

Pilotprojekt VBSH "Linie 12"

Zwischenbericht August 2019

Bericht

1

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	4
1.1 Zweck	4
1.2 Streckenführung	4
1.3 Streckenerweiterung	5
1.4 Austausch Trapizio mit Trapizia	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 Verfügbarkeit	11
3 Erfahrungen im automatisierten Fahren.....	12
3.1 Verhalten im Verkehr.....	12
3.2 Eingriffe der Begleitpersonen.....	13
3.2.1 Präventive Eingriffe.....	13
3.2.1.1 Baustellen	13
3.2.1.2 Stau / parkierte Fahrzeuge	13
3.2.1.3 Fussgängerstreifen	13
3.2.1.4 Rechtsvortritt.....	14
3.2.1.5 VBSH-Busse überqueren die Mittellinie	16
3.2.1.6 Kreuzen mit dem Rhyfall-Express	16
3.2.1.7 Parkierte Fahrräder am Mühleradhaus	17
3.2.2 Korrektive Eingriffe	18
3.2.2.1 Fahrverhalten mit dem neusten Software Release	18
3.2.2.2 Probleme mit der Lenkung.....	18
3.2.2.3 Vollbremsung bei Verlust von GNSS.....	19
3.2.2.4 Shuttle touchiert den Randstein	20
3.2.2.5 Sicherheitsmodul von Navya nicht aktiv	21
3.2.2.6 Zwischenfall am 2. Juni 2019	22
3.3 Keine Eingriffe der Begleitperson.....	24
3.4 Wetter	24
4 Erfahrungen mit der Technik	25
4.1 Erfahrungen mit der Technologie.....	25
4.1.1 Selbstfahrsoftware	25
4.1.2 Referenz-Karte	25

4.1.3 Konfiguration.....	26
4.1.4 Berechnung der Fahrspur.....	26
4.1.5 Weitere Erkenntnisse	27
4.2 Erfahrungen mit der Fahrzeugtechnik.....	28
4.2.1 Konzeptionelle Fehlüberlegungen.....	28
4.2.2 Technik des Fahrzeugs	29
4.2.2.1 Bruch der Befestigungsplatte des Differenzials von Trapizio.....	29
5 Erfahrungen aus Sicht Verkehrsbetriebe (Haltestelle/Leitstelle).....	30
5.1 Koordination beim Befahren von Haltestellen.....	30
5.2 Vernetzung zur Leitstelle.....	31
6 Erfahrungen zum Zweirichtungsbetrieb	33
7 Erfahrungen mit anderen Verkehrsteilnehmer	34
7.1 ETH-Studie	34
7.2 Sicht der Projektbeteiligten.....	35
7.2.1 Erfahrungen mit anderen Verkehrsteilnehmer	35
7.2.2 Erfahrungen mit Fussgänger und Touristen.....	35
7.2.3 Erfahrungen mit Fahrgästen und Bevölkerung	35
8 Verzeichnisse.....	36

1 Einführung

1.1 Zweck

Am 2. Februar 2018 wurde vom Bundesamt für Strassen (ASTRA) die Verfügung für einen zwei-jährigen 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 dritte Zwischenbericht und umfasst den Zeitraum vom 01. Februar 2019 bis 31. Juli 2019. Der erste Zwischenbericht wurde am 07. September 2018 eingereicht und der zweite am 01. März 2019.

1.2 Streckenführung

Die Linie 12 verbindet das Zentrum von Neuhausen mit dem Schlössli Wörth am Rheinfallbecken (siehe Abbildung 1). 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 Verkehrsmitteln (Auto, LKW, Bus, Fahrrad, Fussgänger). Im unteren Abschnitt trifft das Fahrzeug grösstenteils auf Fussgänger, Fahrradfahrer, Anwohner, Gemeindeangestellte und auf den Touristenzug „Rhyfall Express“. Lediglich diese haben die Erlaubnis ins Fahrverbot zu fahren.

Ein Umlauf der gesamten Strecke Linie 12 ist ca. 2 Kilometer lang und umfasst neun Fussgängerstreifen, drei Rechtsvortritte, zwei Haltestellenausfahrten und ein Einbiegen auf die Hauptstrasse. An der Endhaltestelle Schlössli Wörth oder bei grossem Touristenaufkommen am Rheinfallbecken macht das Shuttle einen Kopfwechsel. Das Shuttle kann so ohne Wendeschleife zurück in Richtung Zentrum Neuhausen fahren.

Die Zufahrt zur Pilotstrecke folgt über eine 300 Meter lange Strecke (siehe Abbildung 1, violett).



Abbildung 1: Streckenführung der Linie 12

Weitere Informationen zur Strecke:

- auf dem Abschnitt zwischen Industriestrasse und Zentrum ist durchgängig „Tempo 30“
- die Laufengasse (zwischen Industrieplatz und Mühleradhaus) ist relativ steil (bis 15%), ab hier gilt Fahrverbot für Motorfahrzeuge
- am Rheinflallbecken herrscht allgemeines Fahrverbot
- der Touristenstrom verläuft hauptsächlich dem Wasser entlang (Schlössli Wörth – Rheinflallbecken – Mühleradhaus)

1.3 Streckenerweiterung

Am 13. Juni 2019 konnte die Strecke um den unteren Streckenabschnitt (siehe Abbildung 2, braun) erweitert werden. So wurden im Berichtszeitraum zwischen Februar 2019 und Juli 2019 alle Streckenabschnitte (Sektoren A-V) mindestens einmal befahren. Nachfolgend (siehe Tabelle 1) ist eine genauere Aufstellung der befahrenen Sektoren im jeweiligen Zeitraum dargestellt:

Tabelle 1: Befahrene Streckenabschnitte im jeweiligen Zeitraum

<i>Zeitraum</i>	<i>Sektoren</i>	<i>Takt</i>	<i>Hintergrund</i>
01.02.2019 – 12.06.2019	A-J	10 min	Verfügung für unteren Streckenabschnitt nicht vorhanden
13.06.2019 – 04.07.2019	A-V	30 min	Verfügung für gesamte Strecke vorhanden. Eröffnung der Streckenerweiterung am 13.06.2019 durchgeführt
05.07.2019 – 31.07.2019	J-V	20 min	Sicherheitsbedingte Massnahme: Aufgrund der Vollbremsung bei Verlust von GNSS (siehe Kapitel 3.2.2.3) und dem Steering-Problem (siehe Kapitel 3.2.2.2) wurde nur der untere Streckenabschnitt befahren

Als das Fahrzeug nur auf dem oberen Streckenabschnitt fuhr, bediente es im 10-Min-Takt die Haltestellen Zentrum Nord, Industrieplatz und Zentrum Süd. Durch die Erweiterung der Strecke musste der Takt auf 30 Minuten erhöht werden.

Aufgrund der Problematik «Probleme mit der Lenkung» und «Vollbremsung bei Verlust von GNSS» hat das Projektteam entschieden, dass, solange die Probleme nicht behoben sind, der obere Streckenabschnitt nicht mehr befahren werden soll. Deswegen bedient das selbstfahrende Shuttle ab dem 1. Juli 2019 nur noch die Haltestellen Industrieplatz bis Rheinflallbecken im 20-Min-Takt.



Abbildung 2: Streckenführung Linie 12 in Sektoren

1.4 Austausch Trapizio mit Trapizia

Wie bereits im Halbjahresbericht vom Februar 2019 beschrieben, musste das Fahrzeug «Trapizio» (siehe Abbildung 4) durch die Weiterentwicklung von Navya «Trapizia» (siehe Abbildung 3) ausgetauscht werden. Trapizio war nicht in der Lage eine Steigung bzw. Gefälle von 15 % im Dauerbetrieb zu bewältigen. Nachdem die Fahrzeuge ausgetauscht wurden, konnte die Linie 12 um den unteren Streckenabschnitt, welcher die Haltestellen Industrieplatz bis Schlössli Wörth beinhaltet, erweitert werden.

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 wurde die Befestigung der Scheibenwischer nach unten versetzt. Doch die wesentliche Änderung ist, dass Trapizia neu mit zwei Motoren ausgerüstet ist und so alle vier Räder angetrieben werden.

Neu kann sich Trapizia neben den LIDAR-Sensoren zusätzlich mit GNSS orten. Auch wird die Umgebungskarte auf dem Fahrzeug in 3D und nicht mehr in 2D abgespeichert. Dadurch erhofft sich Navya eine Verbesserung der LIDAR-Ortung.

Dank der bestanden Inspektion vom 24. April 2019, durchgeführt durch das ASTRA und das BAV, konnte die Verfügung «Pilotprojekt VBSH Automatisierter Shuttle-Bus Neuhausen am Rheinfall» am 17. Mai 2019 auf die gesamte Strecke der Linie 12 erweitert werden. In den darauffolgenden Wochen wurde die gesamte Strecke neu eingelesen und einprogrammiert.



Abbildung 4: Trapizio



Abbildung 3: Trapizia

2 Betrieb Linie 12

Wie bereits erwähnt, wurde die Linie 12 im dritten Halbjahr um den unteren Streckenabschnitt erweitert. Bis zum 12. Juni 2019 wurde nur der obere Streckenabschnitt befahren. Zwischen 13. Juni und 4. Juli konnte die gesamte Strecke befahren werden. Am 05. Juli wurde durch die Projektmitglieder entschieden, dass der Betrieb aufgrund des unkontrollierten Verlust der GNSS-Ortung, was unmittelbar eine Vollbremsung auslöste, und dem Lenkungsproblem, was zeitweise eine Down-Zeit von bis zu einer halben Stunde verursachte, auf dem unteren Streckenabschnitt reduziert wird.

Solche Situationen, in welchen das Shuttle nicht mehr fahrfähig ist und nur noch mit Hilfe vom Fahrzeughersteller Navya fahrtüchtig gemacht werden konnte, waren sehr belastend für die Begleitpersonen. Dies wurde verstärkt, wenn sich aufgrund des still stehenden Shuttles Rückstau auf der Strasse bildete und die Autofahrer emotionsgeladen das Shuttle überholten.

2.1 Betriebszeiten

Die Betriebszeiten wurden im dritten Halbjahr geringfügig angepasst. Wie im letzten Zwischenbericht beschrieben, fuhr das Shuttle in den Wintermonaten (November bis März) an allen Wochentagen von 12:00 bis 16:00 Uhr. Zwischen April 2019 und Juni 2019 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 (siehe Tabelle 2). Die Schichtwechsel am Sonntag fand bei einem kurzen Halt auf der Strecke um 14:00 Uhr statt. Die Vor- und Nachbereitungszeit von je einer halben Stunde wurde beibehalten.

Geändert wurden die Betriebszeiten in den Sommermonaten. Wie bereits im zweiten Zwischenbericht (Februar 2019) beschrieben, musste der Betrieb im Sommer 2018 manchmal frühzeitig eingestellt werden. Auch in diesem Sommer kämpften die Begleitpersonen an heißen Sonntagen mit zu wenig Batterie. Mehrmals musste der Betrieb früher als gewünscht eingestellt werden.

Aus diesem Grund wurde die Betriebszeit an den Sonn- und Feiertagen auf 4 Stunden – eine Schicht – reduziert. Zusätzlich wurde der Start der Schicht um eine Stunde vorverlegt. Neu beginnt die Schicht im Sommer, analog zur Betriebszeit im Winter, um 12:00 Uhr und endet um 16:00 Uhr. Dadurch entstand ein einheitlicher Fahrplan über das gesamte Jahr. Das Shuttle verkehrt neu während den Spitzenstunden am Rheinfallbecken. (siehe Tabelle 3)

Tabelle 2: Fahrplan bis Juni 2019

Fahrplan bis Juni 2019	Sommer	Winter
<i>Monat</i>	April – Oktober	November – März
<i>Betriebszeiten</i>	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

Tabelle 3: Fahrplan ab Juli 2019

Fahrplan ab Juli 2019	Sommer und Winter
<i>Monat</i>	Januar – Dezember
<i>Betriebszeiten</i>	Montag bis Sonntag (inkl. Feiertage): 12:00 – 16:00 Uhr

2.2 Begleitpersonen

Im dritten Halbjahr fand eine weitere Schulung statt. Insgesamt wurden seit Februar 2018 sieben Schulungen durchgeführt. Inklusive den zwei neuen Begleitpersonen wurden seit Projektstart insgesamt 14 Personen als Operator ausgebildet. Zurzeit sind neun Begleitpersonen aktiv.

Jede Begleitperson füllt pro Schicht einen Tagesrapport aus. Falls während einer Schicht ein spezielles Ereignis vorkommt, füllt die Begleitperson einen Ereignisrapport 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 angesprochen.

2.3 Beförderte Personen

Zwischen Februar 2019 und Juli 2019 wurden insgesamt 11'295 Personen transportiert. Das macht seit der Inbetriebsetzung der Linie 12 am 27. März 2018 genau 32'837 Personen (Stand: 31. Juli 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 5 zeigt die Kurve der beförderten Personen über die Zeit (hellblau) und die Anzahl beförderten Personen pro Monat (dunkelblau). Aufgrund von verschiedenen technischen Problemen, welche zu Betriebsausfällen führten, waren die Monate April, Juni und Juli 2019 die leistungsschwächsten. Mit rund 1'290 transportierte Fahrgäste war der Juni 2019 der beförderungsschwächste Monat im dritten Halbjahr. Dafür war der Mai 2019 mit 2'622 Personen der mit Abstand leistungsstärkste Monat.

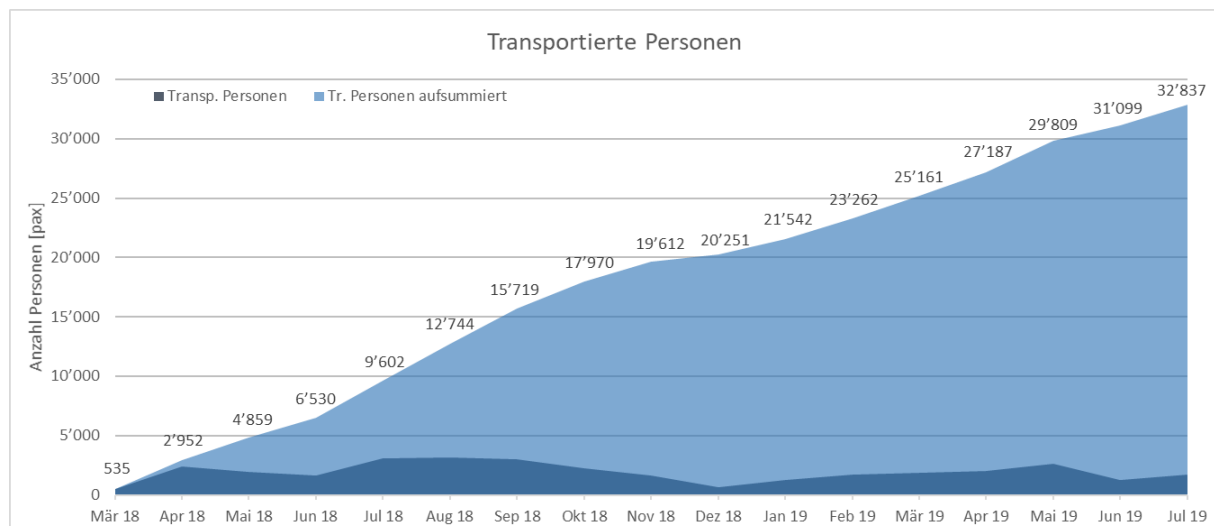


Abbildung 5: Transportierte Personen

In Abbildung 6 wird die durchschnittliche Anzahl der beförderten Personen an den einzelnen Wochentaggruppen (Mo-Fr, Sa, So) dem jeweiligen Monat gegenübergestellt. Wie oben beschrieben wurde bis Juni 2019 in den Sommermonaten an den Sonn- und Feiertagen jeweils zwei Schichten gefahren. Deswegen ist die Kurve vom Sonntag erheblich höher, als die Kurve der Werk- bzw. Samstagen.

An den Werk- und Samstagen war das Shuttle jeweils vier Stunden unterwegs (Ausnahme: Feiertage). Im Juli 2019 ist zu erkennen, dass am Wochenende (Sa. & So.) im Durchschnitt gleich viele Personen über die vier Stunden transportiert wurden.

Das Angebot der Linie 12 wird somit am Wochenende mehr genutzt als unter der Woche. An den Sonntagen sind es bis zu 200 Personen und während den Wochentagen nur zwischen 30 und 80 Personen. Am Samstag werden zwischen 60 und 130 Personen befördert.

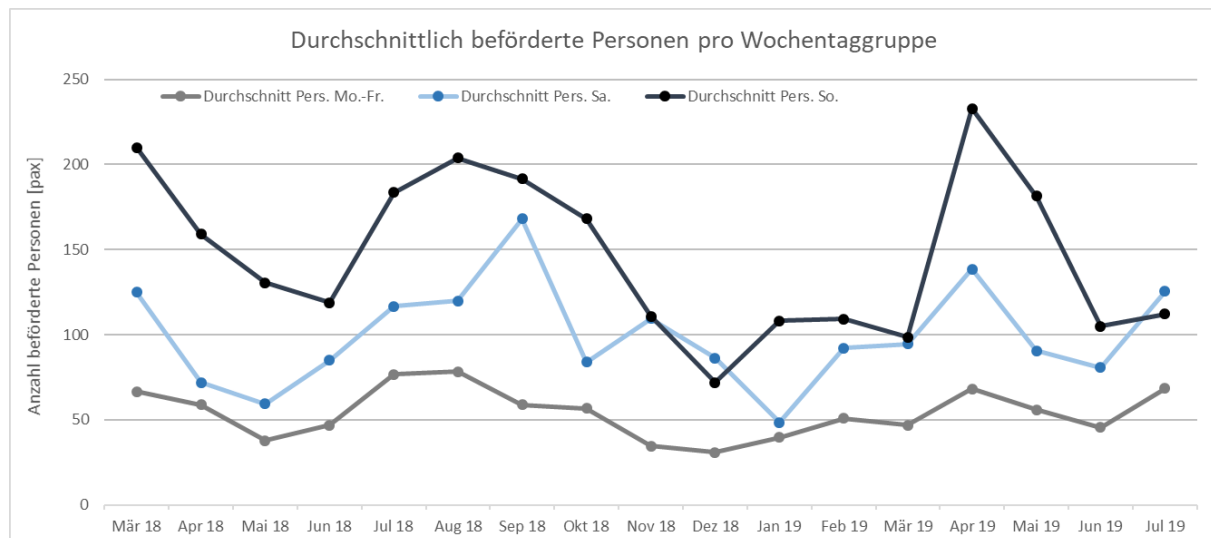


Abbildung 6: Durchschnittliche Anzahl der beförderten Personen pro Wochentaggruppe

Die Abbildung 7 zeigt die Gegenüberstellung der monatlichen Durchschnittswerte von beförderten Personen pro Stunde. Im dritten Halbjahr wurden im April am meisten Personen pro Stunde transportiert. Dies ist darauf zurückzuführen, dass über das Osterwochenende sehr viele Touristen den Rheinfluss besuchten und mit der Linie 12 mitfahren.

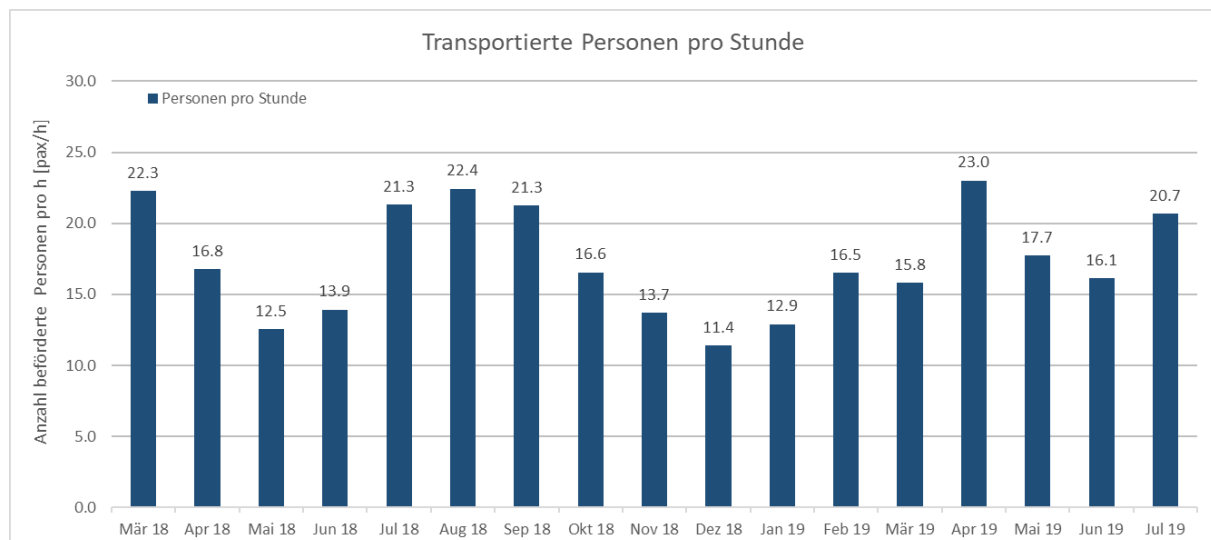


Abbildung 7: Durchschnittliche Anzahl der beförderten Personen pro Stunde

Bei einer Kapazität von insgesamt 11 Sitzplätzen und einem Takt von 10 Minuten können maximal 66 Personen pro Stunde transportiert werden (Annahme: keine Aus- und Zusteiger auf der Strecke). Bei einer durchschnittlichen Anzahl von 23 Fahrgäste pro Stunde (Monat April 2019) liegt die Auslastung bei 34.8 %. Im leistungsschwachen Monat März 2019 mit 15.8 Pax/h liegt die Auslastung bei 23.9 %.

Bei einem 20-Minuten-Takt, welcher ab 1. Juli 2019 gefahren wird, werden insgesamt sechs Fahrten (von A nach B und zurück) pro Stunde gemacht. Theoretisch können wieder maximal 66 Personen pro Stunde mitfahren (Annahme: keine Aus- und Zusteiger auf der Strecke). Somit liegt die Auslastung im Juli 2019 bei ca. 31.3 %.

2.4 Gefahrene Kilometer

Die Distanz zwischen den Haltestellen Rheinfallbecken und Industrieplatz beträgt ca. 0.5 km. Bei einem 20-Minuten-Takt wird die Strecke pro Stunde insgesamt sechsmal befahren. Dies entspricht somit 3 Kilometer pro Stunde. Über eine Schicht von 4 Stunden ist die zu fahrende, theoretische Distanz 12 km. Pro Schicht kommt noch ein Kilometer für die Zu- und Rückfahrt dazu.

Aufgrund der technischen Störungen (siehe Kapitel 3.2.2.2 und 3.2.2.3) und den «langsamen» Touristen, welche die Fahrspur des Shuttles nicht schnell freigaben, konnte im Juni und Juli der 20-Minuten-Takt nicht eingehalten werden. Zusätzlich kommt dazu, dass die Haltestelle Schlössli Wörth, welche rund 260 Meter von der Haltestelle Rheinfallbecken entfernt ist, wegen des hohen Touristenaufkommens nur sporadisch angefahren werden konnte.

So wurden im Juni und Juli 2019 pro Tag nur knapp 8 Kilometer gefahren (siehe Abbildung 8).

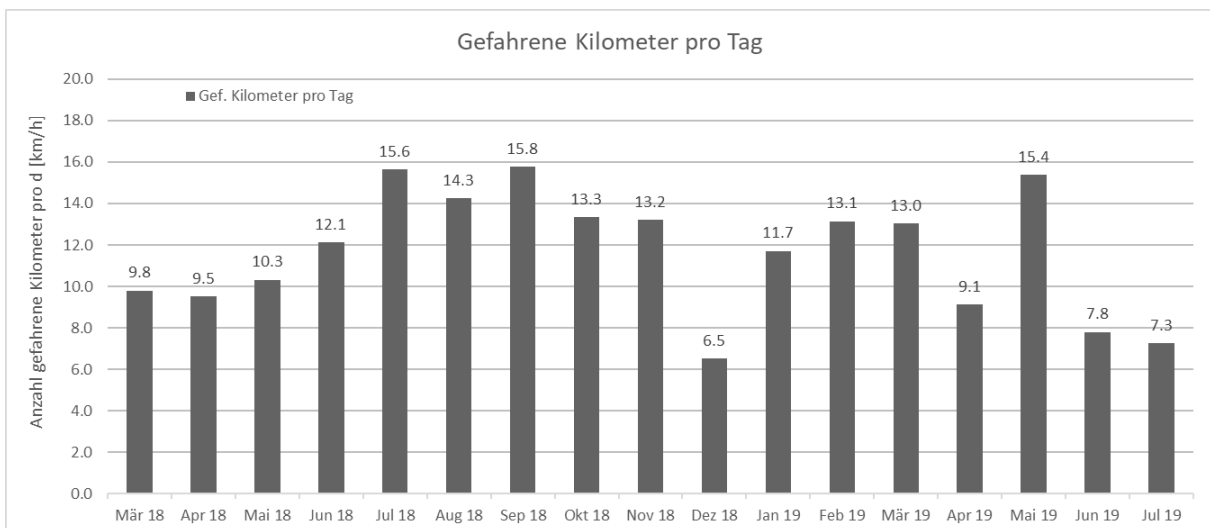


Abbildung 8: Monatsdurchschnitt der gefahrenen Kilometer pro Tag

Summa summarum wurden mit beiden Fahrzeugen, Trapizio und Trapizia, über die gesamte Projektdauer, also vom 27. März 2018 bis 31. Juli 2019, fast 6'000 Kilometer gefahren (siehe Abbildung 9, hellgrün). Die dunkelgrüne Fläche zeigt die monatliche Leistung an gefahrenen Kilometer.

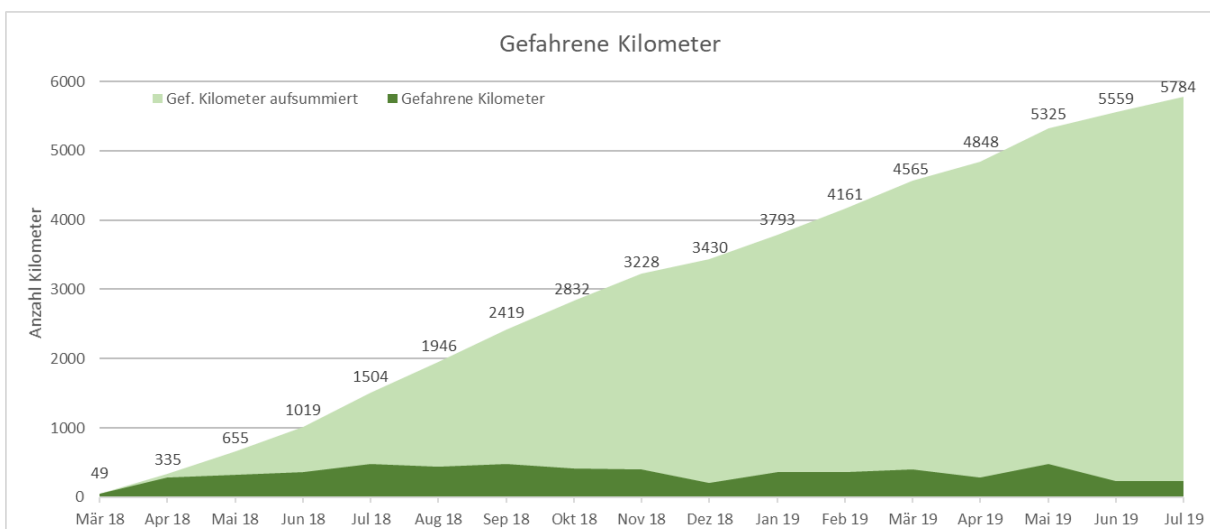


Abbildung 9: Gefahrene Kilometer

2.5 Verfügbarkeit

Das Shuttle war zwischen März 2018 und Juli 2019 rund 1'900 Stunden in Betrieb. Bis zum 31. Juli 2019 wurden an 429 Tagen Fahrgäste befördert. An 64 Tagen konnte der Betrieb nicht durchgeführt werden, da das Fahrzeug wegen technischen, organisatorischen oder wetterbedingten Ursachen nicht zur Verfügung stand.

Wie in der Abbildung 10 ersichtlich, gab es vier einschneidende Ereignisse, welche grossen Einfluss auf die Nichtbetriebstage und somit auf die Verfügbarkeit hatten:

- Dezember 18/Januar 19: Defekte Batterie (Siehe zweiter Zwischenbericht)
- April 2019: Defekte Aufhängung bei Trapizio (siehe Kapitel 4.2.2.1)
- Juni 2019: Zwischenfall mit E-Bike-Fahrerin (siehe Kapitel 3.2.2.6)
- Juli 2019: Shuttle kommt gefährlich nahe an ein Eisentor (siehe Kapitel 3.2.2.5)

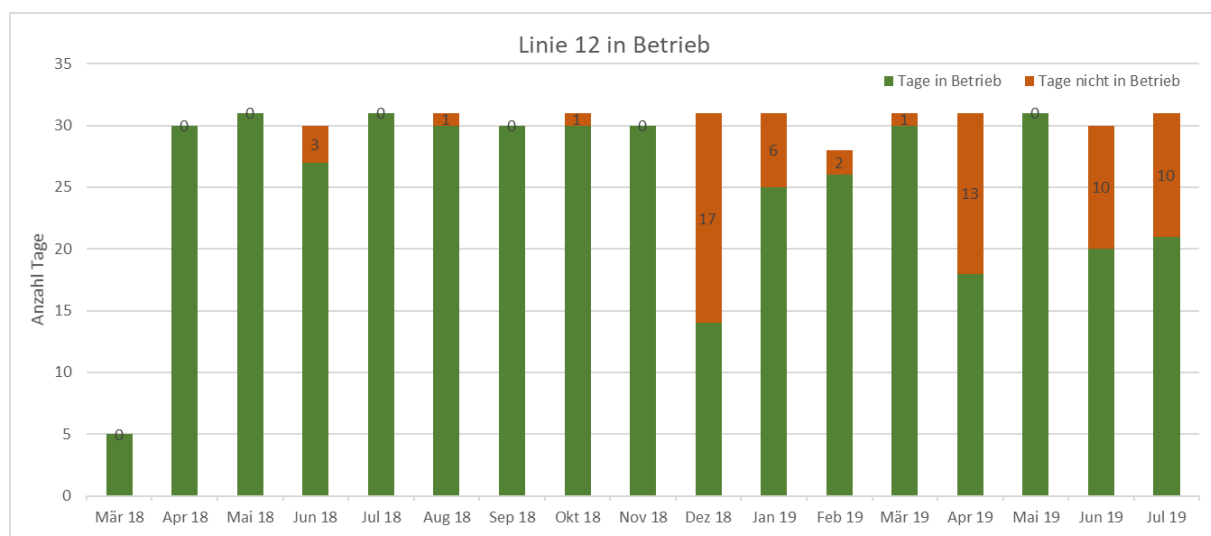


Abbildung 10: Linie 12 in bzw. nicht in Betrieb

Über die gesamte Projektdauer gesehen, weist das Fahrzeug eine Verfügbarkeit von 87 % auf. In der Abbildung 11 ist die Verfügbarkeit pro Monat dargestellt.

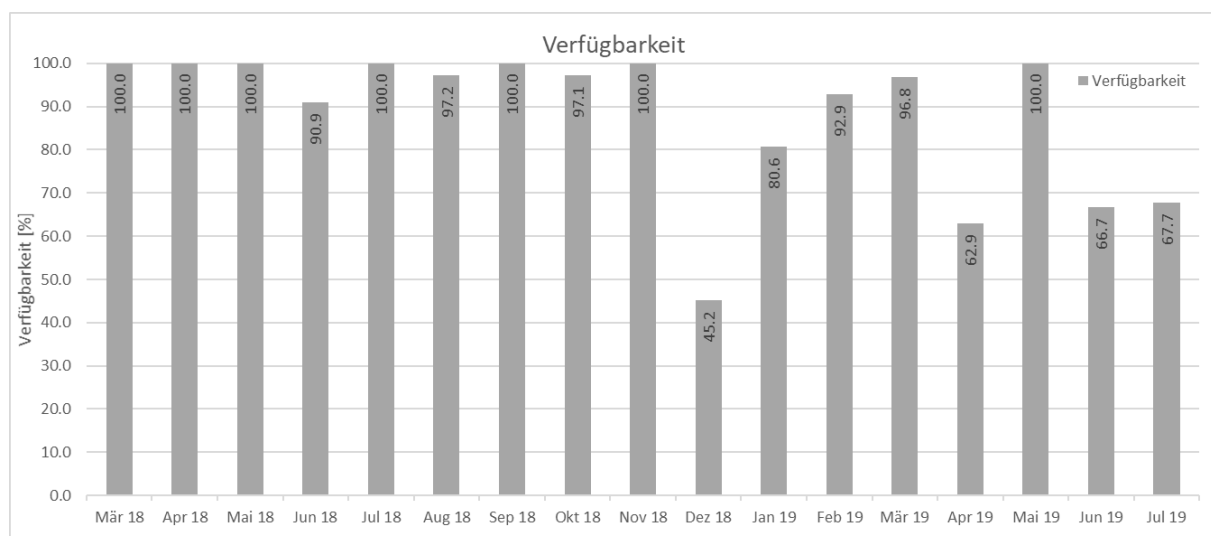


Abbildung 11: Verfügbarkeit

3 Erfahrungen im automatisierten Fahren

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

3.1 Verhalten im Verkehr

Die Projektbeteiligten stufen das Verhalten des Fahrzeugs im dritten Halbjahr schlechter ein, als in den letzten zwei Halbjahren. Dies weil die neue Software unkontrollierte Bremsungen auf der Strecke verursachte oder die Weiterfahrt aufgrund des Lenkungsproblems verunmöglichte.

Die Vorgehensweise der Konfigurierung der Strassenverkehrsregeln ist gleichgeblieben und funktioniert befriedigend. Das Fahrzeug fährt entlang seiner «virtuellen Schiene» und berücksichtigt Fahrspur, Haltepositionen, Geschwindigkeiten, Rechtsvortritte, Fussgängerstreifen und das Bedienen der Richtungsanzeiger.

Diese Konfigurationen werden millimetergenau auf der virtuellen Karte abgespeichert. Aber aufgrund dieser Millimeterarbeit kann es zu kritischen Situationen führen, in welchen die Begleitperson eingreifen musste. Beispielsweise entscheidet das Fahrzeug beim Fussgängerstreifen oder Rechtsvortritte bis zu einem gewissen physischen Punkt auf der Strecke, ob dieser konfigurierte Bereich frei ist und das Fahrzeug zufahren kann oder ob sich dort ein Objekt befindet und das Fahrzeug aufgrund dessen anhalten muss. Fussgänger oder Fahrzeuge die zu spät in diesen Bereich kommen, erhalten keinen Vortritt und die Begleitperson muss eingreifen. Diese Situationen werden im Kapitel 3.2.1.3 genauer beschrieben.

Das Softwareupdate, was das Umfahren von Hindernissen ermöglicht, die sich auf der virtuellen Schiene des Fahrzeugs befinden, existiert seitens Fahrzeughersteller Navya noch nicht. Hindernisse auf der Fahrspur sind weiterhin für das automatisierte Fahren problematisch, denn ein Eingreifen der Begleitperson ist zwingend notwendig.

Beispiele für Hindernisse, welche umfahren werden müssen, sind:

- Baustellen auf der Strasse
- Falschparker auf dem Trottoir
- Abgestellte Fahrzeuge auf der Bushaltestelle
- Abgestellte Fahrräder am Strassenrand
- Fahrzeuge, welche teilweise in die Fahrspur ragen
- Kreuzen mit Rhyfall-Express oder anderen Fahrzeugen im unteren Streckenabschnitt

Wie im letzten Halbjahresbericht erwähnt, muss auch in weiteren Situationen auf die Begleitperson zurückgegriffen werden. Beispielsweise muss die Begleitperson bei der Ausfahrt vom Industrieplatz auf die Industriestrasse die Weiterfahrt mittels einem Go-Befehl bestätigen. Denn diese Umgebungssituation ist für die Fahrzeugsoftware von Navya zu komplex und kann nicht von alleine eingeschätzt werden. Es braucht dafür die Validierung durch die Begleitperson.

3.2 Eingriffe der Begleitpersonen

Laut der ASTRA-Verfügung muss jederzeit eine Begleitperson im Fahrzeug sein und die automatisierte Fahrt überwachen und notfalls eingreifen. Die Eingriffe der Begleitperson werden in präventive und korrektive Eingriffe eingeteilt.

Aussergewöhnliche und neue Situationen werden im Ereignisrapport festgehalten. Wiederkehrende Eingriffe mit demselben Eingriffsgrund werden nicht nochmals in einem Ereignisrapport aufgeschrieben.

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 hatte.

3.2.1.1 Baustellen

Im Zeitraum zwischen Februar 2019 und Juli 2019 gab es im Zentrum von Neuhausen weniger Baustellen als in den letzten zwei Halbjahren. Dennoch ragten teilweise Baustellenabschränkungen in den Bereich der virtuellen Schiene des selbstfahrenden Shuttles und die automatisierte Fahrt wurde gestört. Um trotzdem weiterfahren zu können, griff die Begleitperson ein und umfuhr die Baustelle im manuellen Modus. Am Ende der Baustelle fuhr die Begleitperson wieder auf die virtuelle Schiene und wechselte vom manuellen zurück auf den automatisierten Modus.

Dieser Wechsel zwischen automatisiertem und manuellem Modus klappte problemlos, es hatte nur geringfügige Auswirkung auf den Fahrbetrieb.

3.2.1.2 Stau / parkierte Fahrzeuge

Wie oben erwähnt, greift die Begleitperson manchmal ein, um die Fahrgäste im Shuttle wie auch die Verkehrsteilnehmer oder Passanten nicht zu verärgern. Beispielsweise schaltet sie in den manuellen Modus, wenn sich im Stau stehende Fahrzeuge vor dem Shuttle befinden.

Das Shuttle unterscheidet nicht zwischen statischen und dynamischen Objekten. Falls sich das Shuttle beispielsweise im Stau befindet, erkennt es das vordere, im Stau stehende Fahrzeug als Hindernis. Mit der alten Software von Navya (Trapizio) verhielt es sich so, dass sobald die virtuelle Schiene blockiert war, das Shuttle dreimal buzzerte und anschliessend hupte.

Mit der neuen Software (Trapizia) wurde das automatische Hupen deaktiviert. Falls sich nun ein Auto oder Fussgänger vor dem Shuttle befindet, buzzert das Shuttle lediglich. Das Buzzern ist weit weniger aggressiv und störend wie das Hupen.

Trotzdem kann es vorkommen, dass die Begleitperson in solchen Situationen eingreift. Sobald die Strecke wieder frei ist, schaltet die Begleitperson zurück in den automatisierten Modus und das Shuttle fährt weiter.

3.2.1.3 Fussgängerstreifen

Die Erkenntnisse aus den Situationen an den Fussgängerstreifen haben sich im dritten Halbjahr nicht verändert. Der Vollständigkeit halber werden hier die Erfahrungen aus dem zweiten Halbjahresbericht aufgeführt:

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 zu 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 und Zwischenbericht vom Februar 2019 beschrieben. Vollständigkeitshalber wird der Text hier nochmals aufgeführt.

Zwischenbericht Linie 12 August 2018 - 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. Das 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

Die Situation mit den VBSH-Bussen, welche die Mittellinie überqueren, wurde bereits im letzten Halbjahresbericht beschrieben. Vollständigkeitshalber wird dieser Text hier nochmals aufgeführt:

Bei der Fahrt von Zentrum Nord zum Industrieplatz auf der Höhe der vom Shuttle nicht bedienten Haltestelle Zentrum Rheinfal (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 bzw. Trapizia erzeugt. Vollbremsungen sind immer sehr unangenehm für Fahrgäste im Shuttle und Verkehrsteilnehmern hinter dem bremsenden Fahrzeug. Bei den geringen Geschwindigkeiten vom Shuttle 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.

3.2.1.6 Kreuzen mit dem Rhyfall-Express

Auf dem unteren Streckenabschnitt, vom Industrieplatz in Richtung Schlössli Wörth, verkehrt ein für den Tourismus ausgelegtes, sonderbewilligtes Fahrzeug namens «Rhyfall-Express» (siehe Abbildung 12). Der Rhyfall-Express fährt auf der gleichen Strecke wie das selbstfahrende Fahrzeug. Er wendet aber nicht beim Schlössli Wörth, sondern fährt einen anderen Weg zurück nach Schaffhausen.

Wenn das Shuttle in Richtung Schlössli Wörth unterwegs ist, kann es vorkommen, dass der Rhyfall-Express hinter dem Shuttle herfahren muss. Bei Gelegenheit fährt die Begleitperson das Shuttle manuell zur Seite, so dass der Rhyfall-Express überholen kann.

Die Fahrt in Richtung Industrieplatz ist herausfordernder. Es kann vorkommen, dass sich das Shuttle und der Rhyfall-Express im engsten Stellenabschnitt kreuzen. Die Begleitperson versucht solche Situationen zu vermeiden. Sie greift ein, sobald sie den Rhyfall-Express sieht und fährt das Shuttle auf die Seite.

Im Allgemeinen funktioniert das Kreuzen ganz gut. Beide Parteien müssen ab und zu ein wenig Geduld zeigen. Vor allem wenn die Fahrzeuge in einer Kurve aufeinandertreffen, muss das selbstfahrende Shuttle zurückgefahren werden.

In Zukunft ist geplant, dass der Rhyfall-Express ebenfalls in der Leitstelle sichtbar gemacht wird. Somit könnte die Begleitperson durch eine App zeitnah über den Aufenthaltsort vom Rhyfall-Express informiert werden.



Abbildung 12: Rhyfall-Express

3.2.1.7 Parkierte Fahrräder am Mühleradhaus

Bei der Haltestelle Mühleradhaus führt die programmierte Fahrspur des selbstfahrenden Shuttles aufgrund der Platzverhältnisse nahe am Eisentor und an den Bäumen entlang. Leider werden dort aber oft Fahrräder am Eisentor, an den Bäumen oder sonst irgendwo abgestellt. Durch diese abgestellten Fahrräder ist die automatisierte Fahrt nicht möglich und die Begleitperson muss eingreifen. Als erstes sucht die Begleitperson die möglichen Besitzer der Fahrräder auf und bittet sie, diese umzuparkieren. Falls die Besitzer der Fahrräder nicht auffindbar sind, umfährt die Begleitperson die Hindernisse im manuellen Modus.

Da sich dort viele Touristen aufhalten und es nicht allzu viel Platz hat, versucht die Begleitperson die Fahrt im manuellen Modus zu vermeiden. Um die Situation mit den Fahrrädern ein wenig zu entschärfen, wurden an den Bäumen und am Eisentor Parkverbotstafeln aufgehängt (siehe Abbildung 13). Zusätzlich wurde am Boden die Haltestellenposition mittels gelben Blitz markiert.

Die erste Analyse, wie sich die Situation mit den Parkverbotstafeln verändert hatte, wird im Schlussbericht näher beschrieben. Bis jetzt konnten noch keine Erfahrungen gesammelt werden.



Abbildung 13: Parkverbotstafeln beim Mühleradhaus

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 Fahrverhalten mit dem neusten Software Release

Im Bericht über verkehrskritische Situationen vom März 2019 wurde die Problematik mit dem Fahrverhalten mit dem neusten Software Release bereits erläutert. Hier wird sie nochmals aufgeschrieben:

Im März 2019 wurde die Software von Trapizio erneuert. Mit dem neusten Software Release wurden verschiedene Dinge verbessert. Nennenswert ist vor allem die Anpassung des Fahrverhaltens. Das Shuttle stoppte automatisch, wenn es um einige Zentimeter nicht auf seiner Fahrspur fuhr. Mit dem Update konnte dieses Problem behoben werden. Neu reduziert das Shuttle bei Fahrspur- Ungenauigkeiten die Geschwindigkeit, um die ursprüngliche Fahrspur zu erreichen. Ein unerwarteter Halt auf der Strasse wird so vermieden.

Auch wenn dies eine positive Eigenschaft ist, so musste sich die Begleitperson im Shuttle umgewöhnen. Denn bis zuvor fuhr das Shuttle auf den Millimeter genau. Mit der neuen Software variiert diese Fahrspur geringfügig. Die Begleitperson erkennt dies, da der Abstand zu statischen Objekten (z. B. Randsteine) nicht exakt gleich ist, sondern bis zu 20 Zentimeter variieren kann.

Vor allem am Anfang wurde die Begleitperson dadurch verunsichert. Plötzlich fuhr das Shuttle im gleichen Abschnitt auf einer „anderen Linie“ und kam bei Randsteinen, Parkfelder und Fahrzeugen näher als sonst. Nichtsdestotrotz bestand nie die Gefahr eines Zusammenpralls. Das Shuttle bremste jederzeit regelkonform.

In der Haltebuch von Zentrum Süd hatten wir manchmal die Situation, dass das Shuttle den Randstein auf der rechten Seite leicht streifte. Wir gehen davon aus, dass dies ebenfalls auf dasselbe Problem zurückzuführen ist. Beim leichten Streifen wurde nichts beschädigt und auch wurde niemand verletzt.

3.2.2.2 Probleme mit der Lenkung

Im Bericht über verkehrskritische Situationen vom Juni 2019 wurde die Problematik mit der Lenkung bei Trapizia bereits erläutert. Hier wird sie nochmals beschrieben:

Das Fahrzeug hat immer wieder Probleme mit dem Lenkgetriebe und der Wiederherstellung der korrekten Funktion des Lenkgetriebes auf der Strecke. Des Öfteren tauchen Fehlermeldungen im Zusammenhang mit der Lenkung auf.

Wenn diese Fehlermeldungen erscheinen, dann hat das von Navya entwickelte Sicherheitskonzept gegriffen. Dieses verhindert, dass das Shuttle weiterfahren kann, wenn eine der beiden Lenkgetriebe den Lenkbefehl nicht korrekt ausführen kann. Das Sicherheitsmodul überprüft zu jedem Zeitpunkt, ob sich die Lenkgetriebe im Normalzustand befinden. Falls ein Fehlerzustand erkannt wird, stoppt das Fahrzeug. Das Fahrzeug kann nicht neu gestartet werden, solange der Fehler erkannt wird. Dadurch behält Navya die vollständige Fahrkontrolle über das Fahrzeug.

Leider tritt dieser Fehler öfters auf. Vor allem wenn das Fahrzeug in der Kurve durch Fussgänger oder Velofahrer ausgebremst wird, kann es zu diesem Fehler kommen. In den meisten Fällen kann der Fehler einfach durch die Begleitperson behoben werden. Dabei muss diese die Räder gerade stellen oder die Räder ganz rechts und dann ganz links einschlagen. Nützt dies nichts, werden die

Fahrgäste gebeten auszusteigen. Durch den Gewichtsverlust erhofft sich Navya, dass das Problem behoben werden kann. Die Begleitperson versucht es dann erneut.

Kann der Fehler nicht durch die Begleitperson behoben werden, muss die Supervision von Navya kontaktiert werden. Diese deaktivieren via Remote-Access dieses Sicherheitsmodul. Danach wird die Begleitperson aufgefordert rund zehn Meter im manuellen Modus zu fahren. Anschliessend aktiviert Navya diesen Sicherheitspatch wieder. Der Fehler ist für dieses Mal behoben und es kann wieder weitergefahren werden.

Bemerkung:

Mehrfach am Tag kämpft die Begleitperson mit diesem Fehler. Oft löst die Begleitperson das Problem selbst und die Fahrt kann nach kurzer Zeit (1-2 Minuten) wieder fortgesetzt werden. Aber leider muss fast täglich die Hilfe der Supervision geholt werden. Bis das Fahrzeug in solchen Fällen wieder betriebsbereit ist, kann es bis zu 30 Minuten gehen.

Zweimal blieb das Fahrzeug bereits im oberen Abschnitt auf der öffentlichen Strasse stehen. Das Fahrzeug konnte nur noch mit Hilfe der Supervision bewegt werden. Solche Situationen sind zwar ungefährlich, aber eine Stresssituation für die Begleitpersonen. Daher haben wir am 1. Juli 2019 entschieden, den oberen Streckenabschnitt vorläufig nicht mehr zu befahren, bis das Problem mit der Lenkung durch Navya verbessert oder behoben ist.

3.2.2.3 Vollbremsung bei Verlust von GNSS

Im Bericht über verkehrskritische Situationen vom Juni 2019 wurde die Problematik mit der Vollbremsung bei Verlust von GNSS bereits erläutert. Hier wird sie nochmals beschrieben:

Das Fahrzeug macht in einigen Situationen eine Vollbremsung, ohne dass ein Hindernis im Weg ist oder eine Person den Nothalt gedrückt hat. Der Grund ist der Verlust der GNSS-Ortung.

Grundsätzlich ortet sich das Fahrzeug mittels GNSS und LIDAR-Sensoren. Falls sich das Shuttle zwischen Häusern oder grossen Bäumen befindet, kann es sein, dass die GNSS-Ortung verloren geht. Bei Verlust von GNSS ortet sich das Fahrzeug alleine mit den LIDAR-Sensoren. Der Wechsel von GNSS und LIDAR zu nur LIDAR fällt den Fahrgästen nicht auf. Das Fahrverhalten ändert sich dabei nicht.

Aber falls die Positionen der GNSS-Ortung und der LIDAR-Ortung nicht exakt übereinstimmen, kann es vorkommen, dass eine Vollbremsung ausgelöst wird. Diese Situation kann auf der gesamten Strecke vorkommen. Anschliessend quittiert die Begleitperson diesen Fehler und das Shuttle fährt automatisiert weiter.

Bemerkung:

Da unvorhergesehene Vollbremsungen ein No-Go sind, wurde die GNSS-Ortung im oberen Teil, wo das Fahrzeug im Mischverkehr fährt, und in einigen Abschnitten im unteren Teil, deaktiviert. So ortet sich das Shuttle neu mehrheitlich nur noch mit den LIDAR-Sensoren. Seit der Deaktivierung trat der Fehler mit der GNSS-Unstimmigkeit nicht mehr auf.

3.2.2.4 Shuttle touchiert den Randstein

Am 16. Juni 2019 und am 1. Juli 2019 ereigneten sich zwei Situationen, in welchen das Shuttle den Randstein an der Haltestelle Industrieplatz bzw. Zentrum Süd berührte. Beide Situationen wurden von Navya untersucht. Der Erkenntnisse wurden bereits in den monatlichen Berichten wiedergegeben. Vollständigkeitshalber werden diese hier nochmals aufgeführt.

Shuttle fährt auf Randstein bei Haltestelle Industrieplatz

Als das Shuttle vom Mühleradhaus in Richtung Industrieplatz automatisiert unterwegs war, fuhr das Shuttle automatisiert auf den Randstein, kurz bevor es den Haltepunkt beim Industrieplatz erreichte. Als die Begleitperson das Fehlverhalten des Fahrzeuges feststellte, griff sie unverzüglich ein. Es wurde nichts beschädigt und auch niemand verletzt.

Ablauf gemäss Analyse von Navya:

- 10:26:49 Das Shuttle verlässt die Haltestelle «Mühleradhaus» im automatisierten Modus. GNSS- und LIDAR-Ortung stimmen überein.
- 10:27:35 GNSS-Ortung geht verloren und wird für die Fahrzeugortung nicht mehr verwendet. Das Fahrzeug ortet sich nur mittels LIDAR-Sensoren. Das Fahrzeug fährt ohne äusserlich erkennbaren Auswirkungen weiter.
- 10:28:44 Die GNSS-Ortung ist wieder vorhanden, aber aufgrund von äusserlichen Umgebungseinflüssen wird das Fahrzeug weiter links, als es tatsächlich ist, positioniert. Das Fahrzeug korrigiert fälschlicherweise die Fahrzeugposition und fährt weiter rechts.
- 10:28:48 GNSS-Ortung geht erneut verloren und wird für die Ortung des Fahrzeugs nicht mehr berücksichtigt. Das Fahrzeug ortet sich zu diesem Zeitpunkt nur noch mittels LIDAR.
- Zur gleichen Zeit greift die Begleitperson ein, weil sie die Unstimmigkeit beim Fahrverhalten bemerkt.
- 10:28:49 Das Shuttle rollt noch ein wenig weiter und bleibt auf dem Randstein stehen.

Shuttle berührt den Randstein beim Zentrum Süd

Am 1. Juli fährt das Shuttle vom Industrieplatz in Richtung Zentrum Süd. Das Fahrzeug weicht von seiner Fahrspur ab und touchiert mit dem rechten Vorderrad den Randstein. Es wurde nichts beschädigt und auch niemand verletzt.

Ablauf gemäss Analyse von Navya

- 15:53:12 Das Shuttle verlässt im automatisierten Modus die Haltestelle Industrieplatz in Richtung Zentrum Süd. GNSS- und LIDAR-Ortung stimmen überein.
- 15:54:07 GNSS-Ortung geht verloren und wird für die Fahrzeugortung nicht mehr verwendet. Das Fahrzeug ortet sich nur mittels LIDAR-Sensoren. Das Fahrzeug fährt ohne äusserlich erkennbaren Auswirkungen weiter.
- 15:54:08 Die GNSS-Ortung ist wieder vorhanden, aber aufgrund von Umgebungseinflüssen wird das Fahrzeug weiter links positioniert, als es tatsächlich ist. Das Fahrzeug korrigiert fälschlicherweise die Fahrzeugposition und fährt weiter rechts.
- 15:54:16 Die seitliche Verschiebung wird vom Fahrzeug erkannt und es versucht, diese Unstimmigkeit zu korrigieren, berührt aber dabei den Randstein. Das Fahrzeug fährt weiter ohne dass, die Begleitperson eingegriffen hatte. Es kommt an der Haltestelle Zentrum Süd zum Stehen.

Fazit

Beide Vorfälle sind auf die ungenaue GNSS-Position zurückzuführen, die die Lokalisierung des Shuttles verzerrt und eine seitliche Abweichung hervorrief. Als das Shuttle versuchte, seine Position zu korrigieren, fuhr das Shuttle mehr rechts und berührte den Randstein.

Um dieses Problem zu verhindern, wurden auf einigen Abschnitten, auf denen die GNSS-Ortung ungenau ist, diese deaktiviert. Neu ortet sich das Shuttle in diesen Abschnitten nur noch mittels LIDAR-Sensoren.

3.2.2.5 Sicherheitsmodul von Navya nicht aktiv

Am 14. Juli 2019 kam es auf der Linie 12 zu einer Situation, in der das Shuttle gefährlich nahe an das Eisentor bei der Haltestelle Mühleradhaus fuhr und die Begleitperson vorausschauend eingreifen musste. Es kam zu keinem Zusammenstoss, es wurde niemand verletzt, wie auch wurde nichts beschädigt. Trotzdem wurde aufgrund des Vorfalls der Betrieb der Linie 12 vorübergehend eingestellt, damit Navya die Ursache ermitteln konnte. Nach der Analyse von Navya und die darauffolgenden Tests von AMoTech, konnte der Betrieb der Linie 12 am 24. Juli 2019 wiederaufgenommen werden. Die Ergebnisse der Analyse wurden bereits im monatlichen Bericht vom Juli 2019 beschrieben, aber hier nochmals aufgeführt.

Situationsbeschreibung

Am 14. Juli um 15:45 Uhr fuhr das Fahrzeug im automatischen Modus von der Haltestelle Mühleradhaus in Richtung Laufentlift. Die Begleitperson bemerkte, dass das Shuttle sich nicht auf der korrekten Fahrspur, sondern näher als üblich am Tor befand. Die Begleitperson griff unverzüglich ein und stoppte das Fahrzeug, so dass eine Kollision mit dem Eisentor vermieden werden konnte. Danach setzte die Begleitperson das Fahrzeug einige Meter zurück.

Ablauf gemäss Analyse von Navya

- | | |
|----------|---|
| 15:45:28 | Das Shuttle fährt im automatischen Modus und verlässt die Haltestelle Mühleradhaus in Richtung Laufentlift. |
| 15:45:33 | Das Shuttle stoppt in der Rechtskurve aufgrund von Fussgängern, welche die Fahrspur des Fahrzeugs kreuzen. Während des Bremsens sind die Räder nach links eingeschlagen. |
| 15:45:37 | Die Fussgänger verlassen die Fahrspur des Fahrzeugs und das Shuttle fährt weiter. Da sich das Shuttle in einer Rechtskurve befindet und die Räder leicht nach links eingeschlagen sind, sendet die Software starke Lenkbefehle, um nach rechts zu fahren.

Grundsätzlich würde das Sicherheitsmodul (siehe Kapitel 3.2.2.2) eingreifen und das Shuttle stoppen. Da aber zu diesem Zeitpunkt das von Navya entwickelte Sicherheitsmodul nicht eingeschaltet war, konnte das Fahrzeug weiterfahren. |
| 15:45:40 | Falls sich die Lenkung in einem fehlerhaften Zustand befindet und das Sicherheitsmodul nicht eingreift, werden die Hinterräder nicht mehr korrekt gelenkt. Das Fahrzeug führt nur noch die Lenkbefehle an den Vorderrädern aus. Aus diesem Grund kann die enge Kurve nicht korrekt befahren werden und das Shuttle verlässt seine Fahrspur. Zu diesem Zeitpunkt bemerkte die Begleitperson das Fehlverhalten des Fahrzeugs und stoppte das Shuttle manuell. |
| 15:46:20 | Die Begleitperson fährt das Shuttle manuell aus dem Bereich und bringt es zurück auf die Fahrspur. Während dieses Manövers verschwindet der Fehler und das Shuttle ist wieder in der Lage im automatisierten Modus weiterzufahren. Anschliessend stellte die Begleitperson den Betrieb ein. |

Fazit

Der Vorfall ist darauf zurückzuführen, dass das Sicherheitsmodul von Navya nicht eingeschaltet war und deshalb das Shuttle nicht anhielt, als es zu Problemen mit den Lenkbefehlen kam. Das Sicherheitsmodul wurde am 19. Juli 2019 durch Navya wieder aktiviert.

Um zukünftig solche Situationen zu vermeiden, wird die Kommunikation zwischen Navya und AMoTech bei Problemen mit der Lenkung (Steering Problem) verbessert. Nachdem Navya das Sicherheitsmodul deaktivieren muss, fordert die Begleitperson von Navya eine schriftliche Bestätigung, dass das Sicherheitsmodul wieder aktiviert wurde.

Zurzeit kann die Begleitperson keinen Status des Sicherheitsmoduls (aktiviert oder deaktiviert) im Fahrzeug abfragen. Es ist ihr nicht möglich zu überprüfen, ob das Sicherheitsmodul wieder aktiviert wurde. Die Begleitperson verlässt sich momentan auf die Aussage der Navya-Mitarbeiter.

In einem neuen Software-Release verspricht Navya eine Verbesserung dieses Problems.

3.2.2.6 Zwischenfall am 2. Juni 2019

Im Bericht über verkehrskritische Situationen vom Juni 2019 wurde der Zwischenfall mit der E-Bike-Fahrerin bereits beschrieben. Vollständigkeitshalber wird er hier nochmals aufgeführt:

Nach dem Zwischenfall vom Sonntag, dem 2. Juni 2019, wo das selbstfahrende Shuttle mit einer E-Bike-Fahrerin kollidiert ist, wurde dieses umgehend ausser Betrieb genommen, um die Umstände zu analysieren und die Lehren daraus zu ziehen.

Jeder Unfall ist einer zu viel. Dennoch können solche Vorkommnisse nie mit absoluter Sicherheit ausgeschlossen werden. Die auf grösstmögliche Sicherheit bedachte Konfiguration des Shuttles hat dazu beigetragen, dass die Geschwindigkeit beim Zusammenstoss gering war und daher nichts Schlimmes passiert ist.

Aufgrund der Analyse der Sensoraufzeichnungen können wir feststellen, dass die Technologie des Shuttles einwandfrei funktioniert hat und für den Zwischenfall nicht verantwortlich gemacht werden kann. Diverse Umstände an der Schnittstelle zwischen Mensch und Technik haben zum Vorfall beigetragen, sodass es nicht möglich ist, eine einzelne Ursache zu benennen.

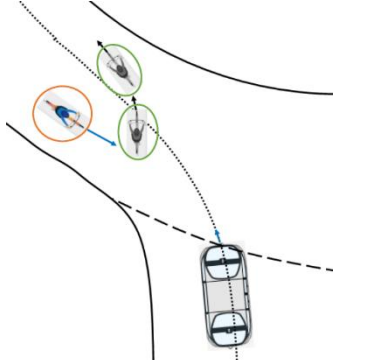
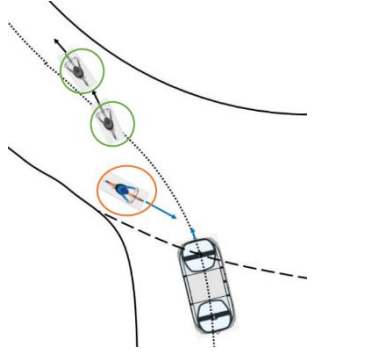
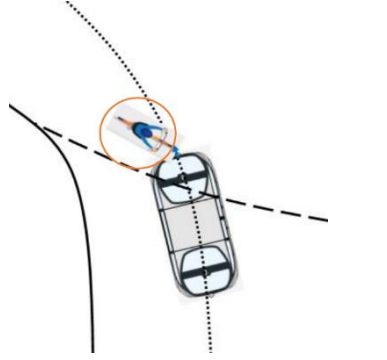
Die Ausfahrt aus dem Industrieplatz in die Industriestrasse ist als Zwangshalt konfiguriert. Nach Wegfahrt von der Haltestelle hielt das Shuttle bei der Einmündung wie vorgesehen an. Nachdem ein Velofahrer auf der Industriestrasse von links kommend vor dem Shuttle durchgefahren war, war die Strasse frei und die Begleitperson gab den Fahrbefehl. Die E-Bike-Fahrerin war zu diesem Zeitpunkt noch ca. 40-50 m weit entfernt.

Kurz danach, noch bevor das Shuttle auf den Fahrbefehl reagiert hatte, wurde es von zwei Velofahrern überholt, die aus dem Industrieplatz nach links in die Industriestrasse einbogen. Diese beiden Velofahrer wurden vom Shuttle erkannt. Das führte dazu, dass es etwas später und sehr langsam anfuhr und erst fünf Sekunden nach Erteilen des Fahrbefehls mit einer Geschwindigkeit von weniger als 5 km/h in die Industriestrasse einbog. Die Velofahrer befanden sich für einen längeren Zeitraum zwischen dem Shuttle und der E-Bike-Fahrerin.

In der Zwischenzeit hatte sich diese genähert und ihre Fahrt etwas abgebremst, um hinter den beiden Velofahrern durchzufahren. Die Begleitperson leitete den Bremsvorgang ein, als die E-Bike-Fahrerin sichtbar wurde und noch ca. 3 Meter vom Shuttle entfernt war. Eine Kollision liess sich zu diesem Zeitpunkt aber nicht mehr vermeiden, da sich die beiden Fahrzeuge aufeinander zu bewegten. So kam es eine knappe Sekunde später zum Zusammenstoss. Das Shuttle bewegte sich zu diesem Zeitpunkt mit einer Geschwindigkeit von weniger als 3 km/h.

Die Freigabe zur Wiederaufnahme des Betriebs wurde vom ASTRA am 7. Juni 2019 erteilt. Die Begleitpersonen wurden am 12. Juni 2019 speziell auf derartige Situationen nachgeschult, um die Wahrscheinlichkeit solcher Vorfälle zukünftig noch weiter zu senken.

Tabelle 4: Situationsbeschreibung vom Zwischenfall mit E-Bike-Fahrerin

Einbiegen in Industrie- strasse	Einleiten des Bremsvor- gangs	Kollision
		
Zeit: 13:45:17.0 («go» + 5.0 s) Shuttle: 4.7 km/h	Zeit: 13:45:17.6 («go» + 5.6 s) Shuttle: 5.4 km/h	Zeit: 13:45:18.5 («go» + 6.5 s) Shuttle: 3.0 km/h

3.3 Keine Eingriffe der Begleitperson

Oft kann das Fahrzeug die Verkehrssituation eigenständig abschätzen und Handlungen korrekt ausführen. Es ist nicht notwendig, dass die Begleitperson in die automatisierte Fahrt eingreift.

Trotzdem kann es vorkommen, 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. Erste Erfahrungen zeigen, dass beispielsweise Bodenunebenheiten durch die unteren 2D-Lidar-Sensoren als Hindernisse erkannt werden. Es gibt bestimmt noch andere Situationen. Daher kann keine einheitliche Aussage über diese Problematik gemacht werden.

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.

3.4 Wetter

Das selbstfahrende Shuttle von Navya kann momentan noch nicht in allen Wettersituationen betrieben werden. Zum Beispiel werden die Laubblätter, die grossen Schneeflocken oder Starkregen von den Sensoren als Hindernisse erkannt.

Aufgrund von extremen Wetterverhältnissen (z. B. starker Schneefall) wurde der Betrieb einige Male früher eingestellt. Das Shuttle hielt alle paar Meter aufgrund der Hinderniserkennung an und die automatisierte Fahrt war für die Fahrgäste nicht zumutbar.

4 Erfahrungen mit der Technik

Selbstfahrende Fahrzeuge, insbesondere die Selbstfahrsoftware, muss sich in einem sehr komplexen Gebiet zurechtfinden. Alle äusseren, wie auch inneren Faktoren müssen miteinberechnet werden. Nur wenn alle relevanten Daten korrekt verarbeitet werden, wird ein gut funktionierendes selbstfahrendes Fahrzeug sich auf dem Markt etablieren.

Auch wenn der Fahrzeughersteller bereits in Serie produziert, steckt die Technologie noch in den Kinderschuhen. Einiges kann es bereits gut und anderes muss noch verbessert oder sogar neu entwickelt werden.

Erfahrungen welche wir im Bereich der Technik gemacht haben, werden nachfolgend in Technologie und Fahrzeugtechnik aufgeteilt:

4.1 Erfahrungen mit der Technologie

Die Systemgrenzen, welche in den vorherigen Kapiteln beschrieben wurden, sind deutlich sichtbar. Das Shuttle von Navya muss noch in vielen Bereichen weiterentwickelt werden. Auch das neue 4x4-Fahrzeug ergab nicht die gewünschte Verbesserung. Nachfolgend sind die Erkenntnisse aus den letzten eineinhalb Jahre aufgeschrieben.

4.1.1 Selbstfahrsoftware

Leider kann das selbstfahrende Fahrzeug nicht von alleine dazu lernen. Wir haben gesehen, dass es in den gleichen Situationen die gleichen Fehler macht. Ein Beispiel: Neben dem Fussgängerstreifen befindet sich ein Werbeschild. Dieses ragt nicht in das Lichtraumprofil des Shuttles, aber in den programmierten Fussgängerstreifen-Bereich. In jeder Runde wird das Werbeschild als ein Hindernis erkannt. Das Fahrzeug hält an und wartet auf den GO-Befehl der Begleitperson.

Von einem selbstfahrenden Fahrzeug wird in Zukunft erwartet, dass es diese Situation eigenständig abschätzen kann. Beispielsweise könnten die Objekte klassifiziert werden. Im Vorhinein wäre dann klar, dass das Werbeschild sich nicht bewegen kann und nicht die Strasse überqueren möchte.

Momentan ist es beim Navya-Fahrzeug so, dass Verbesserungen der Konfiguration nur durch den Fahrzeughersteller vorgenommen werden können. Dieser kann entweder die Referenz-Karte neu aufnehmen oder die Konfiguration der Streckenführung anpassen.

4.1.2 Referenz-Karte

Es kann behauptet werden, dass die Referenz-Karte stetig veraltet ist, denn die Umgebung verändert sich laufend. Strassen werden aufgerissen, neue Häuser gebaut oder Bäume und Gebüsche verlieren Blätter bzw. gedeihen.

Das Shuttle funktioniert so: Die Umgebung wird zum Zeitpunkt X festgehalten wird. Anschliessend wird eine Referenz-Karte erstellt und auf dem Fahrzeug abgespeichert. Danach wird sie nicht mehr verändert und das Shuttle vergleicht die Ist-Situation mit der Referenz-Karte.

Sobald die Unterschiede zu gross sind, kann es sein, dass sich das Fahrzeug unkontrolliert verhält. Plötzlich bremst es ohne ersichtlichen Grund, macht unkontrollierte Fahrmanöver oder bleibt einfach stehen. Es kann dann nicht mehr automatisiert gefahren werden. In all diesen Fällen muss der Fahrzeughersteller kontaktiert werden. Dieser entscheidet dann, ob die Umgebung neu eingescannt oder ob die Konfiguration überarbeitet werden muss.

4.1.3 Konfiguration

Wie bereits erwähnt, fährt das Shuttle entlang seiner «virtuellen Schiene» und berücksichtigt Fahrspur, Haltepositionen, Geschwindigkeiten, Rechtsvortritte, Fussgängerstreifen und das Bedienen der Richtungsanzeiger. Diese Konfigurationen werden millimetergenau auf der Referenz-Karte abgespeichert.

Grundsätzlich funktioniert dies ganz gut. Aber diese einprogrammierten «Verkehrsregeln» werden penibelst eingehalten. Als Mensch wird jede Verkehrssituation von neuem eingeschätzt und zum Teil werden daraus unterschiedliche Handlungen abgeleitet. Im einen Fall wird dem anderen Fahrzeug Vortritt gewährt und im andern Fall nicht. Auch kann der Fahrzeuglenker im Vorhinein abschätzen, ob dem schnell gehenden Fussgänger der Vortritt gewährt werden muss oder ob zugefahren werden kann. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei den Rechtsvortritten. Das System überprüft lediglich den vordefinierten Bereich. Beim Rechtsvortritt muss auch zu schnell fahrenden Fahrzeugen der Vortritt gewährt werden.

Um das System verbessern zu können, müssten auch Geschwindigkeit, Fahrrichtung oder Objektart in der Software verarbeitet werden.

4.1.4 Berechnung der Fahrspur

Wie bereits im zweiten Halbjahresbericht erwähnt, fuhr das Fahrzeug Dellen in den Asphalt. Auf jeder Runde fährt das Shuttle genau auf den gleichen Zentimetern. Der Asphalt wird so immer an der gleichen Stelle belastet und dort überdurchschnittlich abgenützt. Vor allem beim Wenden wirken grosse Kräfte auf dem Asphalt, was sichtbare Risse im Boden verursachte (siehe Abbildung 14)



Abbildung 14: Dellen im Asphalt

Wir sind der Meinung, dass für die Berechnung der Fahrspur zwei unterschiedliche Ansätze gewählt werden müssten. In der Haltebucht sollte das Fahrzeug auf dem betonierten Boden millimetergenau möglichst nahe an die Bordsteinkante fahren, diese aber nicht berühren. Und auf der Strasse wäre ein leichtes Variieren der Fahrspur sinnvoll, denn so würde die punktuelle Abnützung der Fahrbahn vermindert werden.

4.1.5 Weitere Erkenntnisse

Verschiedene Funktionen und Fähigkeiten vom Fahrzeug sollten bald verbessert werden, dies verspricht zumal der Fahrzeughersteller. Er behauptet, dass in der nächsten Zeit das Fahrzeug eigenständig stillstehende, leicht in das Lichtraumprofil ragende Objekte überholen kann. Momentan muss die Begleitperson das Zepter in die Hand nehmen und das im Weg stehende Objekt manuell umfahren. Zurück auf seiner Fahrspur übergibt sie die Kontrolle am Fahrzeug zurück.

Eine weitere Verbesserung, welche unumgänglich ist, ist die gesamte Sensortechnik und dessen Verarbeitung. Schneeflocken, Starkregen oder Laubblätter dürfen nicht den gleichen Stellenwert haben wie Menschen, Autos oder Fahrräder. Die Sensoren müssen zwischen diesen Objekten unterscheiden können. Auch dürfen kleine Bodenunebenheiten das Fahrverhalten nicht beeinträchtigen.

Erst wenn alle relevanten Faktoren und Informationen aus der Umgebung in der Selbstfahrsoftware verarbeitet werden, wenn Objekte klassifiziert werden und wenn es in allen Wettersituationen einsetzbar ist, können die selbstfahrenden Fahrzeuge flächendeckend im Markt eingesetzt werden.

4.2 Erfahrungen mit der Fahrzeugtechnik

Wir haben gesehen, dass sich diese Fahrzeuggrösse für einen Einsatz für Erste und Letzte Meile eignet. Denn das Shuttle findet sich auch auf schmalen Strassen zurecht und kann auf kleinem Gebiet wenden. Vor allem wenn in Zukunft solche Fahrzeuge bis zur Tür fahren sollen, müssen diese mit den Herausforderungen in den Quartieren zurechtkommen. Schmale Strassen, versetzte Parkfelder, spielende Kinder sind nur einige der Herausforderungen.

Auch dank dem Elektromotor bewegt sich das Fahrzeug geräusch- und emissionsarm fort. Erst ab einer Geschwindigkeit von mehr als 35 km/h überwiegen die Reifen-Fahrbahn-Geräusche. Diese Geschwindigkeiten werden aber selten in den Wohngebieten erreicht.

4.2.1 Konzeptionelle Fehlüberlegungen

Uns ist aufgefallen, dass nicht alle Überlegungen seitens Fahrzeughersteller bis zu Ende gedacht wurden. So ist das Fahrzeug nicht in allen Bereichen auf den öffentlichen Verkehr ausgelegt. Auch wurden gängige Überlegungen im Fahrzeugbau nicht berücksichtigt. Nachfolgend wird eine kritische, nicht abschliessende Liste von Überlegungen aufgeführt, welche in Zukunft berücksichtigt werden müssen.

1. GNSS Ortung

Das Fahrzeug kann mittels GNSS und LIDAR-Sensoren geortet werden. Damit die GNSS-Ortung funktioniert, braucht es eine solide Sichtbarkeit von Satelliten in guter Konstellation. In Tälern, zwischen grossen Häusern oder auch unter Bäumen kann diese aber ungenügend sein und das Fahrzeug kann nur noch mittels LIDAR-Sensoren geortet werden.

Der Wechsel zwischen «GNSS vorhanden» und «GNSS nicht vorhanden» darf aber keinen Einfluss auf das Fahrverhalten haben. Bei unserem Fall macht das Fahrzeug aber eine Vollbremsung, wenn die wiedervorhandene GNSS-Ortung nicht mit der der LIDAR übereinstimmt. (Siehe Kapitel 3.2.2.3)

Auch in Zukunft wird die GNSS-Ortung manchmal nicht korrekt sein. Deswegen wäre es sinnvoll, wenn die millimetergenaue Ortung der LIDAR-Sensoren übernommen und die GNSS-Ortung für die grobe Positionsbestimmung verwendet wird.

2. 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 Tür aufgehalten. So kam es zu Situationen, wo die Fahrgäste beinahe zwischen den sich schliessenden Türen eingeklemmt wurden.

3. Radeinschlag

Das Prinzip des Lenkeinschlags beim Wenden in sehr kleinen Radien kann verbessert werden. 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.

4. Klimaanlage

Dass die Klimaanlage einer der grössten Stromfresser ist, ist klar. Sie braucht mit Abstand am meisten Energie und reduziert die Lauffähigkeit vom Fahrzeug enorm. Nur durch die Klimaanlage selbst könnte die Batterie innert 8 Stunden auf null sein.

Technisch gesehen gibt es noch weitere Dinge die verbessert werden müssten. Das Kondenswasser der Klimaanlage tropft bei Trapizio ins Innere des Fahrzeugs. Bei Trapizia

tropft das Kondenswasser über die seitlichen Sensoren und löst so eine Vollbremsung aus. Die Tropfen werden als Hindernisse erkannt.

5. Extras

Die Anwenderfreundlichkeit des Shuttles ist nicht befriedigend. Die Anordnung der Bedienelemente für die Extras sind im ganzen Fahrzeug verteilt und die Bedienschalter für Klimaanlage, Scheibenwischer oder die Position der pneumatischen Federung sind nicht über das Display ansteuerbar.

4.2.2 Technik des Fahrzeugs

Die Erfahrungen aus den ersten eineinhalb Jahren zeigen auf, dass die Technik im Fahrzeug noch in vielen Bereichen verbessert werden muss. Der Fahrzeughersteller erarbeitete sein Wissen in der Fahrzeugkonstruktion von Grund auf. So mussten auch im dritten Halbjahr diverse Instandhaltungsarbeiten am Navya-Shuttle vorgenommen werden.

Insgesamt wurden mehrere Komponenten ersetzt. Nachfolgend wird eine grobe, nicht abschließende Liste der ausgetauschten Komponenten der letzten eineinhalb Jahre aufgeführt.

- AC-Diffuser
- Modem
- LIDAR-Sensoren
- Kompressor / Federung
- hintere Kamera
- Kardan Schrauben
- 80-Volt-Batterie
- Befestigungsplatte

4.2.2.1 Bruch der Befestigungsplatte des Differenzials von Trapizio

Im Bericht über verkehrskritische Situationen vom Mai 2019 wurde die Situation «Bruch der Befestigungsplatte des Differenzials von Trapizio» bereits erläutert. Hier wird sie nochmals beschrieben:

Mitte März ist den Begleitpersonen aufgefallen, dass Trapizio vermehrt spezielle Geräusche von sich gibt. Beim normalen Fahren war immer wieder ein Knacken und Quietschen vorne links zu hören.

Als der Betrieb von Trapizio aufgrund des Zwischenfalls vom 05. April 2019 vorübergehend eingestellt wurde, wurde ein Instandhaltungs-Termin mit Navya vereinbart. Die Instandhaltungsarbeiten sollten am 10. April bei den Verkehrsbetrieben Schaffhausen stattfinden.

Dafür wurde am 9. April ein Transporteur mit Abschleppwagen organisiert. Aufgeladen werden sollte das Fahrzeug auf dem SIG-Areal auf der Teststrecke. Auf der Fahrt dorthin gab es auf der Rampe bei der Garage auf dem SIG-Areal einen Knall und die Befestigungsplatte des Differenzials von Trapizio brach. Das Fahrzeug wurde sofort gestoppt und nicht mehr bewegt.

Da sich Navya für den Instandhaltungstermin bereits in Schaffhausen befand, konnte der Schaden gleich beurteilt werden. Wir hatten Glück im Unglück und der Schaden am Fahrzeug war minimal. Der Techniker von Navya konnte alle notwendigen Ersatzteile in Frankreich bestellen und nach einigen Tagen wieder einbauen. Die Reparatur konnte auf dem normalen Abstellplatz von Trapizio durchgeführt werden. Die ausgetauschten Bauteile sind gegenüber den Originalbauteilen verstärkt.

Nach einigen Tests auf dem SIG-Areal wurde der Betrieb mit Trapizio am 18.04.2019 wiederaufgenommen.

5 Erfahrungen aus Sicht Verkehrsbetriebe (Haltestelle/Leitstelle)

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

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

5.1 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 Trolleybusses 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 Trapizia) 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 Rheinfluss) sicherzustellen.

An der Haltestelle Zentrum Süd können vom Industrieplatz (zukünftig vom Rheinfluss) 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.

Durch die Streckenerweiterung wurde auch der Takt angepasst. Das Fahrzeug fährt nur noch alle 30 Minuten bei der Haltestelle Zentrum Nord ab. Aufgrund der Probleme mit dem Lenkgetriebe und der GNSS-Ortung wird der obere Streckenabschnitt seit 1. Juli 2019 nicht mehr befahren. Es existiert momentan keine Anschlussverbindung zwischen Linie 1 und Linie 12.

5.2 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 15 und Abbildung 16) und hat eine Fahrplananlage.

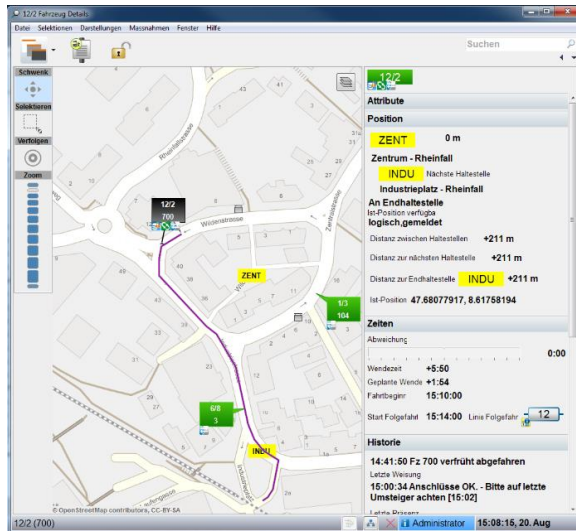


Abbildung 15: Fahrzeug Details Linie 12

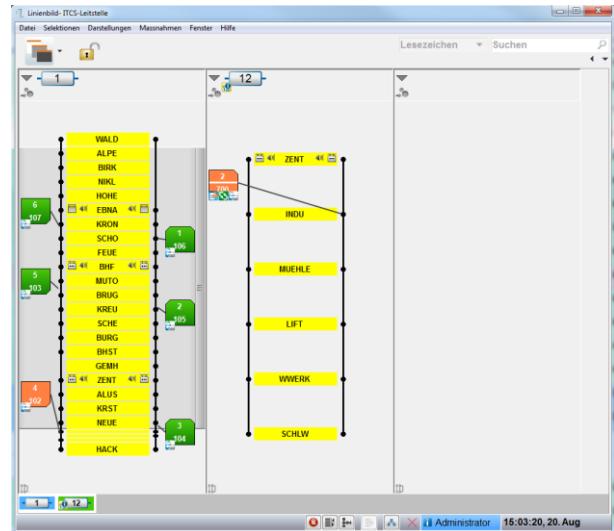


Abbildung 16: Linienbild der Linie 12

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 17). Zur Linie 6, welche diese Haltestelle ebenfalls bedient, besteht keine Anschlusssicherung.

Die Haltebuch der Haltestelle Zentrum Süd ist zu kurz, um das Shuttle warten zu lassen. Das Shuttle muss weiterfahren, bevor der Bus der Linie 1 in die Haltestelle einfährt.

Dieses Konzept und das Zusammenspiel der drei Linien klappt reibungslos.

Fahrzeugtafel: FZ Lesezeichen

Datei

Selektionen

Darstellungen

Massnahmen

Fenster

Hilfe

Lesezeichen

Suchen

Fahrzeug	Service	Position	Ziel	Abweichung	Wendezeit	Fahrer	Historie	
31	5/4	CMC	+20 m	Herblingen	-0:40	-0:40	Kabashi Agron	14:35:14 Anschlüsse OK. - Bitte auf letzte Umsteiger achten [14:36]
104	1/3	ALUS	+20 m	Waldfriedhof via Bahn	-0:30	-0:30	Niederer Michael	14:47:01 Anschlüsse OK. - Bitte auf letzte Umsteiger achten [14:49]
6	5/1	BUCH	0 m	Herblingen	0:00	+4:20	Jenni Joachim	14:55:23 Anschlüsse OK. - Bitte auf letzte Umsteiger achten [14:56]
9	3/1	STEI	+20 m	Krummacker	-0:40	+3:20	Lohr Andreas	14:55:24 D1 Fundsach erhalten
14	3/4	HORN	+20 m	Sommerwies	-1:10	+0:50	Klingler Urs	14:13:33 Linie 6 zu spät Anschluss brechen, falls kein Sichtkontakt beste
4	6/3	DE	0 m	Dienstfahrt	0:00	+30:30	Rivelli Valentino	
321	25/8	RHEM	+162 m	25 Ramsen	-1:40	+2:20	Hajdin Rade	13:12:31 Fz 321 verfrüht abgefahren
5	8/1	BACH	+20 m	8 Bahnhof SH	-0:30	+16:30	Bunjaku Ismail	14:47:51 Anschlüsse OK. - Bitte auf letzte Umsteiger achten [14:51]
21	6/1	ZENT	0 m	Falkeneck via Kantoni	-0:10	+3:50	Brandenberger Thomas	14:44:05 Anschlüsse OK. - Bitte auf letzte Umsteiger achten [14:51]
	23/3	LOGI	+330 m					
508	21/11	BHOE	+20 m	21 Beggingen	-1:30	+1:30	Bolz Matthias	05:39:48 Fz 508 verfrüht abgefahren
102	1/4	RHEN	0 m	Herbstacker	-3:10	+2:50	Riesen Markus	05:34:54 Fz 102 verfrüht abgefahren
700	12/2	INDU	0 m	LEER	-1:40	-1:40	Harlacher Monika	14:41:50 Fz 700 verfrüht abgefahren
228017000144911				ZENT			Soll Fahrer-ID	Letzte Werbung
SH 49090	12			Zentrum - Rheinfall		+2:34	805	15:00:34 Anschlüsse OK. - Bitte auf letzte Umsteiger achten [15:02]
Navya-Arma-DL4				Zentrum - Rheinfall				Letzte Präsenz
SCHAFFHAUSEN BUS				An Endhaltestelle				15:05:44
VB5H				In Position verfüge				Letzte Sprechverbindung
				logisch gemeldet				
103	1/5	KREU	+554 m	Herbstacker Rheinfall	-0:10	+5:50	Waldvogel Harry	15:05:09 Anschlüsse OK. - Bitte auf letzte Umsteiger achten [15:11]
28	5/2	BHF	0 m	Buchthalen	0:00	+7:00	Schütz Heinrich	15:03:29 Anschlüsse OK. - Bitte auf letzte Umsteiger achten [15:06]
324	324			[nicht verfügbar]				
325	325			[nicht verfügbar]				
8	4/3	STEI	0 m	Gruben via Sántisstrai	-0:50	-0:50	Gleichauf Wolfgang	14:44:07 Anschlüsse OK. - Bitte auf letzte Umsteiger achten [14:47]

F1

F2

F3

F4

F5

F6

F7

F8

F9

F10

F11

F12

Administrator

15:05:55, 20. Aug

Abbildung 17: Fahrzeugtabelle inkl. Linie 12

Die Kamerabilder, die innerhalb und ausserhalb (vorne und hinten) des Fahrzeuges erfasst werden (siehe Abbildung 18), 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 noch während einer Woche zugegriffen werden. Danach werden sie automatisch 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 leistungsstärkere Kameras in zukünftigen Fahrzeugen verbessert werden.



Abbildung 18: Kamerabilder Trapezio

6 Erfahrungen zum Zweirichtungsbetrieb

Im dritten Halbjahr wurde sowohl der obere als auch der untere Streckenabschnitt befahren. Die Software für den Zweirichtungsbetrieb wurde vom Fahrzeughersteller entwickelt und steht dem neuen Fahrzeug „Trapizia“ zur Verfügung.

Das ASTRA und das BAV haben an der Inspektion von Trapizia eine Nachbesserung verlangt. Die Aussendisplays zeigten bei manueller Fahrt «manual driving» an. Laut Verfügung müssen aber die Hinweise für langsam fahrende Fahrzeuge und die Höchstgeschwindigkeit auf dem hinteren Display angezeigt werden.

Deswegen wurde kurzerhand beschlossen, dass AMoTech die Aussenbildschirme eigenhändig ansteuert. Neu können sie den Inhalt auf den Displays bestimmen und verändern.

Im Grossen und Ganzen funktioniert die Software für den bidirektionalen Betrieb gut. Beim automatisierten Richtungswechsel schalten die Lichter, die Bildschirme und auch die Begleitpersonen-Steuerung um.

Nach unserer Auffassung reagierten die Personen ausserhalb vom Fahrzeug bei einem Kopfwechsel nicht aussergewöhnlich. Dennoch muss hier klar erwähnt werden, dass die Fahrzeuge meistens eine gewisse Zeit stillstanden, bis ein Kopfwechsel gemacht wurde.

7 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.

7.1 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 wurde die zweite Welle der ETH-Studie gestartet. Der Bericht wurde im April 2019 publiziert und wird als Anhang mitgeliefert.

Nachfolgend befindet sich die Zusammenfassung der ETH-Studie:

Wicki, Michael und Bernauer, Thomas (2019) Public Opinion on Route 12. Interim report on the second survey on the pilot experiment of an automated bus service in Neuhausen am Rheinfall, ISTP Paper Series, 4, Institute of Science, Technology and Policy (ISTP), ETH Zürich, Zürich.

Da selbstfahrende Fahrzeuge eine Vielzahl von Vorteilen für das Verkehrssystem im Allgemeinen und für die Reisenden im Besonderen bieten können, ist es unerlässlich, die öffentliche Wahrnehmung dieser technologischen Entwicklung zu untersuchen. Die Durchführung von Testläufen mit autonomen Fahrzeugen bietet dafür eine gute Gelegenheit. Im Zusammenhang mit der Einführung der Linie 12 in Neuhausen am Rheinfall führt das Institute of Science, Technology and Policy (ISTP) der ETH Zürich eine Panelbefragung zur öffentlichen Wahrnehmung des Testlaufs sowie zum autonomen Fahren im Allgemeinen durch. Generell bietet der Testversuch in Neuhausen am Rheinfall aus wissenschaftlicher Sicht eine exzellente Möglichkeit, zu beurteilen, ob und wie sich solche Versuche auf die öffentliche Wahrnehmung speziell in Bezug auf Zweifel und Ängste auswirken. Der aktuelle Bericht beschreibt den Prozess der Datenerhebung und stellt die Ergebnisse dieser zweiten von drei geplanten Befragungen vor. Die zweite Befragung wurde zwischen November 2018 und Januar 2019 unter 957 Teilnehmenden, welche aus der ersten Umfrage rekrutiert wurden (Rücklaufquote 81.7%), durchgeführt. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- *Die Bekanntheit des Testlaufs stieg um ca. 20 Prozentpunkte auf 80%.*
- *Die öffentliche Wahrnehmung der Route 12 und des autonomen Fahrens im Allgemeinen blieb auf hohem Niveau stabil.*
- *Sowohl BewohnerInnen als auch Passagiere bewerten das Projekt der Linie 12 als sinnvoll.*
- *Die Zustimmung für Testläufe ist leicht, aber signifikant gestiegen.*
- *Im Jahr 2018 nutzten insgesamt 20.251 Passagiere den Bus der Linie 12, was durchschnittlich 72 Passagieren pro Tag entspricht. Im Allgemeinen wurden an Wochenenden und heisseren Tagen deutlich mehr Passagiere registriert.*
- *Das Fahrerlebnis mit der Linie 12 wird sowohl von BewohnerInnen und Tagespassagieren als sehr positiv bewertet.*

7.2 Sicht der Projektbeteiligten

Die Akzeptanz der Bevölkerung gegenüber dem Projekt Linie 12 ist im dritten Halbjahr konstant geblieben. Das Projekt ist weiterhin von der lokalen Bevölkerung vollständig akzeptiert.

7.2.1 Erfahrungen mit anderen Verkehrsteilnehmer

Wie bereits in den letzten Halbjahresberichten erwähnt, gibt es unterschiedliche Reaktionen der Verkehrsteilnehmer. Alle Verkehrsteilnehmer müssen sich in einer neuen Situation zurechtfinden.

So reagieren einige Autofahrer wohlwollend und geben dem selbstfahrenden Shuttle Vortritt. Andere sind ungeduldig und üben grenzwertige Überholmanöver aus, auch wenn dies aufgrund von Geschwindigkeitsanpassungen nach unserem subjektiven Empfinden im dritten Halbjahr abgenommen hat.

Dann gibt es verständnislose Autofahrer oder Fahrradfahrer, die ihr Gefährt auf der Fahrspur vom Shuttle parkieren und nicht aus dem Weg gehen möchten. Sie realisieren nicht, dass das Fahrzeug seiner virtuellen Schiene nachfährt und nicht automatisiert ausweichen kann.

Schlussendlich muss die Begleitperson im Shuttle mit dem Fahrer des anderen Fahrzeugs via Handzeichen Kontakt aufnehmen. Momentan existiert noch keine Kommunikation zwischen Fahrer von konventionellen Fahrzeugen und den automatisierten Shuttle.

7.2.2 Erfahrungen mit Fussgänger und Touristen

Bei den Fussgängern haben wir im oberen Streckenabschnitt keine Änderungen festgestellt. Aber dank der Streckenerweiterung konnten weitere, wichtige Erkenntnisse gesammelt werden.

Die Touristen am Rheinfallbecken gehen oft nicht aus dem Weg. Der eine Grund ist sicherlich, dass sie das Prinzip der selbstfahrenden Fahrzeuge noch nicht verstanden haben oder der Meinung sind, dass die Fahrzeuge doch eigenständig überholen oder ausweichen können. Beides ist leider nicht der Fall und die Begleitperson muss die Touristen bitten, den Weg freizumachen. Aus diesem Grund wurde an der Haltestelle Mühleradhaus die Halteposition mit gelben Markierungen für Busse signalisiert.

Der andere Grund ist, dass durch das Rauschen des Rheinfalls das Buzzern des Shuttles schlecht gehört wird.

Zwischen der Haltestelle Rheinfallbecken und Schlössli Wörth verkehrt das Shuttle auf dem schmalsten Abschnitt. Das Fahrzeug hat bei der engsten Stelle lediglich je einen Meter Platz auf der Seite. Bei grossen Touristenaufkommen konnte diese Strecke nur mit sehr viel Geduld befahren werden. Sobald einige Touristen dem Fahrzeug den Vortritt gewähren wollten, wurden diese von anderen Fussgängern überholt und das Fahrzeug erkannte diese wieder als Hindernisse. Dies ging so lange, bis die Strecke vor dem Shuttle komplett frei war, und das Shuttle eigenständig im automatisierten Modus weiterfuhr. Dennoch kann gesagt werden, dass alle Personen erkannt wurden und das Fahrzeug keine kritischen Verkehrsmanöver machte.

7.2.3 Erfahrungen mit Fahrgästen und Bevölkerung

Wie oben im Abschnitt zur ETH-Studie bereits beschrieben, ist die Rückmeldung aus der Bevölkerung sehr positiv. Die Fahrgäste sind interessiert und neugierig und finden das Projekt eine gute Sache. Vor allem mobilitätseingeschränkte Personen profitieren von diesem Angebot. Was sicherlich noch verbessert werden muss, ist das noch mehr Vertrauen in die Technik geschaffen wird. Auch muss die Angst vor Hackerangriffen ernst genommen werden.

8 Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Streckenführung der Linie 12.....	4
Abbildung 2: Streckenführung Linie 12 in Sektoren.....	6
Abbildung 3: Trapizia.....	6
Abbildung 4: Trapizio.....	6
Abbildung 5: Transportierte Personen	8
Abbildung 6: Durchschnittliche Anzahl der beförderten Personen pro Wochentaggruppe	9
Abbildung 7: Durchschnittliche Anzahl der beförderten Personen pro Stunde	9
Abbildung 8: Monatsdurchschnitt der gefahrenen Kilometer pro Tag	10
Abbildung 9: Gefahrene Kilometer	10
Abbildung 10: Linie 12 in bzw. nicht in Betrieb	11
Abbildung 11: Verfügbarkeit.....	11
Abbildung 12: Rhyfall-Express	16
Abbildung 13: Parkverbotstafeln beim Mühleradhaus	17
Abbildung 14: Dellen im Asphalt	26
Abbildung 15: Fahrzeug Details Linie 12	31
Abbildung 16: Linienbild der Linie 12	31
Abbildung 17: Fahrzeugtabelle inkl. Linie 12	32
Abbildung 18: Kamerabilder Trapizio.....	32

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Befahrene Streckenabschnitte im jeweiligen Zeitraum.....	5
Tabelle 2: Fahrplan bis Juni 2019	7
Tabelle 3: Fahrplan ab Juli 2019	7
Tabelle 4: Situationsbeschreibung vom Zwischenfall mit E-Bike-Fahrerin.....	23