

Technischer Bericht zum Pilotprojekt «SmartShuttle»





PostAuto Mobilitätslösungen AG

Dokumentenart	Bericht
Titel	Technischer Bericht zum Pilotprojekt «SmartShuttle Sion» für das ASTRA
Nummer	-
Autor/-in	Ramon Müller
Kontaktangaben	ramon.mueller@postauto.ch
Ausgabestelle	PA-ML
Geltungsbereich	PA
Klassifizierung	Nicht klassifiziert
Archivierungspflicht	Nein
Version	1.6
Ausgabedatum	12. Juli 2018
Ersetzt Ausgabe vom	23. Januar 2018

Freigabe

Prüfstelle	Freigabestelle	Datum	Visum
Medienstelle K7	Katharina Merkle	12.07.2018	kle

Änderungskontrolle

Diese Seite zeigt den Änderungsstand dieses Dokumentes. Mit jeder Änderung erfolgt eine Neuausgabe.

Version	Überarbeitung	Ersteller	Datum
1.5	Überarbeitung zur Veröffentlichung auf der Internetseite von ASTRA	Ramon Müller	10.07.2018
1.6	Sprachliche und inhaltliche Kontrolle Medienstelle	Katharina Merkle	12.07.2018

Management Summary

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse und Erkenntnisse des Pilotprojekts «SmartShuttle Sion» zusammen. Er enthält Angaben zum Betrieb und zur technischen Machbarkeit eines Betriebs von automatisierten Fahrzeugen im öffentlichen Verkehr. Der Bericht dient als Abschlussbericht für die Schweizerischen Bundesbehörden, die diesen Betrieb bewilligt haben und richtet sich an ausgewählte Mitarbeitende von PostAuto als integraler Bestandteil der Projektdokumentation.

Im Zentrum des weltweit einzigartigen Pilotversuchs stehen die Fahrzeuge des französischen Herstellers Navya. Dabei handelt es sich um die ersten kommerziell verfügbaren Fahrzeuge, die für den autonomen Betrieb im Strassenverkehr entwickelt wurden. Durch die Abwesenheit von Steuerrad und Pedalen unterscheiden sie sich grundlegend von konventionellen Fahrzeugen und anderen Versuchen mit automatisierten Fahrzeugen. Um diese zukunftssträchtigen Fahrzeuge zu betreiben, müssen aufgrund rechtlicher Anforderungen heute noch Sicherheitsbegleitpersonen in den Fahrzeugen eingesetzt werden.

Dieser Bericht enthält eine Übersicht über die wesentlichen Elemente, die für den Betrieb der SmartShuttles erforderlich sind und beschreibt die Erfahrungen aus dem Einsatz auf der öffentlichen Strasse in Sitten. Die Analyse der Betriebsdaten zeigt, dass in Sitten an 369 Tagen ein Betrieb realisiert und somit eine Verfügbarkeit des SmartShuttle-Systems von 92 Prozent erreicht werden konnte. Dabei konnten von Juni 2016 bis Ende Oktober 2017 über 30'000 Personen transportiert und in allen vier Jahreszeiten Erfahrungen im Einsatz mit automatisierten Fahrzeugen gewonnen werden. Trotz des hohen Automatisierungsgrads der Fahrzeuge ist ein Betrieb ohne menschliches Eingreifen aber heute noch nicht möglich. Insbesondere in der äusserst belebten Innenstadt von Sitten mussten die Sicherheitsbegleitpersonen durchschnittlich zweimal pro gefahrenem Kilometer für kleinere Korrekturen oder das Umfahren von Hindernissen intervenieren.

Die Analysen zeigen, dass ein Betrieb von automatisierten Fahrzeugen auf öffentlicher Strasse aktuell noch mit mehr Aufwand verbunden ist, als der Betrieb von nicht automatisierten Fahrzeugen. Es werden neben Fahrzeugen mit neuen Sensorik- und Softwarekomponenten zusätzliche personelle Ressourcen und eine komplett neue IT-Systemlandschaft für die Steuerung benötigt. Die Entwicklung dieser Systeme steht noch ganz am Anfang, und es bietet sich für Unternehmen und auch für den Technologie- und Industriestandort Schweiz die Chance, neue Produkte und Dienstleistungen zu entwickeln und dadurch eine prägende Rolle am Markt einzunehmen.

Nebst der Verbesserung der Fahrdynamik und der Integration der Fahrzeuge in den Verkehr wurden diverse Themenfelder für die Weiterentwicklung identifiziert. Für den Betrieb von automatisierten Fahrzeugen sind Informationen über die Position und den Zustand der Fahrzeuge sowie die Reisebedürfnisse der Fahrgäste wesentlich. Systeme zur Erhöhung der Sicherheit und zur Verbindung der Fahrzeuge mit Infrastrukturelementen spielen ebenfalls eine wesentliche Rolle. Bis sämtliche Fahr- und Steuerungsfunktionen von selbstfahrenden Bussen im ÖV automatisiert erbracht werden können, sind im Bereich Technologie, aber auch in den Bereichen Regulation und Kundenakzeptanz, noch zahlreiche Herausforderungen zu bewältigen.

Abkürzungen

3G	Mobilfunkstandard der dritten Generation (3G)
AI	Artificial Intelligence
ASTRA	Bundesamt für Strassen
B2B	Business to Business, Geschäftskunden
B2C	Business to Consumer, Privatkunden
B2G	Business to Gouvernment, Besteller
BAKOM	Bundesamt für Kommunikation
BAV	Bundesamt für Verkehr
DMV	Department of Motor Vehicles, Behörde im Bundesstaat Kalifornien
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
GB	Gigabyte, Masseinheit für eine Datenmenge
GNSS	Global Navigation Satellite System
IT	Informationstechnologie
LiDAR	Ursprünglich ein Kofferwort aus Light und Radar steht für Light Detection And Ranging (manchmal auch Light Imaging, Detection, And Ranging)
MFK	Motorfahrzeugkontrolle
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration, US-amerikanische Behörde
PAX	Persons approximately, Masseinheit für Passagiere
SAE	ehemalige Bezeichnung für Society of Automotive Engineers, internationale Normierungsbehörde
SVG	Strassenverkehrsgesetz
UMTS	Das Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) ist ein Mobilfunkstandard der dritten Generation (3G)
WLAN	Wireless Local Area Network

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	8
1.1	Grundlagen	8
1.1.1	Ausgangslage	8
1.1.2	Ausnahmebewilligung	8
1.1.3	Automatisiertes Fahren	9
1.2	Berichtsinhalt	10
1.2.1	Zielgruppe	10
1.2.2	Gliederung	10
2.	System «SmartShuttle Sion»	11
2.1	Systemübersicht	11
2.1.1	Route und Infrastruktur	11
2.2	Fahrzeuge vom Typ Navya Arma	12
2.2.1	Steuerung	12
2.2.2	Antrieb	13
2.2.3	Not-Halt	13
2.2.4	Positionsbestimmung und Orientierung im Raum	14
2.2.5	Kartografie für Navya-Fahrzeuge	14
2.2.6	Hinderniserkennung	14
2.2.7	Sensoren	14
2.2.8	Fahrgastzelle	15
2.3	Flottenmanagementsystem BestMile	15
2.4	Kundeninformationssysteme	15
2.5	Organisation	15
2.5.1	Aufbauorganisation	15
2.5.2	Ablauforganisation	15
2.6	Testzentrum «Stöckacker» Bern	16
3.	Einsatz- und Betriebsdaten	17
3.1	Datenerfassung im Projekt SmartShuttle	17
3.2	Betriebliche Kennzahlen	17
3.2.1	Anzahl Einsätze und Einsatzdauer	17
3.2.2	Zurückgelegte Distanz	18
3.2.3	Anzahl transportierte Fahrgäste	18
3.2.4	Fahrgeschwindigkeit	19
3.3	Eingriffe der Sicherheitsbegleitpersonen (Interventionen)	20
3.3.1	Häufigkeit und Art der Interventionen	20
3.3.2	Ursachen für die häufigsten Interventionen	21
3.4	Technische Limitationen des Systems	22
3.4.1	Verkehrstechnische Grenzen	22
3.4.2	Fahrzeugbedingte Grenzen (Hardware)	23
3.4.3	Fahrzeugbedingte Grenzen (Software)	24
3.4.4	Infrastrukturbedingte Grenzen	24
3.4.5	Wetterbedingte Grenzen	25
3.5	Fahrzeugpräsentationen ausserhalb von Sitten	25
3.5.1	Transport des SmartShuttles	25
3.5.2	Funkkonzession für SmartShuttles	25
3.5.3	Einrichten und Inbetriebnahme einer neuen Route	25
3.5.4	Betrieb auf dedizierten Strecken	26
4.	Schlussfolgerungen	27
4.1	Fazit zur technischen und betrieblichen Machbarkeit	27
4.2	Themenfelder für die Weiterentwicklung	27
4.3	Ausblick	28

1. Einleitung

Am 23. Juni 2016 wurde in Sitten im Kanton Wallis Geschichte geschrieben. PostAuto lancierte den ersten frei zugänglichen automatisierten Personentransport auf öffentlicher Strasse. Im vorliegenden technischen Bericht werden die Ergebnisse des Pilotprojekts dokumentiert. Das erste Kapitel soll den Einstieg in das Thema automatisiertes Fahren unterstützen und eine Übersicht zu diesem Bericht verschaffen.

1.1 Grundlagen

Der vorliegende Bericht dokumentiert und bewertet die technischen Aspekte und Erfahrungen des weltweit ersten Betriebs von hochautomatisierten Fahrzeugen für den öffentlichen Personentransport. Das Pilotprojekt «SmartShuttle Sion» wurde von PostAuto und der Schweizerischen Post im Rahmen des Innovationsprozesses initiiert und umgesetzt. Das Pilotprojekt in Sitten wurde abgeschlossen, der Betrieb in Sitten wird aber auf Wunsch der Stadt weitergeführt und die Route sogar ausgedehnt. Die Aktivitäten im Rahmen von «SmartShuttle Sion 2.0» sind aber nicht Bestandteil dieses Berichts.

1.1.1 Ausgangslage

Anschliessend an eine halbjährige Vorbereitungsphase konnte am 23. Juni 2016 der Betrieb zweier automatisierter Fahrzeuge auf öffentlicher Strasse in Sitten aufgenommen werden. PostAuto hat zwei Fahrzeuge vom französischen Start-up Navya gekauft, mit dem Hersteller zusammen aufbereitet und eine Ausnahmegewilligung vom ASTRA für eine definierte Route in Sion und eine begrenzte Versuchsdauer erwirkt.

PostAuto lancierte den Pilotbetrieb «SmartShuttle Sion» mit der Absicht, neue Erkenntnisse zu gewinnen. Dem Management von Post und PostAuto wurde früh klar, dass die sich abzeichnende technologische Entwicklung im Bereich der Mobilität einen dramatischen Einfluss auf das Geschäft von PostAuto haben würde. Die darauffolgende Entscheidung, zwei Fahrzeuge von Navya zu anzuschaffen und in Sitten zu betreiben, zeugte von Weitsicht und Mut.

1.1.2 Ausnahmegewilligung

Zum Erwirken der Ausnahmegewilligung musste PostAuto bei den Behörden mehrere hundert Seiten an Konzepten und Dokumenten einreichen. Die Unterlagen wurden hauptsächlich durch PostAuto erstellt, aber auch durch die beiden Lieferanten im Projekt zur Verfügung gestellt und teilweise mit Unterstützung von Dritten ausgearbeitet. Für die Bewilligung besonders relevante Unterlagen waren: Versuchs Antrag mit Versuchs begründung, Sicherheitskonzept, Betriebskonzept inkl. Checklisten, Schulungskonzept, Betriebsanleitungen der jeweiligen Hersteller und erforderliche Konzessionen.

Zusätzlich zu den konzeptionellen Arbeiten wurden die Fahrzeuge in mehreren Iterationen für den Gebrauch im öffentlichen Verkehr in der Schweiz aufbereitet. In vier Fahrzeugprüfungen wurden durch die fünf beteiligten Instanzen (ASTRA, BAV, MFK, Elektrosuisse und BAKOM) über fünfzig Änderungspunkte ermittelt. Diese wurden dann unter der Regie von PostAuto mit den Lieferanten zusammen umgesetzt.

*Art. 106 Ausführung des Gesetzes Abs. 5 (SVG SR 741.01)
Beim Auftreten neuer technischer Erscheinungen auf dem Gebiete des Strassenverkehrs sowie zur Durchführung zwischenstaatlicher Vereinbarungen kann der Bundesrat die vorläufigen Massnahmen treffen, die sich bis zur gesetzlichen Regelung als notwendig erweisen.*

Für die Beurteilung der Fahrzeuge dienten den Experten vorwiegend das Strassenverkehrsgesetz, das Bundesgesetz über die Personenbeförderung und das Behindertengleichstellungsgesetz als Grundlage. Basierend auf dem Artikel 106 des schweizerischen Strassenverkehrsgesetzes wurde eine Ausnahmegewilligung für das Pilotprojekt «SmartShuttle Sion» für eine dedizierte Strecke und einen begrenzten Zeitraum ausgestellt.

Da die eingesetzten Fahrzeuge nicht in allen Punkten den gültigen Regelwerken entsprechen, mussten verschiedene Kompensationsmassnahmen getroffen werden, um die Sicherheit der Passagiere und anderen Verkehrsteilnehmer zu gewährleisten. Somit wurde beispielsweise die Geschwindigkeit auf 20 km/h limitiert, es darf nur auf einer klar definierten Route gefahren werden, und das Fahrzeug muss immer durch eine Sicherheitsperson begleitet werden, die im Notfall eingreifen kann.

1.1.3 Automatisiertes Fahren

Autonomes Fahren ist in aller Munde. Es vergeht kaum eine Woche ohne neue Meldungen in den einschlägigen Medien und sozialen Netzwerken zu diesem Thema. Zukunftsforscher sprechen von einem Megatrend. Dieser soll nicht nur unser Mobilitätsverhalten komplett verändern, sondern auch unsere Lebensweise in Zukunft massgeblich beeinflussen.

Obwohl sich der Begriff autonomes Fahren in der Öffentlichkeit im Zusammenhang mit den selbstfahrenden Fahrzeugen etabliert hat, wollen wir in diesem Bericht von automatisiertem Fahren sprechen. Autonomes Fahren impliziert nämlich ein Systemverhalten, das sich darin auszeichnet, selbstständig auf eigenen Erfahrungen basierende Entscheidungen zu treffen. Die von PostAuto eingesetzten Fahrzeuge fahren jedoch vorläufig noch auf vorprogrammierten Routen und verhalten sich gemäss vordefinierten Algorithmen. Es handelt sich dabei also um ein vollständig determiniertes System. Dieses kann selbstständig gewisse durch Regeln definierte Funktionen übernehmen und entspricht somit einer klassischen Aufgabenstellung im Rahmen der Automatisierung.

Zur Einordnung und im Sinne einer Standardisierung wurden fünf Stufen der Automatisierung im Verkehr definiert (siehe Abbildung 1). Aufgrund der Bauart (kein Lenkrad, keine Pedale) könnte man die Fahrzeuge von Navya eigentlich Stufe 5 «Vollautomatisiert» zuordnen. Im Versuch von PostAuto zeigte sich jedoch, dass die Fahrzeuge längst nicht alle Fahraufgaben vollumfänglich übernehmen können und gemäss aktuell geltendem Recht auch noch nicht dürfen. So können die Fahrzeuge beispielsweise noch keine Hindernisse auf der Route selbstständig umfahren und auch nicht bei Schneefall oder starkem Regen betrieben werden. Somit ist nicht zuletzt auch aus regulatorischen Gründen eine Überwachung durch eine Sicherheitsbegleitperson zwingend notwendig, und die Fahrzeuge sind eher in Stufe 3 «Bedingt automatisiert» einzuordnen. Der Deutsche TÜV geht noch einen Schritt weiter und stuft die Fahrzeuge von Navya aufgrund der noch fehlenden rechtlichen Grundlage zum Betrieb selbstfahrender Autos als Fahrzeuge der Stufe 2 «Teilautomatisiert» ein.

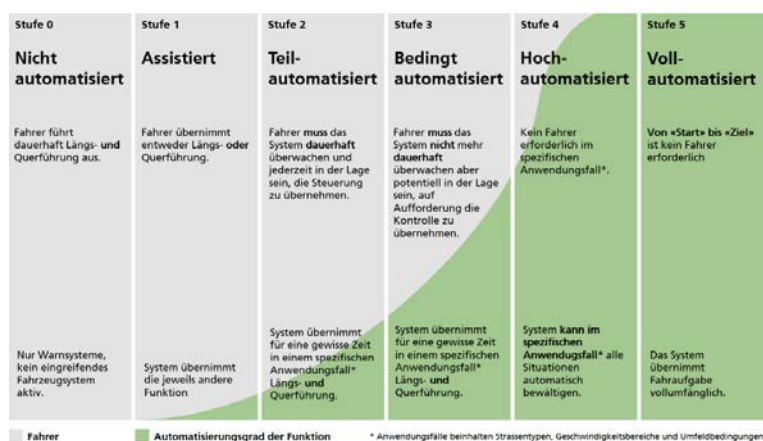


Abbildung 1: Stufen der Automatisierung gemäss ASTRA¹

Die oben beschriebene Problematik zeigt die Schwierigkeit bei der Standardisierung von automatisierten Fahrzeugen auf. Nebst den verschiedenen Stufen der Automatisierung gemäss ASTRA gilt es auch die unterschiedlichen Umgebungsbedingungen zu beachten. Eine automatisch gefahrene Strecke von einem Kilometer auf der Autobahn stellt andere Anforderungen an ein selbstfahrendes Fahrzeug als die Fahrt mit einer Länge von einem Kilometer durch die Innenstadt von Sitten.

¹ Quelle ASTRA, <https://www.astra.admin.ch/astra/de/home/themen/intelligente-mobilitaet/stufen-der-automatisierung.html>, Zugriff am 09. Juli 2018

Damit ein Fahrzeug selber fahren kann, werden verschiedene Systeme benötigt. Die folgende Grafik verschafft einen Überblick gemäss einer Einteilung von McKinsey&Company.

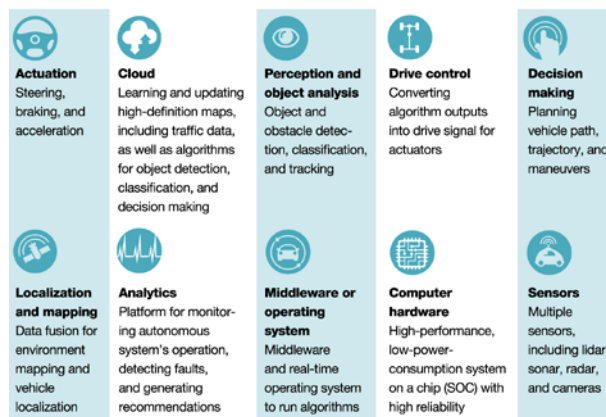


Abbildung 2: Systeme für selbstfahrende Fahrzeuge²

Um eine die Funktion bei einem Ausfall sicherzustellen, müssen diese Systeme redundant ausgelegt werden. Ein selbstfahrendes Fahrzeug benötigt also eine beachtliche Menge an elektronischen Komponenten, die Daten generieren oder für ihre Funktion Daten benötigen. Somit ist auch eine entsprechend grosse Rechenkapazität erforderlich. Automatisierte Fahrzeuge sind also in erster Linie High-Tech-Computer auf Rädern und kosten entsprechend mehr als herkömmliche Fahrzeuge.

1.2 Berichtsinhalt

Der Pilotbetrieb in Sitten sollte insbesondere Erkenntnisse über die technische und betriebliche Machbarkeit eines Betriebs von automatisierten Fahrzeugen generieren. Und zweitens sollte die Akzeptanz von automatisierten Fahrzeugen bei den Kundinnen und Kunden untersucht werden. In diesem technischen Bericht wird hauptsächlich auf das erste Thema eingegangen. Weitere Informationen zur Akzeptanz können in einer von PostAuto veröffentlichten Studie³ gefunden werden.

1.2.1 Zielgruppe

Der vorliegende Bericht basiert auf dem internen technischen Bericht von PostAuto und dient als Abschlussbericht für die Behörden. Die hier präsentierten Resultate und Erkenntnisse sollen dazu beitragen, das Thema «automatisiertes Fahren» besser zu verstehen, den aktuellen Stand der Technik in Bezug auf die Anwendung im öffentlichen Verkehr besser einzuschätzen und einen grundlegenden Informationsstand als Basis für neue Testfelder in diesem Bereich zu vermitteln.

1.2.2 Gliederung

Anschliessend an diese Einleitung ist der Bericht drei weitere Kapitel gegliedert. Im zweiten Kapitel System «SmartShuttle Sion» werden die einzelnen Komponenten des technischen Systems, das in Sitten zum Einsatz gekommen ist, kurz vorgestellt.

Das dritte Kapitel Einsatz- und Betriebsdaten enthält Angaben zum Betrieb der beiden SmartShuttles in Sitten. Darin enthalten sind unter anderem Daten zu Einsatzdauer und Anzahl Passagiere und die Auswertung der Eingriffe der Sicherheitsfahrer.

Eine Zusammenfassung und der Blick in die Zukunft erfolgt im letzten Kapitel Schlussfolgerungen. Dabei werden die Erreichung der Projektziele reflektiert und Themengebiete zur Weiterentwicklung des SmartShuttle-Systems im speziellen und allgemein zur Anwendung automatisierter Fahrzeuge im öffentlichen Strassenverkehr aufgezeigt.

² Quelle: McKinsey&Company, <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/self-driving-car-technology-when-will-the-robots-hit-the-road?cid=soc-web>, Zugriff am 7. November 2017

³ Quelle: PostAuto, <https://www.postauto.ch/de/news/erste-studie-zeigt-akzeptanz-von-selbstfahrenden-bussen-der-bev%C3%B6lkerung>, Zugriff am 9. Juli 2018

2. System «SmartShuttle Sion»

Damit die beiden automatisierten Fahrzeuge von PostAuto auf öffentlicher Strasse fahren können, sind verschiedene technische und betriebliche Komponenten notwendig. Zusammen ergeben sie das System SmartShuttle. Die wichtigsten Systemkomponenten werden im folgenden Kapitel kurz erklärt.

2.1 Systemübersicht

Die folgende Grafik zeigt eine Übersicht der Komponenten des SmartShuttle-Systems. Als Passagierinformationssystem dient die App mit Namen SmartShuttle, die Internetseite mit der Adresse www.smartshuttle.ch und eine digitale Haltestelle. Die Überwachung wird durch eine Leitstelle PostAuto für den First Level Support sichergestellt, für Second und Third Level Support stehen bei den Systemlieferanten Navya und BestMile weitere Ressourcen zur Verfügung. Für die Fahrzeuge, welche immer durch eine Sicherheitsbegleitperson begleitet werden, wird eine Einstellhalle mit Ladestation benötigt. Zur Übertragung von Daten zur Leitstelle und zu Navya und BestMile wird die vorhandene Infrastruktur der Mobilfunkanbieter genutzt.

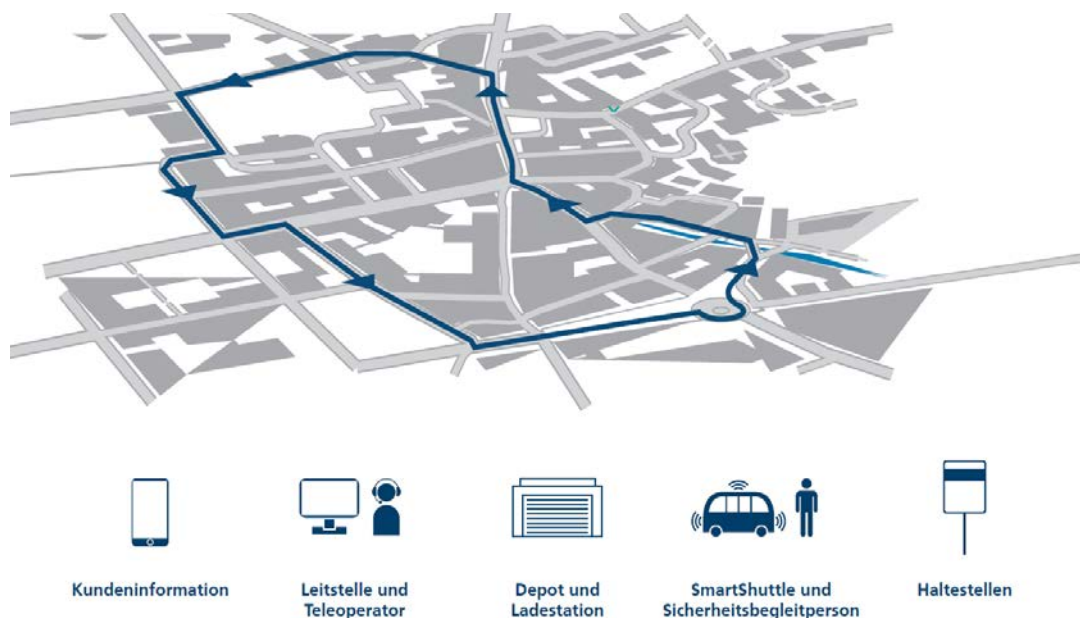


Abbildung 3: SmartShuttle-Systemübersicht

In der ersten Projektphase wurde keine Infrastruktur zur Positionsbestimmung via Satellitennavigation eingesetzt. Zur Positionsbestimmung muss ein Empfänger die Signale von mindestens vier Satelliten gleichzeitig empfangen, was in den engen Gassen in der Altstadt von Sitten nicht jederzeit gewährleistet ist. Deshalb wurde auf den Einsatz von GNSS-Technologie verzichtet und vorwiegend auf die Positionsbestimmung aufgrund der Lidar-Sensoren gesetzt. Mittlerweile wurde der Versuchsaufbau in Sitten um eine GNSS-Antenne zur Positionsbestimmung erweitert, da sie für die erweiterte Route im Rahmen der Verlängerung des Versuchs eingesetzt werden kann. Die neue Route bietet bessere Möglichkeiten für den Empfang von ausreichend starken Sattelitensignalen.

2.1.1 Route und Infrastruktur

Die SmartShuttles von PostAuto fahren in Sion auf einer Route von knapp 1,5 km und bedienen acht Haltestellen. Die Haltestellen zeigen den Haltestellennamen, das komplette Routennetzwerk und die Betriebszeiten. Im Falle einer länger andauernden Störung werden an den Haltestellen Meldungen platziert. Diese erscheinen auch auf der digitalen Stele, der PostAuto-Internetseite und der App.

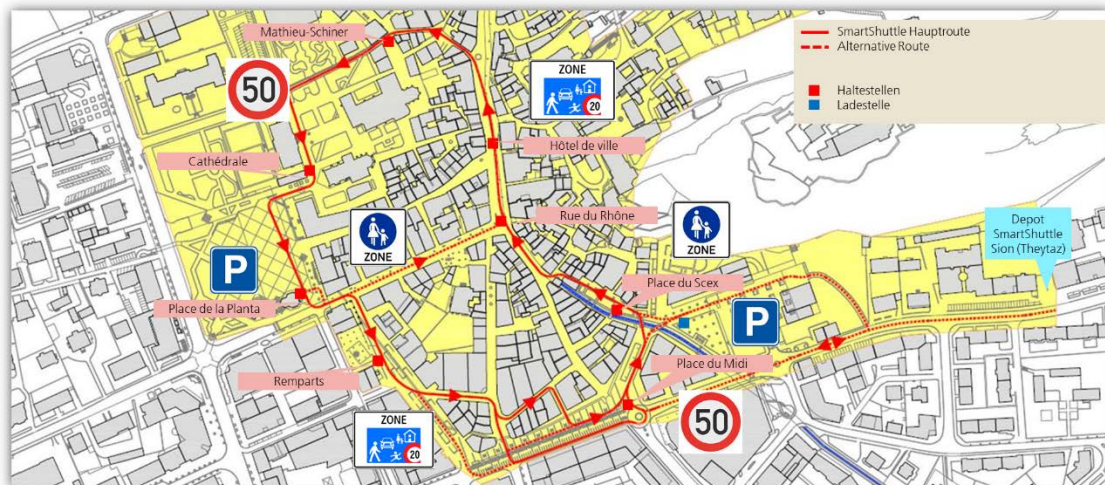


Abbildung 4: SmartShuttle-Route in der Altstadt von Sitten

Mit Ausnahme der Haltestelle «Place du Midi» werden mobile Haltestellen mit Tafeln eingesetzt. An der Haltestelle «Place du Midi» steht eine grosse digitale Stele mit dynamischer Anzeige. Sie zeigt die aktuelle Position der Fahrzeuge und weitere Informationen zum Projekt. Mittels Touchscreen kann durch die verschiedenen Themen navigiert werden.

Auf der Route wurde ursprünglich auch ein Standort für das Laden der Fahrzeuge vorgesehen. Da die Fahrzeuge über ausreichend Reichweite für einen Betriebstag verfügen, wurde die Ladestation nicht aufgebaut. Die Fahrzeuge werden im nahe gelegenen Depot jeweils über Nacht abgestellt und aufgeladen. Das Depot dient auch als Materiallager und Werkstatt zur Durchführung von Reparaturen. Die Nähe zur Fahrstrecke stellt eine wichtige Voraussetzung für einen effizienten Betrieb dar. Eine WLAN-Verbindung im Depot unterstützt den Austausch von grossen Datenmengen mit dem Hersteller.

Die Fahrzeugposition an den jeweiligen Haltestellen dienen auch als Lokalisierungspunkte, an denen die Fahrzeuge bei einer Störung neu aufgesetzt werden können. Um eine exakte Positionierung sicherzustellen, wurde die Radposition auf der Strasse mit gelben Punkten am Boden markiert. Es zeigte sich, dass für einen effizienten Betrieb mehrere dieser Positionierungspunkte auf der Strecke nötig sind, um einen raschen Neustart der Fahrzeuge zu ermöglichen und manuelle Fahrten möglichst zu reduzieren. Nebst mobilen Haltestellen, digitaler Stele und gelben Markierungen am Boden zur Positionierung wurden in der Stadt Sitten keine Installationen oder Änderungen an der Infrastruktur vorgenommen.

Die SmartShuttles waren vom Dienstag bis Sonntag im Einsatz. Mit Ausnahme von Freitag fuhren sie täglich von 13 bis 18 Uhr. Am Freitag konnte der Betrieb aufgrund des Wochenmarkts in der Altstadt von Sion erst ab 15 Uhr aufgenommen werden.

Auf dem Routenplan gestrichelt eingezeichnet sind die Ausweichrouten. Sie dienen einer Fortsetzung des Betriebs im Falle einer Blockade auf einem Abschnitt der Hauptroute.

2.2 Fahrzeuge vom Typ Navya Arma

Die in Sitten eingesetzten Fahrzeuge vom Hersteller Navya mit der Typenbezeichnung Arma sind im Vergleich zu herkömmlichen Bussen weder mit einem Steuerrad noch mit Gas- oder Bremspedalen ausgerüstet. Dafür gibt es eine Vielzahl an Sensoren und elektronischen Systemen sowie zwei Rechner, die das Fahrzeug vollumfänglich steuern.

2.2.1 Steuerung

Auf den Fahrzeugrechnern ist eine Karte der Umgebung, in der die SmartShuttles fahren, abgespeichert. Sie wurde mit den fahrzeugeigenen Sensoren aufgezeichnet. Die Karte beinhaltet Konturen von möglichst vielen nicht veränderbaren Objekten wie Häusern, Mauern, Pfosten und

anderen fest verbauten Elementen. Auf der Karte eingezeichnet sind die programmierte Routen und Haltestellen.

Für jeden Ort auf der Route müssen Parameter wie die maximale Geschwindigkeit, Vortrittsregeln oder Sicherheitsabstände zu Objekten auf der Strasse definiert werden. Das aus Haltestellen und Streckenabschnitten entstehende Netz kann beliebig im automatischen Betrieb befahren werden. Die Befehle dazu können durch den Benutzer direkt am Bedienterminal im Fahrzeug eingegeben werden. Es ist geplant, die Eingabe auch über die Flottenmanagement-Software durch Einsatz einer mobilen Applikation vorzunehmen.

Mit der Karte und der Bedarfsmeldung, respektive dem Fahrauftrag, kann das Fahrzeug die kürzeste Route auf dem vorhandenen Netzwerk berechnen und abfahren. Es besteht auch die Möglichkeit, beliebige Haltestellen auf der Route in einer vorgegebenen Reihenfolge abzufahren und an der Haltestelle für eine definierte Zeit die Türen zu öffnen. Trotz des hohen Automatisierungsgrades gibt es Situationen, in denen das Fahrzeug manuell gesteuert werden muss.



Abbildung 5: Steuergerät für den manuellen Betrieb

Im manuellen Betrieb kann das Fahrzeug über ein Gamepad bedient werden. Dabei gilt es zu beachten, dass die Sensoren zu Hinderniserkennung nur im automatischen Modus aktiviert sind.

2.2.2 Antrieb

Der Antrieb des SmartShuttles erfolgt elektrisch. Für das Aufladen der Batterien der Fahrzeuge in Sitten verwendet PostAuto Energie aus erneuerbaren Quellen. Eine Lithium-Ionen-Akku (LiFePO4) mit einer Kapazität von 33 kWh sorgt für autonomes Fahren bis zu 12 Stunden. Die Antriebsleistung wird durch zwei 17-Zoll-Räder an der Vorderachse auf die Strasse gebracht. Die Lenkung erfolgt an beiden Achsen, wodurch das Fahrzeug über einen Wendekreis von weniger als neun Meter verfügt und somit optimal durch die engen Gasse von Sitten kurven kann.



Abbildung 6: Verschiedene Situationen im täglichen Betrieb

2.2.3 Not-Halt

Die Fahrzeuge von Navya verfügen über zwei Not-Halt-Knöpfe im Innenraum, womit eine Notbremsung jederzeit ausgelöst werden kann. Falls einer der beiden Not-Halt-Knöpfe ausgelöst wird, erscheint in der Überwachungszentrale von Navya eine Meldung.



Abbildung 7: Not-Halt-Knopf

2.2.4 Positionsbestimmung und Orientierung im Raum

Lasersensoren scannen kontinuierlich die Umgebung ab. Die so gewonnenen Daten werden auf dem Fahrzeugrechner verarbeitet und mit der gespeicherten Lidar-Karte verglichen. So können die exakte Position des Fahrzeugs und die Ausrichtung zur Umgebung festgestellt werden. Falls Konturen von grösseren Objekten in der Umgebung ändern oder durch noch grössere Objekte maskiert werden, kann dies zu Orientierungsproblemen führen. In diesem Fall hält das Fahrzeug an und meldet einen Fehler. Nebst dem Lidar-System werden bei den SmartShuttles auch Odometrie, Gyrometer und Satellitennavigation zur Positionsbestimmung eingesetzt. Ein System zur Erkennung von Fahrbahnmarkierungen mittels der eingebauten Kameras ist in Entwicklung.

2.2.5 Kartografie für Navya-Fahrzeuge

Für den Betrieb der automatisierten Fahrzeuge von Navya sind hochauflösende Karten notwendig. Auf den Karten werden Konturen von umliegenden Gebäuden, Mauern, Strassenlaternen und anderen fest verbauten Objekten in Form von Punktwolken repräsentiert. Sie dienen als Referenz und ermöglichen dem Fahrzeug die Orientierung im Raum.

Zur Erstellung einer solchen Karte muss das Fahrzeug mindestens einmal die gesamte Route abfahren und mit den fahrzeugeigenen Sensoren Daten aufzeichnen. Danach müssen die gewonnenen Daten zu einer Karte verarbeitet werden. Dieses Vorgehen wird Kartografie genannt und muss auch bei einer Erweiterung der Route durchgeführt werden. Beim autonomen Fahren gilt die Karte als Schlüssel zum Erfolg. Daher arbeiten weltweit verschiedene Unternehmen daran, unsere Welt digital zu kartografieren.

2.2.6 Hinderniserkennung

Im automatisierten Betrieb folgt das Fahrzeug exakt einer programmierten Route und arbeitet die für den jeweiligen Ort hinterlegten Befehle und Programme ab. Es befindet sich auf virtuellen Schienen und kann die Route nicht verlassen. Detektiert das Fahrzeug durch die Sensoren ein Hindernis auf der geplanten Route oder innerhalb eines definierbaren Sicherheitskorridors, entscheiden Algorithmen darüber, ob das Fahrzeug verlangsamt oder gestoppt werden soll. Ausweichen oder allenfalls sogar andere Fahrzeuge überholen können die Fahrzeuge von Navya noch nicht.

In Abhängigkeit der Platzverhältnisse und der maximalen Geschwindigkeit eines Segments auf der Route kann die seitliche Sicherheitsdistanz eingestellt werden. Dies ergibt einen Sicherheitskorridor rund um das Fahrzeug, welcher ständig durch die Sensoren überwacht wird. Falls jetzt eine Person oder ein Objekt in diesen Sicherheitskorridor tritt, wird das Fahrzeug abgebremst und hält an, bis das Hindernis aus der Bahn verschwunden ist.

2.2.7 Sensoren

Zentral für die Orientierung ist das Lidar-System. Ein Lidar-Sensor misst mithilfe von Laserstrahlen sehr präzise den Abstand zu umliegenden Objekten. Am Fahrzeug von Navya sind vorne und hinten jeweils drei Lidar-Sensoren angebracht, welche die Umgebung bis zu 100 Meter weit abtasten. Zudem wurde im Verlauf des Projekts auf jeder Seite des Fahrzeugs zusätzlich ein Lidar-Sensor angebracht.

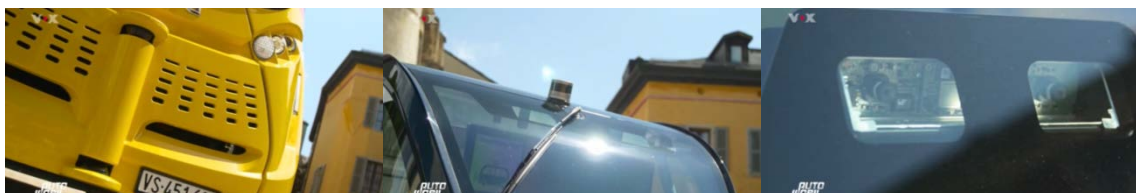


Abbildung 8: Frontal montierte 2D-Lidar-Sensoren, 3D-Lidar-Sensor auf dem Dach und Frontkameras

Vorne am Fahrzeug sind zwei Kameras zur Überwachung der Fahrbahn eingebaut. Zusätzlich gibt es eine Kamera zur Überwachung der Fahrgastzelle. Das Signal der Kameras kann über die Mobilfunkverbindung in die Kontrollzentrale übermittelt werden und in der BestMile-Applikation dargestellt werden.

2.2.8 Fahrgastzelle

Die Fahrgastzelle beim Navya-Fahrzeug ist durch die beiden Schwingtüren und die grosse Öffnung gut zugänglich. Es gibt 11 Sitzplätze, drei davon auf Klappsitzen, welche seitlich an der Fahrgastzelle angebracht sind. Es sind vier Stehplätze in der Mitte der Kabine vorgesehen. Diese sind aber im Pilotbetrieb nicht für Fahrgäste, sondern ausschliesslich für die Sicherheitsbegleitpersonen reserviert.



Abbildung 9: Sitzplätze, Stehplätze und Fahrgäste beim Ein- und Aussteigen

Für die Zulassung im schweizerischen Strassenverkehr mussten die Fahrzeuge von Navya mit diversen Sicherheitselementen nachgerüstet werden: Mit diversen Hinweisen in Form von Aufklebern und Beschriftungen in der Fahrgastzelle, einer Notfallapotheke, einem Sicherheitshammer, einem Pannendreieck, einem Feuerlöscher für Elektrofahrzeuge und zur Berücksichtigung des Behindertengleichstellungsgesetzes mit einer Rampe.

2.3 Flottenmanagementsystem BestMile

Zur Überwachung und Steuerung setzt PostAuto im Betrieb in Sitten die Flottenmanagement-Software (FMS) des Schweizerischen Start-up BestMile ein. Mittels der cloudbasierten Software kann eine Verbindung zu den Fahrzeugen aufgebaut und Daten können in beide Richtungen übertragen werden. Dies ermöglicht es dem Teleoperator, in der Betriebszentrale die Position der Fahrzeuge auf der Route zu sehen oder Betriebsdaten wie Ladestand und zurückgelegte Distanz anzuzeigen. Weiter bietet die Software Funktionen zum Versenden von Fahraufträgen an die Fahrzeuge, um den Betrieb zu steuern und die Fahrzeuge bedarfsorientiert an die gewünschte Haltestelle zu disponieren. Leider konnten diese Funktionen nicht im Rahmen des Pilotprojekts getestet werden, da die Schnittstelle zum Fahrzeug noch nicht vollständig realisiert werden konnte.

2.4 Kundeninformationssysteme

Zur Verbreitung von Informationen über Abfahrtszeiten, Betriebsstörungen oder Informationen zum Projekt dienen vier unterschiedliche Medien:

- Internetseite www.smartshuttle.ch und www.postauto.ch (Störungsmeldungen)
- «SmartShuttle»-Mobile Applikation (iOS/Android)
- Haltestellenanzeige digital (an der Haltestelle Place du Midi)
- Haltestellenanzeige analog (an Haltestellen ohne digitale Anzeige)

Im Falle einer Störung erfasst der Teleoperator eine Meldung im System, und diese wird an den entsprechenden Endgeräten angezeigt (Aushang bei analogen Haltestellen).

2.5 Organisation

2.5.1 Aufbauorganisation

Für den Betrieb in Sitten wurden drei Hauptrollen definiert: Sicherheitsbegleitperson, Teleoperator und Betriebsleiter. Angaben zu den einzelnen Rollen und Aufgaben sind dem Betriebskonzept zu entnehmen.

2.5.2 Ablauforganisation

Im täglichen Betrieb werden verschiedene Checklisten abgearbeitet und Daten in unterschiedlichen Formularen erfasst. Abbildung 10 zeigt eine Übersicht zu den einzelnen Schritten und den entsprechenden Dokumenten. Die einzelnen Checklisten und Dokumente sind im Anhang beigefügt.

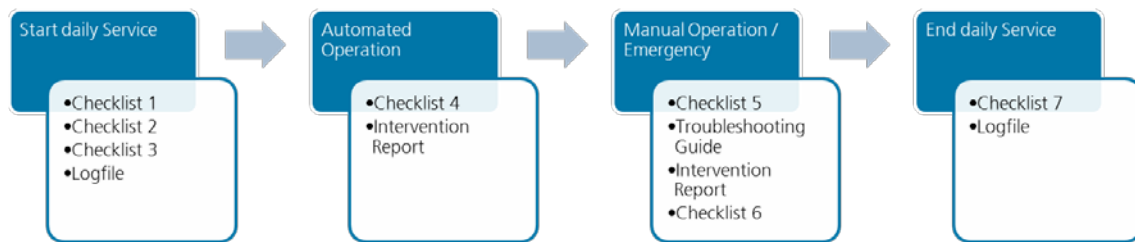


Abbildung 10: Ablauforganisation

2.6 Testzentrum «Stöckacker» Bern

Zum Testen von neuen Funktionen und Entwickeln von neuen Systemkomponenten steht in Bern eine Teststrecke auf privatem Gelände zur Verfügung. Ein zusätzliches Fahrzeug von Navya ist ebenfalls hier stationiert und kann auf dieser Teststrecke automatisiert betrieben werden.



Abbildung 11: Test- und Ausbildungszentrum «Stöckacker»

3. Einsatz- und Betriebsdaten

Die Verfügbarkeit der SmartShuttles in Sitten betrug 92 Prozent. Die mittlere Fahrgeschwindigkeit konnte im Verlauf des Projekts um mindestens 1 km/h gesteigert werden. Jedoch verlangen die Fahrzeug von Navya mit durchschnittlich zwei Interventionen pro zurückgelegtem Kilometer noch vergleichsweise viele Eingriffe durch das Sicherheitsbegleitpersonal. Die meisten Eingriffe sind wegen falsch parkierten Fahrzeugen, problematischer Infrastruktur oder Softwareproblemen erforderlich.

3.1 Datenerfassung im Projekt SmartShuttle

Im täglichen Betrieb in Sitten werden durch die Sicherheitsbegleitpersonen wichtige Daten manuell erfasst. Sie zählen beispielsweise die Fahrgäste und notieren wichtige Ereignisse während des Betriebs. Weitere Informationen sind in der Flottenmanagementsoftware von BestMile und dem Fahrzeug vorhanden. Für die Auswertung der Daten stehen somit insgesamt vier Quellen zur Verfügung:

- SmartShuttle Logfile
- SmartShuttle Intervention Report
- BestMile Fleet Management Software
- Navya-Fahrzeug-Black Box

Während im Logfile betriebliche Daten wie Start- und Endzeit des täglichen Betriebs, zurückgelegte Kilometer und Anzahl transportierte Personen durch die Sicherheitsbegleitpersonen notiert werden, enthält der Intervention Report Angaben zu jeglichen Eingriffen des Sicherheitsbegleitpersonals während des Betriebs der SmartShuttles.

Die Flottenmanagementsoftware von BestMile enthält unter anderem Angaben zur Geschwindigkeit und der zurückgelegten Distanz der Fahrzeuge. Durch die eingebaute Black Box in den Fahrzeugen werden Geschwindigkeit, Status der Blinker, Bremslicht und Abblendlicht aufgezeichnet.

3.2 Betriebliche Kennzahlen

Als Grundlage für die betrieblichen Kennzahlen dient das Logfile. Die Kennzahlen wurden jeweils für die einzelnen Fahrzeuge sowie für das Gesamtsystem berechnet. Dabei wurde der Zeitraum von der Eröffnung am 23. Juni 2016 bis zum Abschluss des Projekts am 31. Oktober 2017 berücksichtigt.

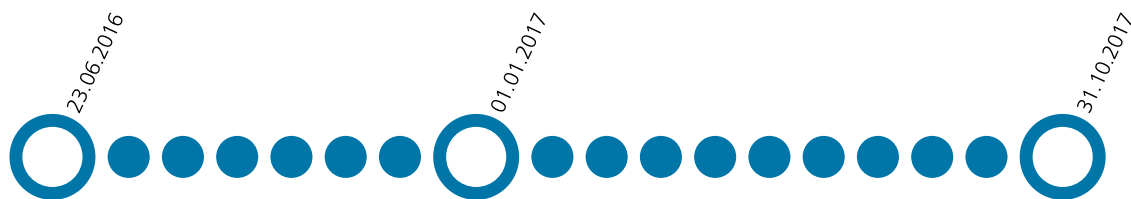


Abbildung 12: Berücksichtigter Zeitraum für die Auswertung der betrieblichen Kennzahlen

Als Leistungsindikatoren werden die Anzahl Einsätze, Einsatzdauer, Anzahl transportierte Fahrgäste, zurückgelegte Distanz und die mittlere Fahrgeschwindigkeit ausgewiesen.

3.2.1 Anzahl Einsätze und Einsatzdauer

Die Betriebsdauer des Pilotprojekts zählte insgesamt 495 Kalendertage, davon war an 403 Tagen ein Einsatz der Fahrzeuge geplant. Ein Betrieb mit mindestens einem der beiden SmartShuttles erfolgte effektiv an 369 Tagen. Das ergibt eine Verfügbarkeit des Systems «SmartShuttle Sion» von 92 Prozent.

Auf Stufe der einzelnen Fahrzeuge liegt die Verfügbarkeit tiefer. So kam das Fahrzeug P14 Tourbillon nur an 299 von 381 geplanten Tagen zum Einsatz, was eine Verfügbarkeit von 78 Prozent ergibt. Die Verfügbarkeit des SmartShuttles P13 Valère war noch tiefer, er rollte nur an 275 von 398 geplanten Tagen in der Innenstadt von Sitten.

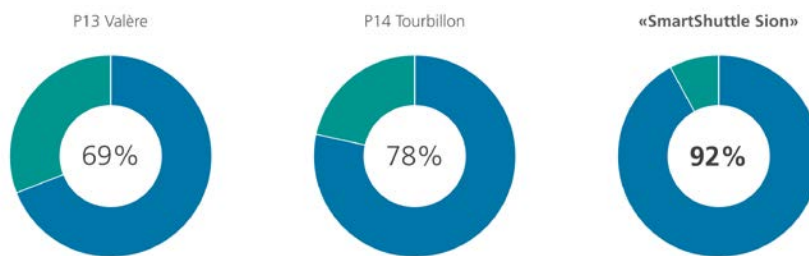


Abbildung 13: Verfügbarkeit der beiden Fahrzeuge und des Gesamtsystems im Überblick

Der Betrieb erfolgte jeweils von Dienstag bis Sonntag und wurde einzig durch Streckensperrungen in Folge von Anlässen oder Baustellen, technischen Ausfällen der Fahrzeuge oder aufgrund von schlechten Wetterbedingungen unterbrochen. Weiter Angaben zu den Betriebsunterbrüchen folgen im Kapitel 3.4.

3.2.2 Zurückgelegte Distanz

Insgesamt legten die beiden SmartShuttles eine Strecke von 7'351 Kilometer zurück. Dies entspricht der Distanz von der Schweiz bis zu den Bahamas (Valère legte 3'435 km und Tourbillon 3'916 km zurück). Die Zählung erfolgte automatisch durch den von Navya eingebauten Kilometerzähler und wurde durch die Operatoren täglich abgelesen und im Logfile notiert. Auch bei den zurückgelegten Distanzen sind die längeren Betriebsunterbrüche in der nachfolgenden Grafik gut ersichtlich.

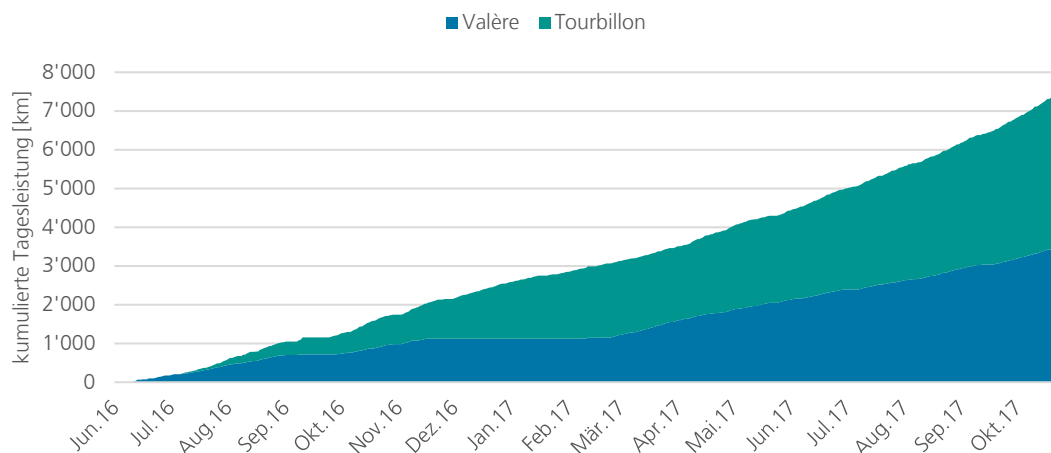


Abbildung 14: Zurückgelegte Distanz im Pilotprojekt «SmartShuttle Sion»

In obiger Grafik ist die spätere Betriebsaufnahme des Fahrzeugs P14 Tourbillon gut ersichtlich. Ebenso der Betriebsunterbruch vom 22.9. bis 5.10.2016: Aufgrund eines Vorfalls wurden beide Fahrzeug für zwei Wochen aus dem Verkehr gezogen. Ebenfalls auffallend ist ein längerer Ausfall des Fahrzeugs P13 Valère vom 29.11.2016 bis 9.3.2017: Das Fahrzeug wurde zur Überprüfung eines technischen Defekts zum Hersteller in die Reparatur gebracht.

3.2.3 Anzahl transportierte Fahrgäste

Insgesamt haben die beiden SmartShuttles in Sitten während der Dauer des Pilotprojekts 30'776 Fahrgäste transportiert (Valère 14'994 und Tourbillon 15'782 Personen). Die Zählung erfolgte manuell durch die Sicherheitsbegleitpersonen an Bord der Fahrzeuge.

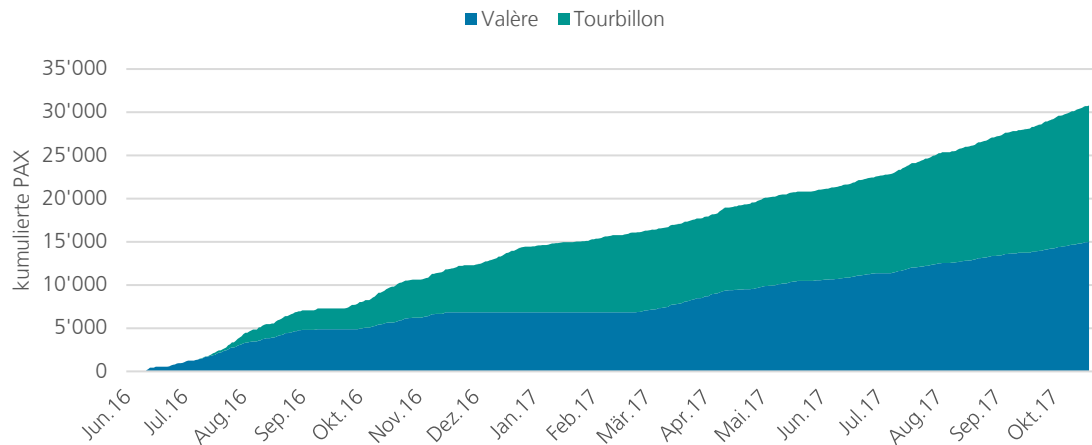


Abbildung 15: Anzahl transportierte Personen im Pilotprojekt «SmartShuttle Sion»

3.2.4 Fahrgeschwindigkeit

Die BestMile-Flottenmanagementsoftware lieferte ab dem 20. Februar 2017 Daten zur mittleren Fahrgeschwindigkeit. Vorher waren die entsprechenden Schnittstellen zum Fahrzeug noch nicht vorhanden. In der Datenbank wird für jeden Tag ein Durchschnittswert gespeichert. Dieser variiert von 4,2 km/h bis 7,6 km/h (tägliche Durchschnittsgeschwindigkeit).

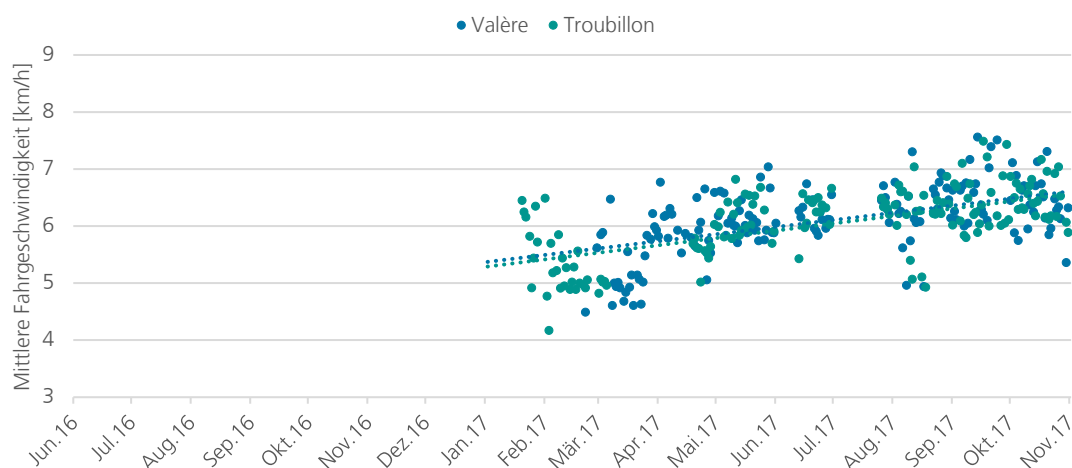


Abbildung 16: Tägliche Durchschnittsgeschwindigkeit im Pilotprojekt «SmartShuttle Sion»

In Abbildung 16 ist neben der täglichen Durchschnittsgeschwindigkeit die zeitliche Entwicklung mittels linearer Regression durch jeweils eine Linie pro Fahrzeug dargestellt. Das Diagramm zeigt, dass die tägliche Durchschnittsgeschwindigkeit von 5,5 auf 6,5 km/h gesteigert werden konnte.

Anhand der Daten aus der Black Box des Navya-Fahrzeugs kann zusätzlich das Geschwindigkeitsprofil für einen beliebigen Zeitraum ausgewertet werden. Abbildung 17 zeigt eine Sequenz von 20 Minuten.

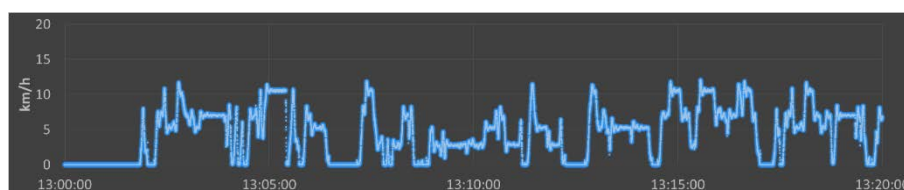


Abbildung 17: Geschwindigkeitsprofil SmartShuttle P14 Tourbillon am 26.10.2017

In der dargestellten Sequenz liegt die maximale Fahrgeschwindigkeit bei 12 km/h und die mittlere Fahrgeschwindigkeit bei 5,7 km/h. Bei der Berechnung der mittleren Fahrgeschwindigkeit wurden die Standzeiten der Fahrzeuge jeweils nicht berücksichtigt.

3.3 Eingriffe der Sicherheitsbegleitpersonen (Interventionen)

Als Grundlage für die Auswertung der Eingriffe dienten die elektronisch verfügbaren Daten der «Intervention Reports». Die Eingriffe der Sicherheitsbegleitpersonen werden manuell auf Papier notiert und anschliessend am Computer elektronisch erfasst. Für diesen Bericht standen die Daten für die Monate November 2016 bis Juli 2017 elektronisch zur Verfügung. Die restlichen Daten sind nur in Papierform vorhanden, werden jedoch laufend digitalisiert.



Abbildung 18: Betriebsdauer Pilotprojekt «SmartShuttle Sion» und Monate mit elektronisch verfügbaren Daten der «Intervention Reports» (November 2016 bis Juli 2017)

Der «Intervention Report» enthält Angaben zur Art, Zeit, Ursache und Ort einer Intervention. Die Daten wurden mittels Microsoft Excel ausgewertet.

3.3.1 Häufigkeit und Art der Interventionen

Die Sicherheitsbegleitpersonen führten im Mittel 25 Eingriffe pro Tag durch. Unter Berücksichtigung der durchschnittlich zurückgelegten Distanz eines SmartShuttles von 12,5 km pro Tag ergibt dies zwei Eingriffe pro gefahrenem Kilometer.

Dabei gab es grosse Unterschiede zwischen Tagen mit nur vereinzelten und Tagen mit mehr als sieben Interventionen. Die Anzahl Interventionen wird hauptsächlich durch die zurückgelegte Distanz und durch Hindernisse wie Baustellen oder falsch parkierte Fahrzeuge auf der Fahrbahn beeinflusst. Mehr Infos zu den Ursachen sind im nächsten Kapitel enthalten.

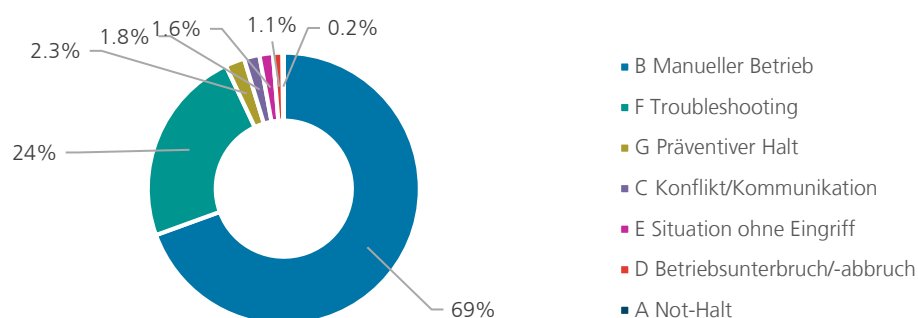


Abbildung 19: Prozentuale Verteilung der verschiedenen Eingriffe

Weitaus am häufigsten musste eingegriffen werden, um das Fahrzeug im manuellen Modus zu betreiben (69%). Dabei muss die Sicherheitsbegleitperson das Fahrzeug mittels Joystick manövrierern.

Am zweithäufigsten musste die Intervention der Kategorie F «Troubleshooting» durchgeführt werden (24%). Diese Kategorie fasst alle Interventionen im Rahmen von Störungsbehebungen am Fahrzeug zusammen.

Deutlich weniger häufig mussten die restlichen Interventionen durchgeführt werden (weniger als 3%). Interventionen der Kategorie G «Präventiver Halt» dienen hauptsächlich dazu, das Fahrerlebnis für die Fahrgäste möglichst komfortabel zu gestalten, indem das Fahrzeug frühzeitig mittels Joystick manuell gebremst wird, um ein manchmal abruptes Bremsen der automatischen Hindernisdetektion zu vermeiden. Interventionen der Kategorie C «Konflikt/Kommunikation» sind dagegen vielfältiger Natur. Da der SmartShuttle nur über eingeschränkte Möglichkeiten zur Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern verfügt, unterstützen die Sicherheitsbegleitpersonen in zahlreichen Verkehrssituationen den Verkehrsfluss noch durch Blickkontakt und Handzeichen.

Auch vergleichsweise weniger häufig wurden die Interventionen der Kategorie E «Situation ohne Eingriff» durchgeführt. Unter dieser Kategorie wurden Beobachtungen und Situationen notiert, in denen die Sicherheitsbegleitpersonen nicht eingegriffen haben. Das prominenteste Beispiel einer solchen Situation ist der Vorfall, bei dem ein SmartShuttle mit der geöffneten Heckklappe eines parkierten Lieferwagens kollidierte. Weitere Informationen zu diesem Vorfall können auch der Medienmitteilung vom 6. Oktober 2016⁴ entnommen werden.

Kategorie D «Betriebsunterbruch/-abbruch» musste am zweitwenigsten durchgeführt werden (1,1%). Am wenigsten Eingriffe erfolgten durch Betätigen eines Not-Halt-Knopfs im Fahrzeug (0,2%).

3.3.2 Ursachen für die häufigsten Interventionen

Grundsätzlich verlangten falsch parkierte Fahrzeuge auf der Strecke am meisten Interventionen, da die SmartShuttles nicht selbstständig ausweichen oder überholen können. Die zweithäufigste Ursache für eine Intervention der Sicherheitsbegleitpersonen war auf problematische Infrastruktur zurückzuführen, und an dritter Stelle stehen Softwareprobleme. Des Weiteren sind die falsche Hinderniserkennung und Hardwareprobleme häufige Ursachen für Eingriffe. Die restlichen zehn Kategorien für Ursachen von Interventionen sind in folgender Grafik unter der Kategorie «Weitere» zusammengefasst und nur für 2% aller Eingriffe verantwortlich.

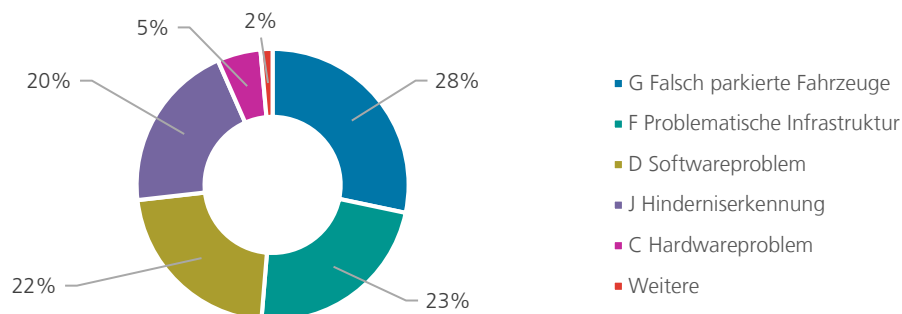


Abbildung 20: Prozentuale Verteilung der häufigsten Ursachen

Interessant ist die Betrachtung der Ursachen für die beiden häufigsten Interventionen «B Manueller Betrieb» und «F Troubleshooting». Gemeinsam machen diese beiden Interventionskategorien 93 Prozent aller Eingriffe aus.

⁴ Quelle: PostAuto, <https://www.postauto.ch/de/news/smartshuttle-testbetrieb-sitten-wieder-aufgenommen>, Zugriff am 10. Juli 2018

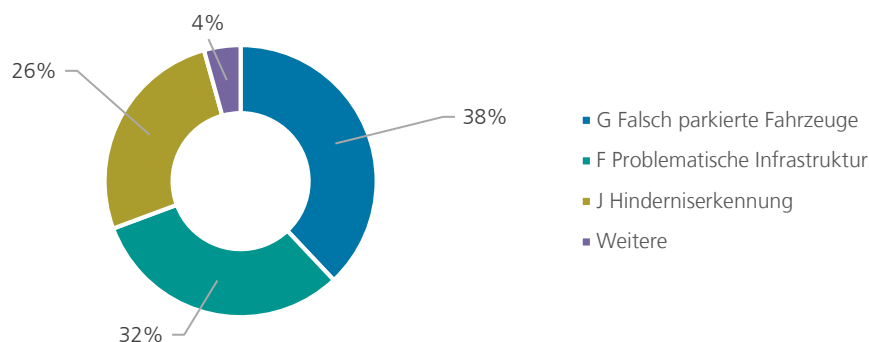


Abbildung 21: Häufigste Ursachen für die Intervention B «Manueller Betrieb»

Die Intervention «B Manueller Betrieb» erfolgte in 38 Prozent, um ein auf der Fahrbahn falsch parkiertes Fahrzeug zu umfahren. Aber auch problematische Infrastruktur wie z.B. Baustellen, auf die Fahrbahn ragende Pflanzen, verschobene Schilder, Storen und auf der Strasse deponierte Papier- und Kartonberge konnten zu einem kurzzeitigen manuellen Betrieb führen. Teilweise detektierten die Fahrzeuge auch imaginäre Hindernisse, worauf sie auf der Strecke stehen geblieben sind und nur durch einen manuellen Impuls wieder zur Weiterfahrt bewegt werden konnten.

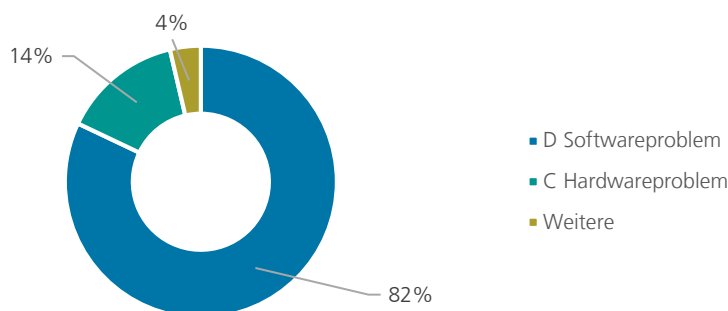


Abbildung 22: Häufigste Ursachen für Intervention F «Troubleshooting»

Die Gründe für Troubleshooting waren in den meisten Fällen auf Software- oder Hardwareprobleme zurückzuführen. Im Kapitel 3.4.2 und 3.4.3 wird näher auf diese Ursachen eingegangen.

3.4 Technische Limitationen des Systems

Die quantitativen Auswertungen der betrieblichen Kennzahlen und der Interventionen ergibt bereits einen guten Eindruck über den Betrieb von derzeit kommerziell verfügbaren automatisierten Fahrzeugen. Das Team rund um den «SmartShuttle Sion» hat im den täglichen Engagement, den Betrieb dieser neuartigen Gefährte aufrechtzuerhalten, unzählige interessante Erfahrungen gemacht. In den folgenden Abschnitten sind die wichtigsten Erfahrungen qualitativ beschrieben.

3.4.1 Verkehrstechnische Grenzen

Die grösste Limitation der Fahrzeuge des Herstellers Navya besteht darin, dass sie noch keine Flexibilität bezüglich der Wahl der Fahrbahn aufweisen. Das heisst, die Fahrzeuge fahren nur automatisiert auf einer vorher programmierten Route und können **nicht selbstständig ausweichen**. Sie fahren wie auf virtuellen Schienen. Dieses Manko ist in punkto Sicherheit ein Plus, macht aber eine vollständige Automatisierung im öffentlichen Strassenverkehr heute noch unmöglich. Es wird geschätzt, dass zwei Drittel aller erforderlichen Interventionen in Sitten eliminiert werden könnten, wenn die Fahrzeuge selbstständig Hindernisse auf der Fahrbahn umfahren könnten oder die strikte Freihaltung des Fahrwegs eingehalten würde.

Von den heute kommerziell verfügbaren Fahrzeugen ist Navya der einzige Hersteller, welcher in der Programmierung der Fahrzeuge Vortrittsregeln abbilden kann. Die Umsetzung ist jedoch so konzipiert,

dass von einem definierten Punkt aus gewisse Zonen auf Objekte überprüft werden. Sobald ein Objekt in dieser Zone detektiert wird, hält das Navya-Fahrzeug an einem definierten Punkt und wartet, bis die Zone wieder frei wird. Der SmartShuttle **gewährt beliebigen Objekten Vortritt**, unabhängig ihrer Geschwindigkeit oder Form. Dies kann dazu führen, dass die Fahrzeuge an einer Kreuzung warten, weil sich ein falsch parkiertes Fahrzeug oder ein Fussgänger in der Prioritätszone befinden. In diesem Bereich werden grosse Erwartungen an die Entwicklungen im Bereich künstlicher Intelligenz gestellt.

Die vorgängig beschriebene Funktion zur Überwachung von Vortrittsregeln bildet die Grundlage für's Abbiegen. Eine Änderung der Fahrtrichtung nach links oder rechts an Knotenpunkten müssen die entsprechenden Vorfahrts- und Abbiegeregelungen berücksichtigt werden. Dies führt insbesondere beim **Abbiegen nach links** zu komplexen Situation, da eine Fahrbahn überquert werden muss und entsprechend viele Vortrittsregeln berücksichtigt werden müssen. Meistens wird die Situation zusätzlich durch in der Nähe von Kreuzungen vorhandene Fussgängerstreifen erschwert. Die Navya-Fahrzeuge können diese Verkehrssituation in den meisten Fällen bewältigen. Bei hohem Verkehrsaufkommen kann es jedoch vorkommen, dass die SmartShuttles lange warten, oder die Sicherheitsbegleitperson entscheidet sich dafür, eine Kreuzung im manuellen Modus zu überqueren, um den Verkehrsfluss aufrecht zu erhalten. Die Fahrzeuge weisen eben noch ein eher defensives Fahrverhalten auf.

Bei der Überprüfung von Vortrittsregeln, aber auch bei der Hinderniserkennung, ist eine Unterscheidung und **Kategorisierung der verschiedenen Verkehrsteilnehmer** – zum Beispiel Fussgänger von Fahrzeugen – zwingend erforderlich. Dieser Funktionsumfang wird durch Entwicklungen im Bereich von künstlicher Intelligenz in naher Zukunft erwartet.

Die SmartShuttles sehen von aussen zwar symmetrisch aus und können auch in beide Richtungen fahren. Jedoch gibt es noch kein Programm, welches ein **kurzzeitiges Rückwärtsfahren** ermöglicht. Insbesondere in den engen Gassen von Sitten wäre diese Funktion gelegentlich hilfreich, um entgegenkommenden Verkehrsteilnehmern Platz zu machen.

3.4.2 Fahrzeugbedingte Grenzen (Hardware)

Die Klimaanlage der Navya-Fahrzeuge ist relativ laut im Betrieb. Trotzdem reicht die Leistung in den Sommermonaten nicht aus, um ein **angenehmes Raumklima** in der Fahrgastzelle des SmartShuttles zu erzeugen. Nicht nur die Fahrgäste kamen an heissen Tagen in Sitten ins Schwitzen, auch einzelne Komponenten sind temporär aufgrund von Überhitzung ausgestiegen. Jedoch ist bereits eine neue Generation der Klimaanlage für die Navya-Fahrzeuge verfügbar und wird in Kürze nachgerüstet.

Die Fahrzeuge von Navya weisen teilweise eine **ruppige Fahrweise** auf. Das Fahrzeug kann plötzlich aus für den Laien nicht ersichtlichen Gründen scharf bremsen. Umgekehrt beschleunigt das Fahrzeug manchmal in Situationen, in denen ein Fahrer eher nicht beschleunigen, sondern das Fahrzeug ausrollen lassen würde. Diese Situationen sind zwar nicht gefährlich, können aber für die Passagiere unbequem sein oder Zweifel an der Sicherheit auslösen.

Die Erfahrungen in Sitten zeigen, dass der **Kompressor für die pneumatische Aufhängung** der Navya-Fahrzeuge unterdimensioniert ist. So mussten wegen eines Problems mit der pneumatischen Aufhängung oft Betriebsunterbrüche in Kauf genommen. Meistens war eine Störung am Kompressor oder eine ausgefallene elektrische Sicherung die Ursache. Der Kompressor musste auch mehrfach ausgetauscht werden.

Die Batterie der Fahrzeuge kann erfahrungsgemäss in einer Umgebungstemperatur von 0 bis 30 Grad Celsius betrieben werden. Bei Temperaturen unter 0 Grad ist die Batterie gemäss Lieferant noch nicht einsatzbereit. In Sitten kann das Thermometer auch Temperaturen ausserhalb dieser Bandbreite anzeigen. Insbesondere an heissen Sommertagen mit Temperaturen bis zu 35 Grad Celsius mussten die Fahrzeuge mehrfach am Tag für eine halbe Stunde pausieren, um die **Batteriesteuerung** abzukühlen. Ein nachträglich montierter Lüfter hat zu einer Verbesserung dieser Situation geführt.

Die Fahrzeuge von Navya sind mit zwei Aussenschwenktüren ausgestattet. Die Aufhängung und der Antrieb für das **ursprünglich gelieferte Türsystem** waren unterdimensioniert, und der Betrieb

musste mehrfach aufgrund von Störungen am Türsystem unterbrochen werden. Während einer Nachrüstaktion hatte der Hersteller an beiden Fahrzeugen ein verstärktes Türsystem eingebaut.

Ein weiteres Bauteil, welches zu längeren Betriebsausfällen geführt hatte, ist der sogenannte Switch. Zuständig für die Verbindung von Datenkabeln der Sensoren, können **Störungen am Switch** zum Stillstand des Fahrzeugs und somit zu Betriebsunterbrüchen führen. Die ursprüngliche Version wurde ausgetauscht und durch eine bessere Komponente ersetzt.

Die Fahrzeuge von Navya sind zwar mit einer SIM-Karte von Swisscom mit ausreichender Bandbreite ausgestattet, aber nur mit einem UMTS- oder auch **3G-Modem** ausgerüstet. Die bei dieser Funktechnologie zur Verfügung stehenden Bandbreite reicht nicht in jedem Fall aus, eine einwandfreie Bildübertragung der auf dem Fahrzeug installierten Kameras zu gewährleisten.

3.4.3 Fahrzeugbedingte Grenzen (Software)

Ohne die zigtausend Zeilen Programmcode fährt das computergesteuerte, selbstfahrende Fahrzeug nicht. Auch bei den Fahrzeugen von Navya besteht das Herzstück aus Software, welche noch nicht einwandfrei ohne Eingriffe betrieben werden kann. **Fehlermeldungen quittieren**, Programme oder gelegentlich sogar den Fahrzeugcomputer neu starten gehören zu den täglich anfallenden Troubleshooting-Massnahmen.

Eine häufig anstehende Fehlermeldung besagt, dass die Daten der Sensoren nicht mit der gespeicherten Karte übereinstimmen. Die Übereinstimmung wird durch die sogenannte **Hit Ratio** ausgedrückt. Fällt dieser Wert unter eine gewisse Grenze, was bei einer Verschiebung oder Maskierung grösserer Referenzobjekte in der Umgebung passieren kann, wird das Fahrzeug gestoppt.

Ein Problem für die Betriebszentrale ist die **Fahrzeugschnittstelle** zur Flottenmanagementsoftware von BestMile. Im Rahmen des Pilotprojekts wurde diese Schnittstelle um einzelne Funktionen erweitert, bietet aber noch nicht den vollen Funktionsumfang. In der Betriebszentrale können noch nicht alle erforderlichen Funktionen genutzt werden.

Die Erfahrungen in Sitten haben gezeigt, dass die **Fahrzeugsoftware** noch Potenzial betreffend betrieblicher Stabilität aufweist. Neustart von Softwareprogrammen oder Fahrzeug sind häufige Eingriffe in der Kategorie «Troubleshooting».

3.4.4 Infrastrukturbedingte Grenzen

Obwohl die Strecke der SmartShuttles in Sitten nur 1,5 km beträgt, musste der Betrieb mehrmals aufgrund von **Baustellen** unterbrochen werden. Manchmal erfolgten Arbeiten direkt an der Strasse, was ein Vorbeikommen verunmöglichte. Oder es wurden in der Umgebung Baustellenelemente (Container, Wände etc.) aufgestellt, so dass die Wahrnehmung der Sensoren nicht mehr mit der gespeicherten Karte übereinstimmte.

Am Rand der Strasse wachsende **Pflanzen** können im Verlauf des Jahres auf die Fahrbahn ragen. Wenn sie dadurch in den Sicherheitskorridor des Fahrzeugs hineinragen, werden sie als Hindernis detektiert und das Fahrzeug hält an. Genauso verhält es sich auch mit herabfallenden Blättern.

Die Strecke der SmartShuttles führt in Sitten durch die Altstadt mit teilweise sehr engen Häuserschluchten. Zur Positionsbestimmung muss ein Empfänger jedoch die Signale von mindestens vier Satelliten gleichzeitig empfangen. Dies ist in den engen Gassen nicht immer gewährleistet, weshalb eine Navigation mittels **GNSS** auf der ursprünglichen Route nicht eingesetzt werden konnte.

Beim **Mobilfunksignal** mussten in den engen Gassen ebenfalls kurzzeitige Ausfälle verzeichnet werden. Da die Fahrfunktionen komplett auf dem Fahrzeug ablaufen, war der sichere Betrieb dadurch aber zu keinem Zeitpunkt gefährdet.

3.4.5 Wetterbedingte Grenzen

Bei **starkem Regen** kann es sein, dass die Reflektionen des herabfallenden Regen als Hindernis detektiert werden und das Fahrzeug nicht mehr weiterfährt. Bei entsprechenden Wetterbedingungen wurden die Fahrzeuge rechtzeitig aus dem Betrieb genommen.

Ebenfalls als Hindernis werden grosse Schneeflocken gewertet. Dies wurde im Rahmen von Tests nachgewiesen. Zudem kann auf der Strasse liegender **Schnee** die Konturen der Umgebung so stark verändern, dass der Abgleich mit der auf dem Fahrzeug gespeicherten Karte keine zufriedenstellenden Resultate liefert. Das Fahrzeug hält an und meldet eine ungenügende Hit Ratio.

Probleme aufgrund von zu tiefen Temperaturen können im Bereich der Antriebstechnologie auftreten. Der Lade- und Entladevorgang der Batterie kann bei **Temperaturen** unter 0 Grad Celsius gestört werden. Ebenfalls können zu hohe Temperaturen für Fahrgäste und das Fahrzeug zu Belastungen führen, und wie schon unter 3.4.2 erwähnt mussten deswegen mehrfach Betriebsunterbrüche in Kauf genommen werden.

3.5 Fahrzeugpräsentationen ausserhalb von Sitten

Nebst den beiden Fahrzeugen in Sitten hat PostAuto zwei zusätzliche Fahrzeuge beschafft. Diese dienen PostAuto als Test- und Demofahrzeuge. Dabei ist eines der Fahrzeuge in Frankreich stationiert und das andere in Bern. Beide Fahrzeuge haben in teilweise gemeinsamen Auftritte ungefähr gleich viele Passagiere an Messen und anderen Anlässen transportiert wie die beiden Fahrzeuge in Sitten (35'000). Diese Fahrzeugpräsentationen bei Kunden waren von unterschiedlicher Dauer (einzelne Tage bis mehrere Monate). Dabei wurden zusätzlich wertvolle Erfahrungen beim Einrichten der Fahrzeuge und im Betrieb in unterschiedlichen Umgebungen gesammelt.

3.5.1 Transport des SmartShuttles

Beim Transport der SmartShuttles müssen Spezialfahrzeuge oder ausreichend beladefähige Anhänger mit entsprechendem Zugfahrzeug eingesetzt werden. Zudem kann das Auf- und Abladen nur durch geschultes Personal durchgeführt werden, da die Fahrzeuge von Navya nicht selbst auf einen Anhänger fahren können. Bei der Beladung auf Anhängern gilt es ferner zu beachten, dass die Gewichtsverteilung bei den Navya-Fahrzeugen aufgrund der einseitig montierten Batterie nicht symmetrisch ist und die entsprechende maximale Stützlast an der Anhängerkupplung nicht überschritten wird.

Bei grenzüberschreitenden Transporten müssen zudem die entsprechenden Zollpapiere organisiert werden. Dies führt bei nicht eingelösten Fahrzeugen zu erheblichem administrativem und finanziellem Aufwand. Es muss beispielsweise ein Carnet ATA eröffnet werden.

3.5.2 Funkkonzession für SmartShuttles

Bei jeder dynamischen Präsentation der SmartShuttles in der Schweiz wird jeweils eine Funkkonzession benötigt. Sie kann beim BAKOM beantragt werden und hilft, die entsprechenden Ansprechpersonen zu vermitteln, falls es durch den Betrieb zu Störungen durch elektromagnetische Felder (EMV) kommen sollte. Es kam nie zu Störungen durch Probleme mit EMV, weder im Betrieb in Sion noch bei einer der zahlreichen Demos in der Schweiz und im Ausland.

3.5.3 Einrichten und Inbetriebnahme einer neuen Route

Um eine neue Strecke einzurichten, muss für die Navya-Fahrzeuge zuerst eine Karte der Umgebung erstellt werden. Dies geschieht durch entsprechend ausgebildetes Personal und mittels der fahrzeugeigenen Sensoren. Dabei muss die ganze Strecke zuerst im Schritttempo abgefahren werden. Anschliessend müssen Spezialisten von Navya mit den aufgezeichneten Daten eine 3D-Karte erstellen und den gewünschten Pfad mit Angaben zur Geschwindigkeit, Sicherheitsabständen, Vortrittsregeln etc. programmieren. Karte und Pfad werden anschliessend auf dem Fahrzeugrechner gespeichert, und die neue Route kann getestet werden. Erst nach intensiven Tests und entsprechenden Modifikationen wird die Route für den Betrieb freigegeben.

3.5.4 Betrieb auf dedizierten Strecken

PostAuto kann auf die Erfahrung von mehreren Duzend dynamischer Präsentationen der SmartShuttles ausserhalb von Sitten zurückgreifen. Ausnahmslos wurde der Betrieb auf dedizierten Strecken durchgeführt.

4. Schlussfolgerungen

Die Fahrzeuge von Navya sind zwar noch nicht vollständig ausgereift und noch aufwändig im Betrieb, zeigen aber eindrücklich, wie weit die technologische Entwicklung schon fortgeschritten ist. Sie ermöglichen ein Angebot, das sich grundsätzlich vom konventionellen PostAuto-Angebot unterscheidet. Für einen Betrieb ohne Sicherheitsbegleitpersonal müssen jedoch noch zahlreiche technologische sowie regulatorische Entwicklungen erfolgen.

4.1 Fazit zur technischen und betrieblichen Machbarkeit

Mit dem Versuch in Sitten konnte PostAuto äusserst wertvolle Erfahrungen zur Technologie und zum Betrieb von automatisierten Fahrzeugen sammeln und entsprechendes Fachwissen aufbauen. Das Pilotprojekt und die zusätzlich durchgeführten Präsentationen auf nationaler und internationaler Ebene haben eine hohe Aufmerksamkeit generiert. Diese Anlässe ermöglichten PostAuto die Etablierung eines umfassenden Netzwerks mit teilweise wegweisenden Kontakten. Die unzähligen Gespräche mit potenziellen Kunden oder Lieferanten und anderen Akteuren im Markt haben zusätzlich zu den praktischen Erfahrungen in Sitten einen erheblichen Mehrwert und Erkenntnisgewinn gebracht.

Die etablierten Fahrzeughersteller, Technologiefirmen und Unternehmen aus der Automobilbranche fokussieren ihrerseits bei der Entwicklung von autonomen Fahrzeug vorwiegend auf Personenwagen für den Endverbraucher. In dem Zusammenhang ist oft von vom erklärten Ziel, autonomes Fahren auf allen Strassen zu ermöglichen, die Rede (Level 5 gemäss ASTRA, siehe Abbildung 1). Dabei handelt es sich um ein anderes Anwendungsgebiet, welches nicht direkt mit dem SmartShuttle verglichen werden kann. Für Anwendungen im öffentlichen Verkehr ist es nicht zwingend notwendig, auf allen Strassen fahren zu können. Im Gegenteil, es kann durchaus Sinn machen, ein entsprechendes Angebot auf dedizierten und damit überschaubaren Strecken zu realisieren.

Ein flächendeckender Einsatz oder gar der Ersatz von bestehenden PostAuto-Linien mit Navya-Fahrzeugen ist heute noch nicht realisierbar. Dazu fehlen insbesondere die regulatorischen Rahmenbedingungen. Auf dedizierten Strecken mit reduzierter Geschwindigkeit ist es jedoch durchaus denkbar, in den nächsten Jahren ein professionelles Angebot mit Fahrzeugen von Navya aufzubauen. Dazu muss grundsätzlich die Anzahl Eingriffe reduziert und die technische Verfügbarkeit der Fahrzeuge erhöht werden. Viele Themen haben noch Entwicklungsbedarf, eine Übersicht liefert das nächste Kapitel.

4.2 Themenfelder für die Weiterentwicklung

Die Fahrzeuge von Navya sind zwar noch nicht vollständig ausgereift und noch aufwändig im Betrieb, sie zeigen aber eindrücklich, wie weit die technologische Entwicklung schon fortgeschritten ist. Selbstfahrende Fahrzeuge sind am Kommen und eröffnen völlig neue Anwendungsmöglichkeiten, so zum Beispiel als Angebot auf der ersten und letzten Meile.

Bis jedoch sämtliche Fahr- und Steuerungsfunktionen von selbstfahrenden Bussen im öffentlichen Verkehr automatisiert erbracht werden können, sind noch zahlreiche technische Hürden zu nehmen. Eine zentrale Rolle spielt dabei die zuverlässige Objekterkennung. Diese soll mithilfe von künstlicher Intelligenz gelingen. Insbesondere Deep Learning-Systeme sind Hoffnungsträger der Entwickler von selbstfahrenden Fahrzeugen. Diese Systeme sollen helfen, auf alle erdenklichen Situationen im Strassenverkehr richtig zu reagieren, was garantiert nicht auf Anhieb gelingen wird. Jedoch ist der grosse Vorteil von digitalen und vernetzten Geräten, dass aus den Fehlern eines einzelnen alle anderen mittels Update profitieren können.

Nebst der grossen Herausforderung der Objektklassifizierung mittels KI sind im Bereich der Technologie noch die Entwicklung standardisierter Fahrzeugschnittstellen als eines der wichtigsten Entwicklungsfelder zu nennen. Es gibt noch keinen Standard für die Schnittstelle zu automatisierten Fahrzeugen. Standards für den Informationsaustausch sind aber zwingend erforderlich, um eine übergeordnete effiziente Steuerung und Nutzung der automatisierten Fahrzeuge sicherzustellen.

Ein weiteres Themenfeld ist die Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern. Hier müssen Systeme entwickelt werden, die Blickkontakt und Handzeichen erfolgreich substituieren können. Dies auch unter dem Aspekt, dass mittelfristig mit einem Mischverkehr von automatisierten und manuell betriebenen Fahrzeugen gerechnet werden muss.

Wenn selbstfahrende Fahrzeuge einmal nachweislich sicherer im Strassenverkehr unterwegs sind als manuell gesteuerte, wären schlagkräftige Argumente für deren Einführung gegeben und damit wahrscheinlich auch die Akzeptanz in der Gesellschaft. Bis dann müssen aber auch die gesetzlichen Grundlagen für die Zulassung geschaffen werden. Die SmartShuttles von PostAuto tragen dazu bei, die Diskussion zu lancieren und eine breite Öffentlichkeit an das Thema automatisiertes Fahren heranzuführen.

PostAuto hat viele weitere Entwicklungsthemen identifiziert und dokumentiert und ermutigt interessierte Unternehmen, sich an der Weiterentwicklung dieser Zukunftstechnologie zu beteiligen. Interessierten stehen die Projektverantwortlichen gerne für weitere Auskünfte zur Verfügung.

4.3 Ausblick

PostAuto wird sich im Rahmen von Partnerschaften dem Thema «Automatisiertes Fahren im öffentlichen Verkehr» weiterhin widmen. In Sitten wird das SmartShuttle-System aktuell ausgedehnt und schrittweise – in Abstimmung mit dem ASTRA und der Stadt Sitten – um technische Funktionen erweitert. Mit dem Testfeld in Sitten und dem Test- und Schulungszentrum «Stöckacker» in Bern stellt PostAuto Industrie, Behörden und Hochschulen eine Plattform zum Testen und zur Entwicklung von neuen Systemen zur Verfügung.

In naher Zukunft können SmartShuttles per App oder auf Knopfdruck an der Haltestelle bestellt werden und so die Auslastung optimiert und individuelle Kundenbedürfnisse abgedeckt werden. Dabei stellt sich das Problem der Integration und Anschlusssicherung zu fahrplangesteuerten Angeboten. Da in Zukunft von einer zunehmenden Vermischung von individuellem und öffentlichem Verkehr auszugehen ist, wird das Thema der multimodalen Reiseplanung weiter an Bedeutung gewinnen. PostAuto leistet mit dem Betrieb von automatisierten Bussen einen wichtigen Beitrag, das Schweizer Verkehrssystem laufend zu verbessern und dadurch nicht zuletzt auch die Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschaftsstandorts Schweiz zu erhalten.