rundkurs bot den Vorteil, dass auf den grossen Kreuzungen dank Rechtskurven möglichst wenige Fahrbahnen überquert werden mussten.
- Verwendungszweck:
 - Personentransport zwischen V-Zug und Metalli
 - ermöglichte die Anbindung zusätzlicher Haltestellen

Auf den Routen 1 und 2 wurden 2019 überwiegend Dienstfahrten durchgeführt, bei denen kein öffentlich zugänglicher Personentransport stattfand.

⁷ Lenkung des Fahrzeugs durch den Sicherheitsfahrer ohne Unterstützung des Computers

Zum öffentlichen Personentransport eigneten sich theoretisch die Routen 3–7. Im Projekt konnten sechs der sieben Routen erfolgreich im automatisierten Modus befahren werden. Route 7 wurde bis zum Projektabschluss nicht mit dem Shuttle befahren. Grund hierfür war, dass das Projektkonsortium nach den ersten Erfahrungen hinsichtlich der technischen Reife den Verkehr auf der schnelleren Baarerstrasse nicht blockieren wollte. Aus Rücksicht auf die anderen Verkehrsteilnehmer diente die Route 6 als direkte Verbindung der Haltestellen V-Zug und Metalli, und zudem hätte die Route 7 keinen erheblichen Mehrwert an neuen Erkenntnissen generiert. Die verwendeten Haltestellen werden in Kapitel 3.2.2 beschrieben.

Zur Analyse des Nutzerverhaltens und für Marktforschungszwecke wurde das Betriebsjahr 2019 in Cases (s. Abbildung 5) eingeteilt. Die Auswertung der Cases erfolgt in Kapitel 4.2 auf Seite 52.

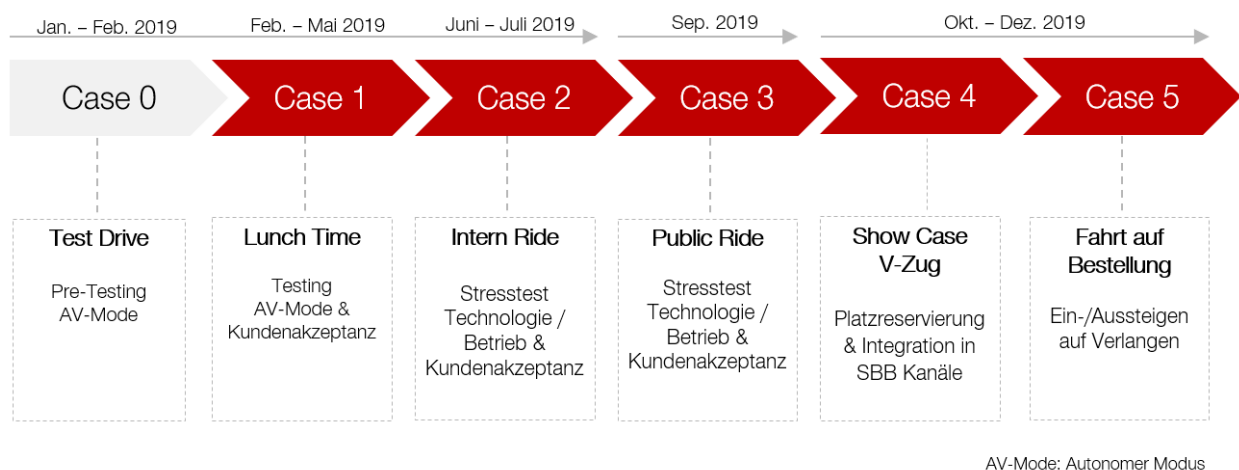


Abbildung 5: Übersicht Cases

Zudem erfolgte im Rahmen dieses Pilotprojekts eine Analyse hinsichtlich der Umweltauswirkungen von selbstfahrenden Fahrzeugen. Die Erkenntnisse sind im Kapitel 4.4 beschrieben. Im Kapitel 4.5 beantwortete das Projektkonsortium, mit dem im Projekt aufgebauten Know-how, folgende Forschungsfragen für das KOMO⁸:

- Wie kann ein Angebot mit Hilfe von selbstfahrenden Fahrzeugen sowohl aus Sicht des Kunden als auch aus Sicht des Betreibers bzw. Bestellers effizienter gestaltet werden?
- Wie wird ein positives Reiseerlebnis für die Kunden hergestellt?
- Wie kann das Angebot mit möglichst wenig infrastrukturellen Anpassungen umgesetzt werden?
- Wie können selbstfahrende elektrische Fahrzeuge mit einer schlanken Ladeinfrastruktur gemanagt werden?
- Wie kann ein Konzept für die digitale Integration eines automatisierten Angebots in ein intermodales, anbieterübergreifendes Informations-, Buchungs- und Bezahlungssystem integriert werden?
- Wie sieht der spezifische Anspruch von Flotten selbstfahrender Fahrzeuge an Mobilitätsknotenpunkte in organisatorischer und baulicher Hinsicht aus?

⁸ Die Koordinationsstelle für nachhaltige Mobilität (KOMO) ist die zentrale Anlauf- und Koordinationsstelle und somit erste Ansprechpartnerin des Bundes in Sachen nachhaltiger Mobilität. Sie fördert innovative Projekte mit einem finanziellen Beitrag.

- Welche Schritte sind für ein künftiges Partnerökosystem notwendig? Wo ist eine Zusammenarbeit notwendig und welche organisatorische Form ist für ein Roll-out solcher Systeme notwendig?
- Wie sieht der aktuelle und wie der notwendige verkehrspolitische bzw. regulatorische Rahmen aus?

2.3. Agiles Projektmanagement

Das Projekt wurde in Arbeitspakete mit klaren Verantwortlichkeiten unterteilt. Die Arbeitspakete wurden basierend auf den in das Projekt eingebrachten Personalressourcen sowie Fähigkeiten aufgeteilt.

Die Gesamtprojektleitung war für die Steuerung, Priorisierung und Sicherstellung des Projekterfolgs verantwortlich. Das quartalsweise tagende Steering Board fungierte als übergeordnetes Entscheidungs- und Kontrollorgan und setzte sich aus jeweils einem Vertreter jedes Konsortialunternehmens zusammen. Es entschied basierend auf Statusreports, ob massgebende Richtungsänderungen für das Projekt notwendig waren.

Die Aktivitäten aller Partner und des Projektteams wurden koordiniert und priorisiert, um den Projektfortschritt zu gewährleisten. Ein detaillierter Projekt- und Meetingplan für die gesamte Projektlaufzeit wurde erstellt und laufend aktualisiert. Es wurden periodische Arbeitsmeetings organisiert und Arbeitswerkzeuge zur geordneten Projektarbeit zur Verfügung gestellt (z.B. SharePoint, JIRA und Confluence).

Das Projekt wurde Ende 2017 auf agiles Projektmanagement, eine Mischung aus SCRUM und KANBAN, umgestellt, um der Dynamik des Projekts gerecht zu werden. Die Umstellung hat zu erheblichen Effizienzgewinnen in der Projektleitung und Konzeption geführt, allerdings auch zu Herausforderungen im Betrieb.

Die Arbeitseinteilung, Priorisierung sowie die sogenannte Sprintplanung wurden mit Hilfe der Software JIRA durchgeführt (s. Abbildung 6). Diese hat auch zur notwendigen Transparenz über Arbeitsaufwand, Zusammenhänge und Abläufe geführt, die für derart komplexe Projekte notwendig sind.

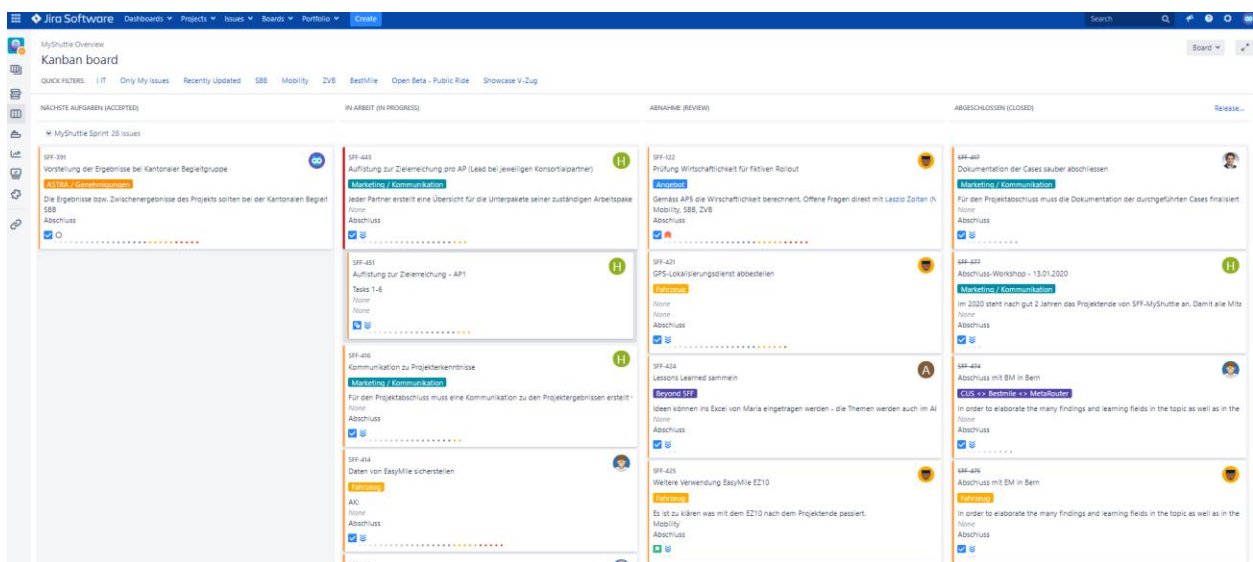


Abbildung 6: Sprintplanung in JIRA

Die Tätigkeiten des Projekts wurden einmal grundsätzlich durchdacht. Je aktueller die bevorstehende Tätigkeit wurde, desto detaillierter wurde diese spezifiziert. Dies ermöglichte einen guten Überblick über den Projektfortschritt. Um den Überblick und Fokus zu behalten, wurde in Sprints

gearbeitet, die dann im Detail geplant und reviewt wurden. In Abbildung 7 ist ein beispielhafter Sprintverlauf dargestellt. Die Anzahl der zu erledigenden Tasks bilden den Ursprung der beiden dargestellten Linien zum Sprintstart. In diesem Beispiel ist ersichtlich, dass innerhalb des Sprints weniger Aufgaben abgeschlossen (rote Linie) werden konnten als geplant (graue Linie).

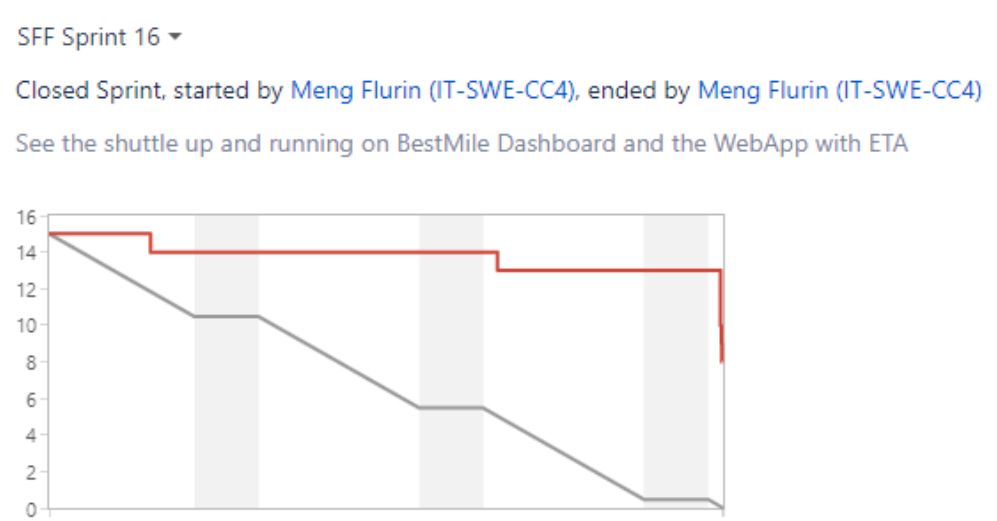


Abbildung 7: Beispielhafter Sprintverlauf

Die Projektkosten sowie die Projekt-Meilensteine wurden quartalsweise kontrolliert. Wie im Kapitel 2.2 erwähnt, mussten Projektziele aufgrund der niedrigen technischen Reife sowie Verlässlichkeit des Fahrzeugs stets nach unten korrigiert werden.

2.4. Projektbudget

Das Projektbudget belief sich auf ca. CHF 2,7 Mio. und wurde – trotz der um ein Jahr längeren Projektlaufzeit – nur marginal überschritten. Die dadurch entstandenen, wesentlich höheren Personalkosten wurden durch den entfallenen Kauf eines zweiten Fahrzeugs sowie die kürzere Betriebsdauer von einem Jahr erfolgreich kompensiert. Die Projektkosten wurden in verschiedenen Anteilen von den Partnern getragen.

Zudem hat das Projekt erfolgreich eine Förderung von CHF 500 000 bei der Koordinationsstelle für nachhaltige Mobilität (KOMMO) beantragt. Das Förderprogramm, das von verschiedenen Bundesämtern finanziert wird, fokussiert auf nachhaltige und innovative Mobilität im weitesten Sinne. Der Förderumfang wurde dann durch den verspäteten Betriebsstart sowie durch einzelne nicht durchführbare, umweltrelevante Projektattribute (induktives Laden, Free-Floating⁹-on-Demand-Betrieb), auf CHF 300 000 gesenkt. Die Auszahlung der Fördersumme bedingt eine detaillierte Dokumentation der Projektergebnisse und die Erstellung eines Umweltberichts.

Nach Beendigung des Projekts wurde das Fahrzeug veräussert.

2.5. Kommunikation und Öffentlichkeitsveranstaltungen

Zu Projektbeginn wurde ein Kommunikationskonzept erarbeitet und umgesetzt. Nach einem Kommunikationsevent zum Projektstart (s. Abbildung 8) wurden zu definierten Meilensteinen, wie

⁹ Free Floating Services sind im Mobilitätskontext Dienstleistungen, die nicht an fixen Haltestellen oder Abstellplätzen ausgerichtet sind. Die Fahrzeuge «schweben frei» in der Fläche; der Service wird oftmals als Gebietservice bezeichnet.

z.B. Strassenzulassung und Publikumsfahrten, Medienmitteilungen veröffentlicht. Neben diesen Medienmitteilungen wurden auch FAQ sowie Informationsmaterial für Stakeholder¹⁰ und die Öffentlichkeit gemeinsam im Projektkonsortium erarbeitet.



Abbildung 8: Presse-Event

Das Fahrzeug wurde überwiegend im SBB Unternehmensdesign gebrandet:



Abbildung 9: Fahrzeug-Branding

Im MyShuttle-Projekt wurden Fahrten nicht nur für Testkunden, sondern auch für sechs Delegationen ermöglicht. Neben Schweizern waren auch beispielsweise österreichische und chinesische Delegationen zu Besuch in Zug.

¹⁰ Bezeichnet die am Projekt interessierten Parteien, seien sie direkt involviert oder nur aus weiteren Gründen interessiert.

Das Projekt erstellte eine Homepage, die unter anderem Feedback von Kunden oder Verkehrsteilnehmenden ermöglichte. Zudem enthielt sie wesentliche Projektedaten, Betriebszeiten sowie tagesaktuelle Betriebsinformationen.

Des Weiteren wurden Artikel in der Fachpresse zum Projekt veröffentlicht:

- Fachzeitschrift der ungarischen Ingenieurskammer
- «Eisenbahntechnische Rundschau» («ETR Swiss»)

Das Projekt wurde 20-fach in verschiedenen Massenmedien (Web, Zeitung, Fernsehen) erwähnt.

Die breite Öffentlichkeit wurde mittels öffentlicher Veranstaltungen zu den Themen SFF (selbstfahrende Fahrzeuge), Mobilität der Zukunft und Smart Cities in das Projekt mit einbezogen. Die Stadt Zug und der Tech Cluster Zug haben diesbezüglich folgende Veranstaltungen durchgeführt:

- Vortragsreihe «Zukunft Industrie Zug» des Tech Clusters Zug:
 - «Zukunftsstadt Zug» Wohnen in der Stadt – zu welchem Preis? (Januar 2020)
 - «Zukunftsstadt Zug» Wie smart ist die «Smart City»? (April 2019)
- Zuger Dialoge der Stadt Zug: Paradigmenwechsel im Stadtverkehr (Mai 2019)

In einer institutionalisierten Gruppe hätten Grundsatzfragen in Zusammenhang mit selbstfahrenden Fahrzeugen diskutiert werden sollen (alternative Technologien, wirtschaftliche und rechtliche Rahmenbedingungen, städtebauliche Auswirkungen etc.). Aber im Jahr 2018 widmete sich ein Gespräch mit Expertinnen und Experten der Mobilität im Spannungsfeld Industrie und Stadt, mit 30 geladenen Experten aus Industrie, Forschung, Politik und Anwendern. Ausgehend von den raumplanerischen Voraussetzungen und der Entwicklung der Elektromobilität wurden in einem Ideenwettbewerb verschiedene Mobilitätsszenarien vorgestellt und diskutiert.

Auf eine, aus dieser Expertengruppe zusammengesetzte, formalisierte Begleitgruppe wurde im Anschluss verzichtet, weil der Fokus des Projekts bis zuletzt auf den technischen Herausforderungen lag.

Stattdessen wurde die städtische Verwaltung mittels diverser Massnahmen auf die künftigen, zu erwartenden Umwälzungen der Digitalisierung und Automatisierung vorbereitet. Dabei sind die Erfahrungen aus dem MyShuttle-Projekt für folgende Themen eingeflossen:

- Erarbeitung Smart-City-Strategie¹¹
- Schaffung einer neuen Stelle «Projektleiter Smart City»
- finanzielle wie inhaltliche Projektpartnerin der Studie «Einsatz automatisierter Fahrzeuge im Alltag – Denkbare Anwendungen und Effekte in der Schweiz»; Basler Fonds, Schweizerischer Städteverband und weitere Partner

Der Stadtrat von Zug hatte im Jahr 2015 seine Stadtidee vorgestellt. Diese sollte der Stadt Zug erlauben, sich für künftige Generationen zu positionieren. Die Resultate aus dem Projekt MyShuttle sollten im Sinne eines Follow-up in diese Stadtidee einfließen. Insbesondere hätte das Projekt aktiv mit parallellaufenden Aktivitäten in Forschung und Entwicklung vernetzt und das Infrastrukturangebot überprüft werden sollen, um es für weitere Entwicklungs- oder Anwendungsprojekte fit zu machen. Der technische Fortschritt des Projekts war indes zu gering, um dieses Projektziel

¹¹ Smart City steht für gesamtheitliche Entwicklungskonzepte, die beabsichtigen, Städte effizienter, ökologischer und sozial inklusiver zu gestalten. Die Stadt Zug hat dazu eine Strategie entwickelt.

vertieft verfolgen zu können. Als Alternative flossen im Rahmen der Smart- City-Strategie der Stadt Zug die Erfahrungen aus dem MyShuttle-Projekt in folgende Projekte ein:

- Mobility-Hub¹² Zug Nord mit Anwendungen wie Automatisiertes Parkieren
- Smart Parking / Smart Metering¹³
- Förderung Sharing-Mobility mit Anbietern Circ (E-Scooter), Smide (E-Bikes) und Nextbike (Velos und E-Bikes)
- Ortsplanungsrevision der Stadt Zug

3. Implementierung

3.1. Fahrzeug

3.1.1. Beschaffung und Homologation

Das Projektkonsortium hatte sich zu Beginn des Projekts (Januar 2017) für das Fahrzeug «Olli» der Firma Local Motors entschieden. Nach ersten konstruktiven Verhandlungen gestaltete sich die Zusammenarbeit mit Local Motors immer schwieriger. Insbesondere kam Local Motors seinen Verpflichtungen nicht nach. Es wurde schnell klar, dass das Unternehmen hinsichtlich technischer Möglichkeiten des Fahrzeugs zu viel versprochen hatte. Das Projektkonsortium entschied sich deshalb im Frühling 2017, neue Fahrzeughersteller zu evaluieren, und bezog in Folge das Beratungsunternehmen Rapp Trans AG in das Projekt ein, welches das Projekt in der Fahrzeugzulassung sowie Evaluierung unterstützte. In der Folge wurde ein Assessment von verschiedenen potentiellen Fahrzeugherstellern durchgeführt. Die Wahl fiel daraufhin auf EasyMile. Nach Erstellung eines Pflichtenhefts und Aufsetzen eines Service Level Agreements (SLA) wurde das Fahrzeug EZ10 von EasyMile im August 2017 nach Zug geliefert.

Vor der Inbetriebnahme im Sommer 2017 wurde eine vorläufige Funkbewilligung des BAKOM erwirkt. Das Fahrzeug wurde dann im September 2017 von Electrosuisse geprüft und freigegeben. Im selben Monat fand das Erstgutachten des ASTRA statt. Nachdem verschiedene Anpassungen, gemäss den Vorgaben vom ASTRA und vom BAV, am Fahrzeug durchgeführt wurden, erfolgte die offizielle Fahrzeugabnahme im Mai 2018 durch das ASTRA und das BAV.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass das im MyShuttle-Projekt eingesetzte Fahrzeug die technische Maturität für einen Serieneinsatz noch nicht erreicht hat. Es waren intensive Weiterentwicklungen seitens EasyMile in Zusammenarbeit mit dem Projektteam notwendig, damit das Fahrzeug auf den designierten Strecken im Rahmen der Anforderungen seitens ASTRA tatsächlich fahrbereit war. Dieser Umstand führte dazu, dass sich das Projektkonsortium entschied, kein zweites Fahrzeug anzuschaffen.

3.1.2. Fahrzeugtechnologie

Die Fahrtechnologie des EZ10 (2. Generation) basierte überwiegend auf der GPS- und LiDAR-Technologie (s. Abbildung 10). Die «Localization LiDAR»-Sensoren auf dem Dach des Shuttles erkannten höher gelegene, konstante Gegebenheiten wie Gebäudeecken und andere charakte-

¹² Bezeichnet eine Haltestelle, an der das Umsteigen auf weitere Mobilitätsträger (Zug, Bus, PKW etc.) möglich ist.

¹³ Damit ist gemeint: die digitale Parkraumbewirtschaftung und Parkplatzbuchung sowie verschiedene digitalisierte Verbrauchsmessungen (Strom/ Gas etc.).

ristische Punkte. Die Reichweite der Sensoren war entsprechend gross (ca. 220 m). Mit der gewonnenen Information konnte, gemeinsam mit einem Präzisions-GPS (GNSS/AGNES¹⁴), die Position des Fahrzeugs im dreidimensionalen Raum zentimetergenau eruiert werden. Die Positionierung wurde laufend mit einem Sollwert – der programmierten Fahrstrecke – verglichen, und resultierende Lenkbefehle führten das Fahrzeug dem Kurs entlang. Das Fahrzeug fuhr somit auf einer virtuellen Schiene, bei der die Fehlertoleranz der Streckenabweichung $\pm 1,5$ cm betrug. Die «3D LiDAR»-Sensoren konnten auf bis zu 80 m Distanz sich bewegende Objekte und Hindernisse in und entgegen der Fahrtrichtung des Shuttles messen. Sie verhalfen dem Fahrzeug im Falle von Verkehr und Personen auf der Fahrbahn, entsprechend früh das Tempo zu reduzieren.

Die vier «Safety LiDAR»-Sensoren dienten dem Auffahrschutz. Sie überprüften laufend, auf ca. 30 cm Höhe gegenüber der Fahrbahnebene überlappend, das Gebiet in unmittelbarer Nähe des Fahrzeugs und lösten bei Bedarf eine Bremsung aus. Je nach Nähe des Objektes zum Shuttle wurde die Bremsung stärker durchgeführt.

Die Kameras wurden in Zug nicht eingesetzt. EasyMile plant zukünftig, mit diesen Kameras komplexere Verkehrssituationen (sich nähernde Fussgänger und Ampelfarberkennung) zu erfassen.

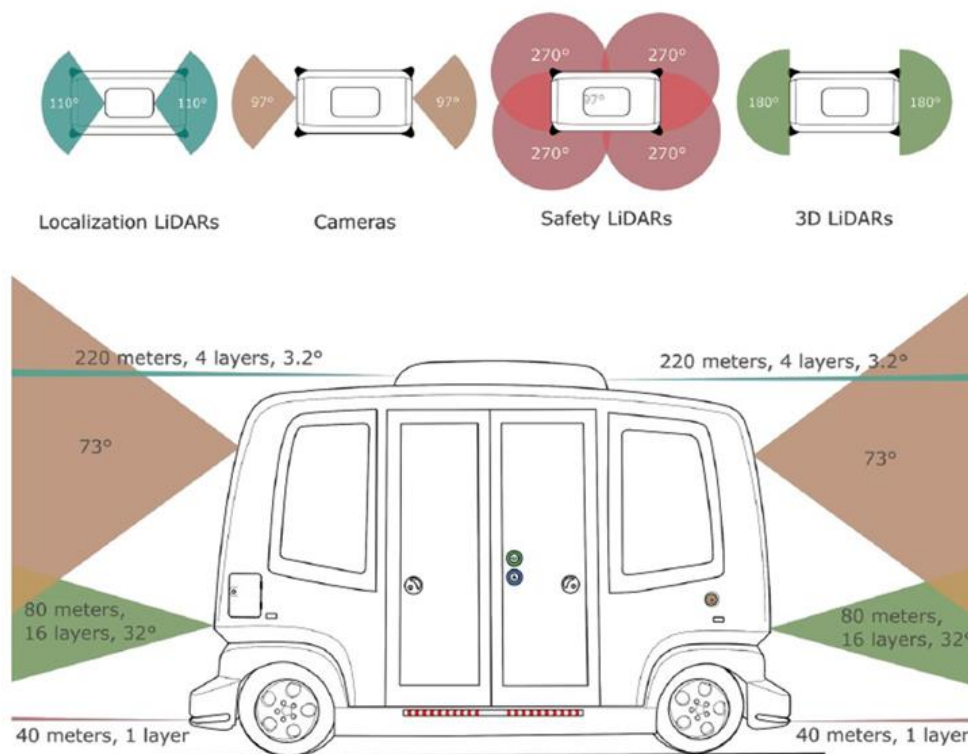


Abbildung 10: EZ10-LiDAR-Schemata

3.1.3. Fahrzeuginstandhaltung

Die ZVB betreibt eine Werkstatt zur Instandhaltung ihrer eigenen Linienbusse sowie Fahrzeuge von Drittkunden. Somit konnte die ZVB eine entsprechende Expertise, mit Themen rund um die

¹⁴ GNSS/AGNES heisst globales Navigationssatellitensystem / Automatisches GNSS-Netz Schweiz, das eine zentimetergenaue Verortung ermöglicht

Fahrzeuginstandhaltung, vorweisen und hatte daher die Verantwortlichkeit für die Fahrzeuginstandhaltung.

Die Instandhaltung des automatisierten Fahrzeugs von EasyMile gestaltete sich, im Vergleich zu Serienfahrzeugen, als sehr herausfordernd. Vom Fahrzeughersteller war weder eine umfassende Fahrzeugdokumentation noch eine Reparaturanleitung verfügbar, sondern lediglich Checklisten zu spezifischen Einzelteilen. Die Dokumentation entsprach nicht den gesetzlichen Vorgaben und musste durch das Projektteam aufwendig erstellt werden.

Das eingesetzte Werkstattpersonal hätte für entsprechende Arbeiten vorab von EasyMile zertifiziert werden müssen, was eine mehrtägige Schulung erforderlich gemacht hätte. Aufgrund der Entscheidung, lediglich ein Fahrzeug zu betreiben, wurde diese Zertifizierung nicht durchgeführt. Sämtliche Instandhaltungs- und Reparaturarbeiten wurden deshalb ausschliesslich von Mitarbeitenden von EasyMile durchgeführt. Waren solche Arbeiten nötig, wurde der Support von EasyMile telefonisch oder per E-Mail kontaktiert. Kleinere Fahrzeugstörungen hingegen konnten unter telefonischer Anleitung des EasyMile-Supportteams behoben werden. Da in der Schweiz keine Mitarbeitenden von EasyMile stationiert waren, flogen diese folglich bei jedem Ereignisfall aus Toulouse ein. Dementsprechend waren die Reparaturzeiten lange und die Logistik aufwändig.

Am Fahrzeug gab es zahlreiche Soft- und Hardwaredefekte. In den nachfolgenden Tabellen (Tabelle 1 und Tabelle 2) werden diese abgebildet. Bemerkenswert ist, dass viele Komponenten Defekte erlitten, die nicht für das automatisierte Fahren zuständig waren. Deshalb lässt sich vermuten, dass gegebenenfalls Komponenten von niedriger Qualität verbaut wurden oder es sich um ein Fahrzeug mit vielen Defekten handelte.

Software-Fehler	Beschrieb	Frequenz
Absturz Software	Absturz der Software im laufenden Betrieb, oftmals durch Netzwerkverlust kombiniert mit Fahrbefehl	Gelegentlich
Unerwartete Hindernisse	Ungemappte, statische Hindernisse entlang der Route. bspw. temporäre Baustellen	Gelegentlich
Unerwartete Türöffnung	Türen gingen an Haltestellen entgegen der Programmierung auf. Dieses Problem wurde im August 2019 behoben.	Gelegentlich
Lokalisierungsverlust	Verlust der Verortung durch rasches Verändern der Umgebung (Vegetation) oder Signalabschirmung (Gebäude, Vegetation)	Gelegentlich
Geschwindigkeit	Nicht reproduzierbare Reduktion der Maximalgeschwindigkeit des Fahrzeugs auf 3 km/h im manuellen und im automatischen Modus	Gelegentlich

Tabelle 1: Übersicht Software-Fehler

Hardware-Fehler	Beschrieb	Frequenz
Diverse Defekte von Standardkomponenten	<ul style="list-style-type: none"> • Router • Switch • Batterie • Kundeninformationsmonitor 	Jeweils einmalig
Verlust Bremsflüssigkeit	Eine Stelle der Bremshydraulik war undicht. Die Stelle wurde abgedichtet und Bremsflüssigkeit nachgefüllt.	Einmalig
Feststellbremse defekt	Die elektrische Feststellbremse wurde defekt, was zu einer Blockade des Fahrzeugs führte. Die Standardkomponente wurde rasch ersetzt.	Einmalig

Tabelle 2: Übersicht Hardware-Fehler

3.2. Infrastruktur

3.2.1. Ladeinfrastruktur

Das Fahrzeug wurde auf dem ZVB-Gelände geladen (s. Abbildung 11). Mit dem verwendeten Betriebskonzept liess sich das Fahrzeug bis zu 14 Stunden pro Tag ohne Nachladung betreiben. Die Ladeleistung konnte frei zwischen 4 und 13 Ampere AC gewählt werden. Bei einer Betriebsdauer von sieben Stunden und normalen Wetterbedingungen konnte das Fahrzeug über Nacht mit 6 Ampere Netzleistung komplett aufgeladen werden. Im Fahrzeug waren vier Hauptbatterien mit einer Totalkapazität von 30,72 kWh verbaut. Das Fahrzeug wurde jeweils am Abend eines jeden Betriebstages über Nacht geladen.

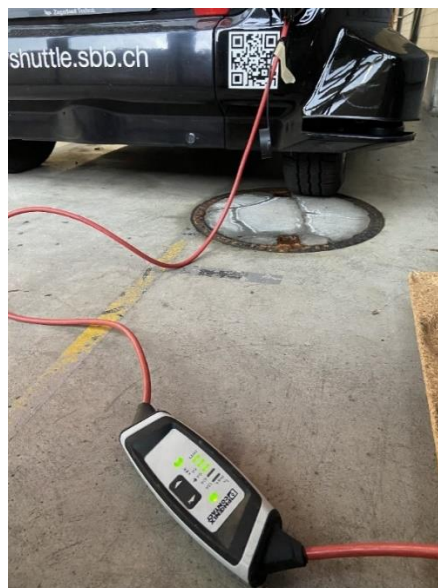


Abbildung 11: Laden des Shuttles

Entgegen dem ursprünglichen Plan wurde neben der Garage der Zugerland Verkehrsbetriebe keine zweite Ladestelle an der Haltestelle V-Zug installiert, da eine einzelne Ladestation für das in Betrieb gesetzte Fahrzeug ausreichte.

Geplant war zudem die Integration einer BRUSA-Induktionsplatte in das Fahrzeug, damit eine induktive Ladung möglich wäre. Local Motors bot für ihr Fahrzeug eine entsprechende Option an.

EasyMile hingegen konnte in ihre Fahrzeuge keine in der Schweiz zugelassene, induktive Lade-funktion integrieren. Deswegen wurde dieses Vorhaben «out of scope» gesetzt.

Nachdem das MyShuttle vollständig geladen war, erfolgte keine Erhaltungsladung der 12-V-Steu-erungsbatterie. Die Ladeelektronik blieb jedoch eingeschaltet. Dies führte dazu, dass sich die Steuerungsbatterie jeweils über die nachfolgenden Stunden langsam, aber komplett entlud. Das Fahrzeug konnte anschliessend nicht aufgestartet werden, bis die Steuerungsbatterie über eine separate Ladeeinrichtung (Autolader) geringfügig geladen wurde. Die Steuerungsbatterie nahm durch die Kompletentladungen mehrmals Schaden und musste ersetzt werden.

3.2.2. Verkehrsplanung und Signalisation

Seitens Stadt und Kanton Zug war die Vorgabe, dass sich der Pilotversuch weitestgehend auf der aktuellen Verkehrsinfrastruktur bewerkstelligen liesse, ohne dass der übrige Verkehr über-mässig beeinträchtigt würde. Dies erzeugte spezielle örtliche Herausforderungen, insbesondere im Vergleich zu anderen, derzeit laufenden Projekten in weniger belebten Räumen.

In der Stadt Zug gab es sehr starke und schnelle bauliche Veränderungen der Umgebung mit komplexen Wechselwirkungen zu Verkehr und anderen Nutzungen, wie beispielsweise tempo-räre Baustellensignalisationen und -verkehrsführungen oder auch Verkehrsregelung durch Ka-detten/Polizei (s. Abbildung 12). So wurde auf und neben allen genehmigten Routen eine starke Tief- und Hochbautätigkeit beobachtet. Da jede Veränderung mit einem zeit- und kostenintensiven Mapping erfasst werden musste, verzögerte und verteuerte dies den Betrieb im urbanen Um-feld gegenüber einer Routenführung in einem weniger stark bebauten Gebiet.

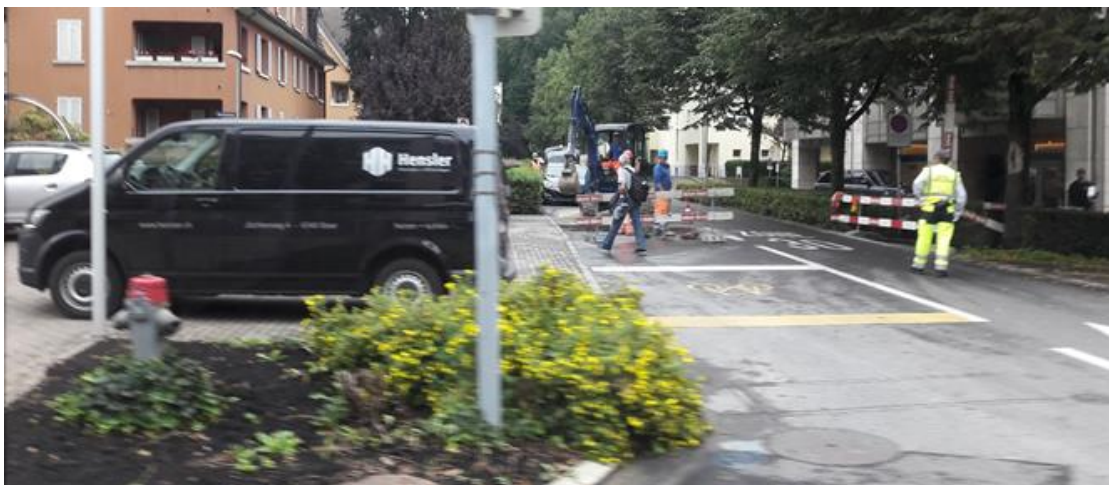


Abbildung 12: Baustelle entlang der Route

Ebenfalls problematisch war das Parkverhalten anderer Verkehrsteilnehmender. Falschparker standen in der vorprogrammierten Fahrbahn des Shuttles, sodass die SiFa (Sicherheitsfahrer) manuell übernehmen mussten. Ganz besonders ärgerlich war dies an Haltestellen, weil es das Zusteigen der (Test-)Kunden erschwerte.

Eine weitere Herausforderung war der Mischverkehr mit Fussgängern, Velos, motorisiertem Indi-vidualverkehr, öffentlichem Verkehr sowie Schwerverkehr. Erschwerend hinzu kamen die hohen Geschwindigkeiten der anderen Verkehrsteilnehmenden (Tempo 30 und Tempo 50) im Gegen-satz zu den derzeit technischen Möglichkeiten des MyShuttle.

Wie in Kapitel 2.2 erwähnt, wurden die Routen 3–7 für den öffentlichen Personentransport eingeplant. Hierzu wurden die bereits vorhandenen Haltestellen Metalli, V-Zug, Bleichi sowie Göbli angefahren. An diesen Haltestellen waren keine baulichen Massnahmen notwendig. Es wurde lediglich die bestehende Beschriftung ergänzt. Auf dem Gelände von V-Zug wurde eine temporäre Haltestelle namens Technologiecluster installiert:



Abbildung 13: Abfahrtsanzeige an provisorischer Haltestelle Technologiecluster

3.2.3. Vernetzte Strasseninfrastruktur (V2I)

Die Verkehrsvernetzung¹⁵ (auch: V2X) wird zukünftig mit automatisierten Fahrzeugen an Bedeutung gewinnen. Die ZVB hatte im Rahmen des Projekts Kontakt zu zwei Ampelherstellern (Siemens Schweiz, VR AG), den Besitzern der Ampelanlagen (Kanton und Stadt Zug) sowie dem Leitstellenlieferanten der ZVB (Lieferant Trapeze Switzerland GmbH).

Um eine innerstädtische Strecke vollständig automatisiert fahren zu können, muss V2X verfügbar sein. Ob der derzeitige V2X-Standard ISO/TS 19091:2017 genügt, wird sich erst in den kommenden Jahren zeigen. Die für das automatisierte Fahrzeug in Zug freigegebenen Strecken beinhalteten acht Ampeln. Die acht Ampelanlagen stammten von zwei Ampelherstellern, diese hatten wiederum Anlagen von drei verschiedenen Generationen verbaut. Die Ampelanlagen gehörten ausserdem zwei unterschiedlichen Eigentümern: dem Kanton und der Stadt.

Die genannten Anlagen hätten von den Ampelherstellern nur vereinzelt aufgerüstet werden können. Das hätte zu keiner durchgängigen V2I-Kommunikation entlang der Strecke geführt. Da sowohl Aufrüstungen als auch Ersatzanlagen sehr kostenintensiv waren, konnten sie nicht über das Projekt finanziert werden. Aus diesem Grund wurde die Zielerreichung hinsichtlich der vernetzten Strasseninfrastruktur hinfällig.

Bis im Kanton Zug alle Ampeln V2X unterstützen, werden noch Jahre vergehen. Die sicherheitsrelevante Infrastruktur einer Smart City muss jedoch mit der Entwicklung automatisierter Fahrzeuge Schritt halten.

¹⁵ Darunter werden unter anderem die Technologiestandards V2X (Vehicle-to-Everything) verstanden. Vehicle-to-Everything Communication ist ein Meta-Standard für Vehicle-to-Infrastructure und Vehicle-to-Vehicle Communication und bildet die Grundlage für die Kommunikation von Fahrzeugen mit der Umgebung.

3.3. Dispositionssystem

Ziel dieses Forschungsgebietes war es, eine künftige Zusammenführung der Dispositionssysteme sowie Kundeninformationssysteme des öffentlichen Verkehrs auszuloten. Dieses Kapitel beschreibt Hintergründe und Herausforderungen, die sich aus der Kombination von flexiblen Verkehren und starren Taktfahrplänen ergeben. Die Software von der Firma Bestmile¹⁶ wurde beschafft, um die On-Demand-Kundenfahrten sowie das Fleet Management (Disposition) mit einem selbstfahrenden Fahrzeug zu ermöglichen. Der vorgesehene Fahrzeuglieferant Local Motors arbeitete in einer engen Entwicklungspartnerschaft mit einer hohen Integrationstiefe mit Bestmile zusammen. Der Alternativhersteller EasyMile hingegen hatte Strategie- und Zielkonflikte mit Bestmile in der Entwicklung der Dispatchingsoftware¹⁷. Dieser Konflikt hatte bis zum Projektabschluss den Fortschritt gehemmt und sehr viele Konfliktmanagementressourcen in Anspruch genommen.

3.3.1. ÖV-Integration

Eine der Hauptzielsetzungen des Projekts war die Integration des MyShuttle in den öffentlichen Verkehr.

Neben Aspekten der Angebotsplanung, auf die bereits eingegangen wurde, wurde grosser Wert auf die Anzeige des selbstfahrenden Shuttles in die Informations- und Buchungssysteme des öffentlichen Verkehrs gesetzt. Da die Testkunden gebührenfrei fahren konnten, wurde das Thema Ticketing im Rahmen der ÖV-Integration bewusst ausgeklammert.

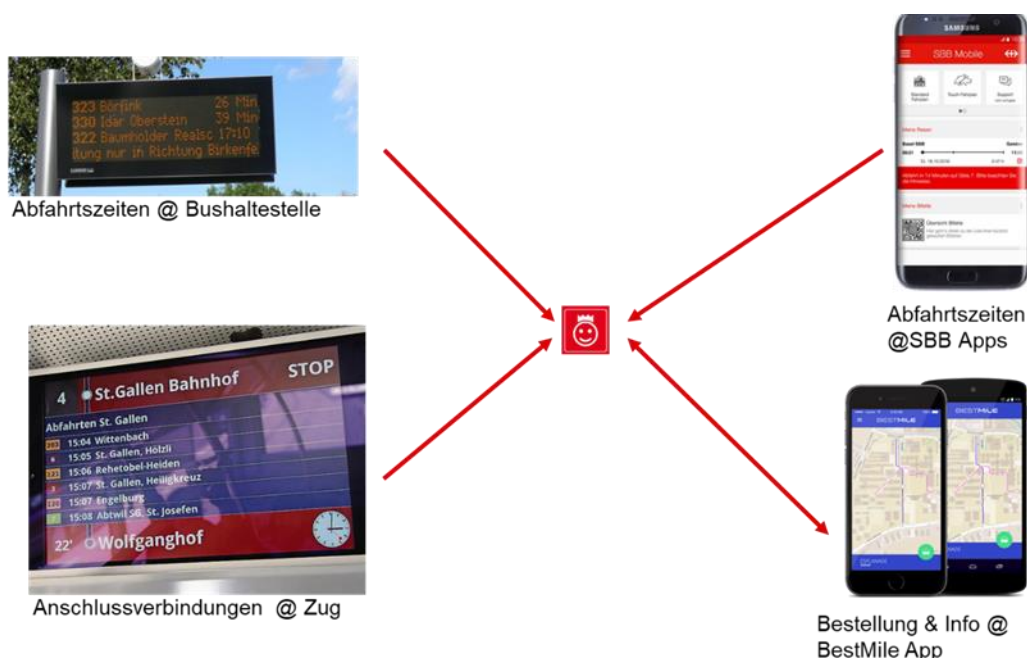


Abbildung 14: Relevante Kundeninformationskanäle

Die in Abbildung 14 dargestellten Kanäle wurden als Zielkanäle definiert; das Shuttle sollte dort möglichst mit Echtzeitinformation erscheinen.

Um diese Ziele zu erreichen, musste das richtige Kundeninformationssystem identifiziert werden.

¹⁶ Unternehmen, das Dispositions- bzw. Flottenmanagementsysteme für automatisierte Fahrzeuge anbietet.

¹⁷ Diese Software dient dazu, Fahrzeugen Fahraufträge zuzuordnen und die Fahrzeuge in Folge bei der Abarbeitung des zugewiesenen Fahrauftrags zu überwachen.

Das Projekt konzentrierte sich dabei auf das zentrale Kundeninformationssystem «Customer System» (CUS), das die SBB im Mandat des Bundesamts für Verkehr für die gesamte ÖV-Branche betreibt.

Das System versorgt die Passagiere des öffentlichen Verkehrs vor, während und nach der Reise mit aktueller Kundeninformation.

Es ist eine leistungsfähige Plattform, welche die relevanten Informationen aus den Quellsystemen abholt, diese kundengerecht aufbereitet und auf den verschiedenen Ausgabeportalen zur Verfügung stellt.

Um von allen Kanälen, auch über die genannten hinaus zu profitieren, war die erste Zielsetzung, die Informationen zu dem Shuttle in das zentrale Fahrgastinformationssystem des ÖVs, namentlich das Customer System (CUS), einzuspeisen.

Die Kernelemente der Informationskette sind in Abbildung 15 dargestellt.

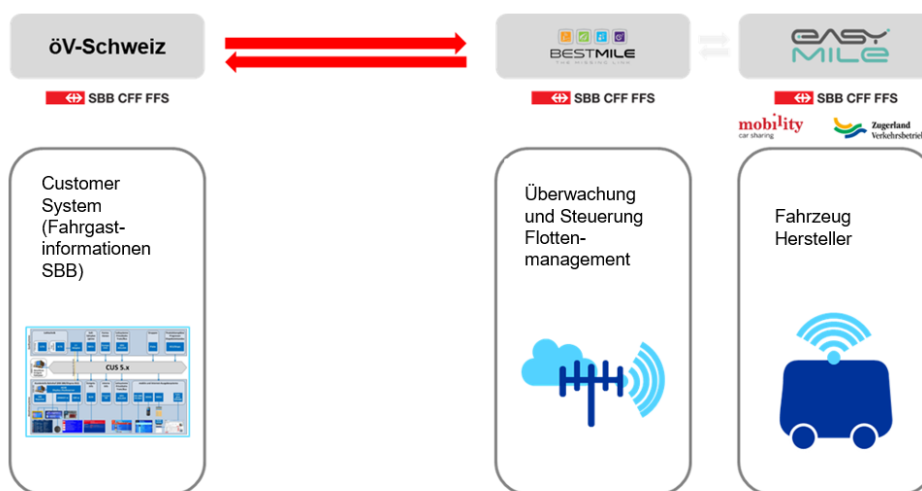


Abbildung 15: Schematische Darstellung unterschiedlicher IT-Systeme

Die Zielfunktionsweise lässt sich am besten anhand eines klassischen Linienbusses erklären. In den Systemen des ÖVs wurde ein Fahrplan eingegeben. Dieser wurde an das Steuerungs- bzw. Dispatchingsystem von Bestmile übermittelt. Bestmile teilte diesen Fahrplan auf Einzelfahrten auf und gab diese dann sequenziell an das Fahrzeug weiter, was «Mission Management» genannt wird.

Das Fahrzeug meldete dann stets Position, Geschwindigkeit und weitere Daten an das Dispatchingsystem von Bestmile zurück. Das Bestmile-System berechnete daraufhin das Delta zwischen Echtzeit- und Sollfahrplan und meldete es dann dem CUS zurück, um letztendlich die Kunden über die Abweichung zu informieren.

Dieser Prozess barg mehrere Herausforderungen:

Bestmile wurde im Rahmen des Projekts mit dem Fahrzeughersteller Local Motors beauftragt, der dann im Laufe des Projekts auf EasyMile getauscht wurde. Der wesentliche Punkt der Zusammenarbeit des Fahrzeuglieferanten und des Dispatchingherstellers war, dass das Dispatchingsystem Missions¹⁸ an das Fahrzeug senden konnte, die dieses dann durchführte. Das Dis-

¹⁸ Fahraufträge werden allenfalls auch «Missions» genannt.

patchingsystem musste auch in der Lage sein, Veränderungen der Mission durchzuführen, beispielsweise durch einen Halt auf Verlangen, der während der Fahrt betätigt wurde. Trotz mehrfacher Eskalation war EasyMile nicht gewillt bzw. in der Lage, eine Schnittstelle zur Verfügung zu stellen, die eine Mission verarbeiten und mit Anpassungen der Mission umgehen konnte. Dieses Problem konnte im Projekt nicht gelöst werden. Daher wurden in der Folge für den Proof of Concept (PoC) Fahrzeuge im Bestmile-System fiktiv «erstellt», also simuliert¹⁹.



Abbildung 16: PoC für einen Adapter zwischen CUS und Bestmile

Wie in Abbildung 16 ersichtlich, wurde im Rahmen eines Proof of Concept daran gearbeitet, eine Verbindung zwischen dem Dispatchingsystem von Bestmile und dem CUS herzustellen. Dabei war zu beachten, dass das CUS in einem sehr strikten «VDV»-Format nach aussen kommuniziert. Diese Formate werden vom Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) definiert und normiert; sie basieren derzeit auf fixen Haltestellen und vordefinierten Linienführungen sowie Fahrplänen.

Diese Logik widersprach der von Bestmile. Das Dispatchingsystem von Bestmile war für einen Gebietsservice (Geofence²⁰) ausgelegt, der nach Bedarf und nicht nach Fahrplan fährt. Ein Adapter sollte die Verbindung der beiden Systeme testweise ermöglichen.

3.3.2. Proof of Concept der ÖV-Integration

Im ersten Schritt wurden die Systeme rudimentär verbunden. Das in Abbildung 17 simulierte Shuttle war mit einem festgelegten Fahrplan auf einer vorgegebenen Linie mit fixen Halten unterwegs. Die Relation des vom CUS bezogenen Sollfahrplans zu der von Bestmile simulierten Position des Shuttles erkannte der Testadapter und konnte darauf vorprogrammierte Benachrichtigungen senden (siehe roter Pfeil).

¹⁹ Die General Transit Feed Specification (GTFS) definiert ein digitales Austauschformat für Fahrpläne des öffentlichen Personennverkehrs und dazugehörige geografische Informationen, wie z.B. die Standorte von Haltestellen.

²⁰ Ein Geofence ist ein virtuell begrenztes Gebiet, innerhalb dessen ein Angebot zur Verfügung steht.

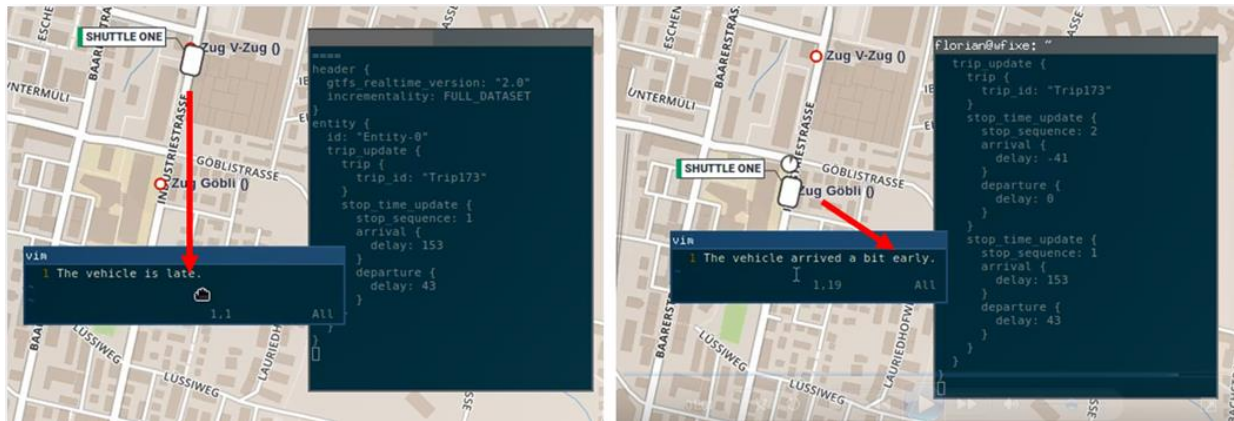


Abbildung 17: Abgleich des Soll-Ist-Fahrplans

Nach dem ersten Erfolg war die Zielsetzung in einem zweiten Schritt, den Prozess aus Abbildung 18 durchgängig zu testen. Die bereits verbundenen und getesteten Elemente, das Bestmile-System und CUS, wurden mit einem Router (MetaRouter) sowie den Informationskanälen der SBB, MIKU (Mobiles Informationstool für Kundenkontakte) oder KIB (Kundeninformation am Bahnhof, d.h. Lautsprecher und Bildschirme), verbunden. Der MetaRouter ist ein Testprogramm der SBB, mit dem intermodale Routen gesucht und ausgegeben werden können. Diese Bedingungen waren optimal für die Zielsetzung, sodass man in den genannten Systemen eine Bahnfahrt in Kombination mit dem MyShuttle darstellen konnte. Die Zielerreichung wird im nachfolgenden Kapitel beschrieben.

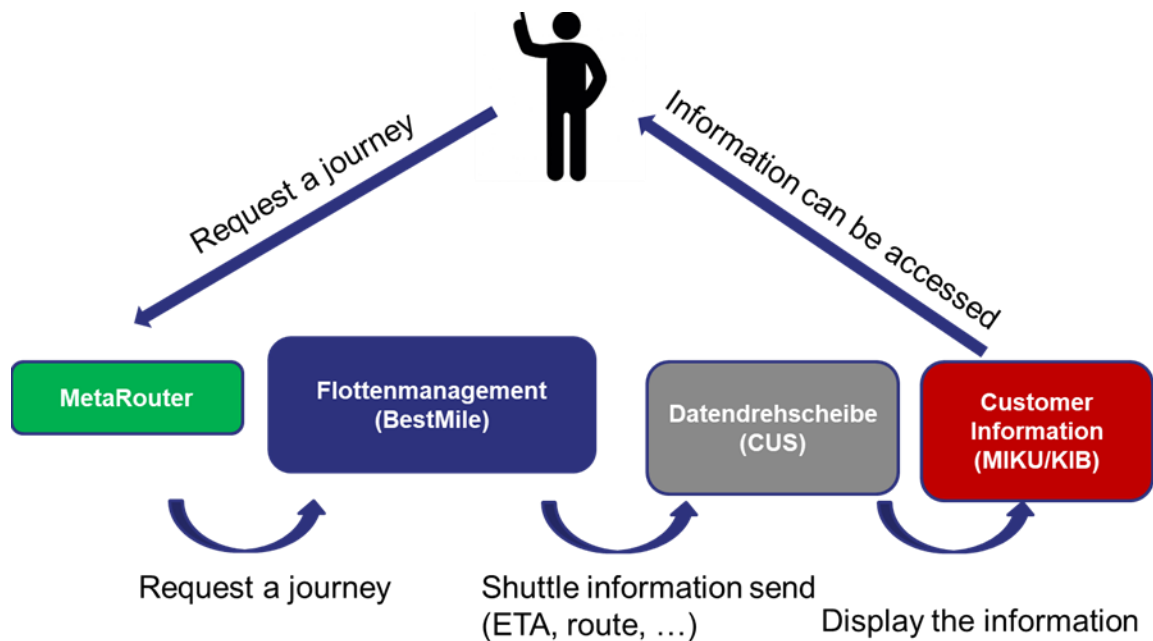


Abbildung 18: Informationsfluss für ÖV-Integration

3.3.3. On-Demand als Teil einer intermodalen Route

Zunächst wurde der MetaRouter mit dem Shuttle-Angebot erweitert. In Abbildung 19 ist dafür stellvertretend das rote Icon ersichtlich.

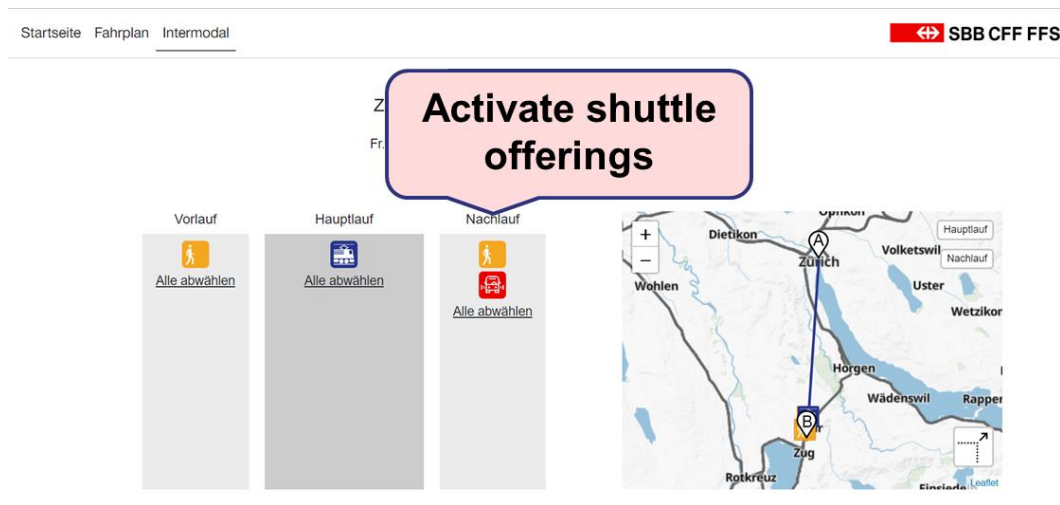


Abbildung 19: MetaRouter mit Shuttle-Angebot

Der Suchauftrag des Kunden führte zu Routenvorschlägen, von denen dann der Kunde eine Route mit Hilfe eines Einkaufswagen-Buttons buchen konnte (s. Abbildung 20). Im Anschluss gab das System von Bestmile eine Bestätigung des Angebots aus.

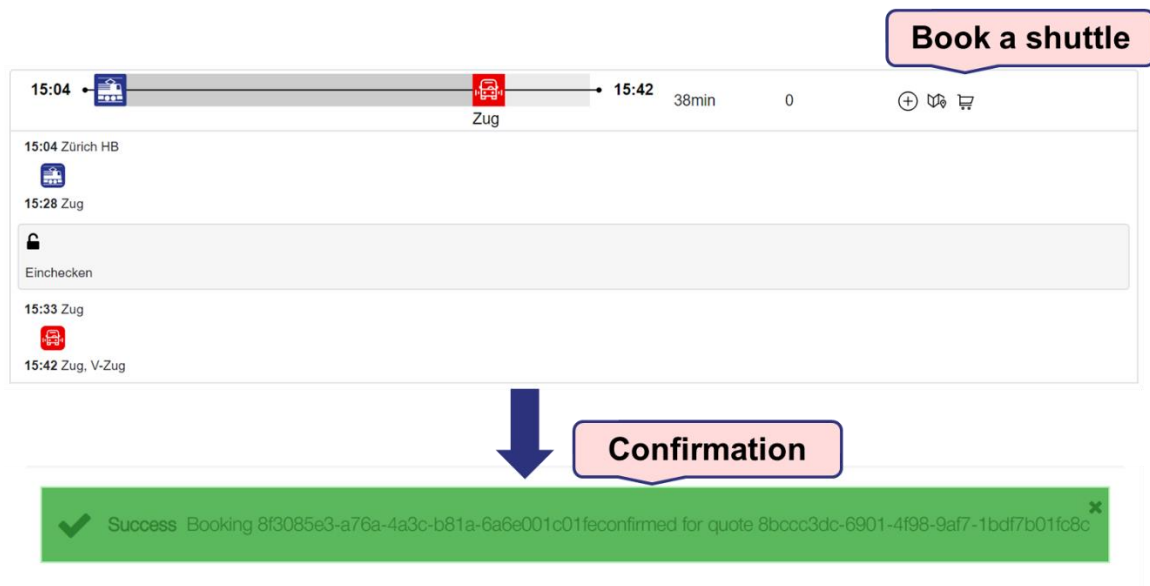


Abbildung 20: MetaRouter-Buchung und Buchungsbestätigung des Shuttles

Das Shuttle erhielt zeitgleich eine Mission, also einen Auftrag, im Backend und machte sich «virtuell» auf den Weg zum Kunden:

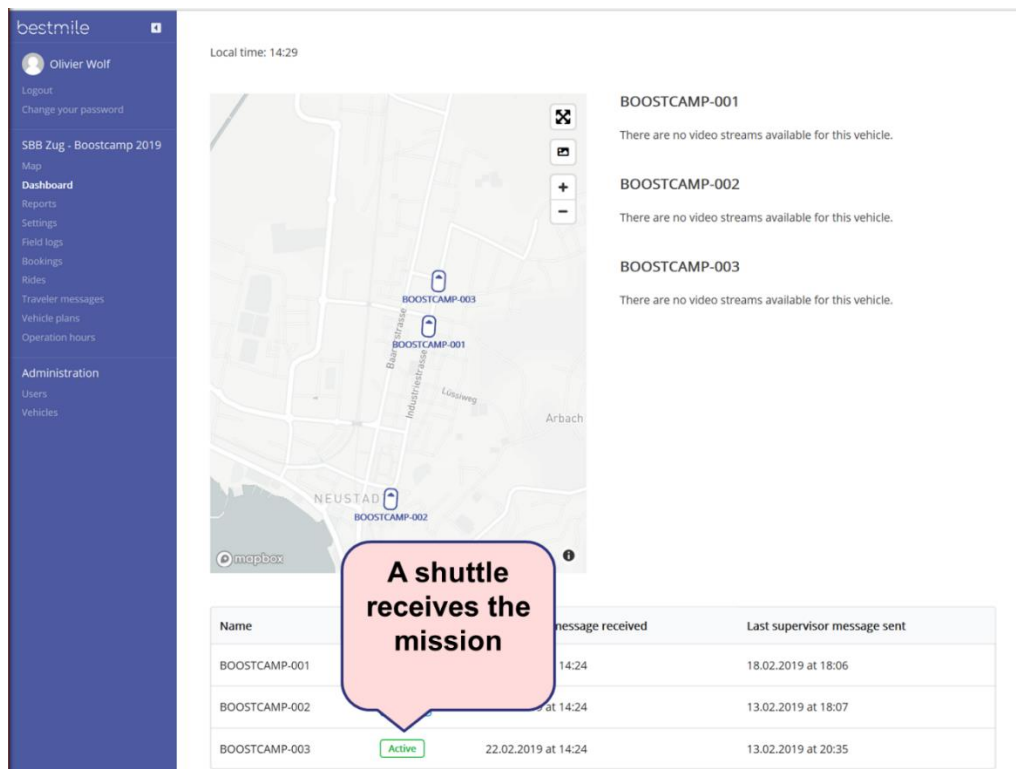


Abbildung 21: Shuttle erhält eine Mission im Bestmile-Backend

Das Shuttle erschien inklusive Fahrtrichtung in den Systemen der SBB, womit das Ziel dieses PoC erreicht war. Die Erkenntnisse werden im Anschluss in den Kapiteln 3.3.4 und 3.3.7 erläutert.

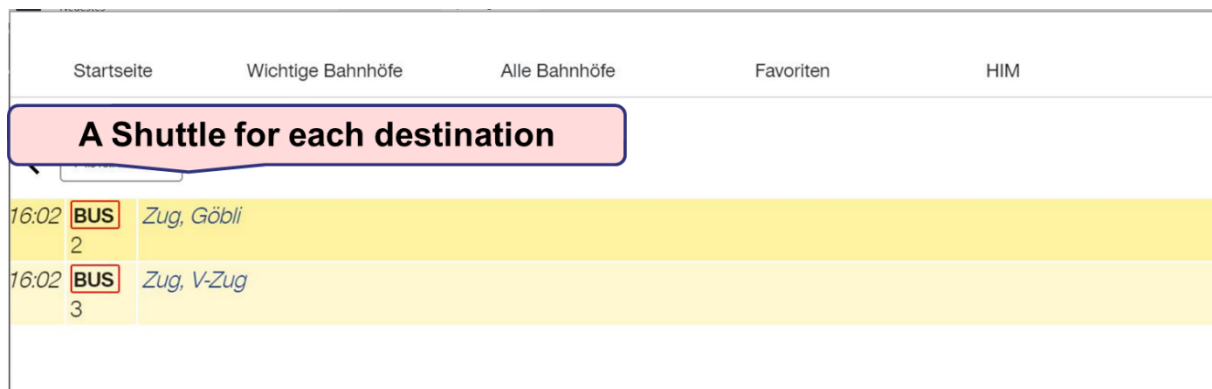


Abbildung 22: Das Shuttle erscheint in den Informationssystemen der SBB

Um das System und unsere Ingenieure weiter zu fordern, wurde versucht, ein Pooling²¹ zu erzeugen. Das Ziel des Pooling ist es, mehrere Buchungen aus dem MetaRouter auf ein Fahrzeug zu bündeln.

Auf Abbildung 22 erscheint in der zweiten Reihe das Shuttle mit Zielort V-Zug. In dieselbe Fahrtrichtung liegt auch die Station Göbli. Aus diesem Grund wurde die zweite Buchung nach Göbli durchgeführt, um ein Pooling zu provozieren.

²¹ Werden mehrere Kundenanfragen gebündelt, auch während das Shuttle bereits eine Kundenanfrage bedient, so handelt es sich um Pooling.

Das Bestmile-System hat dann die Buchung aus dem MetaRouter erfolgreich verarbeitet und die beiden Buchungen miteinander gebündelt. In Abbildung 23 sieht man die beiden Buchungen, denen dasselbe Fahrzeug zugewiesen wurde.

Time of booking	Desired pickup time	Planned pickup time	Pickup ETA	Dropoff ETA	Traveler	Assigned vehicle	
22.02.2019 at 15:56	22.02.2019 at 17:03	17:02	17:02	17:10	SFF_Boostcamp	BOOSTCAMP-003	Pooling 3 Vehicle assigned
22.02.2019 at 15:54	22.02.2019 at 17:03	17:02	17:02	17:10	SFF_Boostcamp	BOOSTCAMP-001	Vehicle assigned
22.02.2019 at 15:52	22.02.2019 at 17:03	17:02	17:02	17:10	SFF_Boostcamp	BOOSTCAMP-002	Pooling 3 Vehicle assigned
22.02.2019 at 15:47	22.02.2019 at 17:03	17:02	17:02	17:12	SFF_Boostcamp	BOOSTCAMP-003	Vehicle assigned
22.02.2019 at 15:41	22.02.2019 at 17:03	17:02	17:02	17:12	SFF_Boostcamp	BOOSTCAMP-001	Vehicle assigned

Abbildung 23: Pooling der Buchungen im Bestmile-Backend

Im Anschluss wurde der Adapter so eingestellt, dass er beide Fahrten innerhalb einer Zeile anzeigen konnte. Es war ersichtlich, dass «Bus Nummer 3» (s. Abbildung 24, neben der Uhrzeit) nicht nur nach V-Zug, sondern auch nach Göbli fährt. Damit wurden beide Zielorte für dasselbe Fahrzeug erfolgreich dargestellt.

Startseite	Wichtige Bahnhöfe	Alle Bahnhöfe	Favoriten	HIM
Zug, Metalli Ost (Bahnhof), 15:58				
Abfahrten ▾				
16:02	BUS	Zug, Göbli		
2				
16:02	BUS	Zug, Göbli - Zug, V-Zug		
3				
One Shuttle for more than one destination				

Abbildung 24: Anzeige der gepoolten Fahrten in SBB Systemen

Im Rahmen von «Fahrt und Halt auf Verlangen» war es nicht möglich, Informationen in den offiziellen Kundeninformationssystemen der SBB dynamisch darzustellen. Die obigen Tests wurden an Testsystemen durchgeführt. Die Produktivsysteme standen dafür verständlicherweise nicht zur Verfügung.

3.3.4. Kundeninformation vor Ort

Im Projekt wurde ein zweiter Weg zu dem oben genannten verfolgt. Einerseits wurden die Anschlussverbindungen des öffentlichen Verkehrs im MyShuttle angezeigt (wird in Abbildung 25 dargestellt), andererseits wurden die geplanten Abfahrtszeiten des Shuttles vom Hauptbahnhof Zug, einer der Endhaltestellen des Rundkurses, an den Abfahrtsanzeigen am Bahnhof gezeigt.

Die Abfahrtsanzeige im MyShuttle erfolgte über die standardisierten Kanäle des ÖVs, die man zur Einbindung in Homepages verwendet und die man über opentransportdata.swiss abrufen kann.

Zug				
Linie	Ziel	Abfahrt	Perron	
S2	Baar Lindenpark			3
IR70	Luzern	4 min		4
IR46	Zürich HB	4 min		5
IR70	Zürich HB	7 min		6
S24	Weinfelden	8 min		2
S2	Zug Oberwil	10 min		3

Metalli/Bahnhof			
Linie	Ziel	Abfahrt	
7	Zug, Postplatz	0 min	
6	Cham, Bahnhof	1 min	
7	Cham, Chamberried	7 min	
6	Cham, Bahnhof	7 min	
6	Zug, Postplatz	9 min	
4	Zug, Postplatz	11 min	

Abbildung 25: Anschlussmöglichkeiten (Anzeige im Shuttle)

Die Anzeige des Shuttles am Bahnhof war etwas komplizierter. Die heutigen ÖV-Kundeninformationssysteme bauen auf Haltestellen, Linien und einem Fahrplan auf.

Wie bereits erwähnt, wurde das Shuttle nicht als Gebietservice, sondern als klassischer Linienverkehr betrieben. Die Route des Shuttles wurde deshalb als «Linie 17» in das ÖV-Fahrplan- und Kundeninformationssystem und als «Linie 17» der Zugerland Verkehrsbetriebe aufgenommen (s. Abbildung 26).

Linie	Ziel	Abfahrt	Abfahrtsort
11	Zug, Schöneegg (Zugerberg)		Zug, Metalli/Bahnhof
3	Oberwil bei Zug, Klinik Zugersee		Zug, Metalli/Bahnhof
3	Baar, Lättich	1'	Zug, Metalli/Bahnhof
11	Zug, St. Johannes	3'	Zug, Landis & Gyr(Bhf)
1	Oberägeri, Station	3'	Zug, Bahnhofplatz
13	Zug, Obersack	3'	Zug, Bahnhofplatz
7	Zug, Postplatz	5'	Zug, Metalli/Bahnhof
4	Blickensdorf, Dorf	5'	Zug, Metalli/Bahnhof
6	Cham, Bahnhof	6'	Zug, Landis & Gyr(Bhf)
7	Zug, Technologiecluster	7'	Zug, Metalli/Bahnhof
7	Cham, Chamberried	12'	Zug, Landis & Gyr(Bhf)
2	Menzingen, Kreuzegg	16'	Zug, Bahnhofplatz
5	Walchwil, Bahnhof	17'	Zug, Bahnhofplatz
1	Oberägeri, Station	18'	Zug, Bahnhofplatz

Abbildung 26: Darstellung der «Linie 17» am Bildschirm im Bahnhof

Dazu wurde ein Fahrplan hinterlegt:

14 Verkehrsmittel gefunden. (21.09.2018 06:40)												
F.	V	VMNr	V	T	T	E.	V	von	nach	Ab	An	L.
20	BU	2	1	J	83%		18:	Zug, Metalli/Bahnhof	Zug, Technologiec	09:05	09:26	17
20	BU	4	1	J	83%		18:	Zug, Metalli/Bahnhof	Zug, Technologiec	10:05	10:26	17
20	BU	6	1	J	83%		18:	Zug, Metalli/Bahnhof	Zug, Technologiec	11:05	11:26	17
20	BU	8	1	J	83%		18:	Zug, Metalli/Bahnhof	Zug, Technologiec	12:05	12:26	17
20	BU	10	1	J	83%		18:	Zug, Metalli/Bahnhof	Zug, Technologiec	13:05	13:26	17
20	BU	12	1	J	83%		18:	Zug, Metalli/Bahnhof	Zug, Technologiec	14:05	14:26	17
20	BU	14	1	J	83%		18:	Zug, Metalli/Bahnhof	Zug, Technologiec	15:05	15:26	17
20	BU	1	1	J	83%		18:	Zug, Technologiecluster	Zug, Metalli/Bahnl	09:30	09:51	17
20	BU	3	1	J	83%		18:	Zug, Technologiecluster	Zug, Metalli/Bahnl	10:30	10:51	17
20	BU	5	1	J	83%		18:	Zug, Technologiecluster	Zug, Metalli/Bahnl	11:30	11:51	17
20	BU	7	1	J	83%		18:	Zug, Technologiecluster	Zug, Metalli/Bahnl	12:30	12:51	17
20	BU	9	1	J	83%		18:	Zug, Technologiecluster	Zug, Metalli/Bahnl	13:30	13:51	17
20	BU	11	1	J	83%		18:	Zug, Technologiecluster	Zug, Metalli/Bahnl	14:30	14:51	17
20	BU	13	1	J	83%		18:	Zug, Technologiecluster	Zug, Metalli/Bahnl	15:30	15:51	17

Abbildung 27: «Linie 17» in INFO+ ersichtlich

INFO+ ist die schweizerische ÖV-Kundeninformation-Datendrehscheibe, die sämtliche Fahrplaninformationen (Soll- sowie Ist-Zeiten) zusammenführt und für alle Transportunternehmer sowie Kunden zur Verfügung steht. Die SBB nimmt die Systemführerschaft von INFO+ im Auftrag des BAV wahr.

Die Grenzen der Kundeninformationssysteme des öffentlichen Verkehrs für bedarfsorientierte Shuttleservices waren:

- Sitzplatzreservierung und Information auf Kundeninformationskanal:**
 Automatisierte Shuttles wie das MyShuttle sind wesentlich kleiner als traditionelle Fahrzeuge des ÖVs. Im Schnitt haben die Fahrzeuge unter acht Sitzplätze. Die Fahrzeugkapazität sollte in den ÖV-Systemen erscheinen, damit grössere Bevölkerungsgruppen auf diesen Service zugreifen können. Aufgrund der beschränkten Sitzplatzzahl musste ein Reservationssystem eingeführt und dann vor Ort «eingehalten» werden, damit das System funktionierte. Aktuell gibt es keine Möglichkeit, dies in den IT-Systemen des ÖVs und betrieblich sinnvoll abzubilden, ohne ein paralleles IT-System zu den aktuell bestehenden Systemen aufzubauen.
- Gebiets- vs. Linienservice:**
 Der klassische ÖV orientiert sich an Linien und fixen Haltestellen. Moderne On-Demand-Systeme möchten aber näher an einen Tür-zu-Tür-Service heranrücken. Bei diesen Services kann man in einem definierten Gebiet (fast) beliebig zu- und aussteigen, zeitlich wie auch örtlich, ähnlich wie bei Taxis. Das war mit den bestehenden IT-Systemen des ÖVs ebenfalls nicht durchführbar. Für ÖV-Angebote müssten Fahrpläne sowie die angefahrenen Haltestellen hinterlegt sein. Der ÖV darf nicht abseits der Haltestellen stehen bleiben, weshalb ein Gebietservice schwer vorstellbar ist. Möglich wäre es beispielsweise, 1000 Haltestellen innerhalb eines Gebiets vorzudefinieren, um dann einen Tür-zu-Tür-Service zu ermöglichen. Da aber die Genehmigung von neuen Haltestellen Monate dauert und eine Einzelfallentscheidung ist, war dies in diesem Projekt nicht praktikabel.

- **Fahrplan vs. bedarfsorientiertes Angebote (On-Demand-Angebote):**

Für bedarfsorientierte Angebote, die nur auf Abruf fahren, sind keine Fahrpläne hinterlegt. Die ÖV-Systeme können nur Angebote abbilden, bei denen ein Fahrplan hinterlegt ist. Dieses Dilemma konnte im MyShuttle-Projekt nicht gelöst werden.

3.3.5. Die MyShuttle-Web-App

Die Firma Bestmile hat auf der Basis der bereits beim SFF-Pilotversuch der PostAuto AG in Sion verwendeten mobilen Applikation für das MyShuttle-Projekt ebenfalls eine Instanz aufgesetzt. Das Ziel war im Wesentlichen, einen Kunden- und Projektinformationskanal für die Testkunden bereitzustellen.

Die wesentlichen Funktionen der Web-App (s. Abbildung 28) waren:

- Karte: Darstellung der Echtzeit-Position des Shuttles, Streckenführung und Haltestellen
- Betriebszeiten
- Über das Projekt: Projektinformationen
- Projektvideos

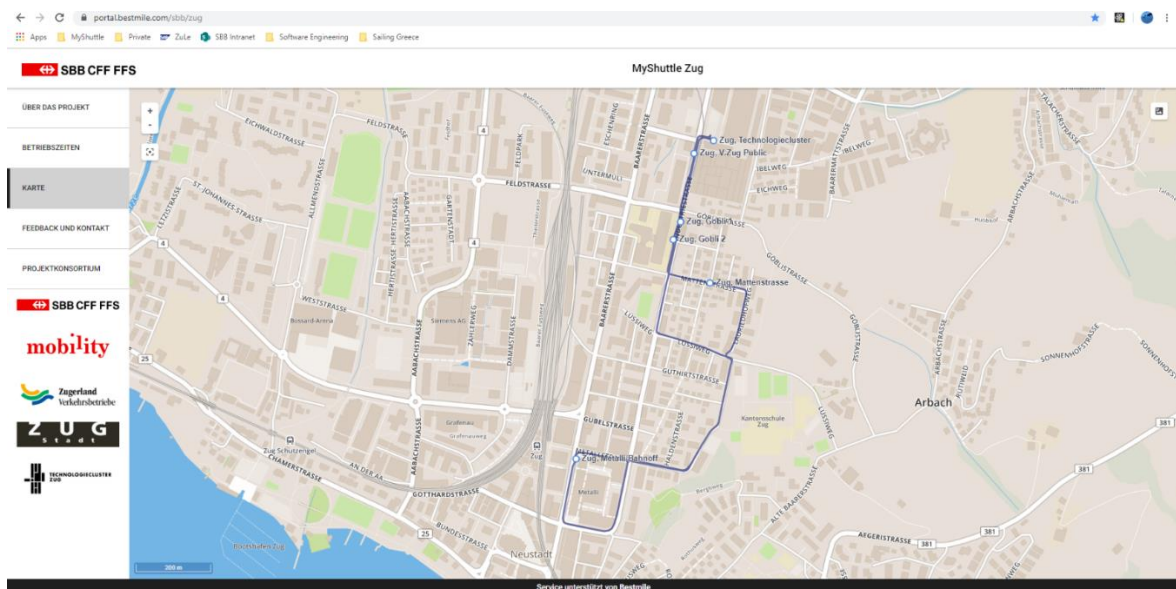


Abbildung 28: MyShuttle Web-App

Der Kunde hatte keine Möglichkeit, sich in der Web-App zu registrieren, weil dieses Feature nicht zur Verfügung stand. Funktionen, bei denen der Kunde Fahrwünsche eingeben konnte, konnten nicht in dieser Applikation umgesetzt werden. Dafür wurde eine andere App verwendet, die im Folgekapitel erläutert wird.

3.3.6. Fahrt und Halt auf Verlangen

Für Phase 1b und alle weiteren Projektphasen war eine aktive Kommunikation zwischen Fahrzeug und Dispatchingsystem notwendig, um Fahrt bzw. Halt auf Verlangen anbieten zu können. Der initiale technische Plan, dass das Dispatchingsystem direkt mit dem Fahrzeug kommuniziert und Fahraufträge (Missions) an das Fahrzeug übermittelt, wurde Anfang 2019 aufgegeben. Der

Fahrzeughersteller hatte nicht die notwendigen Schnittstellen (API), um Fahraufträge von externen Systemen, in unserem Fall des Dispatchers Bestmile, anzunehmen und keinen konkreten Entwicklungsplan.

Eine nachvollziehbare Schwierigkeit seitens EasyMile war, dass man sich in der eigenen Unternehmensstrategie nicht klar war, ob man in Zukunft Dispatchingsysteme entwickeln wolle oder nicht. Weiter war die sinnvolle Entwicklung einer nachhaltigen Application Programming Interface (API) aufgrund der zahlreichen Anforderungen aller Dispatchinganbieter kaum möglich, weil diese nicht vereinbar waren und es bis anhin keinen Standard gab. Laut EasyMile sei der externe Zugriff auf das Fahrzeug durch eine Mission aus Sicherheitsgründen kritisch und könnte missbraucht werden.

Um zumindest in einem schlanken Ansatz die Funktionalität zu testen, wurde die fehlende API durch manuelle Bedienung durch die SiFa überbrückt.

Die Lösung basierte darauf, dass der Endkunde in der MyShuttle-App einen Fahr- bzw. Haltewunsch äusserte, der daraufhin vom SiFa angenommen oder abgelehnt wurde. Dieser steuerte das Fahrzeug entsprechend.

Auf der Kundenseite wurde die «Zug On-Demand»-App von Bestmile verwendet (s. Abbildung 29). Der Kunde konnte zunächst Ziel und Startort auswählen sowie optional die Abfahrtszeit. Die Zwischenhaltestelle Göbli, die nur auf Verlangen angefahren werden sollte, konnte durch die App ebenfalls ausgewählt werden. In der App konnte die Fahrthistorie inkl. einer Bewertung und Status eingesehen werden.

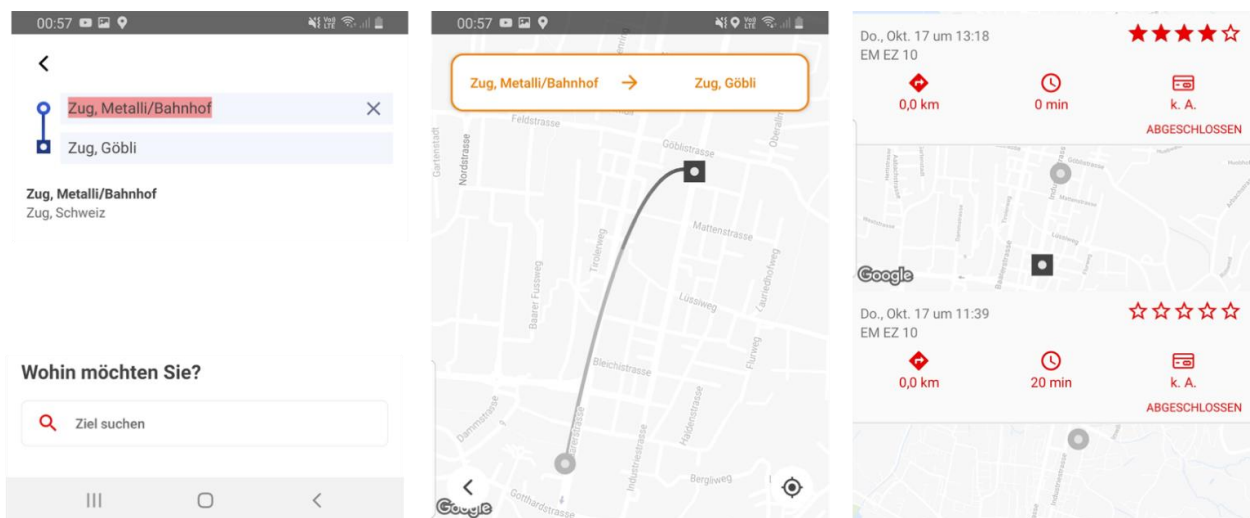


Abbildung 29: Zug On-Demand-App – Fahrt und Halt auf Verlangen

Diese Kundenwünsche erschienen in der Driver App, in der der SiFa diese quittierte. Ein Auszug aus der Statistik mit angenommenen sowie abgelehnten Kundenwünschen ist in Abbildung 30 ersichtlich.

Time of booking	Desired pickup time	Planned pickup time	Pickup ETA	Dropoff ETA	Traveler	Assigned vehicle	Status
12/12/2019 at 11:35 AM	12/13/2019 at 11:28 AM	11:28:00	11:21:00	11:30:00	Fahrplan Forcierung	MyShuttle Driver App	Completed
12/12/2019 at 11:34 AM	12/13/2019 at 11:10 AM	11:10:00	11:18:00	11:27:00	Fahrplan Forcierung	MyShuttle Driver App	Completed
12/12/2019 at 11:34 AM	12/13/2019 at 10:58 AM	10:58:00	10:58:00	11:07:00	Fahrplan Forcierung	MyShuttle Driver App	Completed
12/12/2019 at 11:33 AM	12/12/2019 at 3:40 PM	3:40 PM	4:31 PM	4:40 PM	Fahrplan Forcierung	MyShuttle Driver App	Canceled by the operator
12/12/2019 at 11:33 AM	12/12/2019 at 3:28 PM	3:28 PM	4:22 PM	4:31 PM	Fahrplan Forcierung	MyShuttle Driver App	Canceled by the operator
12/12/2019 at 11:32 AM	12/12/2019 at 3:10 PM	15:10:00	15:22:00	16:22:00	Fahrplan Forcierung	MyShuttle Driver App	Completed
12/12/2019 at 11:32 AM	12/12/2019 at 11:32 AM	--:--	--:--	--:--	Fahrplan Forcierung	-	No vehicle available
12/12/2019 at 11:31 AM	12/12/2019 at 2:58 PM	14:58:00	15:07:00	15:20:00	Fahrplan Forcierung	MyShuttle Driver App	Completed
12/12/2019 at 11:31 AM	12/12/2019 at 2:40 PM	14:40:00	14:51:00	15:06:00	Fahrplan Forcierung	MyShuttle Driver App	Completed
12/12/2019 at 11:31 AM	12/12/2019 at 2:28 PM	14:28:00	14:35:00	14:51:00	Fahrplan Forcierung	MyShuttle Driver App	Completed
12/12/2019 at 11:30 AM	12/12/2019 at 2:10 PM	14:10:00	14:41:00	14:49:00	Fahrplan Forcierung	MyShuttle Driver App	Completed
12/12/2019 at 11:30 AM	12/12/2019 at 11:30 AM	--:--	--:--	--:--	Fahrplan Forcierung	-	No vehicle available
12/12/2019 at 11:29 AM	12/12/2019 at 1:58 PM	13:58:00	14:32:00	14:41:00	Fahrplan Forcierung	MyShuttle Driver App	Completed
12/12/2019 at 11:29 AM	12/12/2019 at 1:40 PM	13:40:00	14:24:00	14:32:00	Fahrplan Forcierung	MyShuttle Driver App	Completed
12/12/2019 at 11:23 AM	12/12/2019 at 11:24 AM	11:34:00	11:40:00	11:48:00	Fahrplan Forcierung	MyShuttle Driver App	Completed
12/12/2019 at 11:09 AM	12/12/2019 at 1:28 PM	13:28:00	14:08:00	14:23:00	Fahrplan Forcierung	MyShuttle Driver App	Completed
12/12/2019 at 11:08 AM	12/12/2019 at 1:10 PM	1:10 PM	1:39 PM	1:48 PM	Fahrplan Forcierung	MyShuttle Driver App	Canceled by the operator
12/12/2019 at 11:08 AM	12/12/2019 at 12:58 PM	12:58:00	13:13:00	13:22:00	Fahrplan Forcierung	MyShuttle Driver App	Completed
12/12/2019 at 11:07 AM	12/12/2019 at 12:40 PM	12:40:00	12:53:00	13:13:00	Fahrplan Forcierung	MyShuttle Driver App	Completed
12/12/2019 at 11:06 AM	12/12/2019 at 11:07 AM	11:21:00	11:40:00	11:48:00	Fahrplan Forcierung	MyShuttle Driver App	Completed

Abbildung 30: Driver App – Statistik der Fahrt- und Haltewünsche

Der gewählte Ansatz offenbarte mehrere Schwachstellen, die teilweise dem schlanken Ansatz (möglichst wenig an der bestehenden Software anpassen und kurze Entwicklungszeit) geschuldet waren:

- Die App enthielt etliche Bugs.
- Kunden konnten nur innerhalb der Betriebszeiten Buchungen durchführen, auch wenn der Fahrtwunsch nicht für den gleichen Tag war. Somit konnten beispielsweise am Vorabend oder am frühen Morgen keine Vorausbuchungen für den Betriebsstart durchgeführt werden.
- Kunden konnten über die App nicht ausführlich benachrichtigt werden. Zum Beispiel wenn kein Betrieb durchgeführt werden konnte (Wetter), so musste der Kunde auf der Website nachsehen, um den Grund und den Status der Betriebspause zu erfahren.
- Adressen wurden nicht korrekt erkannt und zeitweise falschen Haltestellen zugeordnet, sodass Kunden lange und nicht notwendige Fusswege zurücklegen mussten.
- Der Screen Flow bzw. der Ablauf der Eingabe war kundenseitig nicht klar. Statt wie bei ähnlichen Services üblich zuerst Start- und Zielort einzugeben, wurde die Reihenfolge der Eingabe umgedreht und es war nicht ersichtlich, ob die Eingabe der Orte erfolgreich war oder nicht. Dies führte zu Irritationen und fehlerhaften Anfragen.
- Im System war keine saubere Richtungslogik hinterlegt. Beispielsweise konnte die Haltestelle Göbli aus Richtung V-Zug und aus Richtung Metalli angefahren werden. Das Bestmile-System erkannte jedoch nur, dass sich das Fahrzeug der Haltestelle Göbli näherte, aber nicht, aus welcher Richtung. Daher konnte es sein, dass eine baldige Ankunftszeit eigentlich falsch war, weil sich das Fahrzeug aus der falschen Richtung näherte und erst noch eine lange Schleife fahren musste, bis es tatsächlich bei Göbli ankam.
- Die Destination konnte nicht während der Fahrt verändert werden, sondern nur bei Stillstand. Somit konnte es vorkommen, dass Kunden einer Fahrt zugeteilt waren, aber das Fahrzeug, das schon unterwegs war, nicht anhielt.

Letztendlich hatte sich gezeigt, dass rudimentäre On-Demand-Funktionalitäten mit dem MyShuttle abbildbar waren, aber die von Bestmile zur Verfügung gestellte Software zu dem Zeitpunkt nicht den benötigten Reifegrad besass. In zukünftigen Versuchen ist zu empfehlen, bereits etablierte Dispatchingsoftware zu verwenden.

3.3.7. Integrierte Kundeninformation am Beispiel der App SBB Mobile

Beispielhaft wurde ein sogenannter Clickdummy, also eine App ohne Funktionen, erstellt, um das Buchungserlebnis eines potentiellen On-Demand-Services zu simulieren.

Abbildung 31 zeigt dabei die Buchung, in dem der erste Teil der Reise ein On-Demand-Shuttle ist. Abbildung 32 zeigt eine Reise, bei der zuerst eine Bahnreise und dann der On-Demand-Shuttle folgt.

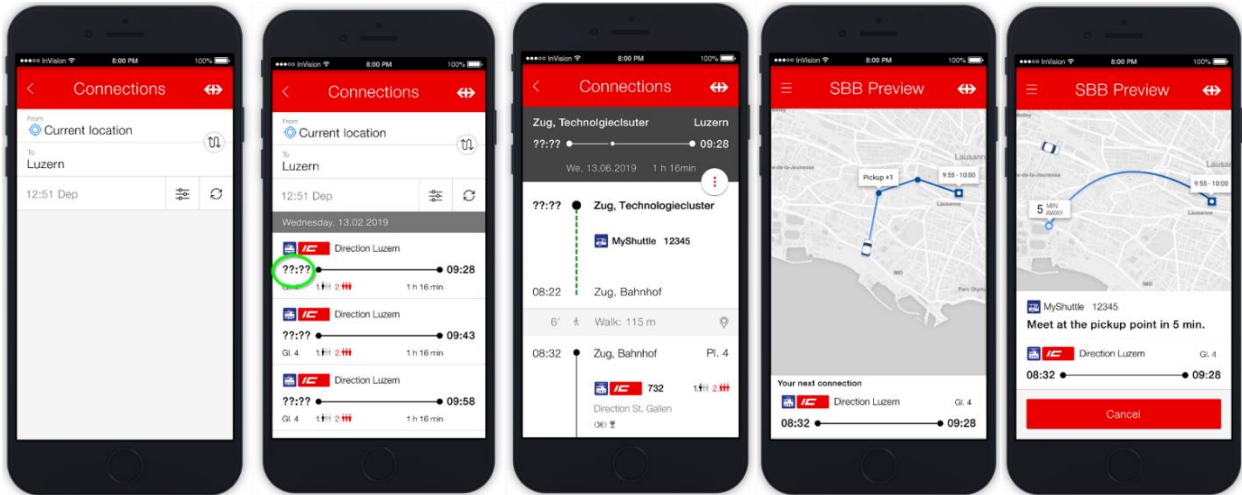


Abbildung 31: On-Demand Angebot zum Start der Reisekette

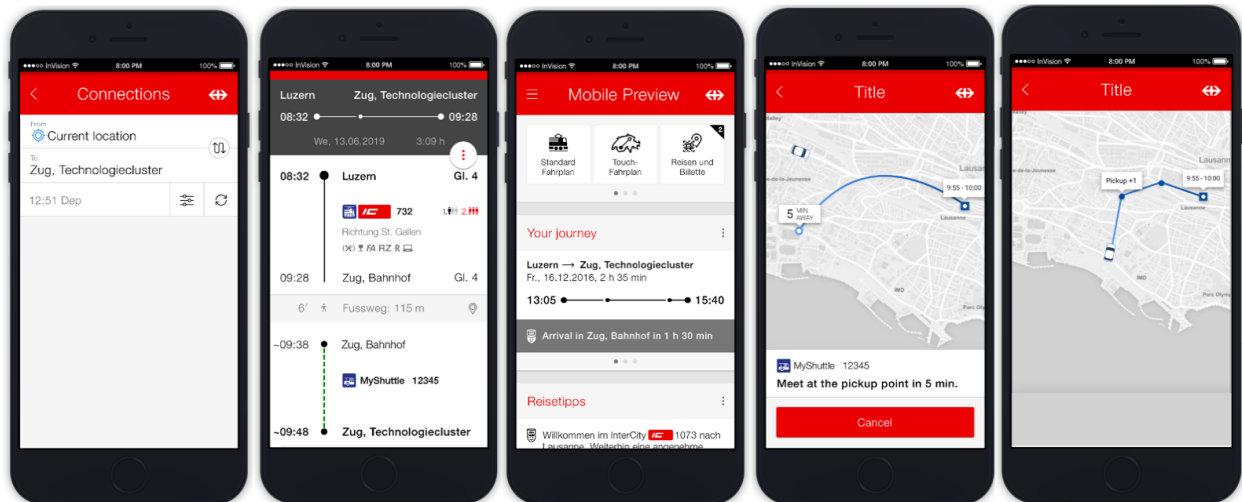


Abbildung 32: On-Demand Angebot am Ende der Reisekette

Spannend war die Erkenntnis, dass es sehr schwer ist, mit On-Demand-Angeboten eine sichere Ankunftszeit (d.h. Anschlusssicherung) zu gewährleisten, ohne wichtige Betriebsparameter wie Pooling-Rate zu beeinflussen. Es braucht weitere Projekte, um Know-how zu diesem Thema aufzubauen.

3.4. Betrieb

3.4.1. Betriebsvorbereitung und Betriebsführung

Die Betriebsgenehmigung wurde durch das ASTRA koordiniert sowie durch das UVEK erteilt und setzt sich aus einer Reihe von Anforderungen zusammen:

- Homologation des Fahrzeugs
- Betriebskonzept
- Sicherheitskonzept
- Konzession (bzw. Ausnahme)
- Routenbeschreibungen
- polizeiliche Genehmigungen
- Zustimmungen des Kantons sowie der Stadt

Alle genehmigungsrelevanten Dokumente wurden dem ASTRA vorgelegt.

Im Dezember 2018 wurde die Betriebsgenehmigung erteilt und der Pilotbetrieb wurde im Jahr 2019 auf öffentlichen Strassen durchgeführt.

Ein wesentlicher Teil der Betriebsgenehmigung bildete das Sicherheitskonzept. Es verfolgte das Ziel, ein definiertes Schutzniveau zu erreichen. So sollte die Verkehrs- und Betriebssicherheit des automatisierten Fahrzeugs im Pilotbetrieb gewährleistet werden, um die Gefährdung von Personen und Sachen so weit wie möglich zu vermeiden.

Das Sicherheitskonzept für den Pilotbetrieb des EZ10 in Zug definierte und regelte Massnahmen für:

- das Fahrzeug selbst und das übergeordnete Systemkonzept
- Prüfungen und Tests sicherheitsrelevanter Funktionen des Fahrzeugs vor dem Einsatz des EZ10 im öffentlichen Raum durch unabhängige Institute und Behörden
- Auswahl geeigneter Teststrecken und Wetterbedingungen
- Vorschriften für den Betrieb und Wartung sowie die Kontrolle von deren Einhaltung
- Schulung der Projektbeteiligten und aufgabenbezogene Checklisten
- Dokumentation des Betriebs und abgestimmte Optimierung

Abklärungen der ZVB beim BAV sowie beim Kanton Zug ergaben, dass für den Pilotbetrieb des automatisierten Fahrzeugs keine Konzession erforderlich war, solange nicht mehr als acht Personen (plus ein Sicherheitsfahrer) transportiert wurden und für die Mitfahrt kein Besitz eines Tickets des öffentlichen Verkehrs vorausgesetzt wurde.

Das Fahrzeug wurde daraufhin für maximal acht Passagiere (6 Sitzplätze, 2 Stehplätze) plus einen Sicherheitsfahrer zugelassen. Für die Freigabe des Pilotbetriebs durch das Bundesamt für Strassen (ASTRA) war nebst einer Fahrzeugzulassung eine Einverständniserklärung der örtlichen Polizei erforderlich.

Bevor das Shuttle bedient werden durfte, wurde zusammen mit dem Fahrzeughersteller EasyMile ein Trainingskonzept erstellt. Die Kursgestaltung und -durchführung erfolgte nach dem von EasyMile standardisierten Vorgehen. Die Dauer der Grundausbildung betrug somit pro Sicherheitsfahrer acht Stunden. Alle vier Sicherheitsfahrer, allesamt bereits erfahrene Buschauffeure, hatten die Schulung erfolgreich, auf dem Level des Operators, mit einem Zertifikat abschliessen können. Zudem wurden bei Implementierungen neuer Fahrzeugfunktionen (Fahrzeugupdate, Geschwindigkeitserhöhung etc.) Refresh-Kurse gemeinsam mit EasyMile durchgeführt, um diese den Sicherheitsfahrern zu erläutern.

3.4.2. Betriebsüberwachung und Integration Betriebszentrale

Innerhalb der SBB wird die schweizweite Verkehrssteuerung (der Schiene), die Kundeninformation und der technische Betrieb weitestgehend über vier Betriebszentralen gesteuert: Lausanne, Olten, Zürich Flughafen und Pollegio im Tessin.

Testweise wurde im Rahmen dieses Projekts der operative Betrieb des MyShuttles so weit wie möglich in die normalen Abläufe der Betriebszentrale am Standort Zürich Flughafen (nachfolgend BZ genannt, s. Abbildung 33) integriert. Diese übernahm die Fernüberwachung des sich im Einsatz befindenden Fahrzeugs und unterstützte den operativen Einsatz durch ein 4-Augen-Prinzip. Der Betriebskoordinator konnte durch eine Monitoring- und Steuerungssoftware von EasyMile den Shuttle-Betrieb überwachen und wurde über Störungen informiert.

Die BZ konnte in direkten Kontakt mit dem Sicherheitsfahrer treten, sei es per Telefon oder per Microsoft Teams (App) – auch ausserhalb der definierten Prozesse. Die Betriebszentrale überprüfte zu Tagesbeginn jeweils die Betriebsfreigabe und am Abend das Betriebsende.



Abbildung 33: Typischer Arbeitsplatz in der SBB Betriebszentrale (BZ)

Im Ereignisfall (Unfall) sollte die BZ mit den Blaulicht-Organisationen Kontakt aufnehmen und die Sicherheitsfahrer unterstützen, soweit diese Hilfe notwendig wäre. Dies war während der gesamten Projektlaufzeit nie der Fall.

3.4.3. Betriebsprozesse

Für den Betrieb wurden drei Hauptrollen definiert: Sicherheitsfahrer (SiFa), Betriebskoordinator und Betriebsleitung. Die Betriebsleitung war in Personalunion mit der Projektleitung. Die Betriebskoordinatoren wurden von der BZ der SBB gestellt.

Bevor das Fahrzeug in den täglichen Betrieb übergeben werden konnte, musste die technische Stabilität und Sicherheit überprüft und zertifiziert werden. Hierzu wurde ein Betriebskonzept erarbeitet, das die für den MyShuttle-Betrieb nötigen Schritte definierte.

Aus diesem Konzept wurden Checklisten abgeleitet, welche für alle Prozessbeteiligten genaue Arbeits- und Prüfschritte vorgaben. Dadurch konnte der Betrieb freigegeben, abgeschlossen und

dokumentiert werden. Die Checklisten wurden zuerst in Papierform aufgelegt und dann, ab April 2019, über Microsoft-Forms-Anwendung digitalisiert (s. Abbildung 34).

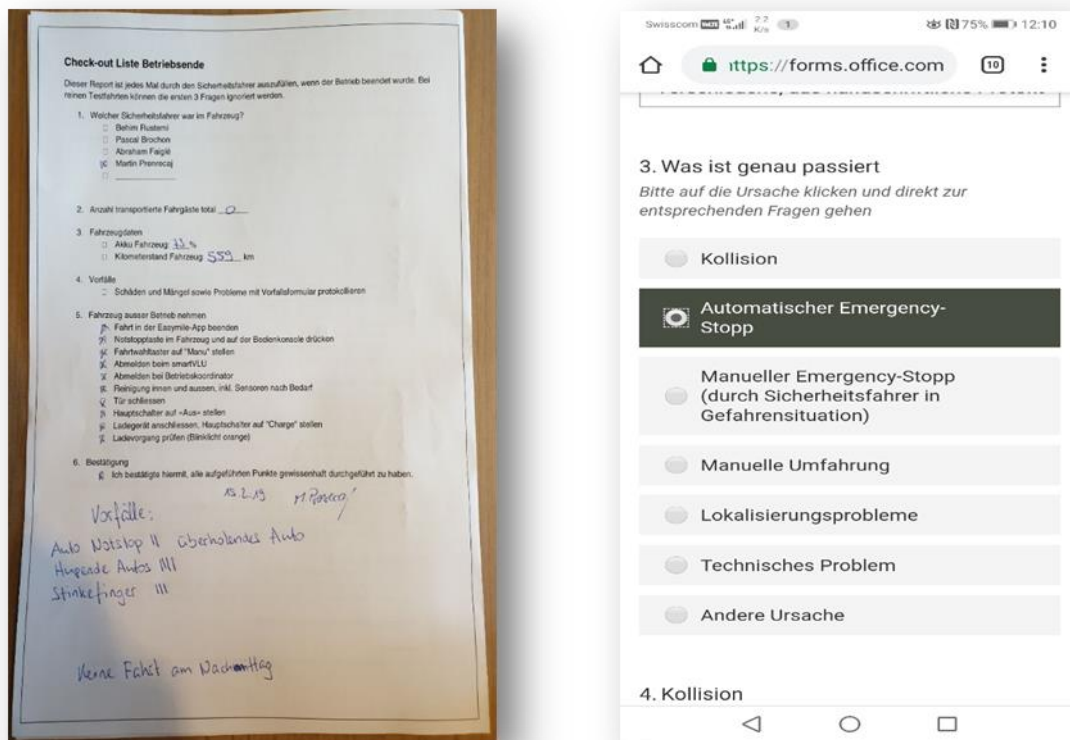


Abbildung 34: Digitalisierung der Checklisten

Während in Checklisten betriebliche Daten wie Start- und Endzeit des täglichen Betriebs, signifikante Störungen, zurückgelegte Kilometer und Anzahl der transportierten Personen durch die Sicherheitsfahrer gemeldet wurden, enthielten die EasyMile-Datenlogs Angaben zu Fahrtdaten sowie zu jeglichen Eingriffen des Sicherheitsfahrers während des Betriebs des MyShuttles.

Wie Abbildung 35 zu entnehmen ist, unterteilte sich der Normalbetrieb²² grundsätzlich in folgende Blöcke:

²² Der Normalbetrieb beschreibt einen reibungslosen Betriebsverlauf.

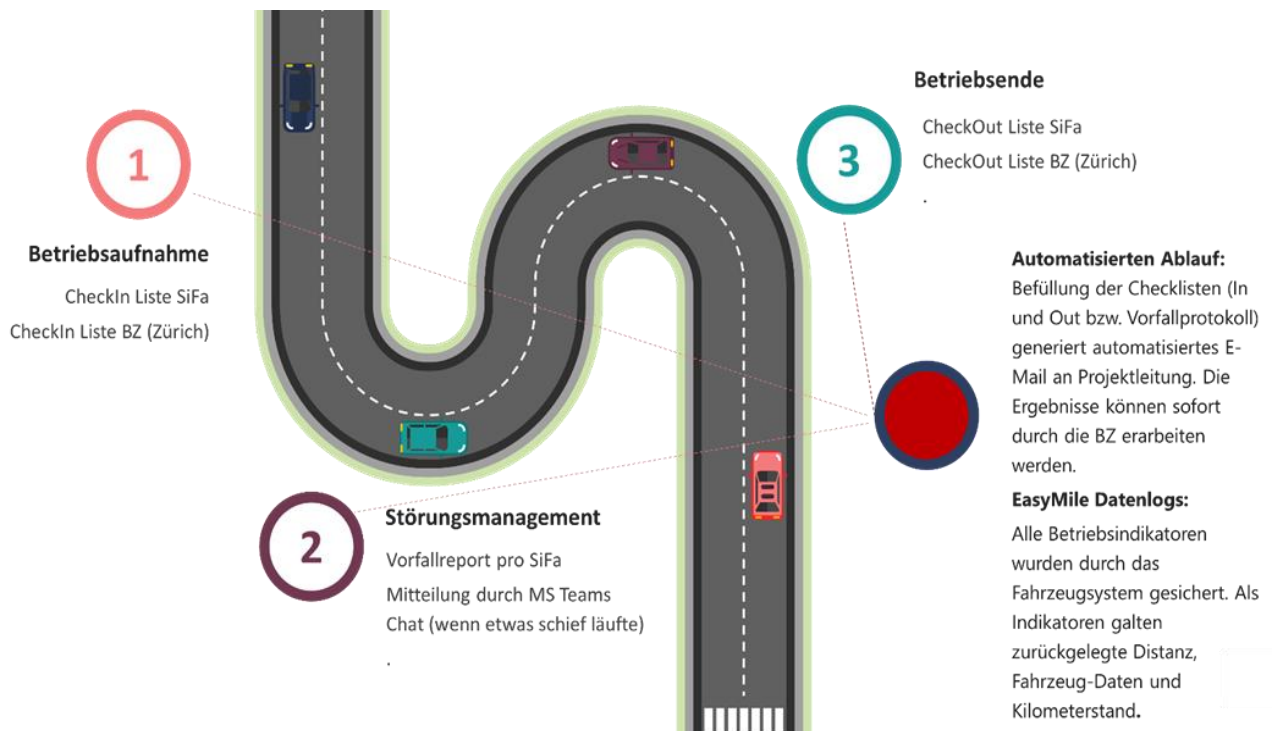


Abbildung 35: Ablauf der betrieblichen Prozesse

Vorbereitung

Vor der Betriebsaufnahme wurde die Fahrtauglichkeit des Fahrzeugs durch den Sicherheitsfahrer anhand der elektronischen «CheckIn»-Liste geprüft. Die Liste enthielt optische, technische und funktionale Punkte.

Zusätzlich wurde mit der «CheckIn»-Liste geprüft, ob das Wetter den Betrieb erlaubte. Der Sicherheitsfahrer schickte die ausgefüllte «CheckIn»-Liste elektronisch ab. Der Betriebskoordinator kontrollierte, ob die dokumentierte Situation einen sicheren Betrieb erlaubte, und gab die geplante Route dem Sicherheitsfahrer für den Betrieb frei.

Entsprachen das Fahrzeug oder die Wetterbedingungen nicht dem Sollzustand, pausierte der Betrieb bis zur Behebung des Mangels oder bis zu einer Wetterbesserung.

Betriebsführung

Am Startpunkt der Route wählte der Sicherheitsfahrer die geplante Route auf dem Bordcomputer aus, welche dann im automatischen Modus durchgeführt wurde. Allfällige Hindernisse umfuhr der Sicherheitsfahrer im manuellen Modus.

Der SiFa war ähnlich wie im klassischen Busbetrieb für eine Reihe von Dingen verantwortlich. Beispielsweise für die Einhaltung der Maximalbesetzung des Fahrzeugs, Protokollierung und Verständigung der BZ bei Normabweichungen oder besonderen Vorkommnissen, Einhaltung der Ruhezeiten oder zur Sicherstellung seiner Bereitschaft, um bei Notfällen in den manuellen Fahrmodus schalten zu können.

Nachbereitung

Die Nachbereitung fand jeweils kurz vor Ende der Schicht statt. Das Fahrzeug wurde gemäss der elektronischen «CheckOut»-Liste ausser Betrieb genommen. Der SiFa schickte diese Liste elektronisch ab und liess sie von der BZ quittieren. Der Sicherheitsfahrer meldete sich schlussendlich beim Betriebskoordinator ab, welcher noch eine eigene Kontrollliste für den Dienstschluss ablegte.

3.4.4. Schichtplanung

Die Einteilung der Schichten sah eine wöchentliche Rotation zwischen vier Sicherheitsfahrern der ZVB vor. Die Schichten wurden an Wochentagen von Montag bis Freitag durchgeführt und gemäss der untenstehenden Tabelle 3 verteilt. Die Schichten waren unterschiedlich gestaltet, je nachdem, ob die Fahrten im Rahmen der Cases oder als Tests zur Fahrzeugstabilität durchgeführt wurden.

Für die Behebung technischer Probleme des Fahrzeugs – mit Unterstützung durch den Fahrzeughersteller – wurde die Urlaubspause der Sicherheitsfahrer im August 2019 genutzt. Zusätzlich zu einem Update der Fahrzeug-Software konnte die Geschwindigkeit im automatisierten Modus von 13 km/h auf 16 km/h (manueller Modus: 7 km/h auf 10 km/h) erhöht werden. Der Aufenthalt von EasyMile wurde ebenfalls zum Mappen von fehlenden Streckenabschnitten der Route 2D und Route 6 genutzt.

Einsatzplanung 2019	
Monate	Januar – Dezember 2019
Betriebszeiten	8.00 h – 16.00 h (inkl. Pausenzeit)
Rotation	Die Schichten MYS1(Vormittag) und MYS2 (Nachmittag) wurden wie folgt in der Disposition der ZVB erfasst: MYS1 jeweils Montag bis Freitag MYS2 jeweils Dienstag und Donnerstag
Bemerkung	Die Schichten beinhalteten nicht nur das eigentliche Fahren, sondern auch die Fahrzeugvorbereitung (Inbetriebnahme), die Koordination mit der BZ der SBB und mit den anderen Sicherheitsfahrern, die Ausserbetriebnahme sowie alle Rapporte und falls nötig Wegzeiten. Sonderfahrten für Delegationen, wie z.B. ASTRA Geplante Betriebsferien und Instandhaltungsarbeiten
Use Case	Während der Use Cases wurden zusätzlichen Schichten nach Definition angepasst. Durchführung nach festem Takt für geplante Kundengruppen von 10.00 h bis 16.00 h

Tabelle 3: Einsatzplanung Betrieb

Der prozentuale Einsatz des Fahrzeugs wurde auf der Grundlage der verschiedenen, dem Sicherheitsfahrer zugewiesenen Schichten berechnet. Insgesamt lag der Einsatz des Fahrzeugs, gemäss Einsatzplanung der Sicherheitsfahrer, für das ganze Jahr 2019 bei 84%.

In Abbildung 36 sind die geplanten und durchgeführten Schichten für das Betriebsjahr 2019 aufgelistet.

Bei schlechtem Wetter, z.B. bei Schnee, war die Leistung des Shuttles stark beeinträchtigt. Schnee veränderte die Wahrnehmung der Sensoren des Fahrzeugs. In den ersten Monaten des Jahres 2019 verhinderte die Kälte weitgehend einen kontinuierlichen Betrieb. Zwischen Februar und März 2019 wurden die Operationen wegen des Schnees und wegen technischer Defekte für einige Wochen unterbrochen. Mitte Juli kam es zu einem Lokalisierungsproblem. Der Signalverlust zwang die Sicherheitsfahrer, die Route für drei Tage (von Route 5 auf Route 4) zu ändern. Ab September konnte Route 6 befahren werden, das Lokalisierungsproblem trat nicht mehr auf und der Betrieb stabilisierte sich merklich.

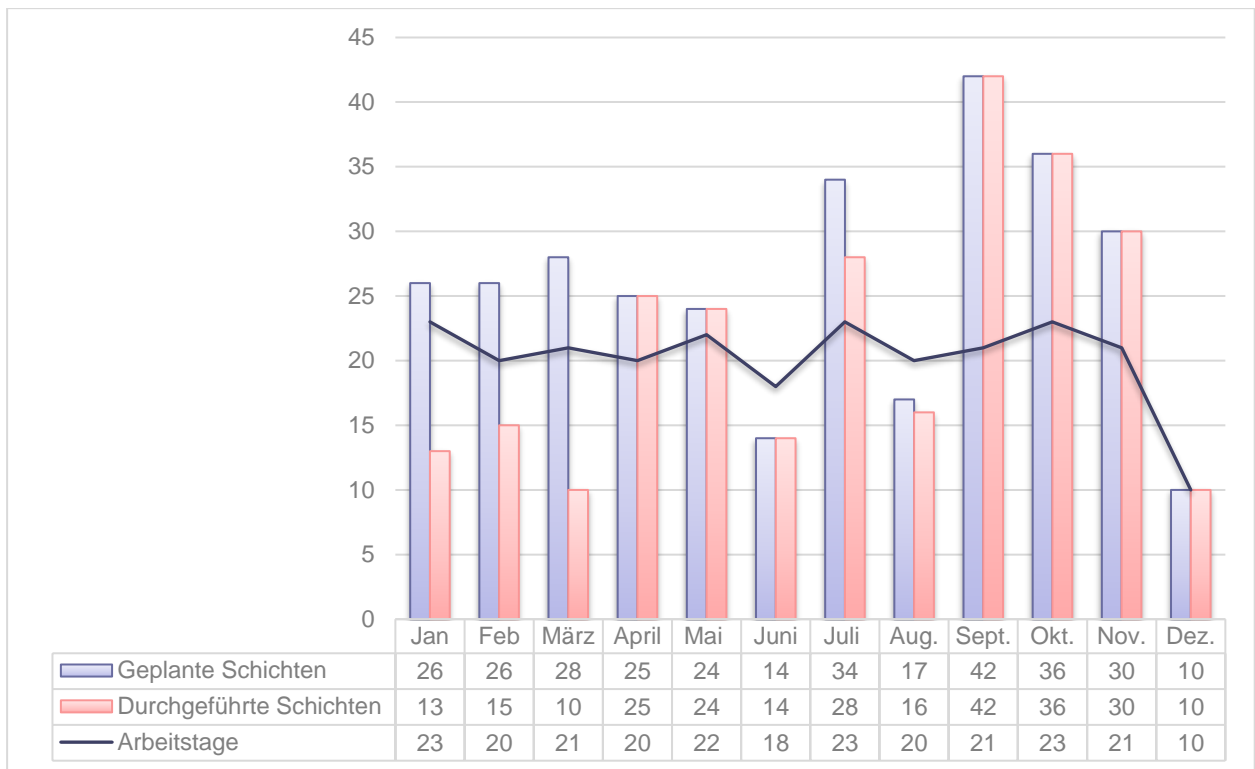


Abbildung 36: Fahrzeug-Einsatz gemäss Schichtplanung

4. Erkenntnisse

4.1. Betrieb

4.1.1. Datenauswertung

Wie im Kapitel 3.4.3 erläutert, beinhaltet der tägliche Betrieb jeweils das Prüfen des Fahrzeugs anhand definierter Checklisten (In/Out und bei Ereignis Vorfalreport) durch die Sicherheitsfahrer (SiFa). Die Daten wurden digital erfasst. Als Grundlage für die betrieblichen Kennzahlen dienten die EasyMile-Datenlogs und die Checklisten, die von den Sicherheitsfahrern ausgefüllt wurden. Die Checklisten dienten auch als Betriebssicherung sowie als Informationsbericht für die Betriebsleitung und Betriebszentrale. Alle betrieblichen Kennzahlen wurden aus den Checklisten und den EasyMile-Datenlogs abgeleitet.

Das MyShuttle erreichte im Laufe des Jahres 2019 einen kumulierten Kilometerstand von 2561 km. Bei seinem Start auf öffentlicher Strasse im Januar 2019 lag der Kilometerstand bei 293 km. In Abbildung 37 sind die monatlich gefahrenen Kilometer dargestellt. Sie zeigen den automatischen und manuellen Anteil pro Monat sowie den Prozentsatz im automatisierten Modus. Gründe für die Schwankungen waren u.a. notwendige Eingriffe durch Sicherheitsfahrer, wie z.B. manuelles Umfahren oder auch Fahrzeugstörungen. Die Fahrzeugtechnologie und -konfiguration wurde während des Jahres 2019 kontinuierlich verbessert. Das Mapping wurde bis zum Betriebsende für sechs der sieben genehmigten Routen abgeschlossen und die maximale Geschwindigkeit sukzessive von 10 km/h auf 13 km/h und final auf 16 km/h erhöht.

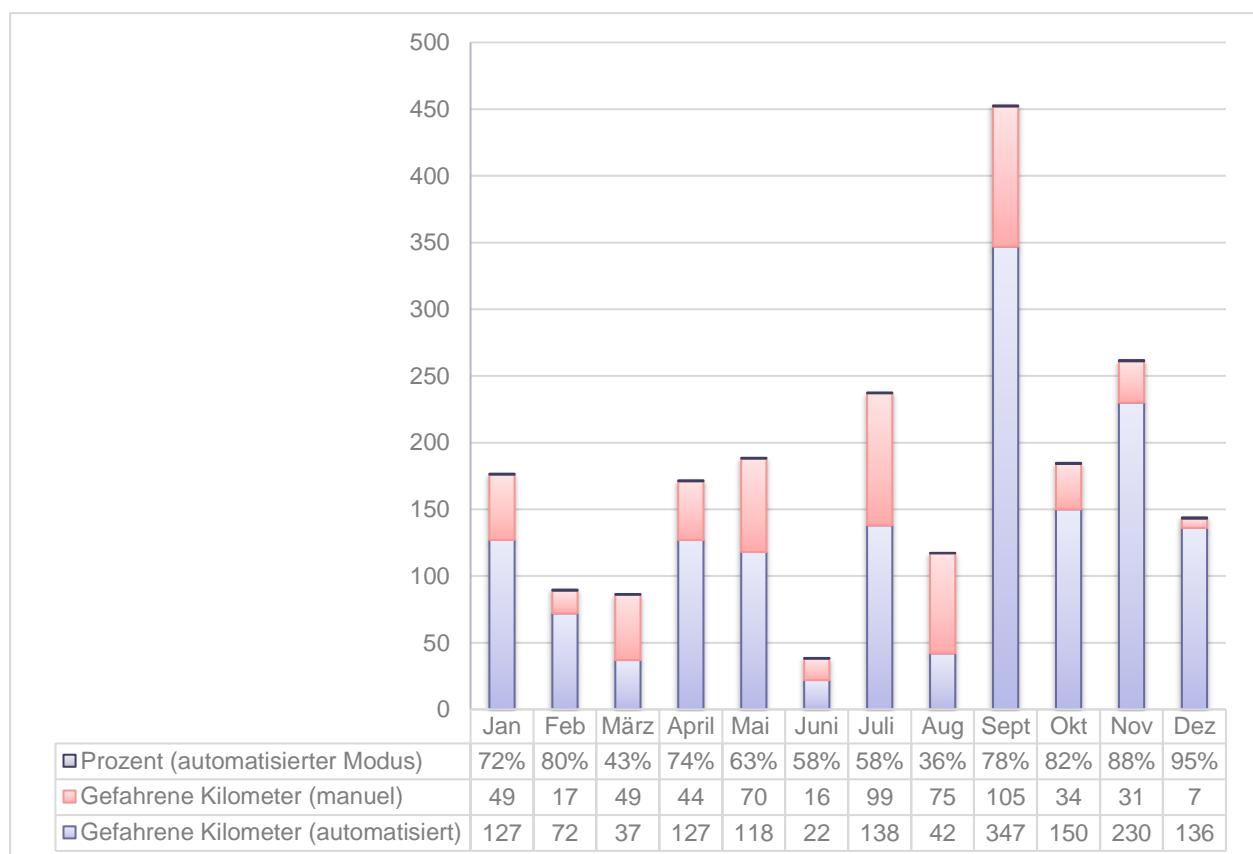


Abbildung 37: Anteil an automatisierten Fahrten

Die Ergebnisse können angesichts der Ambition dieses Projekts als positiv bewertet werden. Es konnten 84% aller Kilometer 2019 automatisiert zurückgelegt werden. Insbesondere war ab September 2019 bei den mit dem MyShuttle gefahrenen Kilometern eine deutliche Verbesserung zu verzeichnen. Dies lag auch an einer höheren technischen Zuverlässigkeit des Fahrzeugs, welche einen stabileren Betrieb ermöglichte. Der Rückgang der Kilometeranzahl im Dezember 2019 lag an der geringen Anzahl der geplanten Schichten (s. hierzu auch Abbildung 36). Zudem verlief das gesamte Betriebsjahr 2019 unfallfrei.

Die ersten Betriebsmonate waren von technischen Problemen geprägt, die sich auf die Nutzung des Shuttles und die Durchführung des ersten Case, insbesondere im Februar und März 2019, auswirkten. So wurde der Start des ersten Case auf April 2019 verschoben. Eine detaillierte Beschreibung der Cases erfolgt im Kapitel 4.2.

Im Vergleich zu anderen Projekten war die Zahl der transportierten Passagiere gering. Grund hierfür war der Forschungscharakter, den dieses Projekt verfolgt hatte. Wie in Abbildung 38 dargestellt, wurden die höchste Passagierzahl im Rahmen der Bevölkerungsfahrten im September 2019 erreicht. In der Tat nahmen viele an Innovationen und SFF interessierte Personen teil. Es ist zu konstatieren, dass der tatsächliche Nutzen des Services beschränkt war. Der parallellaufende Linienbusverkehr war deutlich schneller und Besucher kamen in der Regel nur einmal, um den Shuttle auszuprobieren. Daher bleibt die Anzahl der Fahrgäste etwas verzerrt.

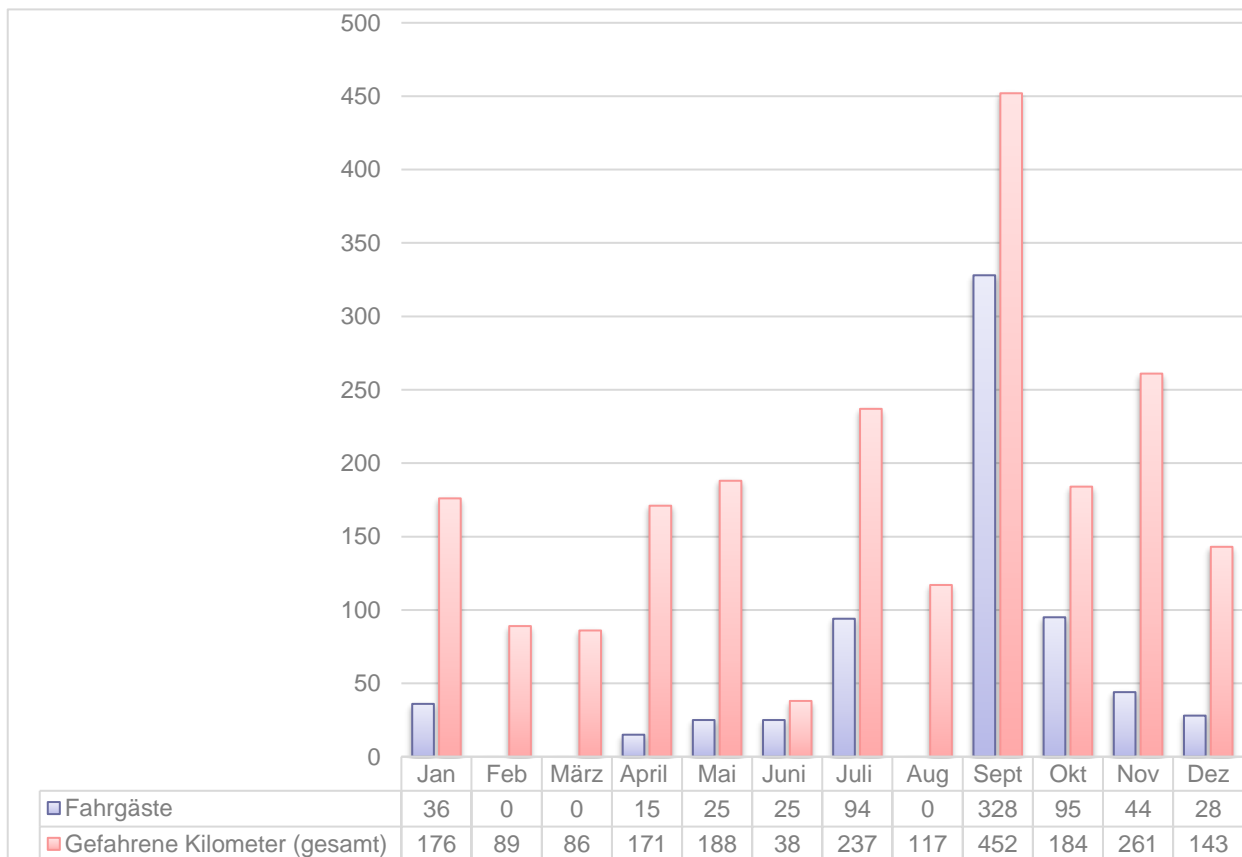


Abbildung 38: Anzahl Fahrgäste in Relation zu gefahrenen Kilometern

Die Sicherheitsfahrer mussten verschiedene Eingriffe im manuellen Modus durchführen, wenn das Fahrzeug EZ10 auf Hindernisse stieß. Darüber hinaus mussten diese Eingriffe durch einen Vorfalldokumentiert werden. Die Anzahl der Eingriffe wurde vor allem durch die Komplexität der Strecke und durch Hindernisse, wie beispielweise Baustellen oder falsch parkierte Autos,

beeinflusst. Die untenstehende Abbildung 39 zeigt die häufigsten Eingriffe, die in den EasyMile-Datenlogs aufgeführt wurden.

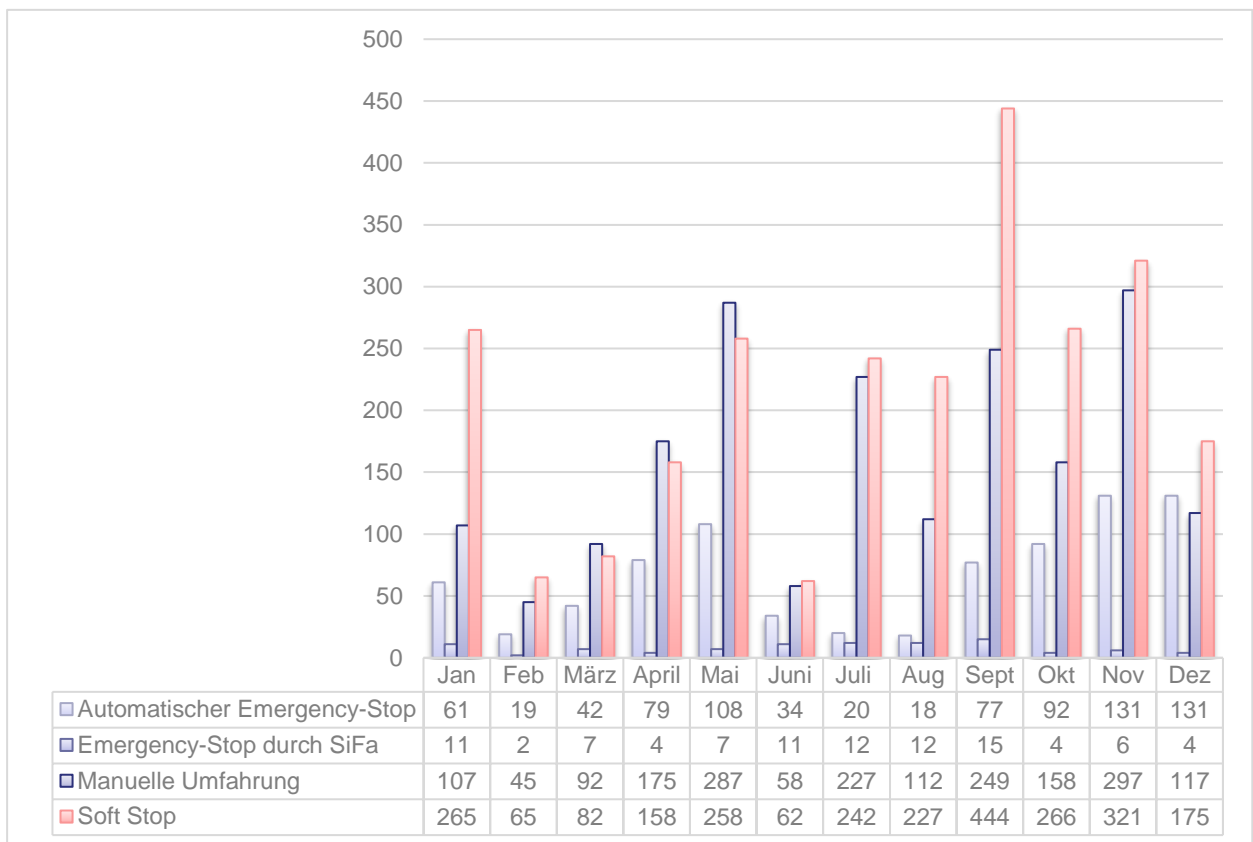


Abbildung 39: Eingriffe in den Fahrbetrieb

Sogenannte Emergency Stops waren Nothalte, die das Fahrzeug in einer Gefahrensituation durchführte. Diese konnten auf Systemausfälle, jedoch mehrheitlich auf Hindernisse in der Fahrspur zurückverfolgt werden. Emergency Stops wurden durch das Fahrzeug oder durch den SiFa durchgeführt und sind in Abbildung 40 beispielhaft für die Route 5 verortet.

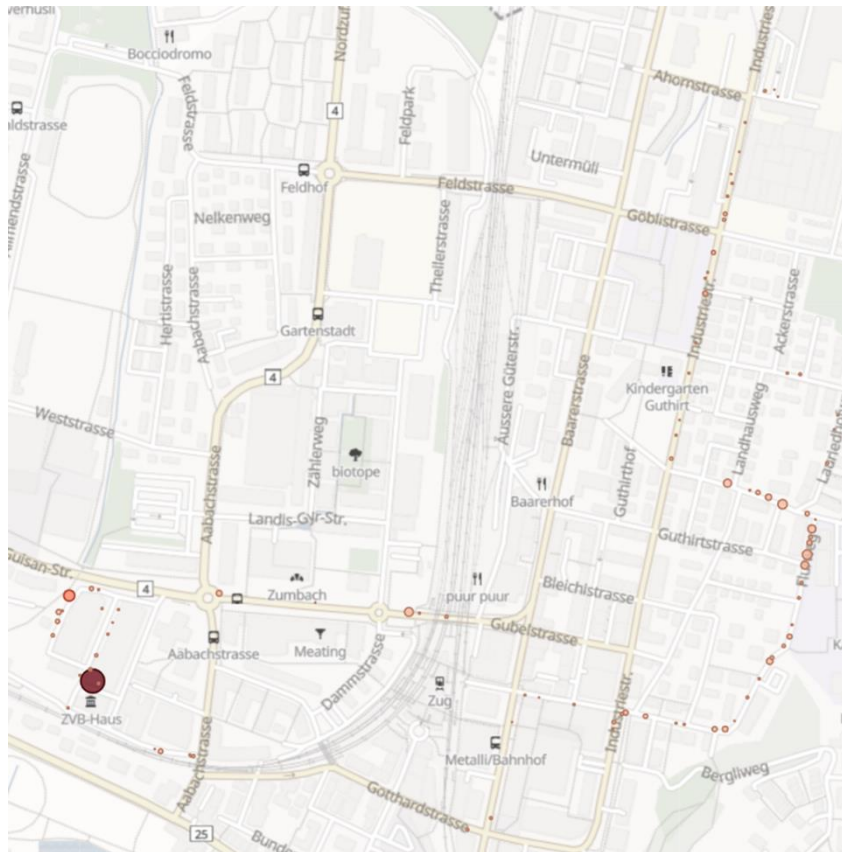


Abbildung 40: Lokalisierung der Emergency Stops entlang der Route 5

Kritische Situationen, in denen ein Emergency Stop durch den SiFa ausgelöst wurde, werden nachfolgend erläutert.

Im zweiten Quartal des Betriebsjahres 2019 hatte das Fahrzeug aufgrund der Vegetation Schwierigkeiten, sich zu lokalisieren. Deswegen fuhr das Fahrzeug auch nur 3 km/h. Diese Geschwindigkeit war jedoch zu gering, um den Anstieg im Flurweg zu bewältigen. Als Konsequenz schaltete sich das Fahrzeug ab und rollte rückwärts. Der SiFa reagierte schnell und betätigte den Emergency Stop, bevor die Feststellbremse des Fahrzeugs griff. Dies war insofern kritisch, weil Schüler näher am Shuttle vorbei gingen.

Nach dem Software-Update im Sommer 2019 fuhr das Shuttle gemäss der programmierten Route zur Haltestelle Technologiecluster. Ein falsch parkierter LKW blockierte die Route. Da das Shuttle nicht selber im gewohnten Masse abbremsen konnte, drückte der SiFa auf den Nothalt-Knopf und das Shuttle kam rechtzeitig zum Stillstand (s. Abbildung 41). Rasche Nachforschungen ergaben, dass der 3D LiDAR versehentlich nach dem Update nicht eingeschaltet worden war. Dies wurde umgehend behoben, sodass wieder eine sichere Fahrt möglich war.



Abbildung 41: Falschparker an Haltestelle Technologiecluster Zug

Manuelle Umfahrungen wurden von den SiFa vorgenommen, wenn sich ein Hindernis in der Fahrspur des Fahrzeugs befand, vorausgesetzt es konnte sicher umfahren werden. Ein Soft-Stop war eine kontinuierliche Verringerung der Fahrgeschwindigkeit bis zum Stillstand, wenn das Hindernis bereits vorzeitig detektiert wurde. Dieser Soft-Stop konnte ebenfalls vom Fahrzeug selber oder durch den SiFa durchgeführt werden.

Statische Hindernisse, die im Mapping nicht vorgesehen waren, wie Baustellen oder Vegetation, führten zu automatischen Bremsungen des Fahrzeugs. Viele dynamische Manöver, wie z.B. das Slalomfahren von Velos oder das Überholen von Autos, führten ebenfalls zu automatischen Stopps. In solchen Situationen unterschied das Fahrzeug nicht zwischen statischen oder dynamischen Hindernissen. Im September gab es deutlich mehr Eingriffe durch den SiFa. Dies lag zum einen daran, dass mehr Kilometer zurückgelegt werden konnten, aber auch an den vielen Baustellen, die es zu umfahren gab.

In Abbildung 43 sind die Ursachen für die Fahreingriffe aufgelistet. Hierbei lassen sich 3 Kategorien erkennen.

- **Vegetation:** Beim Mapping der Strecke im Winter gab es keine Vegetation und diese störte nach dessen Wachstum die Sensorik, weil sie als festes Hindernis in der Fahrbahn wahrgenommen wurde (s. Abbildung 42). Im Mai 2019 entfernte der Städtische Werkhof im Auftrag des Verkehrsamts die störende Vegetation.

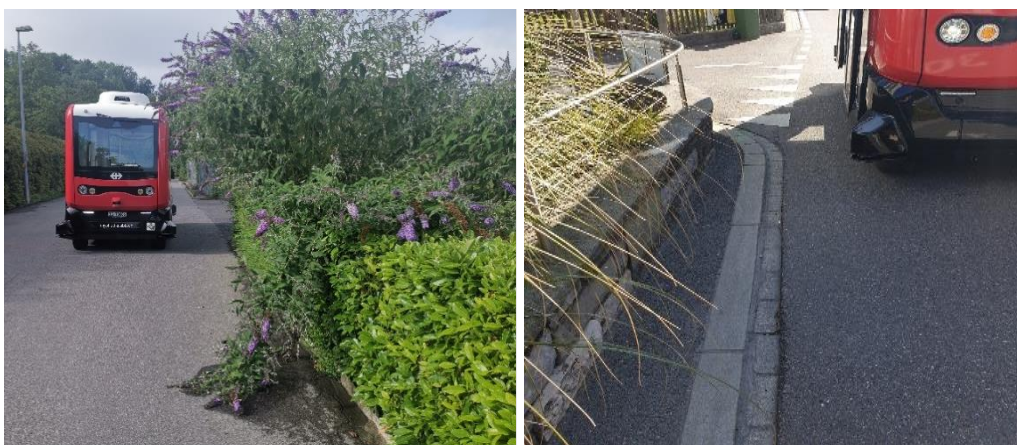


Abbildung 42: Vegetation im Sensorbereich

- Verkehrsteilnehmende:** Autos und Velos sowie Fussgänger hielten sich nicht immer an die Verkehrsregeln und behinderten somit die Fahrspur des Shuttles. Beispielsweise führten Velos in der Sicherheitszone des Sensorbereichs zu zahlreichen Unterbrechungen. Denn sobald ein Hindernis innerhalb des Sicherheitsbereichs des Fahrzeugs detektiert wurde, blieb das Fahrzeug präventiv stehen und ein erneutes Anfahren war nicht möglich. Das Fahrzeug konnte so nicht bewegt werden, auch nicht mit der manuellen Fernbedienung. In diesem Fall musste der Sicherheitsfahrer einen Reset des Systems durchführen. Diese spontanen technischen Stopps fanden teilweise an verkehrskritischen Stellen statt, wie z.B. vor Ampelanlagen oder gar auf Kreuzungen. Zudem hatten auch Schüler Freude an der Interaktion mit dem Shuttle und liefen im Sensorbereich vor dem Shuttle hin und her, sodass das Shuttle nur in ihrer Schrittgeschwindigkeit fahren konnte.
- Baustellen:** Bauarbeiten und Baustellen waren eine grosse Herausforderung, da sie zu starken und unangekündigten, strukturellen Veränderungen in der Umgebung führten. Zum Beispiel hat es temporäre Umfahrungen gegeben. Es hat aber auch permanente Änderungen gegeben – etwa neue Spuren an der Industriestrasse. Solche Baustellen hatten grosse Auswirkungen auf den Verkehr und folglich auf den MyShuttle-Betrieb. Das Mapping wurde im Sommer entsprechend der Bauarbeitsplanung angepasst. Im letzten Quartal des Jahres 2019 entstanden jedoch neue Baustellen. Alle Baustellen mussten grundsätzlich manuell umfahren werden.

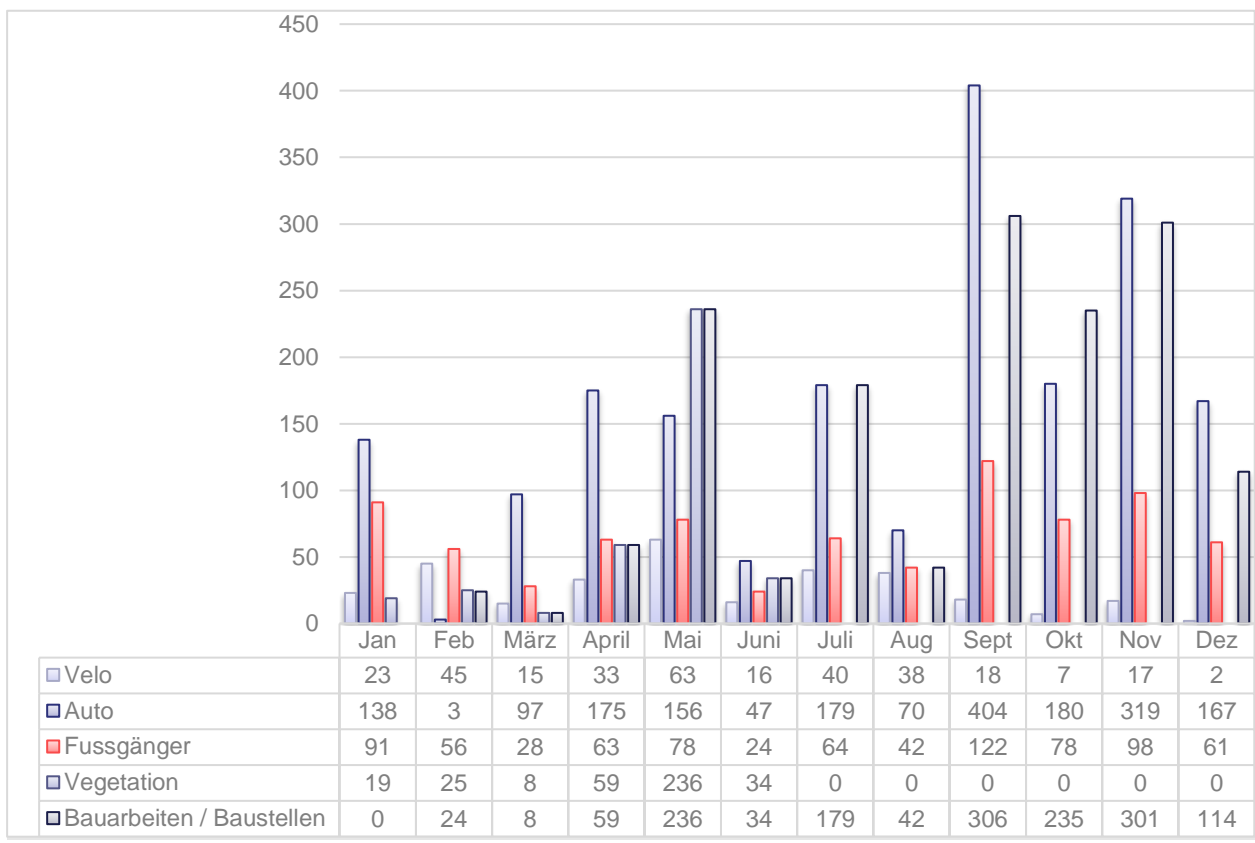


Abbildung 43: Ursachen für Fahreingriffe

Allgemein lässt sich rückblickend feststellen, dass die herausforderndste Verkehrssituation entlang der gewählten Routen das Linksabbiegen darstellt. Insbesondere das Linksabbiegen aus dem Tech Cluster auf die Industriestrasse (Tempo 50) erforderte höchste Aufmerksamkeit der SiFa (s. roter Pfeil in Abbildung 44). Es musste, unter Berücksichtigung des verzögerten Anfahrts-

verhaltens des Shuttles, ausreichend Abstand zu den kreuzenden Verkehrsteilnehmern gewährleistet sein, damit das Shuttle einbiegen konnte. Hierbei mussten die SiFa auch die Ahornstrasse stets im Blick haben. Obwohl hier ein Vorfahrt-achten-Schild angebracht war, beeilten sich manche Verkehrsteilnehmer (die das Shuttle und seine Geschwindigkeit kannten), entgegen der Verkehrssignalisation vor dem Shuttle auf die Industriestrasse einzubiegen. Hierbei kam es nicht selten vor, dass der einbiegende Pkw in den Sensorbereich fuhr und somit eine Bremsung des Shuttles auslöste.



Abbildung 44: Linksabbiegen aus dem Tech Cluster Zug

4.1.2. Weitere Betriebseinflüsse

Neben den oben genannten Faktoren gab es noch weitere Faktoren, die den Betrieb beeinflussten:

Wetterbedingungen

Bei schlechtem Wetter wie Schnee ist die Leistung des MyShuttle stark beeinträchtigt. Schnee verändert und beeinträchtigt die Wahrnehmung der Sensoren des Fahrzeugs. Der Winter 2018/2019 war besonders niederschlagsreich, und die anhaltende Kälte hat grossenteils einen durchgehenden Betrieb verhindert. Zwischen Januar und März wurde der Betrieb aufgrund von Starkregen, Schnee und seinen Folgen mehrere Wochen unterbrochen, denn mit den bestehenden Sensoren war keine Fahrt möglich (s. Abbildung 45). Eine technisch mögliche, aber in diesem Projekt nicht umsetzbare Lösung wären zusätzliche Sensoren wie Radar und Kameras.

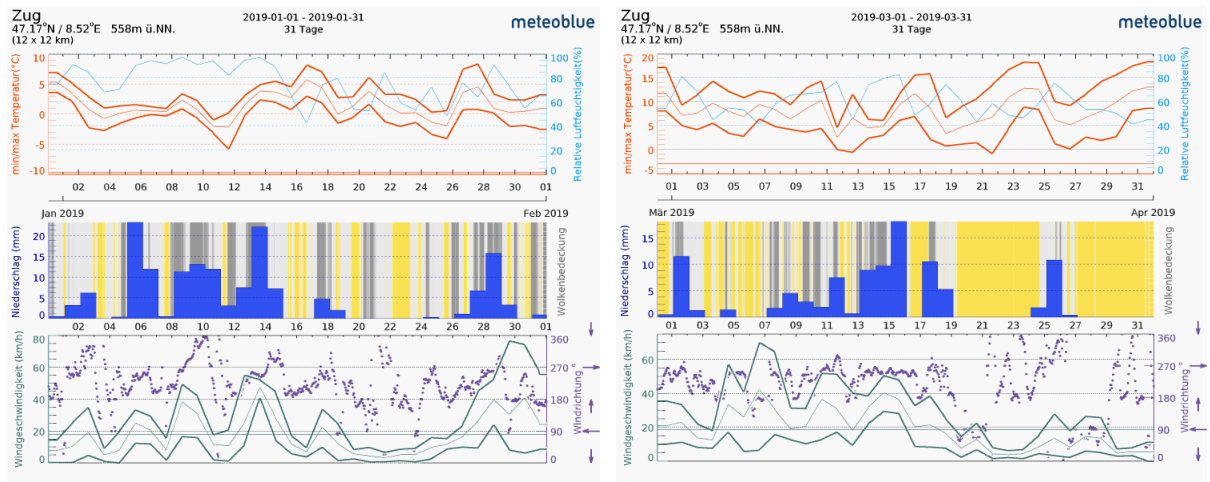


Abbildung 45: Niederschlagsmenge Januar und März 2019

Klimaanlage

Die SiFa verbrachten den Grossteil ihrer Schicht stehend im Fahrzeug. Hierbei wurden die Sicherheitsfahrer direkt in Kopfhöhe angeblasen, was während der Fahrt nicht erträglich war. Insbesondere im Sommer, wenn kalte Luft ausströmt. So wurde im SBB Werk in Olten im 3D-Druck-Verfahren eine Umlenklende konstruiert und erzeugt. Diese Blende wurde vor die Auslässe montiert (s. Abbildung 46), um den Luftstrom über die Sicherheitsfahrer hinweg zu lenken. Die Montage der Blende führte zu grosser Zufriedenheit bei den SiFa.



Abbildung 46: Montierte Umlenklende im Shuttle

4.1.3. Subjektive Betriebseindrücke

Neben den messbaren Eindrücken gab es viele subjektive Wahrnehmungen.

Grundsätzlich wurde das Shuttle von Passanten, vor allem in den ersten Monaten, auf der Strasse interessiert wahrgenommen.

Die relativ hohe Geschwindigkeitsdifferenz der anderen Verkehrsteilnehmenden im Gegensatz zu den technischen Möglichkeiten des Shuttles, führte insbesondere zu Projektbeginn zu Verärgerungen. So verleitete das verzögerte Anfahrtsverhalten oder die geringe Geschwindigkeit zu Hupen oder entsprechender Gestik von Pkw- oder Radfahrenden. Als Massnahme wurde eine

Feedbackwebsite eingerichtet und sowohl die Adresse wie auch ein QR-Code auf die Vorder- und Rückseite des Fahrzeugs foliert.

Die mitfahrenden Passagiere hatten im Allgemeinen eine höhere Erwartungshaltung hinsichtlich der Technologie. Sie waren der Meinung, dass das MyShuttle ein automatisiertes Fahren des Fahrzeugs ohne das Eingreifen des Sicherheitsfahrers ermöglichen würde. Der Wechsel in den manuellen Modus, z.B. für Umfahrungen, hatte viele verblüfft.

Alle Passagiere waren freundlich und offen für Gespräche. Auch die Kompetenz und Professionalität der Sicherheitsfahrer ist zu loben, da sie es ermöglichten, das Projekt ohne Unfälle oder gefährliche Situationen durchzuführen.

Die Geschwindigkeit war eine Überraschung für alle Tester, die sie überwiegend als zu niedrig empfanden. Einige fühlten sich in die Zeit der Pferdekutsche zurückversetzt, wie sie mit viel Humor feststellten. Ältere Menschen standen dem MyShuttle sehr offen gegenüber und stellten viele Fragen dazu. Gerade die geringe Geschwindigkeit empfanden sie als gemütlich und motivierte sie zum Mitfahren.

Grundsätzlich fanden alle Passagiere, dass solche Versuche mit zukunftsweisenden Technologien im Zuger Stadtgebiet durchgeführt und auch weiterhin befürwortet werden sollten.

4.2. (Öffentlichkeits-)Fahrten

Mit der Strassenzulassung für das Shuttle Ende 2018 konnte ab Januar 2019 das Shuttle im Mischverkehr auf öffentlichen Strassen verkehren. Zur Analyse des Nutzerverhaltens und für Marktforschungszwecke wurde das Betriebsjahr 2019 gemäss Abbildung 5 in Cases eingeteilt.

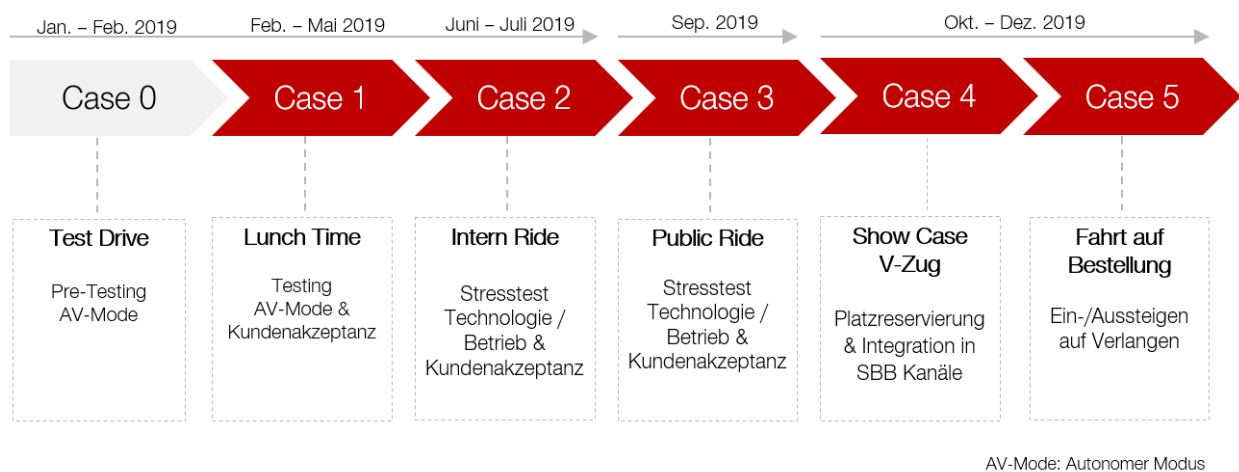


Abbildung 5: Übersicht Cases

4.2.1. Zielsetzung der Cases

Ziel war es, die aufgestellten Hypothesen zur Kundenakzeptanz zu überprüfen und das Gesamtsystem einem Stresstest zu unterziehen. Während der Durchführung der Cases waren zusätzlich zu den Sicherheitsfahrern stets eine Begleitperson²³ mit den beförderten Passagieren dabei. Somit konnten die Fragen der mitfahrenden Kunden zum Projekt bzw. Fahrzeug beantwortet werden. Zudem wurden die Passagiere gebeten, jeweils den Case-spezifischen Online-Fragebogen auszufüllen.

²³ Fährt im Fahrzeug mit, um Gästen das Projekt zu erklären. Die Begleitperson ist nicht für das Führen des Fahrzeugs zuständig.

Aufgrund der technischen Verfügbarkeit des Fahrzeugs und seinen Schnittstellen sowie der Buchungstechnologie war die Anpassung der Use Cases im Projektverlauf notwendig bzw. die Hypothesen mussten teilweise mit Workarounds geprüft werden.

Der Fahrbetrieb des Shuttles im Mischverkehr ab Januar 2019 startete mit dem Case 0.

Das Ziel von **Case 0** war es, erste Erkenntnisse mit dem selbstfahrenden Shuttle im Fahrbetrieb auf öffentlichen Strassen zu erlangen, nachdem knapp sechs Monate lang ein Testbetrieb auf dem ZVB-Areal stattgefunden hatte.

Der Hauptfokus von Case 1–3 war, neben der Kundenakzeptanz, das Gesamtsystem einem Stresstest zu unterziehen. Dies geschah durch die Erweiterung und Vergrößerung der Kundengruppen sowie durch die Erhöhung der Anzahl Fahrten im stabilen Betrieb.

Der **erste Case** war unterteilt in zwei Teile. Im ersten Schritt fand eine Vorbefragung der V-Zug-Mitarbeitenden statt. Im zweiten Teil konnten V-Zug-Mitarbeitende, die an der Umfrage teilgenommen hatten, das Shuttle testen und anschliessend hierzu Feedback geben. Die Teilnehmenden fuhren auf der Route 5 (s. Abbildung 4: Genehmigte Routen durch ASTRA) von V-Zug nach Metalli zum Mittagessen und anschliessend wieder retour. Die maximale automatisierte Geschwindigkeit betrug 13 km/h und die maximale manuelle Geschwindigkeit 7 km/h.

Ziel des **Case 2** war es, eine grössere Kundengruppe als im ersten Case zu transportieren und die ersten Erkenntnisse zu evaluieren. So konnten die Mitarbeitenden aller Konsortialpartner ebenfalls auf der Route 5 mitfahren und anschliessend ihre Eindrücke wiedergeben. Auch die maximale Geschwindigkeit des Shuttles blieb gleich wie im Case 1. Aufgrund von Lokalisierungsproblemen (Baumvegetation) musste das Shuttle für wenige Betriebstage auf die Route 4 ausweichen.

In der Betriebspause im Sommer erfuhr das Shuttle ein Software-Update sowie eine Geschwindigkeitserhöhung. So konnte das Shuttle für die Bevölkerungsfahrten, im Rahmen von **Case 3**, mit maximalen Geschwindigkeiten von 16 km/h (automatisiert) bzw. 10 km/h (manuell) fahren. Ziel des Cases war es, der Bevölkerung und interessierten Besuchern einen Einblick in das MyShuttle-Forschungsprojekt zu gewähren und den aktuellen Stand der Technik erlebbar zu machen. Gefahren wurde die direkte Verbindung von Metalli zum Technologiecluster auf der Route 6.

Die beiden Cases 4 und 5 wurden zusammen abgeprüft und werden nachfolgend als **Case 4+** bezeichnet. Im Fokus stand hierbei vor allem ein technischer Zugang. So beschäftigte man sich zum einen damit, wie solche flexiblen Angebote in die Kundeninformationskanäle von Verkehrsunternehmen abgebildet werden könnten (s. hierzu auch Kapitel 3.3.4). Zum anderen sollte überprüft werden, wie mit der dem Konsortium verfügbaren Software Sitzplatzreservierungen und Haltewünsche mit selbstfahrenden Fahrzeugen durchgeführt werden können (s. Kapitel 3.3.6). Trotz des technischen Fokus wurden auch hier die Passagiere zu ihrer Fahrt auf Route 6 befragt. Aufgrund der technischen Maturität konnte nur ein «Halt auf Verlangen» mit einem Workaround realisiert werden. Zudem waren Fahrten nur auf den von ASTRA genehmigten, liniengebundenen Strecken, und nicht, wie zu Projektstart geplant, in einem Geofence möglich (s. auch Abbildung 3: Ursprünglich geplantes Angebotskonzept).

4.2.2. Auswertung der Cases

Zu jedem durchgeführten Case wurden die Passagiere eingeladen, an einer Befragung teilzunehmen. In der nachfolgenden Tabelle 4 ist der Ausfüllungsgrad der Fragebögen im Vergleich zur Anzahl Passagiere dargestellt:

Case	Kundengruppe	Anzahl Fahrgäste	Anzahl ausgefüllter Fragebögen	Ausfüllungsgrad
Case 1	V-Zug-Mitarbeitende	30	30	100%
Case 2	Konsortialpartner	62	55	87,7%
Case 3	Bevölkerung	362	91	25,1%
Case 4+	Geschlossene Kundengruppe (Fahrtbestellung per App) + Bevölkerung (Fahrt)	88	24	27,3%

Tabelle 4: Ausfüllungsgrad der Fragebögen

Vorbefragung

An der Vorbefragung nahmen ca. 150 Personen teil, um Auskunft über ihr aktuelles Mobilitätsverhalten zu geben. Ziel der Befragung war es, ein erstes Potential für die Integration des Shuttles abzuschätzen und Kundenbedürfnisse abzuleiten.

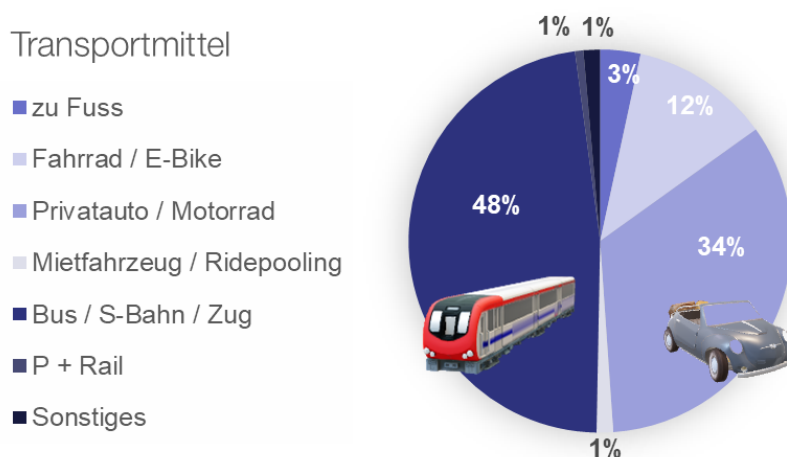


Abbildung 47: Aktuelle Transportmittel-Nutzung

34% der Teilnehmenden pendeln mit dem Auto zur Arbeit. Gründe hierfür sind, dass sich die Autofahrer flexibel und einfach fortbewegen wollen. Ihnen sind vor allem die ÖV-Verbindungen zu kompliziert oder sie legen Wert auf Komfort und Privatsphäre. Dabei haben nur 17% (die Hälfte) Freude am Pendeln mit dem Auto. Zu den «Pain Points» zählen vor allem der Innenstadverkehr und Stau sowie Fahrten bei widrigen Witterungsverhältnissen. Dass ein grosses Optimierungspotential vorhanden ist, zeigt die Tatsache, dass von allen Pkw-Pendlern 61% alleine im Fahrzeug sind.

Grundsätzlich haben ca. 37% aller Teilnehmenden Bereitschaft gezeigt, das Verkehrsmittel zu wechseln. 30% jedoch nur, wenn sie durch den Arbeitgeber finanziell und organisatorisch unterstützt würden. 57% der befragten Mitarbeitenden möchten ihr bevorzugtes Verkehrsmittel jedoch **nicht** wechseln.

Eine weitere interessante Erkenntnis gemäss Abbildung 48 war, dass das Sicherheitsempfinden für den ÖV von allen Verkehrsmitteln am höchsten ist.

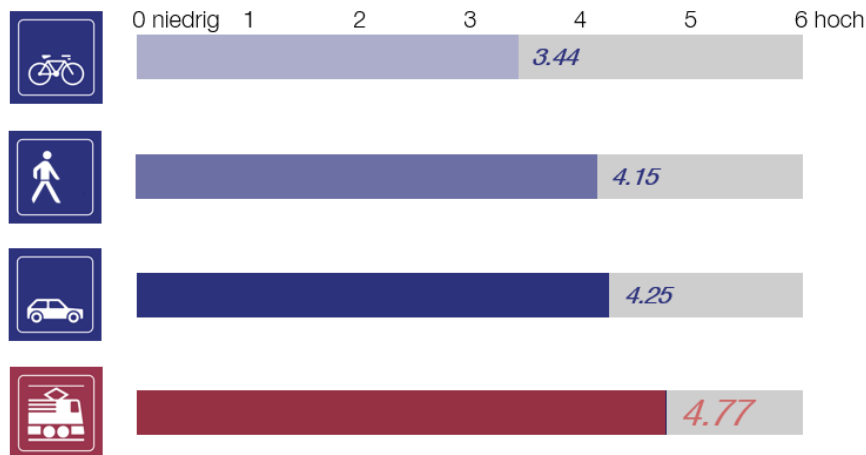


Abbildung 48: Sicherheitsempfinden der Verkehrsmittel

Auswertung Befragungen nach Shuttle-Fahrten

Im zweiten Teil des Case 1 wurden V-Zug-Mitarbeitende nach ihrer Fahrt mit dem MyShuttle befragt. Insgesamt nahmen 30 Personen an den Fahrten und der Umfrage teil.

Die Wechselbereitschaft vom Pkw hin zum ÖV spielte nicht nur in der Vorbefragung, sondern auch hier eine Rolle. So wurden die Teilnehmenden zu folgendem Szenario befragt: «Es ist Samstag und Sie möchten in die nächste Grossstadt fahren. Würden Sie Ihr Auto ausserhalb der Stadt parken und Ihre Reise mit dem Shuttle fortführen?» (Hierbei waren Mehrfachnennungen möglich). Dieselbe Frage wurde auch den Passagieren während des Case 2 gestellt.

So wären über 90% der Personen grundsätzlich bereit, das Auto ausserhalb der Stadt stehen zu lassen und anschliessend das Shuttle zu nutzen.

Wie die nachfolgende Abbildung 49 zeigt, sind folgende Faktoren wichtig für einen Wechsel von Pkw zu ÖV: keinen Zeitdruck zu haben, kurze Wartezeiten und Beibehaltung der Flexibilität. Das Umweltbewusstsein und die Flexibilität war den Befragten aus Case 2 wichtiger als den Befragten im Case 1.

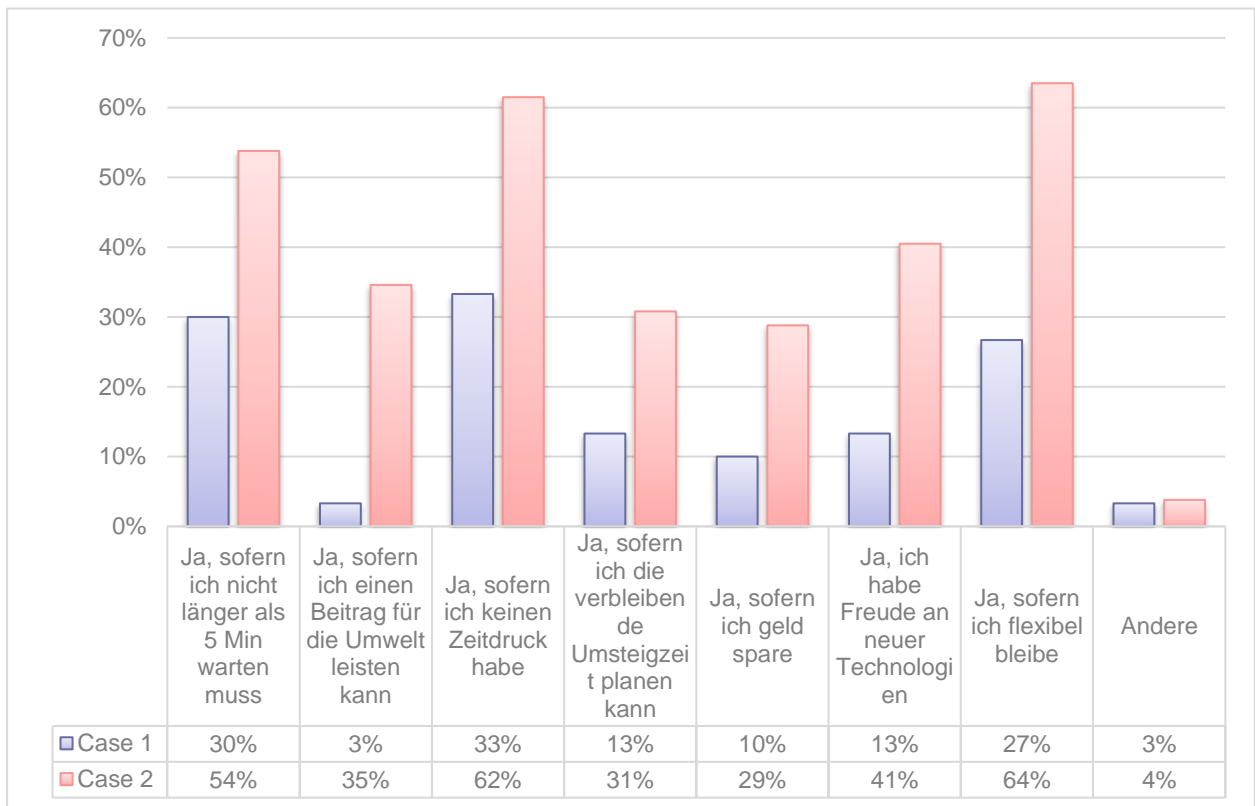


Abbildung 49: Shuttle als Anschlussmobilität

Um eine Indikation zu erhalten, wie die Passagiere aller Cases die Fahrten empfanden, bewerteten sie ihr Fahrerlebnis nach den folgenden Aspekten:

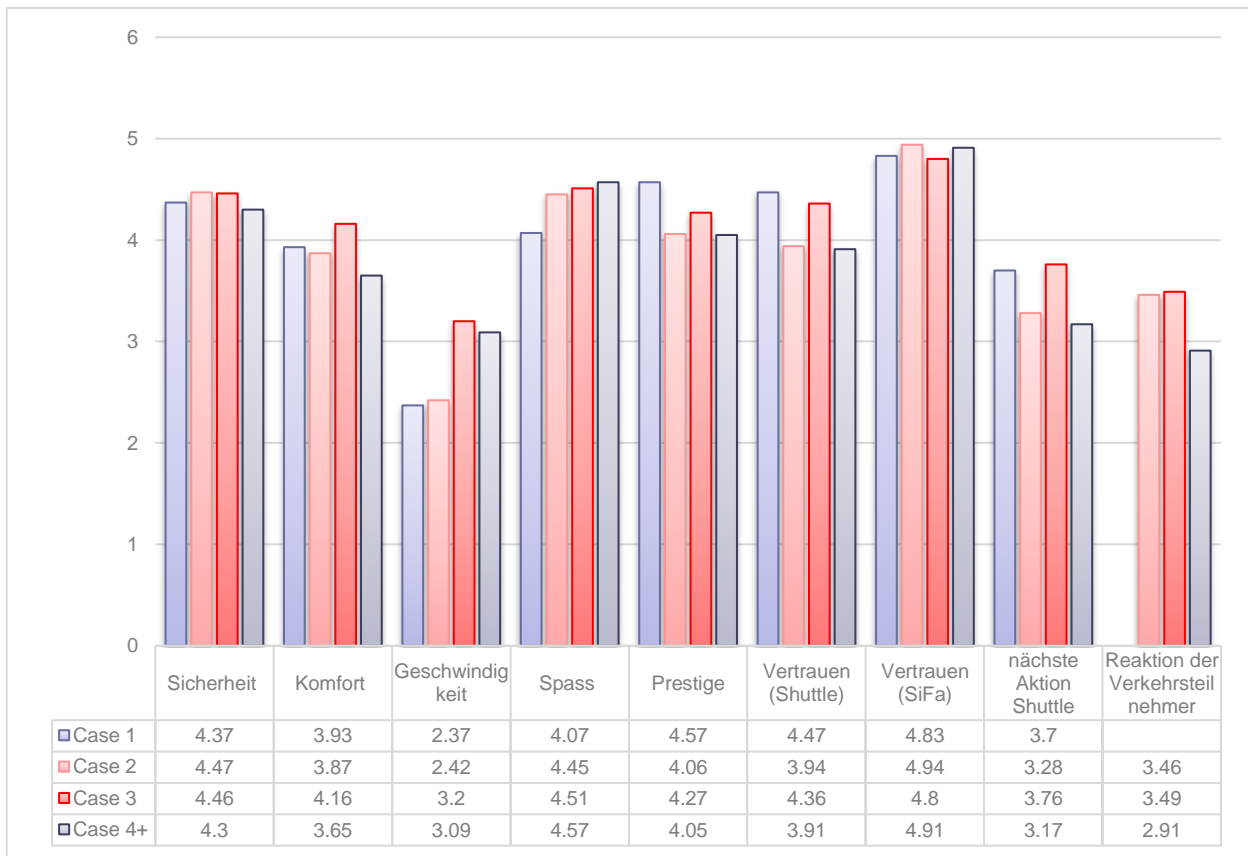


Abbildung 50: Beurteilung Fahrerlebnis

Der Sicherheitsaspekt, d.h. Vertrauen in die Sicherheitsfahrer und die Sicherheit selbst, hatten stets eine der höchsten Bewertungen. Somit könnte eine Analogie zum Sicherheitsempfinden des ÖVs (s. Abbildung 48) gezogen werden. Das Vertrauen in das Shuttle war im gesamthaften Vergleich dazu geringer, was sicherlich auch mit der schon mehrfach erwähnten technischen Maturität des Shuttles und der Vorhersehbarkeit seiner nächsten Aktionen einhergeht.

Hervorzuheben ist der Anstieg des Spassfaktors während der Case-Durchführung. Dies ist zum einen mit der Geschwindigkeitserhöhung und der Stabilitätszunahme des Fahrbetriebs zu begründen, aber auch ein deutliches Zeichen für die Neugier bezüglich der selbstfahrenden Fahrzeugtechnologie und ihren aktuellen Herausforderungen.

Auch wenn sich die Geschwindigkeitserhöhung in Case 3 und 4+ mit einem sprunghaften Anstieg bemerkbar machte, blieb die Geschwindigkeit der am schlechtesten bewertete Aspekt. Grund dafür ist u.a. die Geschwindigkeitsdifferenz von der maximal gefahrenen Shuttlegeschwindigkeit von 16 km/h und den erlaubten 50 km/h, z.B. auf der Industriestrasse (Route 6).

Den Sicherheitsaspekt aufgreifend, wurden die Teilnehmenden gebeten, ihre Einschätzung hinsichtlich dem Unfallrisiko mit dem selbstfahrenden Shuttle abzugeben. Sowohl der Hersteller wie auch das Projektkonsortium stellten die Sicherheit stets an oberste Stelle. Dies spiegelt sich auch im Ergebnis wider.

So war rund die Hälfte der Befragten der Meinung, dass es zukünftig weniger Verkehrsunfälle als mit dem Pkw geben würde. Am kritischsten bewertete die Bevölkerung im Case 3 mit knapp 9%

das höhere Unfallrisiko mit automatisierten Fahrzeugen. Möglicherweise ist dies ein Indikator dafür, wie wichtig es ist, die Bevölkerung als zukünftige Kunden an die Technologie und ihre Funktionsweise heranzuführen.

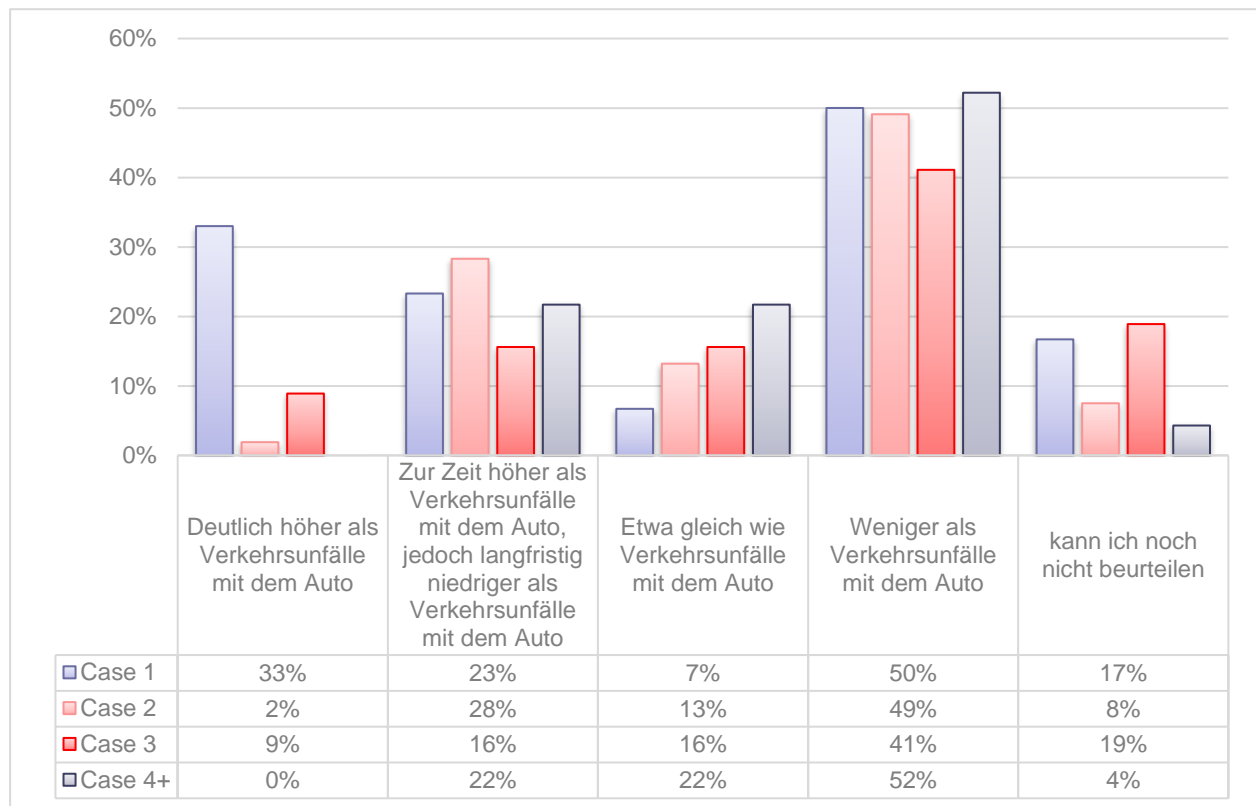


Abbildung 51: Einschätzung Unfallrisiko

Um die Akzeptanz der Teilnehmenden weiter zu beleuchten, wurde nach dem Zweck einer erneuten Shuttle-Nutzung für Alltagssituationen gefragt.

Über alle Cases hinweg würden grundsätzlich ca. 80% der Befragten das Shuttle wieder für Alltagssituationen verwenden. Der Case 4+ hatte mit 78% den geringsten Wert, möglicherweise weil hierbei der Fokus auf der App-Nutzung lag und sich dabei einige Herausforderungen ergaben (s. Kapitel 3.3.6). Im Case 3 würden sogar 92% der Befragten das Shuttle erneut verwenden.

Gemäss Abbildung 52 konnten sich die Teilnehmenden aller Cases eine erneute Nutzung als City-Shuttle vorstellen.

Interessant sind die Ausreisser im Case 2 für den Nutzungskontext als Ski-/Touristen-Shuttle oder Zubringer zu Veranstaltungen.

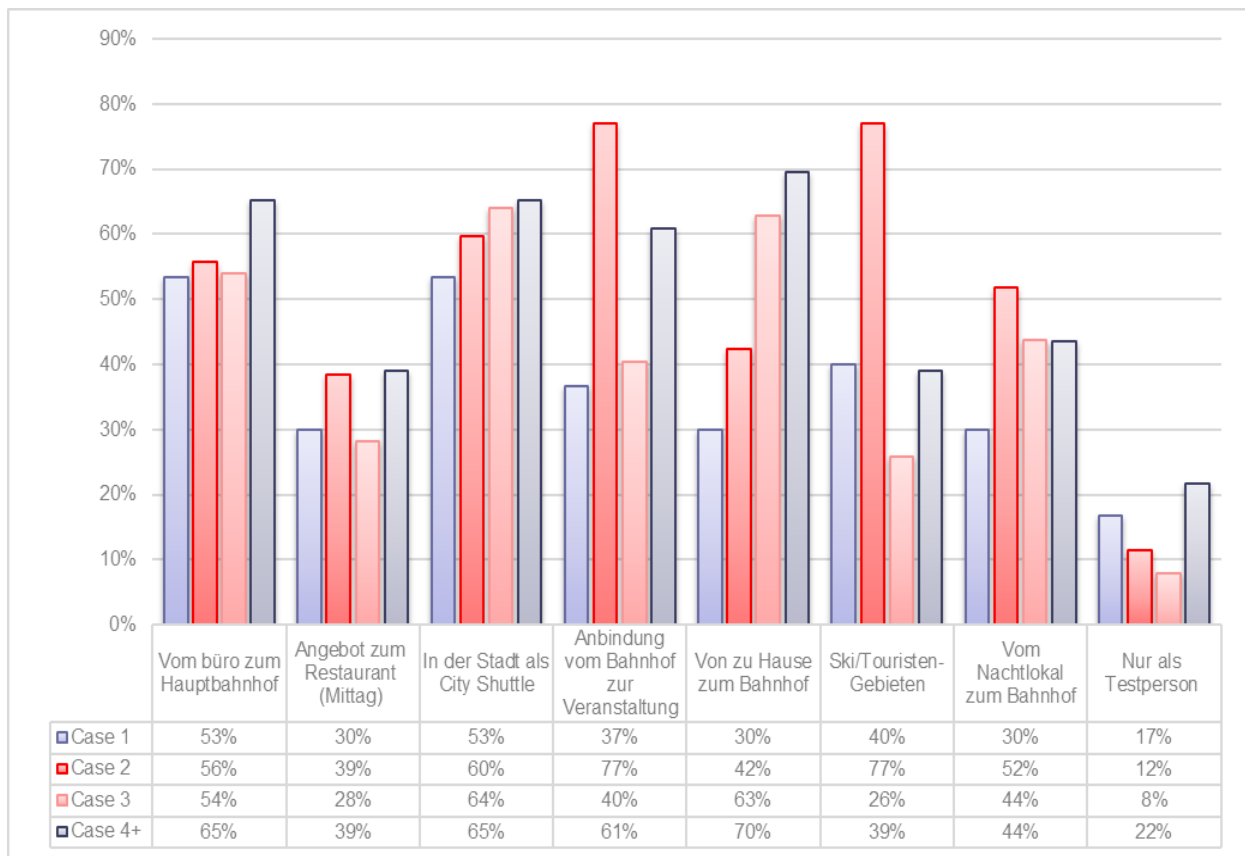


Abbildung 52: Erneute Shuttle-Benutzung

Im Freitextfeld konnten zusätzlich zu den abgefragten auch noch weitere Nutzungsmöglichkeiten eingegeben werden. Nachfolgend eine nicht abschliessende Liste, genannt wurden z.B.:

- Kinder zur Schule bringen
- ältere Leute von zu Hause abholen
- touristische Fahrten / Spassausflüge
- Flughafen-Shuttle

4.3. Potentieller Business Case

Aus den in den Use-Cases gewonnenen Erkenntnissen liess sich kein potentieller Business Case ableiten. Die limitierte Geschwindigkeit und die Eingrenzung der Betriebszeiten von 9 bis 16 Uhr hatten es nicht erlaubt, alltagstaugliche Angebote zu testen und aus diesen Rückschlüsse auf Kundenbedürfnisse zu ziehen (z.B. Pendlermobilität der V-ZUG-Mitarbeitenden). Die Use-Cases hatten somit kaum Kundennutzen generieren können, für welchen sich eine tatsächliche, kundenseitige Verhaltensänderung abgezeichnet hätte. Die Kosten und der Umfang des Betriebsjahres 2019 können jedoch als Vergleichswert für allfällige Business-Case-Berechnungen beigezogen werden.

Betriebskosten für 1 Jahr	
Summe Einmalkosten	CHF 349 804.70
Summe wiederkehrend 1 Jahr	CHF 211 561.00
Total für Betrieb von 1 Jahr	CHF 561 365.70

Tabelle 5: Betriebskosten

Um einen positiven Business Case abbilden zu können, müssten mindestens die wiederkehrenden Kosten gedeckt sein (CHF 211 561). Diese Kosten errechnen sich nach den Annahmen, dass das Fahrzeug 8 Stunden pro Tag, 5 Tage pro Woche eingesetzt wird. Mit vier Fahrten pro Stunde (zwei Mal hin und zurück), müssten Einnahmen von CHF 25.36 pro Fahrt generiert werden.

Die Kosten der gefahrenen Strecke im gewöhnlichen öffentlichen Verkehr belaufen sich auf CHF 2.70 mit Halbtax und CHF 3.30 ohne Halbtax.

Um die Kosten von CHF 25.36 zu decken, bräuchte es 9,4 Personen pro Fahrt. Das übersteigt die zugelassene Anzahl von maximal 8 Passagieren. Somit ist eine positive Bewirtschaftung mit diesem Fahrzeug über diese Strecke nicht möglich.

4.4. Umweltauswirkungen

Die Projektpartner hatten grosses Interesse daran, die Umweltauswirkungen von einem derartigen Service theoretisch und an praktischen, betrieblichen Daten zu evaluieren. Um eine neutrale Betrachtung zu garantieren, wurde die Firma Werz beauftragt, die Aspekte rund um Energieverbrauch und auch Treibhausgasemissionen zu untersuchen.

Um die theoretische Grundlage für diese Untersuchung zu schaffen, wurde als Erstes untersucht, wie hoch die möglichen Reduktionspotentiale der Faktoren Elektrifizierung, Automatisierung und Ridesharing hinsichtlich der Kennzahlen Energieverbrauch, CO₂-Emissionen sowie Fahrzeugkilometer sind.

Anschliessend wurde die Anwendung der drei vorgängig erwähnten Faktoren in zwei Fällen (Cases) für den möglichen Einsatz des MyShuttle analysiert. Der erste Case bezog sich auf die Nutzung einer Flotte von MyShuttle im Pendlerverkehr für Mitarbeitende der V-ZUG AG. Hier wurde berechnet, inwiefern sich der Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen durch den skalierten Einsatz von MyShuttle in diesem Anwendungsfall reduzieren lassen würden.

Der zweite Case untersuchte die Verwendung eines MyShuttle für sämtliche Pendler im Kanton Zug. Es wurde berechnet, wie viel Energie eingespart und wie CO₂-Emissionen vermieden würden, wenn alle Zuger Pendler Zugang zu einem MyShuttle hätten. Das Shuttle diene als Zubringer zum ÖV, es wurde nicht die ganze Auto-Pendelstrecke durch den MyShuttle ersetzt.

Die Resultate der Betrachtungen für die Faktoren Elektrifizierung (EI), Automatisierung (At) und Ridesharing (Rs) zeigen, dass diese Potential aufweisen, um den Energieverbrauch (14% durch EI, 23% durch At, 35% durch Rs), die Treibhausgasemissionen (51% durch EI, 37% durch At, 35% durch Rs) und Fahrzeugkilometer (35% durch Rs) zu reduzieren. Die Einführung von Mobilitätsdienstleistungen, welche diese Konzepte fördern, ist dementsprechend basierend auf einer Literaturrecherche als positiv zu erachten. Insbesondere bezüglich der Automatisierung des Personenverkehrs bestehen jedoch grosse Unsicherheiten, da diese Reduktionspotentiale von den zukünftigen Entwicklungen und Rahmenbedingungen abhängig sind. Projekte mit automatisierten Fahrzeugen müssen entsprechend sorgfältig geplant werden, um die Entstehung eines erhöhten Verkehrsaufkommens zu vermeiden.

Die Resultate der betrachteten Fälle zeigen, dass der skalierte Einsatz von automatisierten und elektrischen Minibussen zu Einsparungen bezüglich Energie und CO₂ führen kann. Mit einer Flotte von MyShuttle könnte der Energiebedarf und die CO₂-Emissionen, welche durch das Pendeln der Mitarbeitenden der V-ZUG AG verursacht werden, um bis zu 35% (Energie), beziehungsweise 50% (CO₂) reduziert werden. Wenn alle Pendler im Kanton Zug Zugang zu einem MyShuttle hätten, könnte der Energiebedarf um bis zu 40%, beziehungsweise die CO₂-Emissionen um bis zu 55% gegenüber dem Ist-Zustand reduziert werden.

Diese hohen Einsparpotentiale sind darauf zurückzuführen, dass in einer Befragung von 89 Pendlern 60% der Autofahrer angegeben hatten, dass sie ein MyShuttle als First- und Last-Mile-Transportmittel benutzen würden, um damit zur Arbeit zu gelangen. Da das MyShuttle weniger Treibhausgasemissionen emittiert und pro Personenkilometer weniger Energie verbraucht als ein durchschnittlicher Personenwagen, kann durch den skalierten Einsatz von automatisierten, elektrischen Minibussen ein entsprechend grosser Anteil an Energie und CO₂ eingespart werden. Zusätzlich haben elektrische Busse das Potential, Zentrumslasten wie Feinstaub, Lärm- und Stickoxidemissionen zu reduzieren. Im Rahmen dieser Studie wurden diese Effekte jedoch nicht untersucht.

Die Resultate sind ein wichtiges Indiz dafür, dass sich durch den Einsatz von automatisierten, elektrischen und gemeinsam benutzten Minibussen als Zubringer zum ÖV (Bahn) Energie und CO₂ im Mobilitätssektor einsparen lassen. Die oben erwähnte Umfrage war jedoch nicht repräsentativ, da sie ausschliesslich von Personen beantwortet wurde, welche bereits Interesse an einem MyShuttle bekundet hatten und die Stichprobe zu klein war. Die tatsächlichen Einsparpotentiale werden sich deshalb von den hier genannten Resultaten unterscheiden. Ebenfalls wurden gesellschaftliche Faktoren, wie beispielsweise Rebound-Effekte²⁴ und der technologische Wandel nicht berücksichtigt.

²⁴ Der Rebound-Effekt bezeichnet einen erhöhten Energiebedarf aufgrund vermehrter Nutzung.

4.5. Forschungsfragen

Im Rahmen der Begleitforschung wurden Forschungsfragen mit Umweltrelevanz formuliert und im Zuge des Projekts beantwortet. Die Antworten wurden in drei Kategorien (Technologie, Angebot, rechtlicher Rahmen) eingeteilt und sind aus den Erfahrungen der Projektleitung, der Sicherheitsfahrer und der Betriebsleitzentrale abgeleitet. Die Erkenntnisse sind bewusst nicht im Fliesstext formuliert.

4.5.1. Angebotsgestaltung

«Wie kann ein Angebot mit Hilfe von selbstfahrenden Fahrzeugen sowohl aus Sicht des Kunden als auch aus Sicht des Betreibers bzw. Bestellers effizienter gestaltet werden?»

Technologie:

- Aus Erfahrung der Projektleitung sind automatisierte Fahrzeuge mit dem Automationslevel (SAE) 5 zwingend, um signifikante Kosten-Einsparungen zu erzielen. Das gilt für den Betreiber sowie für den Endkunden. Falls zukünftige hochsichere Fernsteuerungssysteme verfügbar sein werden, mit denen die menschlichen Eingriffe minimiert werden können, könnte ggf. die Anforderung an das Automationslevel verringert werden.
- Selbstfahrende Fahrzeuge müssen in der technischen Zuverlässigkeit, Ausfallssicherheit und dem Wartungslevel unbedingt Serienfahrzeugniveau erreichen, um als ernsthafte Ergänzung zum aktuellen, konventionellen ÖV-Angebot akzeptiert zu werden. Derzeit ist das nicht der Fall.
- Selbstfahrende Fahrzeuge müssen übliche Reisegeschwindigkeiten im Rahmen der Strassenverkehrsordnung zuverlässig leisten können, sonst kommt es zu Verkehrsbehinderungen.
- Im heutigen Verkehrssystem spielen Verkehrssignalisation, Ampelanlagen und die Infrastruktur eine grosse Rolle. Die Technologie, damit selbstfahrende Fahrzeuge die Infrastruktur erkennen, interpretieren und darauf reagieren können, muss eindeutig, normiert und sicher sein (redundante Systeme). Entweder müssen SFF mit Sensorik ausgestattet werden, um komplett unabhängig mit passiver Infrastruktur umgehen zu können (Strategie Waymo) oder Infrastruktur und Fahrzeuge müssen entsprechen mit V2I- (vehicle to infrastructure) und V2V- (vehicle to vehicle) Kommunikationstechnologie ausgerüstet werden, um die fehlende Sensorik und Intelligenz im Fahrzeug zu kompensieren.

Angebot:

- Angebote mit kleingefässigen Fahrzeugen (unter 8 Plätzen) sind bedingt geeignet, um den hohen Bedarf in der Hauptverkehrszeit zu decken. Daher bedarf es grosser automatisierter Fahrzeuggefässe im Sinne von Linienbussen.
- Automatisierte Fahrzeuge machen im Kontext des öffentlichen Verkehrs in der Einführungsphase örtlich dort Sinn, wo der klassische öffentliche Verkehr kein ausreichendes Angebot bietet. Hier kann die Lösung ein automatisierter On-Demand-Shuttledienst mit einem starken Fokus auf gebündelte (Pooling-)Fahrten sein, bei dem von Kostenersparnissen auszugehen ist und dadurch ÖV auch im stark ländlichen Gebieten angeboten werden könnte.

4.5.2. Positives Reiseerlebnis für die Kunden

«Wie wird ein positives Reiseerlebnis für die Kunden hergestellt?»

Technologie:

- Das Fahrverhalten der SFF muss entsprechend der Fahrgeschwindigkeit einen defensiven Fahrstil abbilden. Im Weiteren zeigen führende Pilotversuche in den USA (Waymo/Uber/Aptiv), dass die Visualisierung der Umgebung bzw. dessen, was das Fahrzeug wahrnimmt, eine zentrale vertrauensbildende Massnahme ist.
- Situationen, die ein Mensch antizipieren oder spontan lösen kann, wie Fahren mit verminderter Sicht, Schnee auf oder neben der Fahrbahn, Baustellen etc., müssen von SFF ebenfalls standardmässig bewältigt werden können, um entsprechendes Vertrauen bei den Kunden aufzubauen. Sollte das die Technologie nicht lösen können, so muss jederzeit klar sein, wann und warum der Mensch die Steuerung übernommen hat.
- Die Buchung von Fahrten muss zeitgemäss, vorwiegend digital und einfach sein. Als Richtlinie kann man sich an die User Experience²⁵ von Uber oder MyTaxi halten, wenn man von dynamischen Bedarfsangeboten und nicht von Linienverkehr ausgeht.
- Der Kunde muss sich sicher fühlen, auch wenn weitere Leute nachts zusteigen. Es muss sichergestellt werden, dass nicht unbefugte Leute mit einsteigen, wenn sich die Türe öffnet. Zur Einführung von neuen vollautomatisierten Services ohne Begleitpersonal muss ein starkes Team vor Ort sein, um umgehend die Spannung zwischen Kunden zu lösen. Herumstehende Fahrzeuge, eingeschlossene Personen etc., würden die öffentliche Wahrnehmung und die Servicequalität negativ beeinflussen.

Angebot:

- Selbstfahrende Fahrzeuge müssen mindestens so zuverlässig und sicher funktionieren, wie man es aus dem aktuellen Schweizer ÖV kennt.
- Das Angebot muss auf den Kundenbedarf ausgerichtet sein und nicht den Einschränkungen des klassischen ÖV-Angebots unterliegen.
- SFF-Services sollen in den öffentlichen Verkehr inklusive Sicherung von Anschlüssen eingebettet sein.
- Sofern Sicherheitsfahrer oder sonstiges Begleitpersonal das Angebot begleiten, ist es zwingend notwendig, freundliche und aufgeklärte Personen dafür anzubieten.

4.5.3. Umsetzung mit möglichst wenig infrastrukturellen Anpassungen

«Wie kann das Angebot mit möglichst wenig infrastrukturellen Anpassungen umgesetzt werden?»

Technologie:

- Aktuelle SFF können nicht ohne fundamentale Anpassungen in der Infrastruktur in einem echten, kostenpflichtigen Betrieb eingebettet werden. Solange die technologische Maturität der Fahrzeuge nicht um ein Vielfaches weiterentwickelt wird, ist kein sinnvoller Regelbetrieb mit minimaler Infrastrukturanpassung denkbar.
- Das Fahrzeug muss die analoge Umwelt in Echtzeit erkennen und interpretieren können. Objekte mit hohen relativen Geschwindigkeiten (d.h. eigene Geschwindigkeit im Verhältnis zu der des Gegenverkehrs) müssen dabei erkannt und verarbeitet werden können,

²⁵ Beschreibt die Erfahrung des Kunden bei der Nutzung des Produktes.

was aktuell sehr hohe und kostspielige Forderungen an die Computerhardware in den SFF stellt.

- Um Infrastrukturumbau bzw. -einsatz zu minimieren, kann zum aktuellen Zeitpunkt mit Sicherheitsfahrern gearbeitet werden, die die Steuerung in ausgewählten Situationen (Ampel, Kreuzung, etc.) übernehmen.

Rechtlicher Rahmen:

- Die Umrüstung von Ampelanlagen auf den «vehicle to infrastructure»-Standard (V2I-Standard) ist kostspielig und langwierig, weil Ampelanlagen in der Anschaffung teuer sind und dann mit langfristigen Wartungsverträgen verkauft werden. Eine Ablöse durch zeitgemässe Ampelanlagen ist vor Ablauf der Wartungsverträge teuer und ineffizient.
- Daher sollen bei der Planung und Beschaffung von Ampelanlagen die Aufrüstung auf V2I berücksichtigt werden und ggf. in die kantonalen Beschaffungsrichtlinien aufgenommen werden.
- In dem Projekt MyShuttle wurden bewusst nur bestehende Bushaltestellen verwendet. In Zukunft muss ähnlich wie bei Taxis das Anhalten an diversen bzw. beliebigen Stellen möglich sein, um Kunden eine Tür-zu-Tür-Dienstleistung anbieten zu können.
- Das BehiG muss dahingehend angepasst werden, dass betroffenen Personen nicht die Mitfahrt mit jedem Fahrzeug, sondern ein gewisses Service-Level (Abholzeiten etc.) garantiert wird. Dies würde mindestens die Beibehaltung der bestehenden Angebotsqualität garantieren, aber zu massiven Kosteneinsparungen führen (Referenz: Bericht zu On-Demand-Shuttlesystemen in Berlin / BerlKönig)²⁶, weil nicht jedes Fahrzeug BehiG konform ausgerüstet werden müsste.
- Solange man den menschlichen Fahrern «Fehler» bzw. nicht angepasste Geschwindigkeit zugesteht und einem SFF nicht, werden SFF immer mit deutlich niedrigeren Geschwindigkeiten fahren müssen. Dies gilt insbesondere, wenn weiterhin wie aktuell eine Nulltoleranz für Unfälle gegenüber SFF vorherrscht.

4.5.4. Schlanke Ladeinfrastruktur für SFF

«Wie können selbstfahrende elektrische Fahrzeuge mit einer schlanken Ladeinfrastruktur gemagt werden?»

Technologie:

- Will man ein automatisiertes Angebot mit möglichst geringem bzw. optimierten Personaleinsatz durchführen, dann muss auf induktive Ladevorrichtungen, Ladeschienen, Pantografen oder Ähnliches gesetzt werden. Der Ladevorgang ist personalintensiv und es herrscht Einsparungspotential.
- Um den Betrieb und den Energieverbrauch sowie die Batteriebelastung der Fahrzeuge optimieren zu können, empfiehlt das Projekt die Verwendung von gängigen Lade-Infrastruktur-Protokollen im Lademanagement (z.B. OPEN CHARGE POINT PROTOCOL) sowie die Einhaltung von gängigen ISO-Standards.
- Die Ladesteuerung der Fahrzeuge muss gängigen Standards entsprechen und das Fahrzeug vor Überladung bzw. Tiefenentladung schützen. Dies war bei MyShuttle nicht der Fall.

²⁶ In das klassische ÖV-Angebot integrierter On-Demand-Service, welchen die Berliner Verkehrsbetriebe betreiben.

- Eine Starkstromladung ist aus betrieblichen Gründen empfohlen, um die Ladezeit zu verringern und Einsatzzeiten zu erhöhen. Aus wirtschaftlichen Gründen sind Schnellladeinfrastrukturen selten kostendeckend.

4.5.5. Digitale Integration in ein intermodales, anbieterübergreifendes Informations-, Buchungs- und Bezahlsystem

«Wie kann ein Konzept für die digitale Integration eines automatisierten Angebotes in ein intermodales, anbieterübergreifendes Informations-, Buchungs- und Bezahlsystem integriert werden?»

Technologie:

- Die Buchbarkeit und Kundeninformation neuer SFF-Angebote sollten über klassische ÖV-Kanäle (Bsp. SBB Mobile) möglich sein, um solche neuen Angebotsformen im Kontext des öffentlichen Verkehrs als «öffentlicher Individualverkehr» zu etablieren.
- Die Anschlusssicherung muss kompatibel sein mit dem gleichzeitig dynamischen, individualisierten Angebot für den Kunden (On-Demand, geplant auf Ankunfts- oder Abfahrtszeiten des übergeordneten ÖV).
- Die Entwicklung standardmässiger APIs, die von den ÖV-Kernsystemen verarbeitet werden können, ist essenziell. Die Problematik ist, dass aktuelle Kernsysteme des ÖVs auf feste Haltestellen und Linien sowie einen fixen Fahrplan ausgerichtet sind. Diese Systeme können die Vision von gescherten On-Demand-Robotaxis nicht stützen, weil sie nicht mit Kursänderungen (dynamisches Routing, Pooling), Bedarfsverkehr (On-Demand) und einem Gebietservice mit einer Vielzahl oder ohne Haltestellen umgehen können. Es bedarf neuer Systeme, um diese neuartigen Systeme zu integrieren.
- Für Kundeninformations-, Buchungs- und Bezahlsysteme spielt es keine Rolle, ob das Angebot mit automatisierten oder bemannten Fahrzeugen produziert wird.
- Da aktuelle SFF weniger Sitzplätze als Linienbusse anbieten und diese im Voraus zu reservieren sind (On-Demand-Angebot), ist die Identifikation zwischen Fahrzeug und Reisenden ausschlaggebend. Aktuell gibt es keine Lösungen, wie man mit «falschen» Einsteigern umgeht. Weiter müssen Vandalismus oder Pannen bedacht werden, die aktuell nicht ohne Sicherheitsfahrer gelöst werden können.

4.5.6. SFF-Bedürfnisse an Mobilitätsknotenpunkte

«Wie sieht der spezifische Anspruch von Flotten selbstfahrender Fahrzeuge an Mobilitätsknotenpunkte in organisatorischer und baulicher Hinsicht aus?»

Technologie:

- Es ist Ladeinfrastruktur an den frequentierten Punkten (Hubs) notwendig, um lange Stand- u. Ladezeiten zu vermeiden.
- Es wird genügend Verkehrsfläche an Haltestellen benötigt. Die defensive Fahrweise benötigt beispielsweise längere Anfahrtswege (Wendekreis) für Haltestellen.
- Personenströme sollten möglichst auf den Fahrzeugeinsatz abgestimmt sein (beispielsweise an Fussgängerquerungen), damit unnötige Stopps des Fahrzeugs vermieden werden können. Das könnte beispielweise mit dem vermehrten Einsatz von vernetzten Ampelanlagen an Fussgängerübergängen bewerkstelligt werden.
- Es wird ein intelligentes Konzept für «Landing Strips» an Bahnhöfen benötigt: Soll mit einem SFF-On-Demand-Dienst beispielweise ein grösseres Gefäss bedient werden (Züge), dann werden aus verschiedenen Gebieten kurz vor Abfahrt des Zuges mehrere

SFF eintreffen mit Kunden, die direkt in den Zug einsteigen möchten. Das führt zu grossen logistischen Herausforderungen, die aktuell nicht gelöst werden können.

4.5.7. Notwendige Schritte für ein künftiges Partnerökosystem

«Welche Schritte sind für ein künftiges Partnerökosystem notwendig? Wo ist eine Zusammenarbeit notwendig und welche organisatorische Form ist für ein Roll-out solcher Systeme notwendig?»

Technologie:

- Buchungs- und Kundeninformationssysteme müssen in schweizweite Lösungen integriert sein, um Insellösungen zu vermeiden (SBB Mobile, Google Maps etc.).
- Es wäre wünschenswert, dass Schnittstellen-/API-Standards für On-Demand-Angebote festgelegt und schweizweit verwendet werden. Es ist allerdings nicht davon auszugehen, dass internationale Anbieter (Waymo, Uber) sich daran halten bzw. sich dazu verpflichten lassen.

Partnerschaftliche Zusammenarbeit:

- Die enge Zusammenarbeit mit Partnern benötigt eine klare Rollenteilung in der Projekt- und Angebotskonzeption und eine Zusammenarbeit auf Augenhöhe.
- In dieser frühen Phase der Entwicklung von selbstfahrenden Fahrzeugen ist für Pilotversuche die enge Zusammenarbeit zwischen Serviceanbietern und Hardware- bzw. Softwarelieferanten der SFF-Technologie notwendig, da permanente Optimierungen an den diversen Systemkomponenten während der Tests durchgeführt werden müssen.
- Die Wartung und Software-Unterstützung muss von Lieferanten von SFF-Technologie in der Schweiz möglich sein, sonst drohen bei Störungen oder technologischen Defekten lange Stand- und Reparaturzeiten.

4.5.8. Notwendiger verkehrspolitischer und regulatorischer Rahmen

«Wie sieht der aktuelle und wie der notwendige verkehrspolitische bzw. regulatorische Rahmen aus?»

Rechtlicher Rahmen:

- Langfristig ist die Frage vom ASTRA zu beantworten.
- Kurz- und mittelfristig sollten vereinfachte Sonderzulassungen für Fahrzeuge (Hardware) ermöglicht werden, wie es in Deutschland für OEMs der Fall ist, um unbürokratisch in kleinen Stückzahlen die Technologie und ihre Integration testen zu können.

5. Fazit

Das Projektkonsortium hatte während der dreijährigen Gesamtlaufzeit des Projektes sehr wertvolle Erfahrungen machen können. So wurde erkennbar, dass die Technologie selbstfahrender Fahrzeuge zwar imstande ist, ein Fahrzeug mit hoher Präzision zu manövrieren, bei der Integration in den Fliessverkehr aber an ihre Grenzen stösst. Ein Antizipieren von anderen, menschlichen Verkehrsteilnehmenden (Fahrern sowie Fussgängern) erforderte mehr als reaktive Bremsingriffe aufgrund von Sensorinformation. Hindernisse und Gefahren müssten früher erkannt und verarbeitet werden können, um ein sicheres, im Verkehr integriertes Vorwärtskommen zu erreichen.

Der von EasyMile verfolgte Ansatz des Shuttles, mit hochauflösenden 3D-Karten und Lidar-Sensoren die genaue Positionierung vorzunehmen, bedarf noch einiger Verbesserung und ist allein nicht ausreichend. Dies wurde beispielsweise bei Baustellen auf den Fahrstrecken und starkem Vegetationswachstum entlang der Strecke spürbar. Eine Lernautomation und selbstaktualisierende Karten bei jeder Durchfahrt wären hierfür dienlich.

Das Fahren mit dem Shuttle zeigte sukzessive dessen qualitative Mängel auf. Die Fertigungsgüte ist bei dem EasyMile EZ10 der zweiten Generation noch nicht auf dem Niveau, welches zum Betrieb eines öffentlichen Transportdienstes erforderlich wäre. Um ein zuverlässiges Angebot bieten zu können, müsste die Standzeit aufgrund Reparaturen deutlich verringert werden.

Für weitere Projekte ist sich das Konsortium ebenfalls einig, vertieft auf die Kundenbedürfnisse eingehen zu wollen. Dies wäre möglich, indem ein Transportangebot geschaffen würde, welches nicht einen bestehenden, etablierten, schnelleren Linienbus zu substituieren oder ergänzen versucht. Ein neues, losgelöstes Angebot in einem bisher weniger erschlossenen Gebiet wäre wünschenswert, um kundenzentriert Erkenntnisse zu gewinnen.

Abschliessend gilt das Projekt als erfolgreich. Die Konsortialpartner verstehen die Komplexität des Betriebens von selbstfahrenden Fahrzeugen, von der Anschaffung über die Zulassung und Inbetriebnahme bis hin zur Integration in bestehende Leitstellen. Die Kundenbedürfnisse wurden im Rahmen des technisch Machbaren getestet und ausgewertet, mit der Folge, dass nächste Schritte in der Transformation zu automatisierten Transportdienstleistungen identifiziert worden sind.

Neben sehr grossem Know-how-Aufbau innerhalb des Konsortiums konnte dieses Pilotprojekt einen wichtigen, schweizweiten Beitrag für das Bewusstsein und die Akzeptanz von selbstfahrenden Fahrzeugen leisten. Das Konsortium empfiehlt, selbstfahrende Fahrzeuge weiter zu fördern, um die Systemgrenzen noch besser kennenzulernen.