



Abschlussbericht SmartShuttle Sion 2016 - 2020



PostAuto AG

Titel

Abschlussbericht SmartShuttle Sion 2016 - 2020

Autor	Martin Neubauer, Francois Comby
Ausgabe	PA
Klassifizierung	Öffentlich
Pflicht zur Archivierung	Ja
Version	X01.00
Datum der Ausgabe	05. Januar 2022

Zusammenfassung

Dieser Bericht fasst die wesentlichen Erkenntnisse aus dem in Sion durchgeführten Projekt SmartShuttle zusammen. Zielsetzung des knapp 5 Jahre andauernden Pilotprojektes war es herauszufinden, inwiefern automatisierte Fahrzeuge im öffentlichen Verkehr eingesetzt werden und wie diese unser bestehendes Angebot im Linienverkehr ergänzen können. Das Projekt wurde von 2016 bis 2020 mit folgenden Partnern durchgeführt: PostAuto, MobilityLab, EPFL, Stadt Sion HES-SO und dem Kanton Wallis.

Zielsetzung des knapp 5 Jahre andauernden Pilotprojektes war es herauszufinden, ob der Einsatz automatisierter Fahrzeuge im öffentlichen Verkehr gerechtfertigt ist und ob sie sich in den öffentlichen Raum, beispielsweise in Fussgängerzonen und autofreien Ortschaften, oder auf Firmengeländen integrieren lassen. Besonderes Augenmerk galt dabei bisher weniger gut erschlossenen Gebieten. Ferner galt es herauszufinden, wie die Akzeptanz solcher Systeme bei den Fahrgästen, den Mitarbeitenden und der Bevölkerung im Allgemeinen ist. PostAuto war es im Pilotversuch ein Anliegen, Erfahrungen mit neuen Formen der Personenmobilität zu sammeln.

Folgende Fragestellung sollten im Pilotversuch beantwortet werden:

- Wie lässt sich der Betrieb solcher selbstfahrender Busse organisieren?
- Was muss beachtet werden, damit diese Fahrzeuge möglichst effizient eingesetzt und geleitet werden können?
- Wie können diese Fahrzeuge optimal in das bestehende Angebot im Linienverkehr integriert werden?

Die Stadt Sion hat sich mit ihren spezifischen Eigenschaften besonders gut für den Erkenntnisgewinn im Rahmen eines solchen Pilotprojekts geeignet. Es konnte getestet werden, wie sich die physische Umgebung oder das Verkehrsaufkommen auf einer komplexen, innerstädtischen Route auf Fahrzeuge, Betrieb und Kundenakzeptanz auswirkten.

Schlussendlich kann zusammengefasst werden, dass die Fahrzeuge zwar imstande sind, mit hoher Präzision zu manövrieren, aber bei der Integration in den Fliessverkehr, bei Baustellen auf den Fahrstrecken und bei starkem Vegetationswachstum an ihre Grenzen stossen. Aktuelle Lieferanten von automatisierten Fahrzeugen sind in erster Linie Softwarehersteller und nicht Fahrzeughersteller. Die Fertigungsgüte ist noch nicht auf dem Niveau, welches zum Betrieb eines öffentlichen Transportdienstes erforderlich wäre. Nichtsdestotrotz war die Akzeptanzrate in der Bevölkerung allgemein sehr hoch. Bis zur Erreichung der technischen Reife und dem Serieneinsatz solcher Fahrzeuge, müssen noch weitere Entwicklungsschritte gegangen werden.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
Abbildungsverzeichnis.....	4
Abkürzungsverzeichnis.....	5
1. Einführung	6
1.1 Kontext Entwicklung der automatisierten Mobilität	6
1.1.1 Dekarbonisierung	6
1.1.2 Digitalisierung	6
1.1.3 Deprivatisierung:	6
1.2 Warum ein automatisiertes Shuttle in Sion?	7
2. Erste Daten.....	8
2.1 Startdaten und Entstehung des Projekts	8
2.1.1 Allgemeiner Beschrieb des Projekts.....	8
2.2 Verwendete funktionale Elemente, Mittel und Organisation.....	10
2.2.1 Ausprägungen der beiden Fahrzeuge und Attribute	10
2.2.2 Einsatz der Mitarbeitenden von PostAuto	11
2.2.3 Betrieb der automatisierten Shuttles in Sion	12
2.2.4 Involvierte Partner und Interessengruppen	13
2.2.5 Werbung für das Pilotprojekt	13
3. Betriebsdaten.....	13
3.1 Wichtige Daten.....	13
3.1.1 Fokus: Entwicklung der beförderten Passagiere	15
3.1.2 Fokus: Shuttle-Verfügbarkeit und Betriebsunterbrechungen.....	16
3.2 Analyse der Betriebsdaten	17
3.2.2 Umweltaspekt.....	18
3.2.3 Sozialer Aspekt	18
4. Wichtige Learnings aus dem Projekt.....	19
4.1 Betrieblich.....	19
4.2 Andere Bereiche des Projekts.....	20
4.3 Empfehlungen auf Basis der durchgeführten Analysen.....	20
5. Perspektiven und Themen	21
6. Fazit	22
7. Literaturverzeichnis.....	23

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Neudefinition von Marktgrenzen durch kontinuierliche Vernetzung und Kooperation (Nydegger, 2021)	7
Abbildung 2: Route der SmartShuttle in der Altstadt von Sion	10
Abbildung 3: Status der beiden Linien im Jahr 2018 (Müller, 2018)	12
Abbildung 4: Datensammlung der letzten 4 Betriebsjahre der SmartShuttles	14
Abbildung 5: Anzahl der beförderten Fahrgäste für den Betriebszeitraum 2016 bis 2020	15
Abbildung 6: Diametrale Entwicklung der Störung aufgrund unerlaubten Parkens und Software bzw. Hardwareausfälle	16

Abkürzungsverzeichnis

2D	Zweidimensionaler Raum
3D	Dreidimensionaler Raum
3G	Dritte Generation der Mobiltelefon-Normen
4G	Vierter allgemeiner Standard für die Mobiltelefonie
5G	Fünfte Generation von Standards für die Mobiltelefonie
ASTRA	Bundesamt für Strassen
CO ₂	Kohlendioxid
COVID-19	19. Coronavirus
COP21	2015 Pariser Konferenz zum Klimawandel
DETEC	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
SBB	Bundesbahn
CV	Wiener Konvention von 1968
EPFL	Schweizerische Eidgenössische Technische Hochschule Lausanne
GNSS	Globales Navigationssatellitensystem
GPS	Globales Positionierungssystem
HES-SO	Fachhochschule Westschweiz
HMI	Mensch-Maschine-Interaktion
IMU	Inertiale Messeinheiten (Inertiale Messeinheiten)
IoT	Internet der Dinge
BAV	Bundesamt für Verkehr
FEDRO	Bundesamt für Straßenwesen
FSO	Bundesamt für Statistik
Op.cit.	Opus citatum
HR/HR	Personalwesen/Personalwirtschaft
RS	Systematische Sammlung
SA	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
V2C	Fahrzeug-zu-Verbraucher
V2I	Fahrzeug-zu-Infrastruktur
V2V	Fahrzeug-zu-Fahrzeug
V2X	Fahrzeuge, die mit ihrer Umwelt, aber auch untereinander kommunizieren

1. Einführung

1.1 Kontext Entwicklung der automatisierten Mobilität

Die «3 D» prägen den künftigen Mobilitätsmarkt: Dekarbonisierung, Digitalisierung und Deprivatisierung.

Branchenübergreifende Megatrends (Bevölkerungswachstum & Alterung, Urbanisierung, Individualisierung, Konnektivität, Digitalisierung/Automatisierung sowie Ökologie/Ressourcenverknappung) wirken sich auch auf den Mobilitätsmarkt aus. Zentrale Entwicklungen sind die Dekarbonisierung des Verkehrssektors mittels Elektrifizierung, die Digitalisierung mit den dadurch ermöglichten neuen Angebotsformen sowie die Deprivatisierung der Individualmobilität durch Modelle der Sharing-Economy.

1.1.1 Dekarbonisierung

Die zunehmende Kundennachfrage und der steigende politische und regulatorische Druck für umweltfreundliche Mobilitätsangebote zu entwickeln, wirken in zwei Dimensionen: Neben dem Streben nach direkter Emissionsreduktion (alternative Antriebstechnologien) steht dabei die Steigerung der Energieeffizienz durch eine verbesserte Auslastung der Verkehrsmittel (Sharing, Pooling) und die Beeinflussung des Modal-Splits zu Gunsten des ÖV und Langsamverkehrs im Fokus.

1.1.2 Digitalisierung

Neue Technologien befördern Innovationen für den kundenseitigen Zugang zu Mobilitätsleistungen (z.B. App-basierte Mobilitätsplattformen; integrierte und multimodale Reiseketten; E-Ticketing nach be-in/be-out Prinzip) sowie angebots- und fahrzeugseitige Weiterentwicklungen. Damit verbunden sind zudem neue datenbasierte Anwendungen (z.B. predictive Maintenance; Personalisierung von Angeboten; Cross-Value Chain Bundling). Der Markteintritt von Plattformanbietern in die Mobilitätsbranche hat das Potential, die bestehenden Geschäftsmodelle und Marktpositionierungen in kurzer Zeit stark zu verändern (z.B. stärkere Spezialisierung auf einzelne Wertschöpfungsstufen wie Integrator oder Carrier; Entstehung von neuen Ökosystemen im Mobilitätsmarkt). Angebots- und fahrzeugseitig erscheint hingegen eine graduelle Transformation des Marktes als wahrscheinlich. Zu erwarten ist eine graduelle Substitution und Ergänzung bestehender Angebote. Flexible on-demand Angebote mit Fahrern sind dabei die Vorstufe für langfristig automatisiert fahrende Fahrzeugflotten.

1.1.3 Deprivatisierung:

Für künftige Generationen verliert der Besitz eines eigenen Fahrzeugs zunehmend an Bedeutung. Unterstützt durch digitale Plattformlösungen werden einzelne Fahrzeuge einem breiteren Nutzerkreis zur Verfügung gestellt (Sharing, Pooling) oder Mobilitätsleistungen werden als Service bezogen und abgerechnet (Mobility as a Service, Abo-Modelle). Die Grenze zwischen kollektivem Personentransport und Individualverkehr wird dadurch durchlässiger (Nydegger, 2021). Dies wird zu einer potentiell höheren Dynamik und Beeinflussbarkeit des intermodalen Wettbewerbs sowie zum Markteintritt neuer Mitbewerber führen.

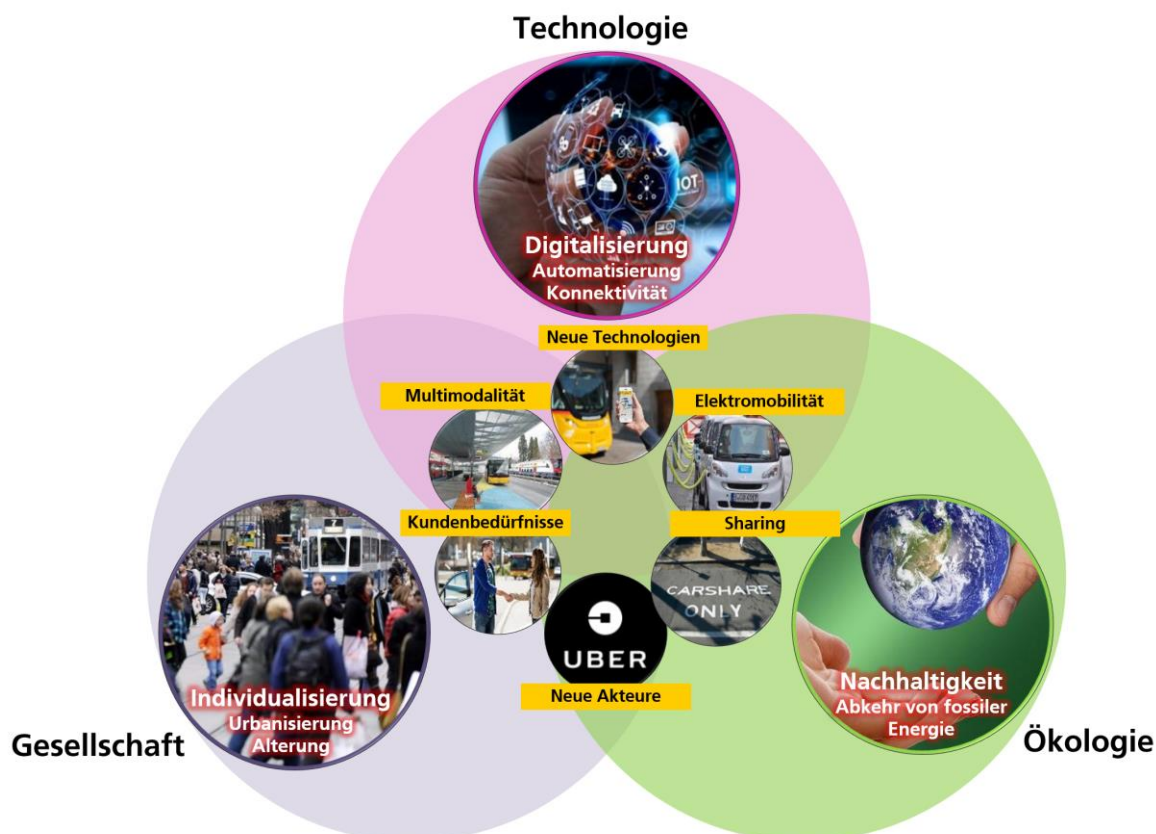


Abbildung 1: Neudefinition von Marktgrenzen durch kontinuierliche Vernetzung und Kooperation (Nydegger, 2021)

Branchengrenzen verschwimmen langfristig nicht nur innerhalb des Mobilitätsmarkts, sondern auch zwischen der Personen- und Güterlogistik. Neue Technologien und Angebotsformen wie on-demand Lösungen und automatisiertes Fahren führen zu einer zunehmenden Konvergenz von Güter- und Personenlogistik, insbesondere auf der letzten Meile. Die Beherrschung der relevanten Fähigkeiten (z.B. Routing, Dispatching, sicherer Einsatz automatisierter Fahrzeugflotten, Vernetzung & Kooperation automatisierter Fahrzeuge) wird zu einem branchenübergreifenden Erfolgsfaktor und kann bisherige Marktgrenzen neu definieren.

Neue Lösungen in der vernetzten und automatisierten Mobilität mit zunehmend alternativen Antrieben sind somit die Eckpfeiler der Mobilität von morgen. Die explorative Herangehensweise zur Sammlung und dem Aufbau von Wissen und Fähigkeiten fängt jedoch bereits heute an.

1.2 Warum ein automatisiertes Shuttle in Sion?

Wie oben hervorgehoben, steht die künftige Relevanz einer vernetzten, alternativ betriebenen und automatisierten Mobilität in urbanen Gebieten außer Frage. Auch für den öffentlichen Nahverkehr ist sie sinnvoll, da sie eine adäquate Lösung angesichts der aktuellen Herausforderungen darstellen kann.

Bereits 2016 hält die ETH Zürich in einer Studie (Axhausen, 2016) fest, dass « automatisierte Fahrzeuge zu substanziellen Erreichbarkeitsgewinnen führen werden », dies nicht nur in urbanen Räumen, sondern insbesondere auch in ländlichen Gebieten. Unter Berücksichtigung von Reboundeffekten (bspw. Entgegenwirken einer möglichen ausgelösten Zersiedelung) können Mobilitäts-Ziele von Gemeinden oder Städten realisiert werden.

Es stellt sich daher die Frage, welche Motivation die Stadt Sion hatte, dem weltweit ersten Versuch eines automatisierten Shuttle-Betriebs den Rahmen zu geben. Das automatisierte Shuttle-Projekt in Sion verdankt seinen Ursprung der Gründung des Mobility Lab im Jahr 2014. Ziel des Mobility Labs, an dem Partner wie die EPFL, der Kanton Wallis, die Stadt Sitten, Fachhochschule Westschweiz HES-SO und die Schweizerische Post beteiligt sind, ist es, innovative Ideen im Bereich der Mobilität zu entwickeln und im öffentlichen Raum

zu testen. Zur gleichen Zeit führte die EPFL, einer der oben genannten Partner, Tests mit drei automatisierten und elektrischen Fahrzeugen der französischen Marine mit Sitz in Lyon durch.

Die Tests fanden auf einer abgesperrten, 950 m langen Strecke zwischen dem Rolex Learning Center und dem EPFL Innovation Park statt, um u.a. die Zuverlässigkeit der automatisierten Technologie der Fahrzeuge zu testen.

Nach aussagekräftigen Tests wurde die Idee geboren, die Erfahrung im öffentlichen Raum zu wiederholen, mit all den Herausforderungen, welche dies mit sich bringen würde. Da das Mobility Lab seinen Sitz in Sion hat, bot sich die Stadt als möglicher Kandidat für einen solchen Test an.

Darüber hinaus eignet sich die Stadt Sion mit ihren spezifischen Eigenschaften besonders gut für den Erkenntnisgewinn im Rahmen eines solchen Pilotprojekts:

- Mittelgroße Stadt (schweizweit),
- Kurze Entfernungen zwischen Bahnhof - Stadtzentrum – Altstadt,
- Zahlreiche bereits bestehende Fußgängerzonen,
- Weist Hindernisse verschiedenster Kategorien auf (z. B. Terrassen, Werbetafeln, Blumentöpfe und andere Objekte) zum Erlernen des selbständigen Fahrens,
- Attraktive Tourismusdestination,
- Gute Wetterkonditionen für Versuche mit automatisierten Fahrzeugen.

Aufgrund dieser Erkenntnisse beschliesst die PostAuto AG, im Jahr 2016 das SmartShuttle-Projekt in der Stadt Sion zu starten.

2. Erste Daten

2.1 Startdaten und Entstehung des Projekts

Nachdem die Relevanz des Projekts aus einer Entwicklungsperspektive der Mobilität vorgestellt wurde, werden in diesem Abschnitt die Ausgangsdaten des ersten Projekts in der Schweiz zur Betreuung eines vollständig automatisierten Fahrzeugs, welches in den Verkehr einer Stadt integriert ist, präsentiert.

Dazu wird zunächst das Projekt in allgemeiner Form und danach die verwendeten funktionalen Elemente zur Durchführung des Projekts vorgestellt. Beginnend mit der Beschreibung des Produkts und seinen Eigenschaften, wird etwas genauer auf die vom Hersteller bereitgestellten automatisierten Shuttles eingegangen. Darauf aufbauend wird die spezifisch für die Durchführung des Projekts eingerichtete, benötigte Infrastruktur beschrieben. Weiter wird auf das Engagement und die Ausbildung der verschiedenen Mitarbeitenden eingegangen. Diese hatten die wichtige Aufgabe, die automatisierten Shuttles zu bedienen und sicher in den Verkehr zu bringen. Schliesslich wird auf die verschiedenen Stakeholder des Projekts sowie auf die Darstellung der Kommunikations- und Marketingstrategie, die zu Beginn des Projekts verfolgt wurde, eingegangen.

2.1.1 Allgemeiner Beschrieb des Projekts

Am 23. Juni 2016 begann die PostAuto AG mit der Austestung von zwei automatisierten Fahrzeugen. Für dieses Pilotprojekt wurde vom UVEK und ASTRA eine Sondergenehmigung zum Betrieb eines automatisierten Fahrzeugs im Straßenverkehr einer Stadt erteilt. Diese Genehmigung beinhaltet den Betrieb einer Strecke in der Altstadt von Sion mit zwei automatisierte Shuttle-Fahrzeugen des französischen Unternehmens « NAVYA ARMA » (nachfolgend « Navya » genannt) aus Lyon. Navya ist spezialisiert auf die Produktion von automatisierten Fahrzeugen, welche für intelligente und kollektiv genutzte Mobilitätslösungen verwendet werden.

Für PostAuto stellt das automatisierte Fahren eine strategisch relevante Entwicklung dar, die im Interesse der ÖV-Branche und der Schweiz aktiv und nachhaltig mitgestaltet werden soll. PostAuto ist davon überzeugt, dass Pilotversuche für die Beantwortung dieser Fragen in der Schweiz von zentraler Bedeutung sind. Daher auch die Idee der Durchführung des Pilotprojektes in Sion.

Diese Pilotversuche liefern auch dem Bundesamt für Strassen wertvolle, neue Erkenntnisse zum Einsatz von automatisierten Fahrzeugen in der Schweiz und den damit einhergehenden gesetzgeberischen Anforderungen. Eine weltweit einzigartige Langzeitstudie konnte somit realisiert werden.

Grundsätzlich geht es PostAuto um den verantwortungsvollen Umgang mit dieser neuen Technologie, damit neue Mobilitätslösungen im öffentlichen Verkehr geschaffen werden können, die das bestehende Angebot sinnvoll ergänzen sollen.

Konkret verfolgt PostAuto mit den Tests der automatisierten Shuttles die folgenden Ziele:

- Evaluation, ob der Einsatz dieser Technologie gerechtfertigt ist und sich automatisierte Systeme in den öffentlichen Raum, beispielsweise in Fussgängerzonen und autofreien Ortschaften -oder auf Firmengeländen integrieren lassen. Besonderes Augenmerk gilt dabei bisher schlecht erschlossenen Gebieten.
- Ausserdem wollte PostAuto herausfinden, wie die Akzeptanz solcher Systeme bei den Fahrgästen, den Mitarbeitenden und in der Bevölkerung im Allgemeinen ist.
- PostAuto möchte als Unternehmen Erfahrungen mit neuen Formen der Personenmobilität sammeln. Wie lässt sich der Betrieb solcher selbstfahrenden Busse organisieren? Was muss beachtet werden, damit diese Fahrzeuge effizient eingesetzt und geleitet werden können? Wie werden diese Systeme optimal in das bestehende Angebot im Linienverkehr integriert?

Die angeschaffte Shuttle-Flotte hatte ein Autonomie Level 2 nach der Taxonomie der International Society of Automotive Engineers. Der Fahrer muss das System jedoch jederzeit überwachen und in der Lage sein, die Kontrolle über das Fahrzeug wiederzuerlangen. Diese und weitere Erläuterungen zu den verschiedenen Autonomiegraden geben die sog. SAE-Level (SAE International, 2018) wieder. Das Fahrzeug von Navya hatte weder Pedalen, manuelle Bremsen noch ein Lenkrad. Der Betrieb in Sion sollte auf Stufe 4 (hochautomatisiert) entsprechend den SAE-Levels ausgelegt werden.

Gemäss dem Bericht des Bundesrates (2016) wird der künftige Einsatz automatisierter Fahrzeuge wie folgt beschrieben:

« Auch für den öffentlichen Verkehr bieten selbstfahrende Fahrzeuge in Kombination mit weiteren Aspekten der digitalen Welt interessante Perspektiven für die Bereitstellung noch bedarfsgerechterer, effizienterer und kostengünstigerer Angebote. Besonders interessant sind diese Möglichkeiten für die Abdeckung der «ersten und letzten Meile» sowie für die Erschliessung des ländlichen Raums. Längerfristig könnten neue Angebotsformen wie «Sammeltaxis», Car-Sharing-Modelle und andere linien- und fahrplanunabhängige Angebote die heutigen öV-Angebote wirkungsvoll ergänzen und teilweise auch ersetzen. Die Grenzen zwischen öffentlichem und individuellem Verkehr werden sich zunehmend verwischen, gleichzeitig bieten sich neue Chancen und Möglichkeiten für die Kombination der verschiedenen Verkehrsträger. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass insbesondere die Betreiber des öffentlichen Nah- und Regionalverkehrs diese Möglichkeiten aktiv nutzen und sich erfolgreich im sich wandelnden Markt positionieren werden. »

Etwa zeitgleich mit dem Erscheinen des Berichts im Jahre 2016 wurde der Anwendungsfall in Sion definiert, um mittels des automatisierten Fahrens auch die Flexibilität des öffentlichen Verkehrs auf der ersten und letzten Meile durch das Fehlen eines festen Fahrplans (was beim SmartShuttle-Projekt der Fall war) zu ermöglichen sowie den Einsatz kleinerer Fahrzeuge (die Abmessungen des Navya-Shuttles misst 4,75 m x 2,11 m x 2,65 m) im Altstadtbereich zu testen. Die Auslegung dieser Shuttles entspricht der Topographie der Altstadt von Sion sehr gut mit ihren fahrtechnisch anspruchsvollen und engen Passagen. Wie in der Abbildung unten zu sehen ist, führt die gewählte Route durch Orte, an denen andere Standardfahrzeuge, die für den öffentlichen Verkehr gechartert wurden, nicht verkehren können. Zu nennen sind hier die Impasse des Tannerie (zwischen der Haltestelle "Place du Scex" und "Rue du Rhône") oder die Rue de Savièse und die Rue Mathieu-Schiner (zwischen den Haltestellen "Hôtel de ville" und "Mathieu Schiner"). Dieses Diagramm zeigt die erste Linie, die im Jahr 2016 entwickelt und danach in Linie 2 umbenannt wurde.

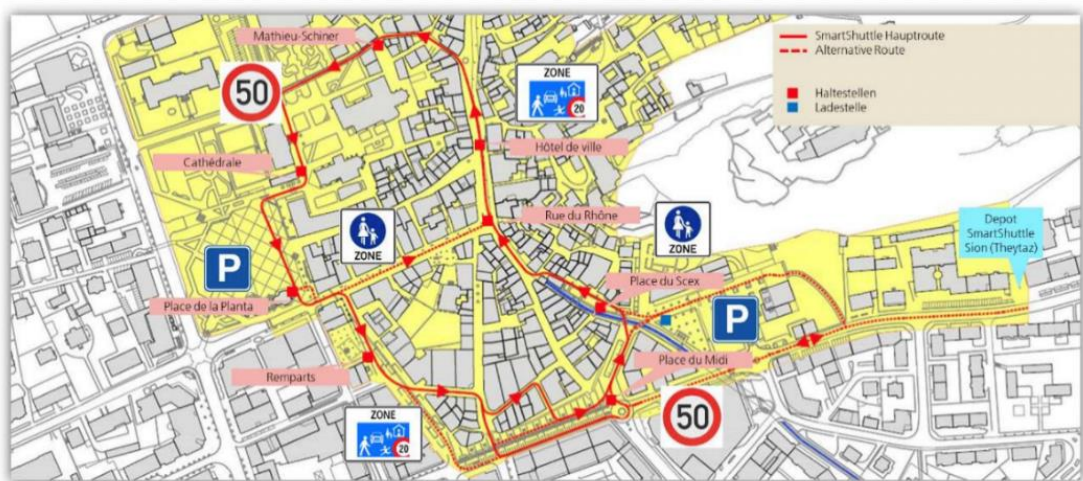


Abbildung 2: Route der SmartShuttle in der Altstadt von Sion

2.2 Verwendete funktionale Elemente, Mittel und Organisation

2.2.1 Ausprägungen der beiden Fahrzeuge und Attribute

Die beiden Shuttles, die auf dieser Strecke verkehren, haben die folgenden, besonderen technischen Eigenschaften:

- Es handelt sich um ein völlig symmetrisches Fahrzeug, das in beide Richtungen fahren kann. Das Fahrzeug ist auf allen vier Rädern angesteuert und lenkbar, was ihm eine besondere Wendigkeit ermöglicht.
- Mit zwei Batterien wird eine Autonomie von rund neun Stunden erreicht. Eine dieser Batterien versorgt den Steuercomputer mit 12 Volt und die andere treibt den 100%igen Elektromotor an der Vorderseite des Fahrzeugs mit 80 Volt an. Die Batterien werden über ein im Heck eingelegtes Kabel über einen Zeitraum von ca. fünf Stunden vollständig aufgeladen. Dies geschieht vorwiegend nachts im SmartShuttle-Depot in der Rue du Scex.
- Die Höchstgeschwindigkeit des Shuttles ist auf 20km/h festgelegt (Vorschrift in der Schweiz), obwohl das Fahrzeug technisch schneller fahren kann.
- Im Fahrgastraum befinden sich Sitze für maximal 11 Passagiere sowie ein Klappsitz für den Sicherheitsfahrer.
- Zwei Hochleistungsrechner befinden sich im vorderen Kofferraum und stellen den Betrieb des Shuttles sicher.
- Um den Betrieb des Shuttles sicherzustellen, sind verschiedene Sensoren um und im Shuttle verbaut. Zwei 3D-Lidar-Sensoren befinden sich an der Vorder- und Rückseite des Shuttles, oberhalb der Windschutzscheibe. Diese Sensoren ermöglichen es dem Fahrzeug, die Umgebung in 3D wahrzunehmen, eine präzise Positionierung zu gewährleisten und Hindernisse zu erkennen. Vier 2d-Lidar-Sensoren befinden sich an der Vorder- und Rückseite des Shuttles, unterhalb der Windschutzscheibe. Der Shuttle ist für den Fall eines Vorfalls auch mit einer Kamera ausgestattet (die aus Datenschutzgründen keine Gesichtserkennung zulässt). Außerdem befindet sich an jedem Rad ein Odometer (Kilometerzähler), der durch die Messung der Raddrehung die Verschiebung, den Lenkwinkel der Räder sowie die Geschwindigkeit des Fahrzeugs misst.
- Eine weitere moderne Technologie, die in den Computer des Shuttles eingebaut wurde, ist die Inertial Motion Unit (IMU), die es dem Fahrzeug ermöglicht, zu wissen, wo es sich befindet. Wenn die Lidars nicht richtig funktionieren, werden die Odometrie und die IMU verwendet, um sicherzustellen, dass der Shuttle geortet werden kann.
- Auf dem Dach des Shuttles ist das Telekommunikationssystem installiert, bestehend aus einer GNSS-Antenne, einer 3G/4G-Antenne und einer Funkantenne.

2.2.1.1 Route abbilden

Um den Betrieb eines automatisierten Fahrzeugs einzurichten, ist es notwendig, die zu fahrende Route, in seinem Steuerrechner aufzuzeichnen. Dieser Weg wird als "Pfad" bezeichnet und wird vor dem Vorgang

konfiguriert. Hierzu hat der Lieferant die Route genau kartografiert und aufgezeichnet. Die zahlreichen erfassten Datenpunkte in der städtischen Umgebung ermöglichen es, den Shuttle auf seinem Weg zu lokalisieren und dem Shuttle Gebäude, Straßenlaternen sowie Bäume, Bürgersteige, Brunnen und weitere Elemente entlang der Route zu erkennen. Während des Betriebs ist es möglich, diese Kartografie entsprechend den effektiven Elementen der Umgebung anzupassen. Hingegen müssen manuelle Anpassungen vorgenommen werden, wenn die Bäume im Frühjahr blühen oder wenn eine neue Café-Terrasse eingerichtet wird. Damit kann sichergestellt werden, dass der automatisierte Fahrbetrieb des Fahrzeugs nicht beeinträchtigt wird. Der Punkt zu Änderungen an der Route, der Umgebung und deren Auswirkungen wird später noch ausführlich erläutert.

2.2.1.2 Standort des Shuttles

Die Shuttle-Lokalisierung basiert laut Hersteller auf der Verschmelzung von drei sehr unterschiedlichen aber sich ergänzenden Technologien. Alle drei erfordern, dass der Shuttle lernt, was in seiner Umgebung ist und eine graphische Karte erzeugt, die als Referenz dient. Vereinfacht gesagt ist es vergleichbar mit einer "Schiene" für Züge, welche die exakte Routenführung definiert.

- Die erste Technologie ist die Kombination von Odometrie und IMU. Die Odometrie und die Trägheitseinheit des Shuttles ermöglichen es ihm, alle seine Bewegungen auszuwerten. Da er seine Position auf der Karte erkennt, kann er permanent einschätzen, wo er sich befindet.
- Die zweite Technologie ist die GNSS-Positionierung. Diese ermöglicht eine präzise Positionierung bis auf 1 m Genauigkeit. Um die Genauigkeit der Ortung zu verbessern, wurde über dem Gebäude der Migros-Klubschule (neben dem Bahnhof Sion) ein fester Sockel mit einer dauerhaft erkennbaren Position installiert. Die Übertragung dieser Informationen erfolgt auf zwei Arten: über das 3G/4G-Mobilfunknetz und über Funkfrequenzen.
- Die dritte Ortungstechnologie ist die Lidar-Technologie. Diese Ortung besteht darin, eine Kartographie im Speicher (siehe oben) mit dem zu vergleichen, was das Shuttle in Echtzeit wahrnimmt. Der Vertrauensindex der Erkennung wird als "Trefferquote" bezeichnet und muss 60 % betragen, um den optimalen Betrieb des Shuttles zu gewährleisten.

Damit das Shuttle fahrbereit ist, müssen theoretisch zwei der drei Technologien funktionieren. Wenn zwei Technologien nicht einwandfrei funktionieren, wird der Shuttle-Betrieb eingestellt. Weitere Informationen zur technischen Funktionsweise von automatisierten Shuttles werden im Dokument "*Technischer Bericht zum Pilotprojekt SmartShuttle*", verfasst von R. Müller von der PostAuto AG für das ASTRA (2018) dargelegt. Diese Erklärungen sind wichtig, um die verschiedenen Situationen von Fehlfunktionen und Abschaltungen des Shuttles zu verstehen (siehe Abschnitt 3).

2.2.2 Einsatz der Mitarbeitenden von PostAuto

Da die Schweiz 1991 das Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr vom 8. November 1968 ratifiziert hat, muss sich in jedem sich in Bewegung befindlichen Fahrzeug oder in jeder Kombination von in Bewegung befindlichen Fahrzeugen ein Fahrer befinden, welcher ständig die Kontrolle über sein Fahrzeug haben muss (Art. 8 Abs. 1 und 5 CV) (Fedlex, Die Publikationsplattform des Bundesrechts, 2020). Die Sondergenehmigung für die PostAuto AG, ein Fahrzeug ohne Lenkrad und Pedale zu betreiben, ist eine Ausnahme. Bedingung ist, dass immer ein Sicherheitsfahrer im Shuttle anwesend ist, um die Sicherheit des Fahrzeugs zu gewährleisten. Bei Bedarf kann der Sicherheitsfahrer im Modus "manuell" die Kontrolle über das Fahrzeug übernehmen. In diesem Fall übernimmt der Fahrer die vollständige Kontrolle über das Fahrzeug. Diese Übergänge sind von nicht zu unterschätzender Komplexität und erfordern ein spezifisch geschultes Personal. Zusätzlich können zur Erhöhung der Sicherheit zwei Notfall-Tasten aktiviert werden, um das Fahrzeug bei Bedarf sofort und vollständig zum Stillstand zu bringen. Neben dem Sicherheitsfahrer im Shuttle werden beide Fahrzeuge von einer Software gesteuert und überwacht, die vom Schweizer Start-up « Bestmile » entwickelt wurde. « Bestmile » hat sich auf diesen Bereich spezialisiert und offeriert eine Software-Lösung zur Flottenorchestrierung mit automatisierten Fahrzeugen. Diese wird von einem Teleoperator überwacht, der sich in einem « Kontrollzentrum » in einem Gebäude unweit des « Place du Midi » in Sion befindet.

An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass mit Sicherheitsfahrer und Teleoperatoren zwei neue Berufe von PostAuto für dieses Projekt geschaffen wurden. Das Projekt hat also neue Arbeitsplätze geschaffen und hat es dem Unternehmen auch ermöglicht, arbeitssuchende Menschen einzustellen. Dies ist ein interessanter Ansatzpunkt, um über die Frage der Beschäftigung als Folge der Digitalisierung der Arbeitswelt

nachzudenken. Dies wird jedoch an dieser Stelle des Berichts nicht weiter vertieft. In diesem Pilotprojekt waren mehrere Vollzeitkräfte sowie Hilfskräfte für PostAuto im Einsatz. Die theoretische Ausbildung erfolgte auf Basis des Schulungshandbuchs des Herstellers, die durch die praktische Ausbildung und einer Zertifizierung im Testzentrum Stöckacker in Bern ergänzt wurde.

2.2.3 Betrieb der automatisierten Shuttles in Sion

Die automatisierten Shuttles werden für dieses Pilotprojekt von Mittwoch bis Freitag von 07:00 bis 10:00 Uhr und von 13:00 bis 18:00 Uhr sowie samstags und sonntags von 13:00 bis 18:00 Uhr betrieben. Am Freitagnachmittag beginnt der Betrieb nach 15:00 Uhr aufgrund des Sion-Marktes in der Rue du Grand-Pont.

Zwei Jahre nach Inbetriebnahme der ersten Linie im Jahr 2016 wurde eine neue Linie, die Linie 1, mit einer Länge von 3 km in Betrieb genommen. Sie umfasste den südlichen Teil der Stadt Sion (vom Bahnhof bis zur « Place du Midi »). Zielpublikum für diese zweite Linie waren vor allem Pendler, die in der Stadt Sitten ihren Arbeitsplatz haben sowie Studierende, denen dadurch eine Mobilitätsmöglichkeit für die letzte Meile geboten wird. Im Laufe des Jahres 2019 konnten die beiden Linien zu einer großen Schleife zusammengeführt werden.

Die folgende Abbildung zeigt die Verkehrsführung:

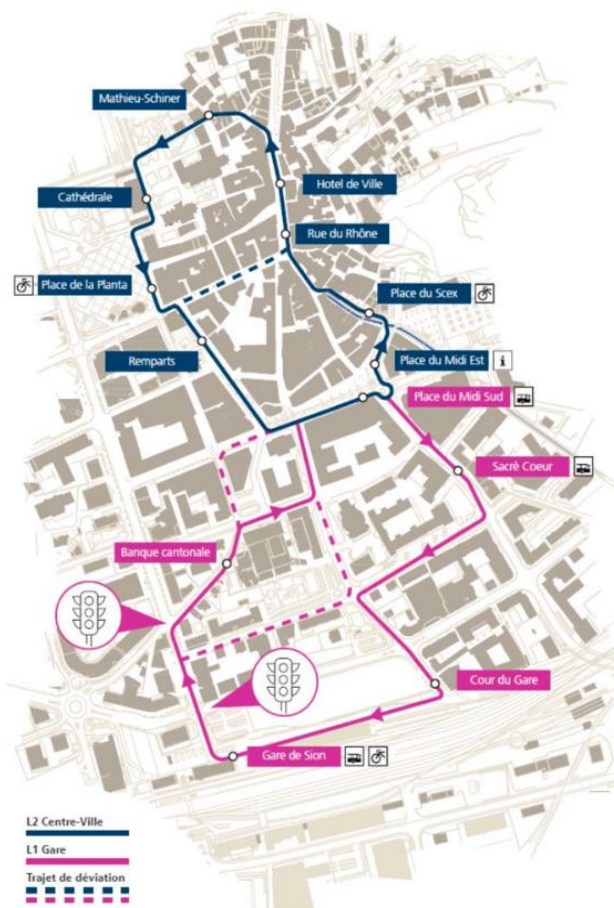


Abbildung 3: Status der beiden Linien im Jahr 2018 (Müller, 2018)

Aus Abbildung 3 wird ersichtlich, dass die größte technische Herausforderung dieser neuen Route der Umstand ist, dass der Shuttle neu in einen Verkehr mit Ampeln eingefügt wurde. Grundsätzlich bedeutet dies ein neues V2X-Management der Kommunikation zwischen dem Shuttle und der Signalisierung. Ab 2018 wurde die Strategie erweitert, damit die verschiedenen Mobilitätsmöglichkeiten für die Bürger und Pendler der Stadt (Bus, Bahn, Shuttle, PubliBike, zu Fuß) kombiniert werden konnten. Diese strategische Verschiebung wird nachfolgend erläutert:

2.2.4 Involvierte Partner und Interessengruppen

Das von PostAuto 2016 gestartete Pilotprojekt bezog von Beginn weg verschiedene Stakeholder mit ein. Dazu gehören der Fahrzeuglieferant Navya aus Frankreich, die Betreuung durch Bestmile, die Post als Sponsor, die Eidgenössische Technische Hochschule Lausanne (EPFL), die Stadt Sion, die Stadtpolizei von Sion, Kommunalpolitiker sowie die Bevölkerung. Erfolgskritisch war die Betrachtung der Bürger der Stadt Sion als echte Beteiligte an diesem Projekt. In der Tat ist es am Ende dieses Projekts hinsichtlich der sozialen Akzeptanz solcher Lösungen im Stadtverkehr interessant zu hinterfragen, wie die Bewohner der Stadt Sion und auch die dort arbeitenden Menschen gelernt haben, mit dem automatisierten Shuttle umzugehen. Die Interaktion zwischen Menschen und Maschine (HMI) wird später in diesem Bericht noch weiter ausgeführt.

2.2.5 Werbung für das Pilotprojekt

Das völlig automatisierte Fahren eines Fahrzeugs in den Straßen- und Fußgängerzonen einer Stadt mit dreißigtausend Einwohnern hat für viel Aufmerksamkeit und mediales Interesse gesorgt.

Die Kommunikation der Kommunikations- und Marketingabteilungen von PostAuto war während der Lancierung des Betriebes entsprechend auf diese Neuigkeit im öffentlichen Verkehr ausgerichtet. Die Medienberichterstattung über das Projekt rückte PostAuto und speziell die Stadt Sitten und das Wallis als innovative Mobilitätsdrehscheibe ins Rampenlicht. Mehrere Fernsehsender weltweit berichteten am 23. Juni 2016 über den Start des SmartShuttle-Projekts. Danach war das Echo bei den von PostAuto beförderten Menschen zu spüren. Die transportierten Fahrgäste kamen aus der ganzen Welt, um die smarten und automatisierten PostAuto-Shuttles zu testen. Generell konnten zwei verschiedene Arten an Besuchen ausgemacht werden:

1. Technische Besuche, bei denen die Besucher das Know-how von PostAuto im Bereich des automatisierten Verkehrs kennenlernen wollten: Delegationen aus verschiedenen Ländern (Slowenien, Frankreich, Japan usw.) und als Ausgangspunkt für Diskussionen über Mobilität (z. B. Lycée-Collège de la Planta).
2. Erlebnisbesuche: Besucher kamen, um die Shuttles als "Attraktion" zu erleben (Betriebsausflüge, Behindertenausflüge).

3. Betriebsdaten

3.1 Wichtige Daten

Nachdem der Start des Projekts mit seinen Spezifika vorgestellt wurde, wird der Fokus im Folgenden auf den Betrieb der SmartShuttles gelegt. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die folgende Frage gerichtet: Wie kann aus den Erfahrungen mit den SmartShuttles gelernt werden? Dies soll Mittels Analysen in drei Dimensionen strukturiert und wie folgt dargestellt werden:

- Die Darstellung wesentlicher aggregierter Daten für die Betriebsperiode 2016 bis 2020 mit dem Fokus auf den Wechsel im Jahr 2018 eines experimentellen Projekts mit einem *Startup-Charakter* zum Betrieb eines standardisierten PostAuto-Produkts, das von einem Management-Team geführt wird.
- Eine eingehende Analyse der signifikanten Veränderungen im Verhalten des Shuttles mit seiner Umgebung und der Technologie, sowie die allmähliche Gewöhnung der Bürger und Autofahrer Sions an das Leben mit den automatisierten Shuttles.
- Eine Übersicht über die aufgetretenen Hindernisse, die den Betrieb gestört haben, und die Maßnahmen, die zu deren Überwindung getroffen wurden. In dieser Perspektive wird auch gezeigt, wie die Flexibilität und Anpassungsfähigkeit des SmartShuttle-Teams im Umgang mit den Hindernissen die Herausforderungen zudem in echte Chancen verwandelt haben.

Der Betrieb der SmartShuttles in Sion wurde in verschiedenen Phasen durchgeführt, die unterschiedlichen Visionen des Projekts entsprechen. Die dritte Phase mit dem « on-demand » Betrieb in Uvrier wird in diesem

Bericht nicht behandelt. Wichtig erscheint dem Verfasser des Berichts an dieser Stelle zu erwähnen, dass in Uvrier aufgrund der Covid19-Pandemie beträchtliche Einschränkungen im Betrieb der Shuttles vorgenommen werden mussten, um den Anforderungen der Behörden zu entsprechen.

SmartShuttle Sion 1.0	Experimentelles Pilotprojekt	23. Juni 2016 bis 31. Dezember 2017
SmartShuttle Sion 2.0	Verwalten eines PostAuto-Produkts	1. Januar 2018 bis 31. Dezember 2020

Die folgende Tabelle fasst in aggregierter Form alle Daten zusammen, die wir in den 4 Betriebsjahren der SmartShuttles gesammelt haben

Relevante Daten	2016 - 2020
Transportierte Personen	53'675
Zurückgelegte Strecke [in km]	22'600
Fahrzeit [in Stunden]	8'799
Energieverbrauch [in kWh]	17'938
Dauer der Operation [in Tagen]	793
Arbeitsstunden insgesamt	19'869
Durchschnittliche Shuttle-Verfügbarkeitsrate [in %]	88%
<i>Theoretisch akzeptable Verfügbarkeitsrate</i>	95%

Abbildung 4: Datensammlung der letzten 4 Betriebsjahre der SmartShuttles

Die aufgezeigten Daten zeigen eine sehr tiefe durchschnittliche Verfügbarkeit der Shuttles im Betrachtungszeitraum. PostAuto kann festhalten, dass dies in einem nicht akzeptablen Bereich für einen Regelbetrieb des öffentlichen Verkehrs liegt. Der Ersatz von ausfallenden Fahrzeugen muss, insbesondere bei einer Lösung im öffentlichen Verkehr, jederzeit zwingend sichergestellt sein.

3.1.1 Fokus: Entwicklung der beförderten Passagiere

Die folgende Grafik zeigt die Entwicklung der Anzahl der beförderten Fahrgäste für den Betriebszeitraum 2016 bis 2020.

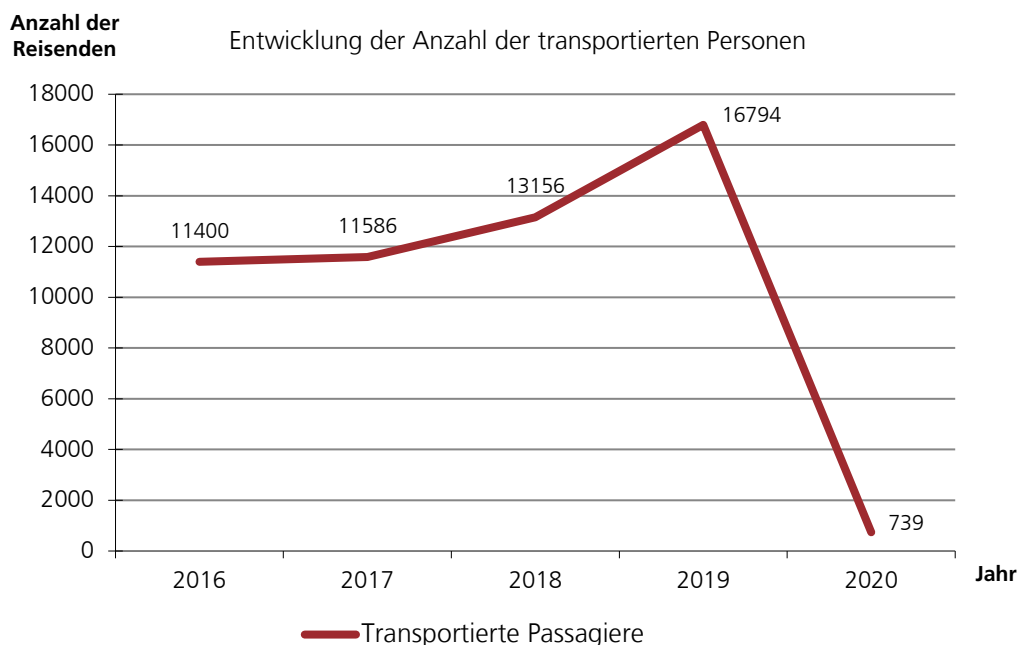


Abbildung 5: Anzahl der beförderten Fahrgäste für den Betriebszeitraum 2016 bis 2020

Auf der Linie 1, der Schleife in den Süden der Stadt, wurden ab 2018 hauptsächlich Pendler und Leute befördert, die den Shuttle testen wollten. Die Anzahl der Fahrgäste konnte durch die Organisation eines sogenannten «Escape-Games» erhöht werden. Dies ist in Abbildung 5 zwischen dem Jahr 2018 und Ende 2019 erkennbar.

Auf der Linie 2, der Schleife in der Altstadt von Sion, wurden hauptsächlich « Shuttle-Stammgäste » befördert. Es handelte sich hierbei um tendenziell ältere Personen und Touristen. Dies lässt sich durch die touristische Anziehungskraft der Altstadt von Sion und durch die strategisch günstige Lage der Haltestellen erklären.

Der starke Rückgang der Personenbeförderungszahlen zu Beginn des Jahres 2020 hängt mit den einschränkenden Massnahmen im Zusammenhang COVID-19-Pandemie zusammen. Diese Massnahmen haben neben allen anderen Wirtschaftsbereichen (wichtig für Pendlerströme & Tourismus) auch das Angebot des öffentlichen Verkehrs sehr stark getroffen. Die Pandemie in der Stadt Sion führte dazu, dass der Shuttle-Betrieb am 13. März 2020 komplett eingestellt werden musste.

Insgesamt kann aber auf einen wachsenden Trend bei der Anzahl der beförderten Fahrgäste geschlossen werden. Dies spiegelt den Erfolg der SmartShuttles und dessen Attraktivität für die Öffentlichkeit wider. Viele verschiedene Besucher aller Art (Studenten, Familien, Transportdelegationen der Regierung, technische Besucher, Senioren, Anwohner, Touristen, usw.) konnten ausgemacht werden. Diese große Heterogenität des Kundenstamms wirft die Frage nach dem Prozess der Segmentierung und der Ausrichtung des Produkts ab 2018, dem Zeitraum des strategischen Wechsels zum Produktmanagement von PostAuto, auf.

In der Tat konnten zwar alle Arten von Kunden identifiziert werden, jedoch bleibt die vorrangige Motivation zur Nutzung der « Spass »-Faktor. Das zeigt eine Umfrage, die PostAuto Anfang 2019 unter Pendlern durchgeführt hat, die zu Spitzenzeiten aus den Zügen in Lausanne und Brig ausgestiegen sind. Das Ergebnis dieser Umfrage zeigte auf, dass lediglich rund 16% der Befragten den Shuttle für ihre Weiterreise nutzten. Davon gaben rund 50% an, den Shuttle zum Spass zu nutzen. Weitere 27% wollten den Shuttle aus Neugier testen. Von den restlichen Nutzern wurde angegeben, dass sie den Shuttle nutzten, weil er kostenlos war (14%) oder weil es schneller war als zu Fuß zu gehen (9%). Weiter kann festgehalten werden,

dass die Einführung einer zweiten Linie im Jahr 2018 die Shuttle-Nutzung nicht exponentiell erhöht hat, sondern die Nutzer auf die beiden Schleifen verteilt hat.

3.1.2 Fokus: Shuttle-Verfügbarkeit und Betriebsunterbrechungen

Die folgende Grafik zeigt die prozentuale Veränderung der wichtigsten Situationen auf, die das automatisierte Fahren der Shuttles gestört haben. Zunächst wird eine Auflistung der Elemente, Situationen und Gründe vorgenommen, welche die Sicherheitsfahrer meist dazu zwangen, das Fahrzeug entweder im "manuellen" Modus zu übernehmen oder den Shuttle-Betrieb für einige Minuten, Stunden oder sogar für einen längeren Zeitraum ganz einzustellen.

- Unerlaubtes Parken: Damit sind Fahrzeuge gemeint, die auf dem Shuttleweg abgestellt sind;
- Infrastrukturen: z.B. Terrassen, Werbetafeln, Blumentöpfe und andere Objekte, die von den verschiedenen Geschäften auf dem Shuttleweg aufgestellt werden;
- Softwareprobleme: GNSS-Verlust in der Altstadt (enge Straßen) [Hit Ratio < 60];
- Hardware-/Mechanikprobleme: Verteilergetriebe, Bremssystem ;
- Meteorologische Bedingungen: Hitzewellen, Schnee, Regen, Wind (Laub).

Die folgende Abbildung 6 zeigt sehr deutlich auf, wie sich folgende Probleme diametral entwickeln:

- die abnehmende Entwicklung der Störungen im Zusammenhang mit illegalem Parken (rote Kurve)
- die zunehmende Steigung der Kurve im Zusammenhang mit technischen Störungen des Shuttles (lila Kurve)

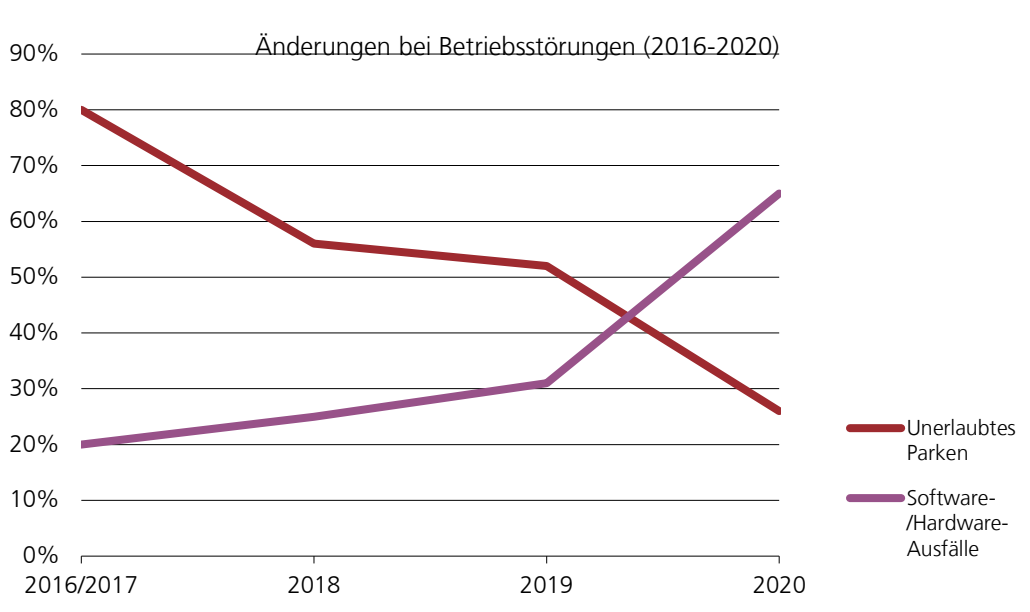


Abbildung 6: Diametrale Entwicklung der Störung aufgrund unerlaubten Parkens und Software bzw. Hardwareausfälle

3.1.2.1 Betriebsstörungen durch unerlaubtes Parken

Die rote Kurve in Abbildung 6 spiegelt den deutlichen Abwärtstrend der Betriebsstörungen durch Falschparken wider. In der Tat waren zu Beginn des Projekts mehr als 80 % der manuellen Fahrzeugübernahmen auf Fahrzeuge zurückzuführen, die auf dem "Weg" des Shuttles geparkt waren. Diese Fahrzeuge wurden außerhalb der dafür vorgesehenen Plätze abgestellt. Um dieses Problem zu entschärfen, hat man sich für eine Strategie der Konfliktlösung durch Dialog und Prävention entschieden im Rahmen einer Koexistenz von Interessen der jeweiligen Stakholder im Zusammenleben in der Stadt Sion. PostAuto durfte in der Zeit nach diesem Entscheid feststellen, dass der gewählte Weg richtig war, um ein gutes Miteinander zwischen den Pendlern und den lokalen Autofahrern zu fördern. Nach 4 Jahren hat sich das illegale Parken um ca. 75% reduziert. Es ist also klar, dass die Interaktion zwischen dem Shuttle und den Bürgern von Sion durch einen progressiven und sehr zufriedenstellenden sozialen Lerneffekt im Rahmen

der sozialen Akzeptanz gekennzeichnet war. Am Ende der vier Jahre hatten sich die Bürger an den Shuttle gewöhnt und erwarteten sogar seine Durchfahrt.

3.1.2.2 Ausfälle der Hard- und Software

Auf der anderen Seite ist die lila Kurve für den Betrieb von PostAuto eher bedenklich. Tatsächlich hat sich der Anteil der Störungen und Abschaltungen aufgrund technischer Probleme, die vom Shuttle selbst ausgehen (GNSS-Ortung, Mechanik, Verteilergetriebe, Bremsen usw.) in 4 Jahren mehr als verdreifacht. Das wirft die Frage nach der Lebensdauer der Shuttles auf. Noch konnte der Hersteller keine für PostAuto zufriedenstellende Angaben in Bezug auf diese Fragestellung machen und somit gültige und zuverlässige Antworten über den Lebenszyklus der Shuttles zu geben, damit ein stabiler Betrieb sichergestellt und die Verfügbarkeit der Shuttles erhöht werden kann.

3.2 Analyse der Betriebsdaten

In den vier Betriebsjahren in der Stadt Sion waren die Shuttles stets mit der Realität einer städtischen Umgebung konfrontiert. In diesem komplexen Kontext kommt es immer wieder zu unvorhersehbaren Ereignissen und Situationen, welche hohe Anforderungen an die Lernfähigkeit von Menschen und System stellen. So beeinflussten z.B. unpräzise parkierte Autos den Betrieb oder auch Fussgänger, die sich absichtlich auf den Fahrtweg der Shuttles stellten, um deren Reaktions- und Bremsfähigkeiten zu testen. Weiter stellten bewilligte sowie unbewilligte Demonstrationen auf der Strecke oder Bauarbeiten und extreme Wettersituationen eine Herausforderung dar. Schliesslich waren auch in kleinerem Masse auch Tiere und sogar die Vegetation (z.B.: auf die Strasse ragende Äste) Teil dieser unvorhergesehenen Einflüssen. Mit all diesen Elementen musste das automatisierte Shuttle interagieren, indem es sich schrittweise an sie anpasste. Am Ende des Experiments erlaubte PostAuto diese Erfahrung, mehr über den aktuellen Stand der Technik zu erfahren, ebenso wie über die Grösse des Deltas, das den aktuellen Stand der Technologie der eingesetzten Shuttle von Stufe 5 des automatisierten Fahrens und der endgültigen Stufe der Autonomie nach der Taxonomie (SAE International, 2018) trennt.

3.2.1.1 Operativer und technologischer Aspekt

In diesem Unterkapitel wird diskutiert, welche Entwicklung sich im Verhalten und Lernen der Shuttles eingestellt hat. Es wird jedoch auch aufgezeigt, was die Erfahrungen von PostAuto in Bezug auf den technologischen Fortschritt, die Grenzen und die betrieblichen Perspektiven sind.

3.2.1.2 Technik und Umwelt

Aus technischer Sicht waren die Shuttles zahlreichen Herausforderungen ausgesetzt, die vor allem durch den Kontakt mit ihrer Umwelt hervorgerufen wurden. Dies führte dazu, dass die Fahrzeuge oftmals schnelle und sichere Abbremsmanöver einleiten mussten. Bei einem Vorfall im Automatikbetrieb war dies nicht vollumfänglich möglich. Die Sensoren des Shuttles haben am 21.09.2106 eine offene Heckklappe eines illegal geparkten Lieferwagens nicht rechtzeitig erkannt und diesen touchiert.

Dies ist der einzige Vorfall im automatisierten Modus, der Elemente oder Akteure in seiner unmittelbaren Umgebung betreffen. Um weitere Vorfälle dieser Art zu vermeiden, stattete der Hersteller die Shuttles mit vier zusätzlichen Sensoren aus, die den toten Winkel besser abdecken sollten. Mehrere kleinere Vorfälle mit Touchierungen erfolgten im manuellen Modus und standen somit im Zusammenhang mit menschlichem Versagen und nicht mit der angewandten Technik.

Während also die Technik zur Vermeidung von Zwischenfällen jeglicher Art mit der äußeren Umgebung als sicher und damit als zufriedenstellend angesehen werden kann, konnten die Fahrten während des Betriebes für die Passagiere im Inneren des Fahrzeugs als « wackelig » oder eher abrupt wahrgenommen werden. Tatsächlich zeichneten sich die ersten Software-Versionen durch sehr plötzliches Abbremsen aus, wenn Hindernisse in seinem Sichtfeld erkannt wurden. Dies führte teilweise zu heftigem, für die Fahrgäste unangenehmem Rütteln. Durch die Aktualisierung des Systems wurde das Fahrerlebnis für die Fahrgäste wesentlich verbessert und somit ruhiger. Spürbare Elemente waren hierbei:

- Das Bremsverhalten verbesserte sich und war weniger abrupt und zunehmend vorausschauend;
- Die Geschwindigkeit wurde schrittweise an diejenige von Fußgängern angepasst, die in entsprechendem Abstand zu den Sensoren gingen;

- Progressive Antizipation des Rechtsüberholens von Fahrzeugen oder Fahrrädern;
- Die Wartezeit, nachdem die Ampelanlage auf grün geschaltet hat, konnte reduziert werden und die Fahrzeuge haben direkt begonnen zu beschleunigen.

Alle diese Entwicklungen sowie ein zunehmend rücksichtsvoller Verkehr, weniger Fußgänger, und milderes Wetter haben schliesslich die Fahrtweise der Shuttles zunehmend flüssig und vor allem angenehmer gemacht, so dass die gesamte Schleife im *automatisierten Modus* absolviert werden konnte.

3.2.1.3 Technische Hürden und Grenzen der Technik

Ein weiteres Hindernis, das den reibungslosen Ablauf des Betriebs störte, war die Zuverlässigkeit der Software und der mechanischen Bedienung der Shuttles. Wie in Abbildung 6 ersichtlich ist, war die Verfügbarkeitsrate der Shuttles zu einigen Zeitpunkten tiefer als das mit dem Fahrzeughersteller definierte Akzeptanzlevel von 80%. Dies steht mit mehreren Faktoren im Zusammenhang. Erstens, da sich die automatisierte Technologie noch in einem sehr frühen bzw. mittleren Entwicklungsstadium befand, folgte die Entwicklung einem sehr unvorhersehbaren Pfad. Zweitens war es oft komplex und zeitaufwendig, die genauen Ursache- und Wirkungszusammenhänge und somit die Wurzeln eines Fehlers zu ermitteln.

Alle hier genannten Elemente führen zu folgender Schlussfolgerung: Im Allgemeinen ist die Technologie zufriedenstellend und zuverlässig. Der Betrieb eines automatisierten Fahrzeugs ohne Sicherheitsfahrer ist zum Zeitpunkt des Pilotprojektes nicht möglich gewesen, sowohl im Hinblick auf die rechtliche Lage, als auch aufgrund der technologischen Maturität dieser Systeme.

3.2.2 Umweltaspekt

Der Betrieb wurde, nebst den bisher beschriebenen Herausforderungen, zusätzlich durch Veranstaltungen in der Stadt Sion erschwert. Dies erforderte eine hohe Anpassungsfähigkeit und Flexibilität in Bezug auf Betriebsunterbrechungen aufgrund einmaliger Veranstaltungen. Beispiele solcher Veranstaltungen waren bspw. der Freitagsmarkt auf der Grand Pont, der Karneval auf der Planta oder das Geschmacksfestival in Le Scex und ein Straßenkunstfestival in der Altstadt.

Weiter forderten die umfangreichen Arbeiten an der « Cour de Gare » die Route der Linie 1 am 27. Februar 2019 anzupassen. Gleichzeitig wurde dies zum Anlass genommen, eine neue Haltestelle (Dent Blanche) vorzuschlagen, um den westlichen Teil der Stadt für vom Bahnhof Sion kommende Pendler und Studenten zu bedienen. Alle diese Änderungen brachten den Bedarf für eine grossflächige Kartographierung der Stadt mit sich, damit die notwendigen Alternativrouten im Betrieb der Shuttles bewältigt werden konnten.

Da die Abbildung des Shuttle-Weges jedoch nicht einfach schnell und flexibel angepasst werden konnte, war es manchmal schwierig, sich schnell genug diesen Änderungen anzupassen. Dies zeigt sich an tiefen Verfügbarkeitsraten, die unter dem akzeptablen Niveau liegen. Es wird an dieser Stelle auch hingewiesen, dass die Shuttles der eingesetzten Generation noch nicht in der Lage waren, durch Antizipation von Hindernissen die Route selbst zu ändern. Dank der Flexibilität und Nachsicht der politischen Behörden sowie der Stadtpolizei konnten jedoch oft schnell Alternativen oder Lösungen gefunden werden. Die sehr gute und enge Zusammenarbeit mit den kommunalen und kantonalen Behörden kann als einer der wichtigsten Erfolgsfaktoren bei diesem Projekt gewertet werden.

3.2.3 Sozialer Aspekt

Ein letztes Hindernis war die Zurückhaltung einiger Zielgruppen bei der Nutzung des Shuttles in seiner Anfangsphase. In der Tat hat der Shuttleservice manchmal unter einer sehr geringen Nutzung gelitten, insbesondere in den touristischen Randzeiten sowie an Schlechtwettertagen und in den Tagesrandzeiten.

Dies lag auch an dem futuristischen Aspekt des SmartShuttles, der bei den älteren Generationen geringes Vertrauen hervorgerufen hatte. Sobald jedoch erste Erfahrungen mit dem Shuttle gemacht wurden, konnte man beobachten, dass die Akzeptanz und das entgegengebrachte Vertrauen stark anstiegen.

Um diese Nutzungs- und Akzeptanzprobleme (wie in Abschnitt 3.1.1 hervorgehoben) zu verringern, wurden verschiedene Marketingaktivitäten gestartet, wie bspw. die Durchführung eines Escape-Games, die

Bereitstellung von Merchandise-Produkten (Sonnencremes, Sonnenbrillen) sowie die Werbung in sozialen Netzwerken durch einen Influencer. Leider blieb das Ergebnis unter den Erwartungen. Die Zielgruppen (Pendler, Studenten, ältere Menschen), die am ehesten einen Mehrwert in der Nutzung des Shuttles sehen würden, wurden durch diese Aktivitäten nur gering angesprochen.

4. Wichtige Learnings aus dem Projekt

Auf Grundlage der bisherigen Erkenntnisse und Analysen aus den vier Jahren des Betriebs der SmartShuttles von Sion, können eine Vielzahl an Learnings gezogen werden. Diese sollen hier nochmals zusammenfassend aus betrieblicher und organisationaler Perspektive aufgezeigt werden, um Empfehlungen für zukünftige automatisierte Mobilitätsprojekte zu formulieren und deren Zukunftsperspektiven zu skizzieren.

4.1 Betrieblich

Die wichtigsten Erkenntnisse aus der betrieblichen Analyse des SmartShuttle-Projekts in Sion sind die folgenden:

- Die Standalone-Technologie des SmartShuttles (bzw. der in Sion eingesetzten Fahrzeuge) befindet sich erst in einem sehr frühen Stadium und entwickelt sich kontinuierlich mit dem Betrieb der Fahrzeuge weiter. Der Betrieb einer automatisierten Fahrzeugflotte ist derzeit auf eine vordefinierte Route beschränkt und diese Route kann noch nicht genügend agil und flexibel wechselnden Umstände angepasst werden. Dies kann die Verfügbarkeit des Dienstes bei unvorhergesehenen Störungen stark beeinflussen.
- Eine Integration in den Fahrplan aufgrund der dicht besiedelten Fußgängerzonen ist nur sehr schwer realisierbar. Es müssten flexiblere on-demand Konzepte mit automatisierten Shuttles geprüft werden.
- Die aktuelle Hardware hat derzeit nicht die erforderliche Zuverlässigkeit, um eine adäquate Serviceverfügbarkeit zu gewährleisten.
- Wenn alle Voraussetzungen gegeben sind, kann eine eigenständige Shuttlefahrt reibungslos ablaufen und ein sehr zufriedenstellendes Kundenerlebnis angeboten werden.
- Das SmartShuttle kann als sicher und umweltfreundlich bezeichnet werden.
- Die Bevölkerung hat eine hohe Akzeptanzquote beim Einsatz dieser neuen Technologie bewiesen. Auf eine Phase des Staunens und der relativen Skepsis folgte eine Phase des Lernens und dann Zusammenlebens. Es kann also von einer wachsenden sozialen Akzeptanz gesprochen werden.
- Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass Touristen und die Bevölkerung von Sion aus reiner Neugierde an Bord der Shuttles gestiegen sind. Die Erfahrungen konnten jedoch aufzeigen, dass die SmartShuttles ein echter Gewinn für ältere, mobilitätseingeschränkte und behinderte Menschen waren. Auf der anderen Seite scheinen jüngere Zielgruppen die automatisierten Shuttles doch eher als reine Attraktion denn als echtes Transportmittel zu betrachten.
- Diese **Mobilitätslösung ist attraktiv** und viele Menschen sind bereit, den Schritt zu wagen, in ein Fahrzeug ohne Pedale, Lenkrad oder Bremsen einzusteigen. Wie bei jeder Implementierung einer neuen Technologie ist es jedoch sinnvoll, im Vorfeld eine umfangreiche Marktforschung durchzuführen, um zu entscheiden, in welchem Segment man sich strategisch positionieren möchte. Für eine so spezifische Mobilitätslösung scheint es relevanter zu sein, herauszufinden, auf welchem Markt wir unser Produkt positionieren wollen und den passenden Marketing-Mix zu definieren. Wir sind wahrscheinlich ein Opfer unseres Know-hows in Bezug auf den öffentlichen Nahverkehr geworden, der sich an alle Arten von Kunden richtet.

4.2 Andere Bereiche des Projekts

Die wichtigsten Erkenntnisse aus der Analyse der anderen Bereiche des SmartShuttle-Projekts in Sion sind die Folgenden:

- Die flache Struktur des Teams erlaubte es, nahezu selbstständig entlang der Ziele des Projekts zu arbeiten. Eine zu starre hierarchische Organisation wäre aufgrund des erhöhten Koordinationsaufwand nicht förderlich gewesen.
- Die Entscheidung, junge Menschen und Studenten als Begleitpersonen zu beschäftigen hat sich im Nachhinein als Vorteil herausgestellt. Ihre Anpassungsfähigkeit und ihr Hinterfragen sind ein Mehrwert in Bezug auf das Management eines Innovationsprojekts;
- Aufgrund der nicht optimal vorhersehbaren Verfügbarkeiten haben sich flexible Personalpools für die Sicherheitsfahrer bewährt.
- Die Informationskampagne war erfolgreich, da sich die Bevölkerung schnell an das Leben mit SmartShuttles gewöhnte und somit eine höhere soziale Akzeptanz erreicht wurde.
- Kampagnen zur Gewinnung von mehr Fahrgästen waren zu wenig effektiv, was vielleicht auf eine unzureichende Zielgruppenansprache zurückzuführen ist.

4.3 Empfehlungen auf Basis der durchgeführten Analysen

Das SmartShuttle-Projekt in Uvrier war für PostAuto eine gelungene Gelegenheit, die Relevanz und Nützlichkeit eines autonomen öffentlichen Verkehrsdienstes zu testen. Die aus dem Sion-Projekt gewonnenen Erkenntnisse müssen nun berücksichtigt werden, um daraus Lösungen für Verbesserungen ableiten zu können. Folgende Schlussfolgerungen zur Verbesserung der allgemeinen Servicequalität können aus den verschiedenen Analysen des SmartShuttle-Projektes in Sion gezogen werden:

- Mindestens zwei Fahrzeuge müssen einsatzbereit sein, um die Unsicherheit über die Verfügbarkeit des Dienstes zu den angekündigten Zeiten zu verringern und somit die Service-Qualität für die Fahrgäste zu erhöhen.
- Störungen antizipieren und frühzeitig erkennen, um potenzielle Anwender möglichst schnell und transparent zu informieren. Da die Bevölkerung erwartet, dass ein öffentlicher Dienst verfügbar und zuverlässig ist, wird es von entscheidender Bedeutung sein, dass er so weit wie möglich eingehalten wird. Dies führt zu einer größeren Akzeptanz auf Seite der Fahrgäste, was der Nachhaltigkeit des Projekts zugutekommt.
- Bessere Identifizierung der Zielkunden. Wie oben erläutert, ist das automatisierte Shuttle ein nützliches Transportmittel für ältere Menschen, Personen mit eingeschränkter Mobilität, behinderte oder verletzte Personen und schwangere Frauen. Es erscheint daher sinnvoll, gerade diesen Zielgruppen die verschiedenen Vorteile eines solchen Dienstes klar zu kommunizieren.
- Die flexiblen Lösungen für den Abruf von Studenten in das SmartShuttle-Team muss fortgesetzt werden. Die Kundenerfahrung ist in diesem Stadium der Technologie besonders entscheidend. Außerdem passt ihre Flexibilität perfekt zum agilen Charakter des Projekts. Es wird jedoch notwendig sein, die Übermittlung von Informationen durch regelmäßige (virtuelle) Treffen zu verbessern, um alle Mitarbeiter auf den neuesten Stand zu bringen sowie den Austausch von Ideen und Feedback zu fördern.

5. Perspektiven und Themen

Das Projekt der automatisierten Shuttles in den Straßen von Sion endete im Jahr 2020 mit einem eindeutigen Ergebnis. Obwohl die vorhandene Technologie verhindert, dass das Fahrzeug mit anderen Akteuren aus dem Strassenverkehr kollidiert, gibt es bei den Shuttles in Bezug auf den Aspekt des automatisierten Fahrens noch viel Verbesserungsspielraum. Es erscheint insbesondere für die eingesetzten Fahrzeuge noch ein weiter Weg bis zur vollständigen Automatisierung. Mittlerweile gibt es verschiedene Unternehmen in den USA, die weit fortschrittlichere Fahrzeuge präsentieren können. Nichtsdestotrotz hat sich die Stadt Sion dazu entschieden, dass Pilotprojekt fortzusetzen, jedoch nicht mehr in der Innenstadt von Sion, sondern im Vorort Uvrier.

Weiter gilt es die Zusammenarbeit in der Branche bzw. der gesamten Automobilindustrie zu fördern und den rechtlichen Rahmen zu schaffen, damit künftig solche Fahrzeuge in den Strassenverkehr integriert werden können. Auch hier hat das Projekt einen Grundstein gesetzt: Eine Vielzahl an Akteuren aus der Schweizer Mobilitätsbranche haben sich zusammengeschlossen und den Verein SAAM (Swiss Association for Autonomous Mobility) gegründet (KMU Today, 2021). Der Verein dient dazu, Doppelspurigkeit zu vermeiden und Synergien im Bereich der Nutzung automatisierter Systeme auf Schweizer Strassen zu erzeugen.

Für PostAuto gibt es folgende Herausforderungen: Einerseits können Unternehmen wie Tesla und Volkswagen dem öffentlichen Verkehr in Zukunft sehr schnell Konkurrenz machen und zu einer Bedrohung für dessen Markt werden. Es ist daher notwendig, mit den Veränderungen Schritt zu halten, die der Übergang von der gewöhnlichen Mobilität zur automatisierten und hypervernetzten Mobilität mit sich bringt. Dies geschieht, um das Serviceangebot dynamisch an die regelmäßigen Fahrgäste anpassen zu können und so für sie relevant zu bleiben. Andererseits wird PostAuto weiterhin mit innovativen Mobilitätslösungen experimentieren müssen, um sich in den Augen der Bevölkerung als zukunftsweisendes Unternehmen zu behaupten.

6. Fazit

Das SmartShuttle-Projekt hat ein ganzes Spektrum an Emotionen ausgelöst. Seit Beginn gab es eine Vielzahl an Höhen und Tiefen, aus denen alle Beteiligten der Mobilitätsbranchen nützliche Erfahrungen ziehen konnten. Die vielen technischen Herausforderungen haben zu einer kontinuierlichen Verbesserung des Betriebs des automatisierten Shuttles in Zusammenarbeit mit dem Lieferanten geführt. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass die von PostAuto gesetzten Zielen erreicht werden konnten.

So hat die lokale Bevölkerung sich trotz anfänglicher Skepsis schnell an die Anwesenheit des SmartShuttles gewöhnt und die automatisierten Fahrzeuge in ihren « Alltag » integriert. Einige Bewohner, meist ältere oder behinderte Menschen, wurden sogar zu Stammkunden, was als sehr positives Zeichen für die Entwicklung und Relevanz solcher Angebotsmodelle gewertet werden kann. Außerdem wurde festgestellt, dass der automatisierte Shuttle vor allem in den Sommermonaten viele Touristen anzieht. Dabei spielte nicht nur der Neuheitscharakter, sondern auch die Erreichbarkeit von touristischen Hotspots durch die gewählte Linienführung in der Stadt Sion eine grössere Rolle. Zahlreiche Studien wurden durchgeführt und haben eine hohe Akzeptanzrate der Bevölkerung in Bezug auf die SmartShuttles bewiesen. Klar wurde, dass die meisten Fahrgäste den SmartShuttle in erster Linie als « Unterhaltung » betrachteten und nicht als Transportmittel in ihrer Alltagsmobilität. Dies kann vor allem auf den Neuigkeitsgrad der Innovation zurückgeführt werden. Schliesslich führten aber auch flexible Personaleinsatzmodelle sowie ein sehr gut eingeschultes Personal dazu, dass kurzfristige Personaläusfälle kompensiert werden konnten. Die Verfügbarkeit dieses Personals hat wesentlich dazu beigetragen, dass die soziale Akzeptanz bei der Bevölkerung und den Besuchern gestiegen, was eine hohe Kundenzufriedenheit zur Folge hatte. Aktuelle Lieferanten von automatisierten Systemen sind in erster Linie Softwarehersteller und nicht Fahrzeughersteller. Die Fertigungsgüte ist noch nicht auf dem Niveau, die für den Betrieb eines öffentlichen Transportdienstes erforderlich wäre.

Die Fahrzeuge sind zwar imstande, mit hoher Präzision zu manövrieren, stossen aber bei der Integration in den Fliessverkehr, bei Baustellen auf den Fahrstrecken und bei starkem Vegetationswachstum noch an ihre Grenzen.

PostAuto konnten erste Erfahrungen bzgl. technischer Reife der Fahrzeugtechnologie sammeln, diese können mit ersten Gehversuchen eines Kindes verglichen werden. Bis zur Erreichung der technischen Reife und den Serieneinsatz solcher Fahrzeuge, müssen noch weitere Entwicklungsschritte gegangen werden.

Bei verbesserter Anwendung besteht das Potenzial zur Reduktion des Fahrzeugbestandes sowie des Energieeinsatzes im Verkehr. Durch die Verknüpfung von automatisiertem Fahren mit unserem bestehenden Linienverkehr, können wir künftig einen effizienteren und gleichmässigeren Verkehrsablauf gewährleisten. Mit dem Einsatz technologisch reifer automatisierter Fahrzeuge erhöht sich zudem die Sicherheit, denn durch die schnelleren Reaktionszeiten, können Schäden im Kollisionsfall deutlich gemindert werden. Wenn automatisierte Fahrzeuge in bisher noch nicht erschlossenen Gebieten eingesetzt werden, erhalten auch Personen ohne eigenes Auto Zugang zu mehr Mobilität. Im Gegensatz zur Autofahrt kann die Reisezeit zudem für andere Tätigkeiten genutzt werden, wodurch auch längere Wege für Pendler attraktiv werden. Dadurch wird die Erreichbarkeit von peripheren Regionen steigen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das von 2016 bis 2020 in der Stadt Sion durchgeführte SmartShuttle-Projekt neue Perspektiven für die Zukunft der automatisierten Mobilität als Teil des öffentlichen Verkehrs eröffnet hat und als Erfolg für PostAuto verbucht werden kann. Die Fahrgastzahlen sind zufriedenstellend und zeigen das Interesse der Bevölkerung an der Nutzung solcher Dienste. Trotz vieler technischer Bedenken, die bei einem hochinnovativen und disruptiven Projekt zu erwarten sind, wird die Zuverlässigkeit insgesamt als zufriedenstellend angesehen.

Bis zur Erreichung eines 100%-ig automatisierten Systems ist es jedoch noch ein weiter Weg. Die Technologie entwickelt sich schrittweise, aber immer mehr Akteure treten in den Markt ein und treiben die Innovation voran.

7. Literaturverzeichnis

- Axhausen, K. W. (November 2016). <https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/baug/ivt/ivt-dam/vpl/reports/1201-1300/ab1220.pdf>. Von Erreichbarkeitswirkungen autonomer Fahrzeuge: <https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/baug/ivt/ivt-dam/vpl/reports/1201-1300/ab1220.pdf> abgerufen
- Bundesrat. (Dezember 2016). *Automatisiertes Fahren – Folgen und verkehrspolitische Auswirkungen, Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulats*.
- Fedlex, Die Publikationsplattform des Bundesrechts. (Mai 2020). *Übereinkommen über den Strassenverkehr*. Von https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1993/402_402_402/de abgerufen
- KMU Today. (Juni 2021). *KMU Today - Mobilität & Logistik News*. Von <https://www.kmutoday.ch/ressort/news/schweizer-verband-fuer-autonome-mobilitaet-gegruendet/> abgerufen
- Müller, R. (Juli 2018). *Erkenntnisse aus Pilotversuchen mit automatisierten Fahrzeugen*. Von <https://www.astra.admin.ch/astra/de/home/themen/intelligente-mobilitaet/pilotversuche/erkenntnisse-aus-pilotversuchen.html> abgerufen
- Nydegger, G. (2021). *Trends in der Mobilität*.
- SAE International. (Juni 2018). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*. Von https://www.sae.org/standards/content/j3016_201806/ abgerufen