Pilotprojekt VBSH "Linie 12"

Zwischenbericht Februar 2019

Bericht

2A

AMoTech GmbH
Industrieplatz 1 | 8212 Neuhausen | Switzerland
phone +41 589 111 111 | fax +41 589 111 112
info@amotech.ch | www.amotech.ch

© 2019 AMoTech GmbH. All rights reserved.

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung 4
1.1 Zweck 4
1.2 Streckenführung 4
1.3 Überarbeitung Karte und Streckenkonfiguration 6

2 Betrieb Linie 12 7
2.1 Betriebszeiten 7
2.2 Begleitpersonen 8
2.3 Beförderte Personen 8
2.4 Gefahrene Kilometer 10
2.5 Tage in Betrieb / ausser Betrieb 10

3 Erfahrungen im automatisierten Fahren 11
3.1 Verhalten im Verkehr 11
3.2 Eingriff der Begleitperson 12
3.2.1 Präventive Eingriffe 12
3.2.1.1 Baustellen 12
3.2.1.2 Stau / parkierte Fahrzeuge 13
3.2.1.3 Fussgängerstreifen 14
3.2.1.4 Rechtsvortritt 14
3.2.1.5 VBSH-Busse überqueren die Mittellinie 16
3.2.2 Korrektive Eingriffe 16
3.2.2.1 Problematik mit der Fahrspur am Industrieplatz 16
3.2.2.2 Probleme mit der Fahrspur an der Haltestelle Zentrum Süd 18
3.2.2.3 Missachtung Go-Befehl 18
3.3 Keine Eingriffe der Begleitperson 19

4 Erfahrungen zum Shuttle mit Verkehrsbetrieb (Haltestelle/Leitstelle) 20
4.1 Koordination beim Befahren von Haltestellen 20
4.2 Vernetzung zur Leitstelle 21

5 Erfahrungen zum Zweirichtungsbetrieb 23

6 Erfahrungen mit anderen Verkehrsteilnehmer 24
6.1 ETH-Studie 24
6.2 Sicht der Projektbeteiligten 24

7 Erfahrungen mit der Technik 25
7.1 Belagsschäden 26
7.2 Austausch von defekten Komponenten 27

1 Einführung

1.1 Zweck

Am 2. Februar 2018 wurde vom Bundesamt für Strassen (ASTRA) die Verfügung für einen zweijährigen Pilotversuch mit einem selbstfahrenden Fahrzeug in Neuhausen am Rheinfall (Kanton Schaffhausen) erteilt. Gemäss Verfügung soll ein Begleitbericht verfasst und halbjährlich ein Zwischenbericht abgegeben werden. In diesem Bericht sollen unterschiedlichste Aspekte zum Pilotbetrieb abgedeckt und erläutert werden.

Dies ist der zweite Zwischenbericht und umfasst den Zeitraum vom 01. August 2018 bis 31. Januar 2019. Der erste Zwischenbericht wurde am 07. September 2018 eingereicht.

1.2 Streckenführung

Im Endausbau verbindet die Linie 12 das Zentrum von Neuhausen mit dem Schlössli Wörth am Rheinfallbecken. Auf dem oberen Streckenabschnitt („Einrichtungsverkehr“) verkehrt das Fahrzeug auf einer öffentlichen Strasse in einer „Tempo 30“-Zone. Das selbstfahrende Fahrzeug teilt sich dort die Strasse mit anderen Verkehrsträgern (Auto, LKW, Bus, Fahrrad, Fussgänger). Im unteren Abschnitt, welcher momentan noch nicht befahren wird, wird das Fahrzeug grösstenteils nur auf Fussgänger und auf den Touristenzug „Rhyfall Express“ treffen. Lediglich Anwohner oder Gemeindeangestellte haben die Erlaubnis ins Fahrverbot zu fahren.

Die Strecke ist in der folgenden Abbildung 1 dargestellt:

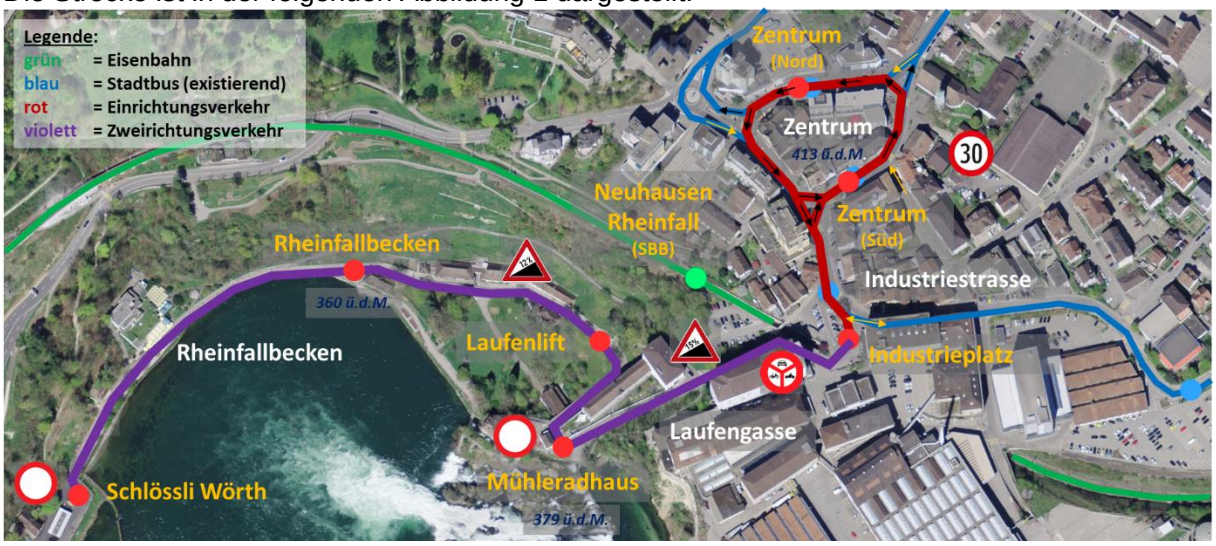

Abbildung 1: Streckenführung

Erweiterte Legende zur Abbildung:

- gelb sind die bewilligten Namen der Haltestellen
- weiss sind die Abschnittsnamen
- die schwarzen Pfeile zeigen Einbahnverkehr an
- die vier gelben Pfeile zeigen an, wo andere Fahrzeuge zur „Linie 12“ stossen
- violett ist der Teil der Strecke, der im Zweirichtungsbetrieb befahren wird

Weitere Informationen zur Strecke:

- auf den Abschnitten Industriestrasse und Zentrum ist durchgängig „Tempo 30“
- die Laufengasse ist relativ steil (bis 15%), hier gilt Fahrverbot für Motorfahrzeuge

- am Rheinfallbecken und Im Lauffe herrscht allgemeines Fahrverbot
- der Touristenstrom verläuft hauptsächlich dem Wasser entlang (Schlössli Wörth – Wasserwerk – Mühle)

Im Berichtszeitraum von August 2018 bis Januar 2019 wurde nur der obere Streckenabschnitt (siehe Abbildung 1, rot) befahren. Dies beinhaltet die Sektoren A bis J (siehe Abbildung 2). Dieser Streckenabschnitt umfasst neun Fussgängerstreifen, drei Rechtsvortritte, zwei Haltestellenausfahrten und ein Einbiegen auf die Hauptstrasse (Industriestrasse).

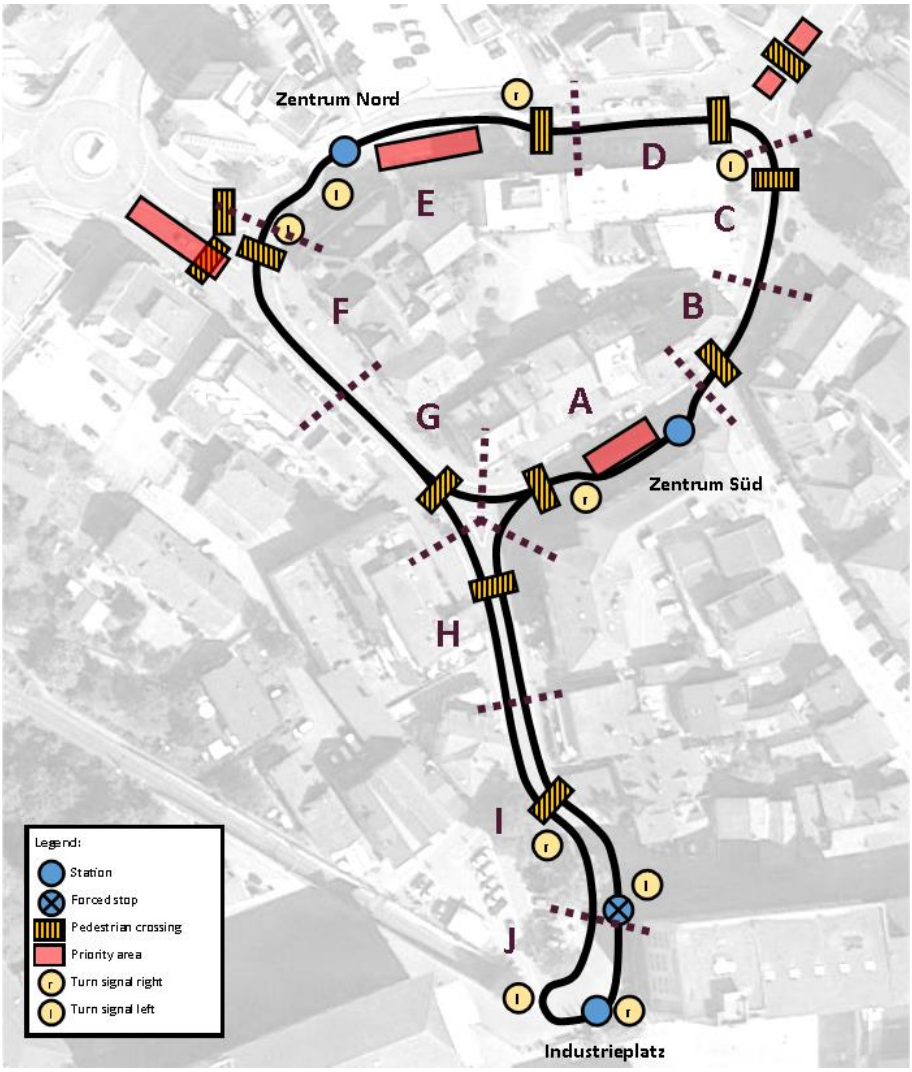

Abbildung 2: Oberer Streckenabschnitt

Die Zufahrt zur Pilotstrecke folgt über eine ca. 300 Meter lange Strecke (siehe Abbildung 3, Sektoren W – Z).

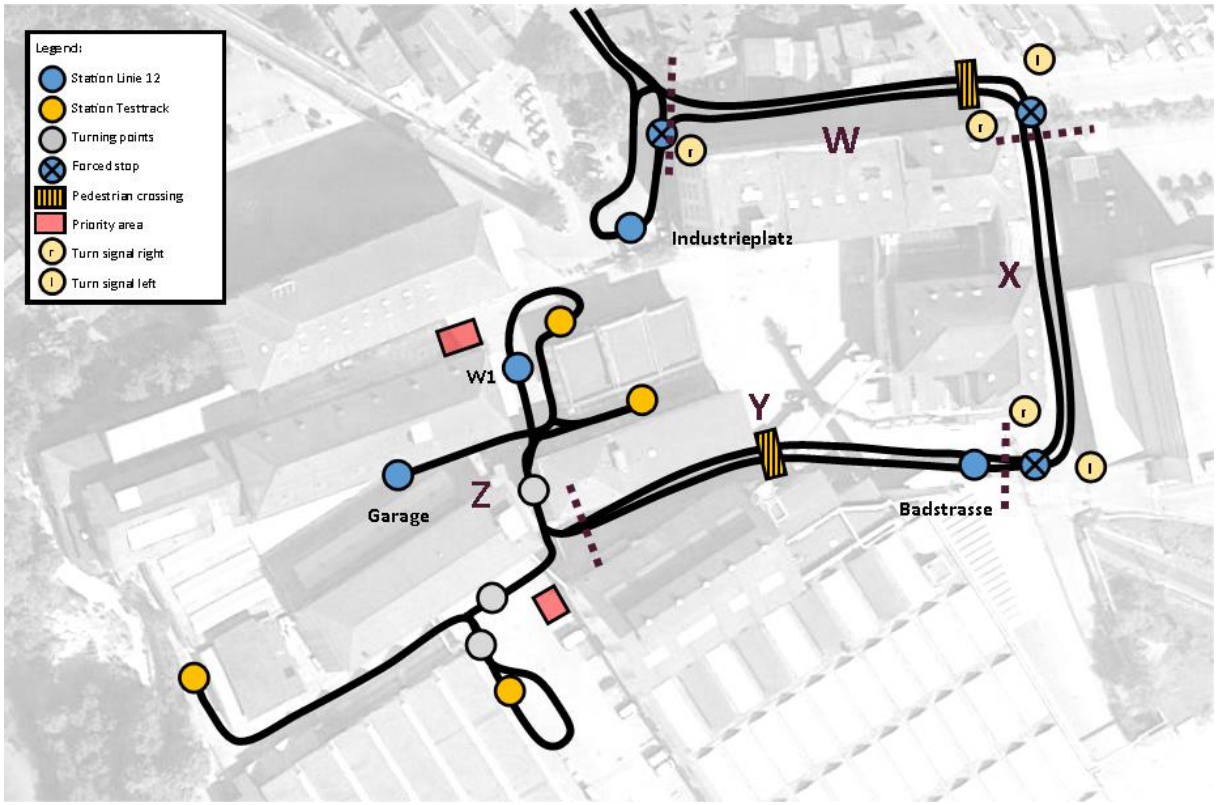

Abbildung 3: Zufahrt zur Pilotstrecke inkl. Teststrecke

1.3 Überarbeitung Karte und Streckenkonfiguration

Das Navya-Shuttle ortet sich in Neuhausen am Rheinfall nur mittels LIDAR-Sensoren – GPS ist deaktiviert. Zum Orten vergleicht das Shuttle die „momentane" Umgebung mit der auf dem Shuttle abgespeicherten „Referenz-Umgebung".

Seit Dezember 2017 hatte das Shuttle die momentane Umgebung mit der gleichen Referenz-Umgebung (2D-Karte) verglichen. Da sich die Umgebung in Neuhausen seit Dezember 2017 massiv verändert hat, stimmten an einigen Stellen die beiden „Umgebungen" nicht überein. Aus diesem Grund hatte das Shuttle an einigen Stellen Probleme mit Fahren auf der definierten Fahrspur (siehe Kapitel 3.2.2.1 und 3.2.2.2).

So wurde am 29. November 2018 die Umgebung durch Navya neu eingelesen und anschliessend eine neue Referenz-Umgebung erstellt. Zwischen 09. und 11. Januar 2019 wurde die Streckenkonfiguration erneuert und fertiggestellt. Das heisst, die einzelnen Geschwindigkeiten, Blinker, exakte Fahrspur, Halteposition und dergleichen wurden überarbeitet.

Seit dem 11.01.2019 fährt das automatisierte Shuttle mit einer neuen Referenz-Umgebung und optimierter Streckenkonfiguration. Es werden weiterhin die gleichen Abschnitte (A-J, siehe Abbildung 2) befahren.

2 Betrieb Linie 12

Zwischen August 2018 und Januar 2019 fuhr das selbstfahrende Shuttle „Trapizio“ auf dem oberen Streckenabschnitt. Für den unteren Streckenabschnitt zwischen dem Industrieplatz und dem Schlössli Wörth ist noch keine Bewilligung vorhanden.

Entgegen einer vom Fahrzeughersteller Navya abgegebenen Zusicherung ist Trapizio doch nicht in der Lage, eine Steigung bzw. Gefälle von 15 % im Dauerbetrieb zu bewältigen. Auch war die benötigte Software für den Zweirichtungsbetrieb zu diesem Zeitpunkt noch nicht fertiggestellt. Die Software für den Zweirichtungsbetrieb ist nun fertiggestellt und kann verwendet werden.

Aus den oben genannten Gründen konnte das selbstfahrende Fahrzeug den Streckenabschnitt zwischen der Haltestellen „Industrieplatz“ und „Schlössli Wörth“ bis dato nicht befahren. Um dennoch zukünftig die gesamte Strecke der Linie 12 befahren zu können, unterbreitete Navya den Vorschlag, Trapizio gegen eine Weiterentwicklung „Trapizia“ (4x4-Fahrzeug) auszutauschen. Trapizia ist eine neuere Generation des Fahrzeugs „Navya Arma DL4“ und weist einige Verbesserungen gegenüber Trapizio auf. Beispielsweise befinden sich die Kameras oberhalb und nicht mehr unterhalb der Windschutzscheiben, zusätzliche Blinker wurden auf der Seite angebracht wie auch die Befestigung der Scheibenwischer nach unten versetzt wurde. Doch die wesentliche Änderung ist, dass Trapizia neu mit zwei Motoren ausgerüstet ist und so alle vier Räder angetrieben sind. Dadurch soll laut Aussage des Herstellers das Befahren einer 15-%-Steigung möglich sein.

Wir gehen davon aus, dass Trapizia in den nächsten Monaten geliefert wird. Nach der erneuten Prüfung durchs Strassenverkehrsamt ASTRA und dem Bundesamt für Verkehr BAV und dem Erhalt der Verfügung wird Trapizia dann regelmässig zwischen Zentrum Neuhausen und Schlössli Wörth verkehren.

2.1 Betriebszeiten

Die Projektbeteiligten hatten am Anfang des Projekts einen periodischen Betrieb nur während der Sommermonate vorgesehen. In den Wintermonaten sollte nur sporadisch gefahren werden. Im Verlaufe des Projekts kam die Idee auf, dass auch während der Wintermonate periodisch gefahren werden soll, um auch bei schlechteren Strassenverhältnissen Erfahrungen zu sammeln.

Um dies umzusetzen, musste die Verfügung, welche für einen sporadischen Betrieb während der Wintermonate erstellt worden war, angepasst werden. Ab Erhalt der angepassten Verfügung durfte dann zur jeder beliebigen Zeit periodisch gefahren werden.

Zwischen April und Oktober 2018 fuhr das Shuttle an den Werktagen (Montag bis Samstag) von 13:00 bis 17:00 Uhr. An den Sonn- und Feiertagen fuhr es von 10:00 bis 18:00 Uhr. Die Schicht wurde bei einem kurzen Halt auf der Strecke um 14:00 Uhr gewechselt.

Zwischen November 2018 und Januar 2019 verkehrte das Shuttle an allen Wochentagen von 12:00 bis 16:00 Uhr. Zusätzlich wurde im Sommer und im Winter je eine halbe Stunde Vor- und Nachrüstzeit eingeplant. Ab dem 1. April wird wieder nach Sommerfahrplan gefahren.

Fahrplan	**Sommer**	**Winter**
Monate	April – Oktober	November – März
Betriebszeiten	Montag bis Samstag: 13:00 – 17:00 Uhr Sonntag und Feiertage: 10:00 – 18:00 Uhr	Montag bis Sonntag (inkl. Feiertage): 12:00 – 16:00 Uhr

2.2 Begleitpersonen

Insgesamt wurden seit Februar 2018 sechs Schulungen durchgeführt und 12 Begleitpersonen ausgebildet. Zurzeit sind acht Begleitpersonen aktiv. Jede Begleitperson füllt pro Schicht einen Tagesrapport aus.

Falls während einer Schicht ein spezielles Ereignis passiert, füllt die Begleitperson einen Ereignisrapport zeitnah aus. Wiederkehrende Probleme werden nach einer gewissen Zeit nicht mehr einzeln erfasst, sondern werden entweder im Tagesrapport erwähnt oder in der zweiwöchentlichen Sitzung mit allen Begleitpersonen besprochen.

2.3 Beförderte Personen

Seit der Inbetriebsetzung der Linie 12 am 27. März 2018 wurden 21‘542 Personen transportiert (Stand: 31. Januar 2019). Die Fahrgastzählung wurde mittels Handzähler durchgeführt. Wenn Personen mehrere Fahrten nacheinander mitgefahren sind, wurden sie als einzelne Person gezählt, das Kriterium war der Ein- bzw. Ausstieg. Die Abbildung 4 zeigt den Anstieg der beförderten Personen über die Zeit.

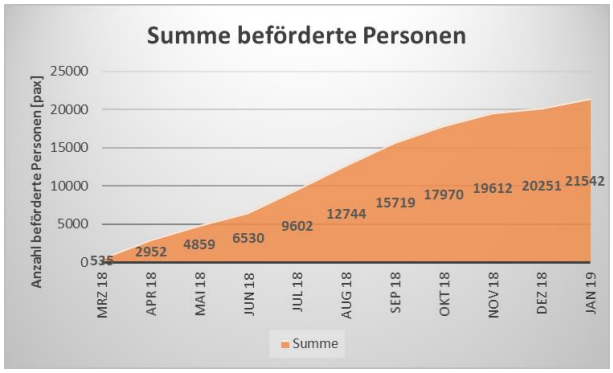

Abbildung 4

Zwischen August 2018 und Januar 2019 wurden 11‘940 Fahrgäste befördert. Der beförderungsstärkste Monat war der August 2018 mit 3‘142 beförderten Personen (siehe Abbildung 5). Aufgrund der defekten Batterie im Dezember war der Dezember 2018 der beförderungsschwächste Monat, nur insgesamt 639 Personen wurden befördert.

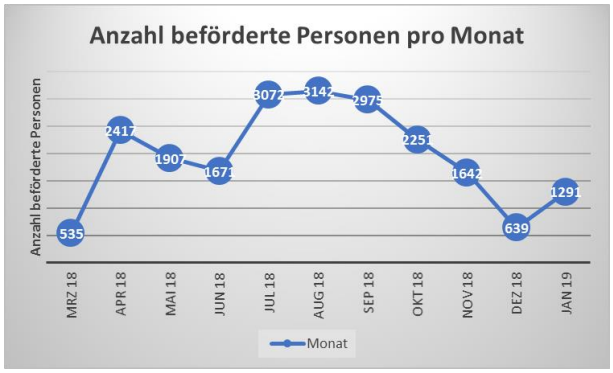

Abbildung 5

In der Abbildung 6 wird die durchschnittliche Anzahl der beförderten Personen an den einzelnen Wochentagen (Mo-Fr, Sa, So) dem jeweiligen Monat gegenübergestellt. Wie oben beschrieben in den Sommermonaten in zwei Schichten gefahren. Aus diesem Grund ist die Kurve vom Sonntag erheblich höher, als die Kurve der Werk- bzw. Samstage. An den Werktagen und den Samstagen war das Shuttle jeweils lediglich vier Stunden unterwegs (Ausnahme: Feiertage).

So ist ersichtlich, dass das Angebot der Linie 12 am Wochenende mehr genutzt wird als unter der Woche. An den Sonntagen sind es bis zu 200 Personen und während den Wochentagen werden nur zwischen 30 und 80 Personen transportiert. Am Samstag werden zwischen 60 und 130 Personen befördert.

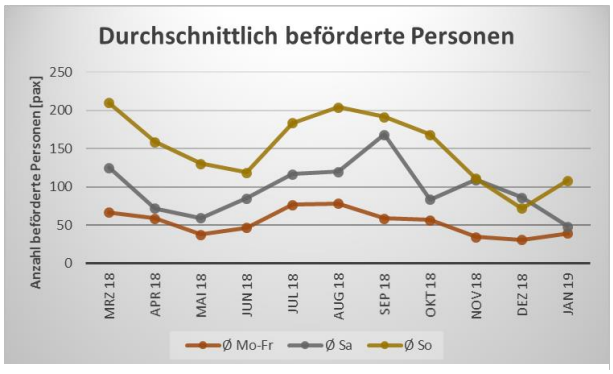

Abbildung 6

Die Abbildung 7 vergleicht die einzelnen Durchschnittswerte von beförderten Personen pro Stunde. Zwischen Juli und September 2018 war der Wert am höchsten. Dies überrascht nicht, da die meisten Touristen den Rheinfall im Sommer besuchen. Die durchschnittliche Beförderung in den Sommermonaten beträgt fast 22 Personen. Bei 11 Sitzplätzen und 10 Min-Takt könnten maximal 66 Personen transportiert werden. Somit beläuft sich der Durchschnitt der Auslastung auf 33.3 % in der Stunde.

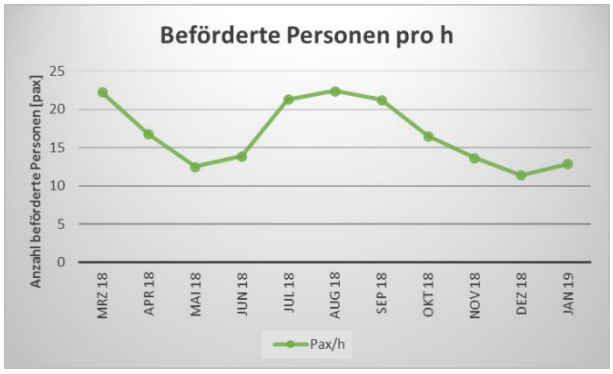

Abbildung 7

2.4 Gefahrene Kilometer

Die gefahrenen Kilometer sind über die Zeitdauer in etwa gleich geblieben. Bei einer Vierstundenschicht fährt Trapizio zirka 13 Kilometer. Die Streckenlänge beträgt zur Zeit einen halben Kilometer. Das ergibt 12 Kilometer pro Schicht. Die Runde wird sechsmal in der Stunde abgefahren. Dazu wird noch ein Kilometer für die Zufahrt zur Strecke und die Rückfahrt in die Garage addiert.

2.5 Tage in Betrieb / ausser Betrieb

Das Shuttle war zwischen März 2018 und Januar 2019 rund 1‘300 Stunden in Betrieb. Bis Ende Januar wurden an 283 Tagen Fahrgäste befördert (siehe Abbildung 8). Die Verfügbarkeit des Shuttles betrug pro Monat mehrheitlich mehr als 97 % (siehe Tabelle 1). Die Ausnahmen waren Dezember 2018 und Januar 2019. Im Dezember musste über Weihnachten / Neujahr die Batterie getauscht werden. Im Januar 2019 wurde die Strecke neu eingelesen.

Ausserdem gab es wetterbedingte Herausforderungen. Bei leichtem Schneefall funktionierte der Fahrbetrieb weiterhin gut. Hingegen bei starkem Regen oder starkem Schneefall musste der Betrieb vereinzelt früher eingestellt werden. Im Sommer wurde an heissen Sonn- und Feiertagen bei acht Stunden Fahrbetrieb die Batteriekapazität durch den dauerhaften Betrieb der Klimaanlage knapp, an diesen Tagen wurde aus Sicherheitsgründen der Fahrbetrieb frühzeitig eingestellt.

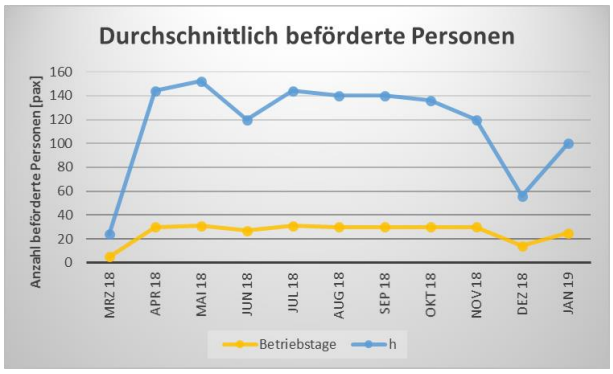

Abbildung 8

Tabelle 1:

	Mar18	Apr18	Mai18	Jun18	Jul18	Aug18	Sep18	Okt18	Nov18	Dez18	Jan19
Kalendertage	5	30	31	30	31	31	30	31	30	31	31
Betriebstage	5	30	31	27	31	30	30	30	30	14	25
Betriebsstunden	24	144	152	120	144	140	140	136	120	56	100
Verfügbarkeit in %	100	100	97.4	90.9	100	97.2	100	97.1	100	45.2	80.6

3 Erfahrungen im automatisierten Fahren

In diesem Kapitel werden die Erfahrungen betreffend Verhalten des automatisierten Shuttles genauer erläutert, sowie die Eingriffe der Begleitpersonen in die automatisierte Fahrt beschrieben. Vollständigkeitshalber werden zusätzlich noch Situationen erwähnt, bei denen die Begleitperson nicht eingreifen musste, die aber für diesen Bericht eine gewisse Wichtigkeit aufweisen.

3.1 Verhalten im Verkehr

Wie auch schon im ersten Zwischenbericht vom August 2018 erwähnt, kann das Verhalten des Fahrzeugs erneut als gut eingestuft werden. Durch das Konfigurieren der Strassenverkehrsregeln (Rechtsfahrgebot, Vortritte, etc.) verhält sich das Shuttle im Verkehr regelkonform. Das Shuttle fährt entlang seiner „virtuellen Schiene“ und berücksichtigt Fahrspur, Haltepositionen, Geschwindigkeit, Rechtsvortritte, Fussgängerstreifen oder das Bedienen der Richtungsanzeiger.

Aufgrund der grossen Umgebungsveränderungen in Neuhausen (siehe problematische Infrastruktur) war ein Überarbeiten der Konfiguration der Linie 12 unausweichlich. Bei ungenauer Umgebungskarte (Referenz-Umgebung) wies das Fahrzeug vermehrt Probleme mit dem Fahren auf der virtuellen Schiene auf. Die Konfiguration der Linie 12 wurde im Januar 2019 überarbeitet und verbessert.

Mit der neuen Konfiguration verbesserte sich das Verhalten des Fahrzeuges im Verkehr massgeblich. Die Erfassungsbereiche der Fussgängerstreifen konnten vereinzelt besser abgestimmt werden, sodass nur korrekt wartenden Fussgänger der Vortritt gewährt wird. An den zahlreichen Fussgängerstreifen auf der Strecke hält das Shuttle, sofern Personen im Vortrittsbereich sind, zuverlässig an (weitere Informationen unter Kapitel 3.2.1.3).

Ein Softwareupdate, was das Umfahren von Hindernissen, die sich auf der virtuellen Schiene des Fahrzeugs befinden, ermöglicht, wurde vom Fahrzeughersteller Navya noch nicht implementiert. So sind Hindernisse auf der Fahrspur weiterhin für das automatisierte Fahren problematisch, was ein Eingreifen der Begleitperson unumgänglich macht. Beispiele für Hindernisse, welche umfahren werden müssen, sind:

- Baustellen auf der Strasse
- Falschparker auf dem Trottoir
- Abgestellte Fahrzeuge auf der Bushaltestelle
- Fahrzeuge, welche teilweise in die Fahrspur ragen

In weiteren Situationen muss auf die Begleitperson zurückgegriffen werden. Beispielsweise muss die Begleitperson bei der Ausfahrt vom Industrieplatz auf die Industriestrasse die Weiterfahrt mittels einem Go-Befehl bestätigen.

Durch das erneute Konfigurieren der Streckenführung an den Haltestellen und das geringfügige Umpositionieren der Haltepositionen konnte das Ausfahren aus der Haltestelle verbessert werden. Das Shuttle verhält sich immer noch sehr defensiv und hält bei Gefahren regelkonform an, aber nach der Konfigurationsanpassung im Januar 2019 fährt das Fahrzeug direkter aus der Haltebucht. Die Räder werden nicht mehr so weit eingeschlagen, was die Möglichkeit zur Beschleunigung nach einem Halt erhöht. Wenn nun die Begleitperson die Weiterfahrt mit einem Go-Befehl bestätigen muss, so fährt das Shuttle schneller los und wartende Verkehrsteilnehmer müssen weniger Geduld aufbringen.

3.2 Eingriff der Begleitperson

Laut der Verfügung muss die Begleitperson im Fahrzeug jederzeit die automatisierte Fahrt überwachen und notfalls eingreifen. Bei Eingriffen der Begleitperson werden präventive und korrektive Eingriffe unterschieden. Bei aussergewöhnlichen und neuen Situationen füllt die Begleitperson einen Ereignisrapport aus. Wiederkehrende Eingriffe in die automatisierte Fahrt mit demselben Eingriffsgrund, welche bereits erwähnt wurden, werden nicht nochmals in einem Ereignisrapport erwähnt.

3.2.1 Präventive Eingriffe

Beim einem präventiven Eingriff greift die Begleitperson vorzeitig in die automatisierte Fahrt ein, um die Fahrgäste im Shuttle oder die Passanten auf der Strasse nicht unnötig zu stören, um sich nicht in bekannte kritische Situationen zu bewegen oder um die Verkehrsregeln einzuhalten. Nachfolgend sind die häufigsten Situationen beschrieben, in denen die Begleitperson vorausschauend in die automatisierte Fahrt eingegriffen hat:

3.2.1.1 Baustellen

Im Zeitraum zwischen August 2018 und Januar 2019 gab es in Neuhausen erneut diverse Baustellen. Teilweise ragten diese in den Bereich der virtuellen Schiene des selbstfahrenden Shuttles und die automatisierte Fahrt war deshalb nicht mehr möglich. Um trotzdem weiterfahren zu können, griff die Begleitperson ein und umfuhr die Baustelle manuell. Am Ende der Baustelle fuhr die Begleitperson wieder auf die virtuelle Schiene und wechselte vom manuellen Modus zurück auf den automatisierten Modus.

Dieser Wechsel zwischen automatisiertem und manuellem Modus klappte mehrheitlich problemlos, was auch sehr geringfügige Auswirkung auf den Fahrbetrieb hatte.

Baustelle zwischen Zentrum Nord und Industrieplatz im Oktober 2018

Im Bericht über verkehrskritische Situationen vom Oktober 2018 wurden spezielle Situationen bei der Baustelle erläutert, welche nun hier nochmals erwähnt werden.

Die Strasse zwischen Zentrum Nord und Industrieplatz wurde aufgerissen. Die Baustelle befand sich auf der rechten Seite in Fahrtrichtung Industrieplatz und erstreckte sich über eine Länge von 20 Metern. Die Absperrung der Baustelle ragte über die Mittellinie auf die andere Strassenseite, sodass die Fahrzeuge aus beiden Richtungen auf das Trottoir ausweichen mussten. Der Verkehr wurde über eine Lichtsignalanlage gesteuert.

Die Begleitpersonen mussten mit dem Shuttle jeweils in beiden Richtungen an einer Ampel warten, bis das Signal zur Weiterfahrt erteilt wurde. Kurz vor der Ampel greift die Begleitperson in die automatisierte Fahrt ein und wechselt in den manuellen Modus. Sobald die Ampel auf Grün schaltet fährt die Begleitperson im manuellen Modus los und befährt so die Baustelle.

1. **Wechsel vom manuellen zum automatisierten Modus (Bericht Oktober 2018)**

   Wie schon einige Male berichtet, fährt das Shuttle auf einer exakt vorgegebenen Fahrspur. Fährt nun die Begleitperson im manuellen Modus und verlässt die vorgegebene Fahrspur, so muss sie, um wieder in den automatisierten Modus wechseln zu können, die exakt vorgegebene Fahrspur „finden“ und sich in diese „einfädeln“. Falls sich das Shuttle nahe genug, aber nicht exakt auf der vorgegebenen Fahrspur befindet und die Begleitperson dort zum automatisierten Modus wechselt, kann es vorkommen, dass das Shuttle einen Schlenker nach links oder rechts macht und danach stoppt. Ist das Shuttle von der

vorgegebenen Fahrspur zu weit entfernt, dann macht es keinen Schlenker und hält einfach an.

Als die Begleitperson am Montag, 15.10.2018, nach dem manuellen Durchfahren der Baustelle vom manuellen zum automatisierten Modus wechseln wollte, machte das Shuttle einen Schlenker nach links und stoppte unverzüglich. Das Shuttle befand sich in diesem Fall nicht exakt, sondern eben nur nahe der programmierten Fahrspur. Zusätzlich wartete ein anderes Fahrzeug bei roter Ampel auf der Strasse nahe an der Mittellinie. Der Schlenker sorgte dafür, dass das Shuttle gefährlich nahe an das wartende Fahrzeug kam.

Aber es kam zu keinem Zusammenstoss und verletzt wurde auch niemand.

Fazit: Die Begleitpersonen wurden nochmals auf diese Situation aufmerksam gemacht und nachgeschult.

2. **Fussgängerin machte keinen Kontrollblick (Bericht Oktober 2018)**

   Am Donnerstag, 18.10.2018 wartete das Shuttle an der roten Ampel bei der Baustelle in Richtung Zentrum Süd. Bei Grün fuhr die Begleitperson im manuellen Modus los. Auf dem Trottoir gingen einige Fussgänger. Am Ende der Baustelle wollte eine Fussgängerin die Strasse, ohne sich umgesehen zu haben, überqueren. Zu diesem Zeitpunkt befand sich das Shuttle auf gleicher Höhe wie die Fussgängerin. Die Begleitperson bremste das Fahrzeug sofort. Die Fussgängerin erschreckte sich und ging auf dem Trottoir auf derselben Seite weiter ohne die Strasse zu überqueren.

   Fazit: Glücklicherweise haben die Begleitperson, wie auch die Fussgängerin sofort reagiert. Bei Navya wurde schon seit längerem das Anliegen angebracht, dass während dem manuellen Fahren die Sensoren aktiv sein sollen. Navya hat uns versichert, dass mit dem neuen Software-Update für das neue 4x4-Fahrzeug von Navya eine solche Funktionalität vorhanden sein soll.

3.2.1.2 Stau / parkierte Fahrzeuge

Wie in der Einleitung erwähnt, greift die Begleitperson manchmal ein, um die Fahrgäste im Shuttle wie auch die Verkehrsteilnehmer oder Passanten nicht zu verärgern. Sie schaltet dann in den manuellen Modus um, wenn stehende Fahrzeuge, welche demnächst weiterfahren, im Bereich der virtuellen Schiene stehen.

Das Shuttle unterscheidet nicht zwischen statischen und dynamischen Objekten. Falls sich das Shuttle beispielweise im Stau befindet, erkennt es das vordere, im Stau stehende Fahrzeug als Hindernis. Die Software von Navya ist so programmiert, dass wenn die virtuelle Schiene blockiert ist, das Shuttle dreimal buzzert und anschliessend hupt.

Dieses Verhalten wirkt störend auf die anderen Verkehrsteilnehmer, denn ein Hupen ist in dieser Situation nicht angebracht. Durch das Umschalten in den manuellen Modus wird dem vorgebeugt. Im manuellen Modus buzzert und hupt das Shuttle nicht automatisch. Sobald die Strecke wieder frei ist, schaltet die Begleitperson zurück in den automatisierten Modus und das Shuttle fährt weiter ohne gehupt zu haben.

Ähnliche Situationen spielen sich in den Haltebuchten Zentrum Nord und Süd ab. Teilweise erreichen das selbstfahrende Shuttle und die Busse der VBSH die Haltestelle zur selben Zeit. Befindet sich der VBSH-Bus vor Trapizio, so greifen die Begleitpersonen ein, um nicht den Bus anzuhupen. Wäre die Situation umgekehrt, muss nicht eingegriffen werden.

3.2.1.3 Fussgängerstreifen

Die Fussgängerstreifen werden in der Konfiguration der Strecke berücksichtigt und sind grundsätzlich gut konfiguriert. Dennoch gibt es Situationen, wo wir als menschliche Autofahrer anders reagieren würden, als das selbstfahrende Fahrzeug. Der Mensch kann derzeit noch besser abschätzen, was die Passanten neben einem Fussgängerstreifen vermutlich vorhaben.

Zum Beispiel sind Gruppengespräche nahe am Fussgängerstreifen für den menschlichen Autofahrer kein Problem, denn er weiss, dass diese Gruppe nicht die Absicht hat, die Strasse zu überqueren. Das automatisierte Shuttle erkennt diese Gruppe lediglich als Objekte, ohne zu „wissen", was sie sind und was sie vorhaben. Falls sich die Gruppe in der konfigurierten Fussgängerzone des Shuttles befindet, hält das Shuttle an und wartet, bis diese Zone wieder frei ist.

Auch unterscheidet das Shuttle nicht zwischen einem wartenden Fussgänger und dem Strassenschild für Fussgängerstreifen. Beides wird gleich eingestuft. Falls sich das Strassenschild nahe am Fussgängerstreifen befindet und so in der Vortrittszone vom Shuttle ist, wird es als „wartendes" Objekt erkannt und das Shuttle hält an, um dem Verkehrsschild Vortritt zu gewähren.

Da solche Situationen keine Seltenheit sind, werden die Vortrittszonen für Fussgänger möglichst klein konfiguriert. Als Faustregel beschränkt sich diese Zone etwa auf einen halben Meter neben jeder Seite eines Fussgängerstreifens. Dennoch wird jeder einzelne Fussgängerstreifen separat konfiguriert und kann von der Faustregel abweichen.

Im Übrigen kann es vorkommen, dass schnell gehende Fussgänger, welche den Fussgängerstreifen überqueren möchten, noch zu weit von dieser konfigurierten Vortrittszone entfernt sind und das Shuttle deswegen nicht anhält. Menschen würden diese Situation besser abschätzen und sich dafür entscheiden, dem Fussgänger den Vortritt gewähren.

So greift die Begleitperson in einigen Situationen in die automatisierte Fahrt ein, um das Shuttle zu stoppen und dem Fussgänger den Vortritt zu gewähren. Grundsätzlich würde das Shuttle eigenständig bremsen, aber in solchen Situationen würde das Shuttle sehr stark bremsen, was Fahrgäste wie auch Passanten in eine unangenehme Situation bringen würde.

Wann und ob eingegriffen wird, schätzt die Begleitperson nach eigenem Ermessen ab. Anpassungen der Vortrittszonen für Fussgängerstreifen machen momentan wenig Sinn, da das Shuttle ansonsten in Situationen, in denen Objekte an der Strasse erfasst werden, häufiger anhalten und den Verkehrsfluss verschlechtern würde.

3.2.1.4 Rechtsvortritt

Die Rechtsvortritte werden vom selbstfahrenden Fahrzeug noch auf dieselbe Weise bewältigt, wie im Zwischenbericht vom August 2018 beschrieben. Vollständigkeitshalber wird der Text hier nochmals aufgeführt.

Zwischenbericht Linie 12 August - Schwierige Situationen bei Rechtsvortritt

Auf dem Rundkurs muss das Shuttle drei Rechtsvortritte bewältigen. Manchmal greifen die Begleitpersonen in die automatisierte Fahrt ein, um verkehrskritische Situationen zu vermeiden. Ob dabei ein Unfall verhindert worden wäre, kann hier schlecht beantwortet werden, da die Begleitpersonen immer aufmerksam waren.

Nachfolgend versuchen wir, die Situationen, die sich beim Befahren einer Kreuzung oder Abzweigung mit Rechtsvortritt ergeben, zu klassifizieren:

1. im Vortritts-Bereich befindet sich kein Fahrzeug .
2. Ein einzelnes Fahrzeug befindet sich im Vortritts-Bereich und gibt diesen wieder frei.
3. Eine Fahrzeugkolonne fährt durch den Vortritts-Bereich, so dass dieser in kurzen Abständen immer wieder belegt und dann freigegeben wird.

4. Während der Überprüfung des Rechtsvortritts-Bereichs befindet sich kein Fahrzeug im Rechtsvortritts-Bereich. Nach der Überprüfung (nachdem das Shuttle eine virtuelle Haltelinie überfahren hat) fährt ein Fahrzeug in den Vortritts-Bereich.

Fall 1: Im Vortritts-Bereich befindet sich kein Fahrzeug

Das Shuttle kontrolliert den Vortritts-Bereich mittels LIDAR-Sensoren und vergewissert sich, dass kein Fahrzeug in diesem Bereich ist und fährt los.

➔ Kein manuelles Eingreifen der Begleitperson notwendig.

Fall 2: Ein einzelnes Fahrzeug befindet sich im Vortritts-Bereich und gibt diesen wieder frei.

Das Shuttle kontrolliert den Vortritts-Bereich mittels LIDAR-Sensoren und erkennt, dass sich ein Fahrzeug nähert das sich im Erfassungsbereich befindet. Das Shuttle reduziert die Geschwindigkeit (ggf. bis zum Anhalten) und gewährt dem Fahrzeug Vortritt. Das Fahrzeug fährt weiter und verlässt den Vortritts-Bereich. Sobald der Vortritts-Bereich wieder frei ist, fährt das Shuttle weiter.

➔ Kein manuelles Eingreifen der Begleitperson notwendig.

Fall 3: Eine Fahrzeugkolonne fährt durch den Vortritts-Bereich, so dass dieser in kurzen Abständen immer wieder belegt und dann freigegeben wird.

Das Shuttle kontrolliert den Vortritts-Bereich mittels LIDAR-Sensoren und erkennt, dass sich ein Fahrzeug nähert das sich im Erfassungsbereich befindet. Das Shuttle reduziert die Geschwindigkeit teilweise bis zum Stillstand und gewährt dem Fahrzeug Vortritt. Fahrzeug fährt weiter und verlässt den Vortritts-Bereich. Weitere Fahrzeuge fahren in den Vortritts-Bereich ein und verlassen diesen wieder. Erst sobald der Rechtsvortritts-Bereich komplett frei ist, fährt das Shuttle weiter.

➔ Kein manuelles Eingreifen der Begleitperson notwendig.

Fall 4: Während der Überprüfung des Rechtsvortritts-Bereichs befindet sich kein Fahrzeug im Rechtsvortritts-Bereich. Nach der Überprüfung (nachdem das Shuttle eine virtuelle Haltelinie überfahren hat) fährt ein Fahrzeug in den Vortritts-Bereich.

Das Shuttle fährt entlang seiner Fahrspur oder steht bereits aufgrund der Fälle 2 oder 3. Das Shuttle überprüft den Vortritts-Bereich und erkennt kein Fahrzeug in diesem Bereich. So entscheidet sich das Shuttle, weiter zu fahren. Danach fährt ein weiteres Fahrzeug in diesen Bereich ein und hätte grundsätzlich Vortritt. Es wäre auch noch Platz vorhanden für das einfahrende Fahrzeug. Das Shuttle beschleunigt nun aber, weil der in der Konfiguration der Strecke vorgesehene „Point of no return“ (die virtuelle Haltelinie) überschritten wurde.

„Normale“ Autofahrer würden einen Kontrollblick machen, nochmals anhalten und dem sich von rechts nähernden Fahrzeug den Vortritt gewähren. Das Shuttle fährt aber los und die von rechts kommenden Fahrzeuge müssen abbremsen. Fahren diese zu schnell, greift die Begleitperson manuell ein und wartet bis die Strecke wieder sicher befahren werden kann.

Leider dauert es nach einem solchen Halt zu lange, bis das Fahrzeug sich wieder in Bewegung setzt. Auch beschleunigt es sehr langsam. So kommt es vor, dass noch auch weitere Fahrzeug von rechts in die Lücke fahren und das Shuttle wieder zum Stillstand bringen.

➔ Manuelles Eingreifen der Begleitperson teilweise notwendig.

Fazit: Diese Situationen kommen immer wieder vor. Dabei spielt es keine Rolle wann, wo oder bei welchen Wetter- bzw. Strassenverhältnissen. Durch die aufmerksamen Begleitpersonen im Shuttle konnten jederzeit verkehrskritische Situationen vermieden werden.

3.2.1.5 VBSH-Busse überqueren die Mittellinie

Bei der Fahrt von Zentrum Nord zum Industrieplatz auf der Höhe der von Trapizio nicht bedienten Haltestelle Zentrum Rheinfall (siehe Abbildung 2, Sektor I) greift die Begleitperson sporadisch vorbeugend ein, um eine potentiell kritische Situation mit dem auf der anderen Strassenseite fahrenden VBSH-Bus zu vermeiden.

Die VBSH-Busse der Linie 6 bedienen die Haltestelle Industrieplatz, welche örtlich von der Haltestelle Industrieplatz der Linie 12 getrennt ist. Beim Ausfahren aus der Haltestelle holt der VBSH-Bus aufgrund des engen Kurvenradius über den Mittelstreifen aus. Dies kann dazu führen, dass der VBSH-Bus die virtuelle Schiene der Linie 12 schneidet und deshalb eine Vollbremsung des von Zentrum Nord kommenden Trapizio erzeugt. Vollbremsungen sind immer sehr unangenehm für Fahrgäste im Shuttle und Verkehrsteilnehmern hinter dem bremsenden Fahrzeug. Bei den geringen Geschwindigkeiten von Trapizio hat eine Vollbremsung noch grössere Auswirkung auf das Fahrverhalten. Denn das Fahrzeug steht innert wenigen Meter still und lose Gegenstände im Fahrzeug werden durch die Luft geschleudert. Aus diesem Grund versucht die Begleitperson Vollbremsungen zu vermeiden, wie auch in der beschriebenen Situation.

3.2.2 Korrektive Eingriffe

Unter korrektiven Eingriffen werden Eingriffe der Begleitperson in die automatisierte Fahrt verstanden, die nach einem speziellen Verhalten des Shuttles durchgeführt werden mussten. In diesen Situationen fährt das Shuttle nicht exakt der konfigurierten, virtuellen Schiene nach, sondern weicht von der Fahrspur ab oder missachtet notwendige Befehle, welche von der Begleitperson erteilt werden müssen. Diese Situationen wurden bereits in den monatlichen Berichten über verkehrskritische Situationen dargestellt.

3.2.2.1 Problematik mit der Fahrspur am Industrieplatz

Im Bericht über verkehrskritische Situationen vom Oktober 2018 wurden die Problematik mit der Fahrspur am Industrieplatz bereits erläutert. Hier wird sie nochmals aufgeführt:

Im August 2018 wurde die Streckenführung an einigen Stellen durch Navya per Fernzugriff angepasst. Die Programmierung für den Blinker vor dem Einbiegen zum Industrieplatz, sowie die Position des virtuellen Fussgängerstreifens vor der „Clientis“ Bank wurden verändert.

Anfangs Oktober hatten die Begleitpersonen festgestellt, dass an der Haltestelle Zentrum Süd das Shuttle manchmal mit dem linken vorderen Rad den Randstein leicht touchierte. Dieses Ereignis trat scheinbar willkürlich auf und liess kein Muster erkennen. Wir vermuten aber, dass durch die Anpassungen im August die Linienführung bei der Haltestelle Zentrum Süd leicht verschoben wurde.

Um dieses Problem zu beheben, wurde die Programmierung nochmals per Fernzugriff durch Navya angepasst. Dabei wurde die Linienführung an der Haltestelle Zentrum Süd einige Zentimeter vom Randstein verschoben. Zusätzlich wurde die Halteposition am Industrieplatz um rund zwei Meter nach hinten versetzt. Somit hält das Shuttle näher an der Haltestellenkante, was einen Mehrwert für die Fahrgäste bedeutet.

Die neue Streckenführung wurde am 18.10.2018 im Fahrzeug aktiviert und durch AMoTech getestet. Bei den Tests ist aufgefallen, dass das Shuttle beim Wenden am Industrieplatz näher an den Randstein fährt als üblich. Bei jeder getesteten Runde behielt das Shuttle den gleichen Abstand von zirka 20 – 30 Zentimeter ein. Nach Absprache mit Navya wurde die angepasste Strecke belassen und zum regulären Betrieb übergegangen.

Am Montag, den 22.10.2018 kam es zu einem Zwischenfall, bei dem das Shuttle auf den Randstein fuhr und dabei die Felge verkratzte sowie den Randstein leicht beschädigte. Das Fahrzeug fuhr automatisiert und die Begleitperson griff schnellstmöglich ein. Hierbei wurde niemand verletzt.

Der Vorfall wurde unverzüglich an NAVYA gemeldet und der Betrieb wurde vorübergehend angepasst: Bis Klarheit erlangt wurde, durften die Begleitpersonen nur noch den kleinen Rundkurs ums Zentrum Neuhausen fahren.

Fazit: Aussagen von Navya wie auch eigene Erfahrungen zeigten die Problematik dieser Situationen auf. Aufgrund von grossen Unterschieden der „eingelesenen" Strecke vom Dezember 2017 und der aktuellen Umgebung verschiebt sich die Fahrspur des Shuttles teilweise um einige Zentimeter. Zurückzuführen ist diese Problematik auf die nicht mehr vorhandene Mauer, die den Industrieplatz vom Vorplatz des AMoTech-Gebäudes abtrennte. Steht nun ein Fahrzeug auf dem Vorplatz bei AMoTech, dann wird dieses Fahrzeug als „ehemalige" Mauer gesehen. Da die Position der ehemaligen Mauer und dem Fahrzeug nicht exakt übereinstimmt, entsteht ein Fehler bei der Berechnung der Fahrspur. Der Wendekreis am Industrieplatz wird dadurch um einige Zentimeter korrigiert und als Folge fährt das Shuttle auf den Randstein.

Um das Problem zu vermeiden, wurde an die Begleitpersonen folgende Anweisung gegeben:

Falls sich ein Fahrzeug, wie in der Abbildung 9 gezeigt, auf dem Platz vor dem Gebäude der Firma AMoTech befindet, müssen die Begleitpersonen vorzeitig (vor dem Wenden beim Industrieplatz) eingreifen und manuell zur Haltestelle „Industrieplatz" fahren. Von dort aus kann wieder automatisiert weitergefahren werden.

Die Begleitpersonen wurden nachgeschult und greifen wenn nötig frühzeitig ein. Das Problem wurde mit der neuen Konfiguration im Januar 2019 behoben.

Abbildung 9: Beispiel eines Fahrzeugs auf dem Platz vor dem Gebäude der Firma AMoTech

3.2.2.2 Probleme mit der Fahrspur an der Haltestelle Zentrum Süd

Im Bericht über verkehrskritische Situationen vom Oktober 2018 wurde die Problematik mit der Fahrspur an der Haltestelle Zentrum Süd bereits erläutert. Hier wird sie nochmals aufgeschrieben:

Dank der Nachschulung der Begleitpersonen bezüglich der Situation am Industrieplatz, fuhr das Shuttle nicht mehr auf den Randstein. Falls sich ein grösseres Fahrzeug auf dem Vorplatz bei AMoTech befand, griffen die Begleitpersonen vorzeitig ein, stoppten das Shuttle und fuhren manuell bis zur Endposition der Haltestelle Industrieplatz.

Das Shuttle hatte im November und Dezember an der Haltestelle Zentrum Süd Probleme mit der Fahrspur. Vier Mal schwenkte das Shuttle in der Haltebucht nach rechts und touchierte den Randstein leicht. Verletzt wurde niemand und es kam zu keinem Sachschaden.

Die Ursache dieses Problems ist auf die „veraltete“ Referenz-Umgebung zurückzuführen. Die Bauarbeiten auf der gegenüberliegenden Seite der Haltestelle Zentrum Süd wurde im November fertiggestellt. Als nun das Shuttle hinter einem Linienbus der VBSH warten musste, verlor das Shuttle seine Orientierung. Das zusätzliche Objekt – die Rückwand des Busses – versetzte die Position des Shuttles um einige Meter nach hinten. Bei der Weiterfahrt fuhr das Shuttle auf der versetzten Fahrspur und berührte so den Randstein.

Die Begleitpersonen griffen schnell und kompetent ein.

Fazit: Die Begleitpersonen wurden auch auf diese Situation nachgeschult. Falls sich ein Linienbus in der Haltebucht beim Zentrum Süd befand, mussten die Begleitpersonen eingreifen und manuell bis zum Haltepunkt fahren.

Das Problem wurde mit der neu eingelesenen Strecke behoben.

3.2.2.3 Missachtung Go-Befehl

Im Bericht über verkehrskritische Situationen vom Juni/Juli 2018 wurde die Problematik der Missachtung des Go-Befehls bereits erläutert. Im letzten Halbjahr konnte noch mehr Klarheit erlangt werden, was hier genauer beschrieben wird:

Auf dem Streckenabschnitt vom Industrieplatz zur Haltestelle Zentrum Süd biegt das Shuttle auf die Industriestrasse ein. Vor dem Einbiegen auf die Industriestrasse wurde einen Zwangshalt programmiert. Bei diesem Zwangshalt wird die Begleitperson im Shuttle aufgefordert, die Verkehrssituation abzuschätzen und den Befehl für die automatisierte Weiterfahrt („Go-Befehl“) zu erteilen.

Zwei spezielle Situationen bewirken momentan eine Missachtung des Go-Befehls. Die eine Situation wurde bereits im Bericht vom Juni/Juli 2018 beschrieben, die andere ist neu im zweiten Halbjahr des Projektes aufgetaucht:

1. **„Out of Path“**

   Falls das Shuttle sich „Out of Path“ befindet und zurück auf die virtuelle Schiene gefahren wird, kommt es zu einen systematischen Software-Fehler. Hierbei ist der Go-Befehl der Begleitperson für die Weiterfahrt nicht mehr erforderlich. Falls nötig betätigt die Begleitperson umgehend die Bremse und lässt das vortrittsberechtigte Fahrzeug passieren.

   Fazit: Der Fehler ist dem Hersteller Navya bekannt und sollte mit der nächsten Software-Version behoben sein. Bis zur neuen Software wird diese Situation wie folgt bewältigt:

   Sobald sich das Fahrzeug „Out of Path“ befindet und zurück auf die virtuelle Schiene gefahren wird, muss die Begleitperson auf dem Display einmal die Stopp-Taste und anschliessend die Go-Taste für die Weiterfahrt drücken. Mit diesem

Vorgehen wird der systematische Fehler quittiert und das Shuttle erwartet anschliessend wieder den Go-Befehl der Begleitperson.

Um diese Situation wie beschrieben zu vermeiden, wurden die Begleitpersonen speziell nachgeschult.

2. **Fahrzeug passiert Shuttle unmittelbar vor Zwangshalt**

   Nach der Konfigurationsanpassung im Januar 2019 wurde die Position des Zwangshalts im Sektor I verbessert. Das Shuttle hält nun kurz vor dem Einbiegen in die Industriestrasse an und wartet dort bis die Freigabe zur Weiterfahrt über den Go-Befehl der Begleitperson erfolgt.

   Falls ein anderes Fahrzeug auf der Industriestrasse in Richtung Bahnhof Neuhausen fährt und das Shuttle kurz vor dem Erreichen der Endposition des Zwangshalts passiert, löst dies einen Software-Fehler aus, wobei das Shuttle den unmittelbaren Go-Befehl der Begleitperson für die Weiterfahrt auf die Industriestrasse nicht mehr braucht.

   Fazit: Auch dieses Problem ist Navya bekannt und sollte mit der neusten Version der Software behoben sein. Die Begleitpersonen wurden auf diese Situation aufmerksam gemacht und nachgeschult.

3.3 Keine Eingriffe der Begleitperson

In vielen Situationen musste die Begleitperson nicht in die automatisierte Fahrt eingreifen. Das Shuttle erkannte Hindernisse auf der Strasse und bremste regelkonform. Trotzdem kommt es vor, dass das Shuttle ohne offensichtlichen Grund bremst, buzzert oder hupt. Derartige wiederkehrende Vorkommnisse werden durch die Begleitperson rapportiert und ggf. durch Navya analysiert und verbessert. Solche Situationen sind für den Verkehrsfluss oder die Verkehrssicherheit unkritisch. Dennoch werden Fahrgäste, Passanten oder die Begleitpersonen durch ein derartiges Verhalten verunsichert.

In einem Pilotversuch mag ein solches Verhalten noch akzeptiert sein, sobald aber selbstfahrende Fahrzeuge dieser Kategorie zum Strassenbild gehören, müssen derartige Probleme behoben sein.

4 Erfahrungen zum Shuttle mit Verkehrsbetrieb (Haltestelle/Leitstelle)

Im folgenden werden Erfahrungen beim Befahren von Haltestelle des öffentlichen Verkehrs und Erfahrungen mit der Leitstelle aufgeführt.

Vieles wurde bereits im ersten Halbjahresbericht erwähnt. Nachfolgend werden die Texte aus dem letzten Bericht mit zusätzlichen Erfahrungen aus dem zweiten Halbjahresbericht ergänzt.

4.1 Koordination beim Befahren von Haltestellen

Die Koordination zwischen dem Trolleybus und dem selbstfahrenden Bus funktioniert gut. Der Fahrplan der Linie 12 ist so konzipiert, dass das selbstfahrende Shuttle die Haltestellen Zentrum Nord und Zentrum Süd im Normalfall abgestimmt mit dem Fahrplan des Trolleybus der Linie 1 befährt.

An der Haltestelle Zentrum Nord ist eine Anschlusssicherung zwischen der Linie 1 aus Schaffhausen und der Linie 12 in Richtung „Industrieplatz“ eingerichtet. Bei einer Vierstundenschicht werden somit 24 Anschlüsse gesichert. Dies ist im Leitsystem der VBSH definiert und ist so konzipiert, dass der Abbringer (in diesem Falle Trapizio) automatisch eine Meldung erhält, wenn er auf den Zubringer (das Fahrzeug der Linie 1) warten soll, um die Umsteigemöglichkeit bis zum Industrieplatz (und zukünftig zum Rheinfall) sicherzustellen

An der Haltestelle Zentrum Süd können vom Industrieplatz (zukünftig vom Rheinfall) ankommende Fahrgäste der Linie 12 nach Schaffhausen umsteigen. Dieser Umsteigevorgang wird vom Leitsystem jedoch nicht gesichert.

Grössere Verspätungen der Linie 12 werden durch Kursausfall eingeholt. Da kein Fahrplan publiziert ist, müssen die Verspätungen nicht aufgeholt werden. Es kann auch vorkommen, dass die Linie 12 nach der Linie 1 die Haltestelle Zentrum Nord erreicht. Das Shuttle muss in diesem Fall hinter dem Bus der Linie 1 warten und den automatisierten Betrieb unterbrechen. Ansonsten würde das Shuttle den stehenden Bus als Hindernis erkennen und so lange anhupen, bis dieser losgefahren ist.

Das Befahren der Haltestellen hat sich gut eingespielt. Die Begleitpersonen erteilen dem Fahrzeug den Fahrbefehl und erreichen in den meisten Fällen die Haltestelle Zentrum Nord vor dem Bus Linie 1. Bei den Chauffeuren und Chauffeusen ist das selbstfahrende Fahrzeug etabliert und wird auch akzeptiert. Freundliches Zuwinken zwischen Begleitperson und Fahrpersonal ist eines der Indizien, aus der entnommen werden kann, dass es ein „Miteinander“ ist.

4.2 Vernetzung zur Leitstelle

Die Vernetzung mit der Leitstelle erfolgt aktuell über die Smartphone-App „SmartVLU“. Nach Eingabe der Linie und des Kurses wird das Shuttle in der Leitstelle angemeldet (siehe Abbildung 10 und Abbildung 11) und hat eine Fahrplanlage.

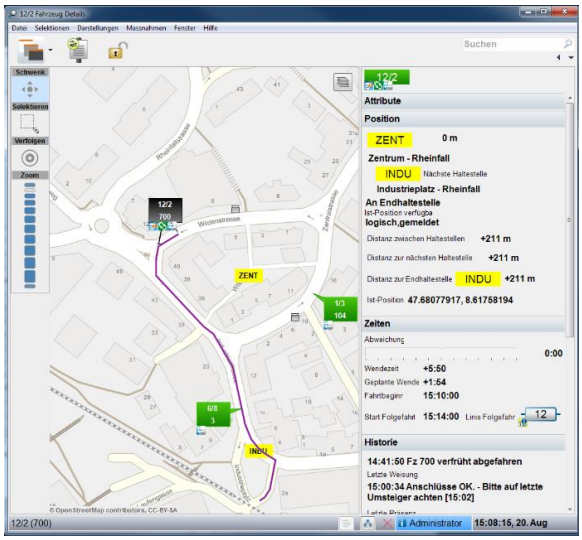

Abbildung 10: Fahrzeug Details Linie 12

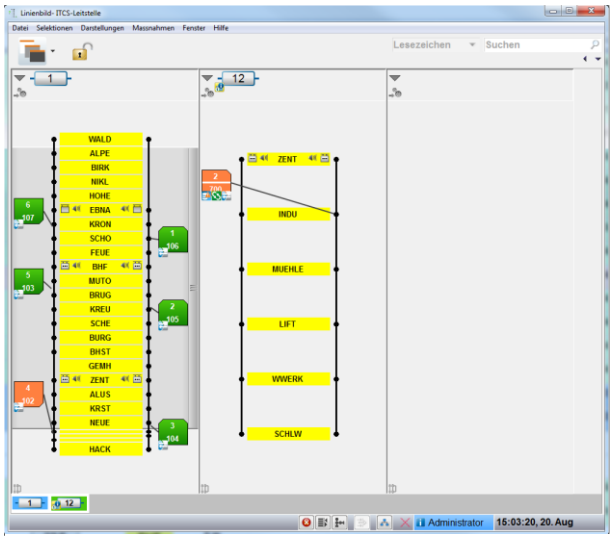

Abbildung 11: Liniebild der Linie 12

Die Begleitperson hat somit alle für das Einhalten des Fahrplans benötigten Informationen.

Verzögerungen im Fahrplan können durch Verkehrssituationen (Stau, Abendverkehr) oder grossen Fahrgastandrang (Touristengruppen, etc.). verursacht werden.

Bei einer uneinholbaren Verspätung kann ein Umlauf ausgelassen werden.

Die Integration in die Leitstelle der VBSH ermöglicht es, die Linie 12 auf den Haltestellenanzeigern darzustellen. Auch wird die Linie 12 auf den Umsteigebildschirmen in den Fahrzeugen der Linie 1 dargestellt. Die Fahrgäste haben so die benötigten Live-Informationen, um die Linie 12 für ihre weiteren Mobilitätsbedürfnisse nutzen zu können.

Für die aus Schaffhausen ankommenden Fahrgäste der Linie 1 wurde eine Anschlusssicherung eingerichtet (s.o.). Dies bewirkt, dass das Shuttle an der Haltestelle Zentrum Nord auf das Fahrzeug der Linie 1 wartet, auch wenn dieses verspätet ankommt. Der Begleitperson wird über Textmeldungen mitgeteilt, wann die Linie 12 losfahren kann. Diese Meldungen werden auch in der Leitstelle dargestellt (siehe Abbildung 12). Zur Linie 6, welche diese Haltestelle ebenfalls bedient, besteht keine Anschlusssicherung.

Die Haltebucht der Haltestelle Zentrum Süd ist zu kurz, um Trapizio warten zu lassen. Trapizio muss weiterfahren, bevor der Bus der Linie 1 in die Haltestelle einfährt.

Dieses Konzept und das Zusammenspiel der drei Linien klappt reibungslos.

Abbildung 12: Fahrzeugtabelle inkl. Linie 12

Die Kamerabilder, die innerhalb und ausserhalb (vorne und hinten) des Fahrzeuges erfasst werden (siehe Abbildung 13), werden in der Leitstelle dargestellt. So ist der Disponent zu jedem Zeitpunkt über die Situation informiert und kann ggf. eingreifen. Für diese Möglichkeit gab es bisher noch nie eine Notwendigkeit. Auf die aufgezeichneten Kamerabilder kann innerhalb einer Woche zugegriffen werden. Danach werden sie automatisch unwiderruflich gelöscht.

Der Fahrzeughersteller muss die Stabilität der Videoüberwachung verbessern. Ab und zu gibt es Übertragungsprobleme und die Videobilder werden nicht aufgezeichnet bzw. in der Leitstelle dargestellt. Auch die Auflösung der Videobilder sollte durch verbesserte Kameras in zukünftigen Fahrzeugen verbessert werden.

Abbildung 13: Kamerabilder Trapizio

5 Erfahrungen zum Zweirichtungsbetrieb

Auch im zweiten halben Jahr wurde nur der obere Streckenabschnitt befahren. Die Software für den Zweirichtungsbetrieb wurde aber von Navya entwickelt und steht jetzt für die Tests mit dem neuen Fahrzeug „Trapizia“ bereit. Geplant ist die Inspektion des neuen Shuttles inkl. testen der Software mit bidirektionaler Funktion im Frühling/Sommer 2019.

6 Erfahrungen mit anderen Verkehrsteilnehmer

Die Erfahrungen, die mit anderen Verkehrsteilnehmer gemacht werden konnten, sind in der Studie der ETH wie auch in einer kurzen Stellungnahme der Projektbeteiligten aufgeführt.

6.1 ETH-Studie

Während der gesamten Dauer des Projekts wird eine umfangreiche Studie durch die ETH durchgeführt. Diese untersucht die Akzeptanz von selbstfahrenden Fahrzeugen bei der Bevölkerung von drei Schaffhauser Gemeinden (Neuhausen am Rheinfall, Thayngen, Stein am Rhein). Der erste Zwischenbericht ist seit Juli 2018 verfügbar und wurde bereits im ersten Halbjahresbericht mitgeliefert.

Im November 2018 startete die zweite Welle der ETH-Studie. Die Ergebnisse werden voraussichtlich im April publiziert und werden deshalb hier nicht mitgeliefert. Dies Ergebnisse sollten im dritten Zwischenbericht vorliegen.

6.2 Sicht der Projektbeteiligten

Die Akzeptanz der Bevölkerung gegenüber dem Projekt Linie 12 ist im zweiten Halbjahr konstant geblieben. Das Projekt ist weiterhin von der lokalen Bevölkerung vollständig akzeptiert. Beim Wechsel vom Sommer- zum Winterfahrplan und den damit verbundener Änderung der Betriebszeiten (eine Stunde früherer Betriebsbeginn bzw. Betriebsende), meldeten sich sogar einige Personen, die das Angebot regelmässig zwischen 16:00 und 17:00 Uhr nutzten. Auch als das Shuttle für eine kurze Zeit ausser Betrieb genommen werden musste, fragten einige nach dem fehlenden Angebot nach. Dieses Verhalten bestätigt, dass das Angebot regelmässig genutzt wird und das selbstfahrende Fahrzeug der Bevölkerung fehlt, wenn es nicht in Betrieb ist.

Unterschiede bezüglich der Geduld der Verkehrsteilnehmer sind weiterhin existent. Einige weisen mehr und andere weniger Geduld auf. Wie im letzten Halbjahresbericht erläutert, üben ungeduldige Verkehrsteilnehmer grenzwertige Überholmanöver aus, auch wenn dies nach unserem subjektiven Empfinden im zweiten Halbjahr weniger vorgekommen ist. Aber es gibt auch Situationen an denen andere Verkehrsteilnehmer neben der Haltebucht warten und so den Verkehr blockieren bis das selbstfahrende Shuttle diese verlassen kann.

Es gibt auch im zweiten Halbjahr weiterhin Unterschiede zwischen den einzelnen Fussgängern wie auch Velofahrern. Grosse Änderungen der Verhaltensmuster von Fussgänger und Velofahrer sind im Vergleich der beiden Halbjahre nicht zu erkennen. Wir vermuten, dass weitere Erfahrungen gesammelt werden können, wenn das Shuttle bis zum Rheinfallbecken fährt.

7 Erfahrungen mit der Technik

Innerhalb des zweiten Halbjahrs mussten am Navya-Shuttle diverse Instandhaltungsarbeiten durchgeführt werden. Sensoren, Kameras und sogar die 80-Volt-Batterie musste ausgetauscht werden.

Die Systemgrenzen, welche in den vorherigen Kapiteln beschrieben wurden, sind deutlich sichtbar. Das Shuttle von Navya muss noch in vielen Bereichen weiterentwickelt werden. Mit dem neuen 4x4-Fahrzeug erhoffen wir uns auch viele technische Verbesserungen.

Die technischen Erkenntnisse, welche im letzten Zwischenbericht bereits beschrieben wurden, werden hier vollständigkeitshalber nochmals zusammengefasst aufgeführt:

1. **Türsteuerung**

   Das Prinzip der Türsteuerung ist nicht für den öffentlichen Verkehr ausgelegt. Die Türen schliessen beim Navya Fahrzeug, wenn auf den Taster gedrückt wird. In allen anderen öffentlichen Verkehrsmitteln in der Schweiz wird durch ein Betätigen der Türöffnungstaster die Türe aufgehalten. So kam es zu Situationen, wo die Fahrgäste beinahe zwischen den sich schliessenden Türen eingeklemmt wurden.

2. **Radeinschlag**

   Das Prinzip des Lenkeinschlags beim Wenden in sehr kleinen Radien. In der Theorie sollen die kurveninneren Räder mehr einschlagen sein als die äusseren. Beim Navya Shuttle haben beide Räder den gleichen Einschlag. Dadurch werden die äusseren Räder über den Strassenbelag geschoben, verschleissen überproportional und verursachen Belagsschäden.

3. **Extras (Klimaanlage, Scheibenwischer, Hydraulik)**

   Das Kondenswasser der Klimaanlage tropft ins Innere des Fahrzeugs und braucht dazu noch sehr viel Strom. Die Bedienschalter für Klimaanlage, Scheibenwischer oder die Position der pneumatischen Federung sind nicht über das Display ansteuerbar und umständlich montiert.

Weitere Einflüsse die mittelbar mit der Technik zusammenhängen:

4. **Baustelle**

   Wie bereits im Kapitel 3.2.1.1 erwähnt, wurden auch in der zweiten Jahreshälfte viele Baustellen in Neuhausen umgesetzt. Veränderungen an der Umgebung wirken sich auf das Fahrverhalten des Shuttles aus (Abweichungen der Referenz-Umgebung), wie in den Kapitel 3.2.2.1 und 3.2.2.2 beschrieben. Dank der neuen Konfiguration im Januar konnte die veraltete Referenz-Umgebung aktualisiert werden und das Fahrverhalten des Shuttle verbessert werden.

5. **Fussgängerstreifen**

   Erfahrungen mit Fussgängerstreifen wurden im Kapitel 3.2.1.3 bereits beschrieben.

6. **Objekte am Strassenrand**

   Nicht nur sichtbare Objekte auf der Strasse stören den automatisierten Betrieb (siehe Kapitel 3.3), sondern auch für das menschliche Auge unsichtbare. Bewegende Fahnen an Laternen reichen manchmal in das Lichtraumprofil des Shuttles und bringen das Shuttle zum Bremsen.

7.1 Belagsschäden

Wie mehrfach bereits erwähnt, fahren die Fahrzeuge von Navya auf einer exakt vorgegebenen virtuellen Schiene, so auch Trapizio. Einer der Vorteile ist, dass die Begleitperson geringfügige Änderungen der Fahrspur unmittelbar erkennt. Ein grosser Nachteil ist die überdurchschnittliche Abnützung des Asphalts. Mit jeder Runde fährt das Shuttle auf exakt gleichem Zentimeter und belastet immer die gleiche Stelle / Fahrspur. Vor allem beim Wenden wirken grosse Kräfte auf dem Asphalt, was sichtbare Risse im Boden verursacht (siehe Abbildung 14)

Abbildung 14: Risse beim Wenden beim Industrieplatz

Im August 2018, als die Temperaturen auch in der Schweiz rekordverdächtig anstiegen, wurde der Asphalt auf der Strasse sehr heiss und das wiederholte Bremsen und Anfahren am Zwangshalt um auf die Industriestrasse einzubiegen, verursachte Spurrillen und Dellen in der Strasse (siehe Abbildung 15).

Abbildung 15: Dellen bei der Ausfahrt Industriestrasse

7.2 Austausch von defekten Komponenten

Auch im zweiten Halbjahr mussten verschiedene Komponenten ersetzt werden. Nachfolgend wird eine grobe, nicht abschliessende Liste aufgeführt:

- Austausch AC-Diffuser
- Austausch Modem
- Austausch LIDAR-Sensor
- Austausch Kompresser / Federung
- Austausch hintere Kamera
- Austausch Kardan Schrauben
- Austausch 80-Volt-Batterie