

Pilotprojekt VBSH "Linie 12"

Zwischenbericht August 2018

Bericht

5

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	3
1.1 Zweck	3
1.2 Streckenführung	3
1.3 Rundkurs durch das Zentrum von Neuhausen	4
1.4 Oberer Streckenabschnitt	4
2 Beschreibung des Einsatzes	5
2.1 Betriebszeiten	5
2.2 Fakten und Zahlen	5
2.3 Nichtbetrieb – ausser Betrieb	6
2.4 Nichtbetrieb – frühzeitig eingestellt	6
3 Konflikte mit anderen Verkehrsteilnehmern	7
3.1 Schwierige Situationen bei Rechtsvortritt	7
3.2 Erschwerte Eingliederung in den fliessenden Verkehr aus der Haltebucht	9
3.3 Fussgänger testet Bremsverhalten des Shuttles	9
4 Heikle Manöver	11
4.1 Nach Austausch defekter 3D-Lidar Probleme mit der Fahrspur	11
4.2 Eingriff Begleitperson in die automatisierte Fahrt	12
5 Akzeptanz durch andere Verkehrsteilnehmer	13
6 Koordination beim Befahren von Haltestellen	14
7 Erfahrungen zum Zweirichtungsbetrieb	15
8 Problematische Infrastruktur	16
8.1 Baustelle	16
8.2 Fussgängerstreifen	17
8.3 Objekte am Strassenrand	17
9 Verhalten im Verkehr	18
10 Technische Erkenntnisse	19
11 Vernetzung zur Leitstelle	20

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 Fahrzeugen 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.

1.2 Streckenführung

Die Strecke ist in der folgenden Abbildung 1 dargestellt:

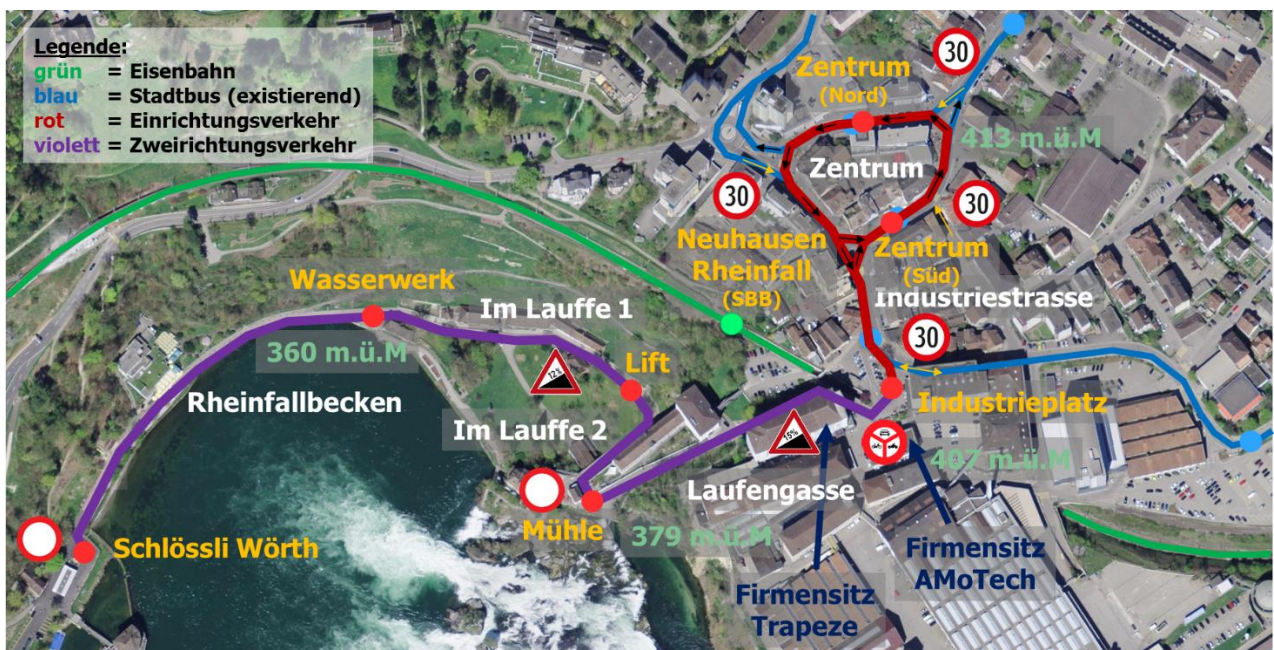


Abbildung 1: Streckenführung

Erweiterte Legende zur Abbildung:

- gelb sind die provisorischen 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 ist Fahrverbot für Motorfahrzeuge
- am Rheinfallbecken und Im Lauffe herrscht allgemeines Fahrverbot
- der Touristenstrom verläuft hauptsächlich dem Wasser entlang (Schössli Wörth – Wasserwerk – Mühle)

Im Berichtszeitraum von April bis August 2018 wurde nur der obere Streckenteil (in der Abbildung rot dargestellt) befahren.

1.3 Rundkurs durch das Zentrum von Neuhausen

Im Zeitraum vom 27. März 2018 (Eröffnung) bis Ende Mai 2018 wurde der Rundkurs durchs Zentrum von Neuhausen befahren. Dieser umfasst sieben Fussgängerstreifen, drei Rechtsvortritte und zwei Haltestellenausfahrten.

Die befahrenen Streckenabschnitte sind die Buchstaben A bis G (siehe Abbildung 2)

1.4 Oberer Streckenabschnitt

Ab Juni 2018 wurde der gesamte obere Streckenabschnitt befahren. Die Abschnitte mit den Buchstaben lauten A bis J.

Die Strecke umfasst zu diesem Zeitpunkt neun Fussgängerstreifen, drei Rechtsvortritte, zwei Haltestellenausfahrten und ein Einbiegen auf die Hauptstrasse (Industriestrasse).

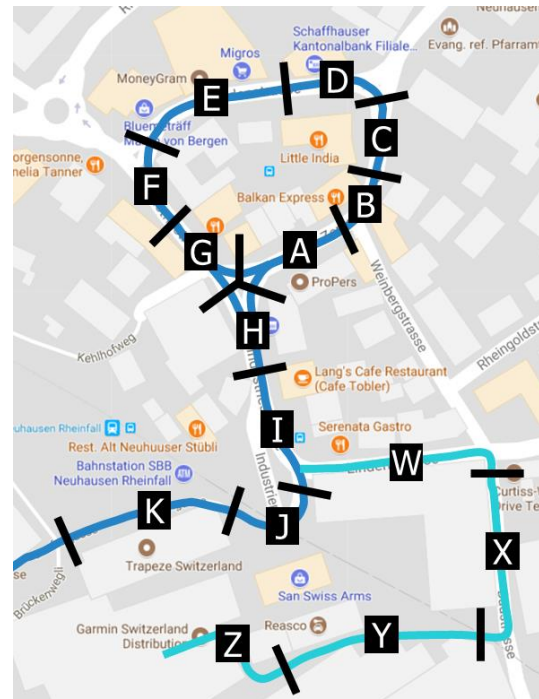


Abbildung 2: Linie 12 oberer Streckenabschnitt

2 Beschreibung des Einsatzes

Seit 2. Februar 2018 sind die Firma AMoTech und die Verkehrsbetriebe Schaffhausen (VBSH) im Besitz der vom ASTRA ausgestellten Verfügung. Aufgrund der Ausleihe an die Verkehrsbetriebe Zürich (VBZ), im Februar/März für vier Wochen, wurde der offizielle Start der Linie 12 auf den Dienstag 27. März 2018 gelegt.

Seit diesem Tag ist das Shuttle, umgangssprachlich auch „Trapizio“ genannt, auf dem oberen Teil der Strecke „Linie 12“ täglich unterwegs. Für den unteren Teil der Strecke ist noch keine Bewilligung vorhanden, da der Zweirichtungsbetrieb durch den Hersteller Navya noch nicht in allen Details so umgesetzt ist, wie mit dem ASTRA abgemacht. Erschwerend kommt hinzu, dass der Antrieb von Trapizio laut Navya entgegen einer zuvor abgegebenen anderslautenden Zusicherung doch nicht darauf ausgelegt ist, die Steigung von bis 15 % im Dauerbetrieb zu bewältigen.

Bereits vor Aufnahme des Betriebs im März 2018 wurde daher mit Navya vereinbart, dass Trapizio durch „Trapizia“ ersetzt wird, eine Weiterentwicklung des Shuttles mit Doppelmotor und Vierradantrieb. Der aktuelle Projektplan sieht vor, dass Trapizia am 8. Oktober 2018 durch ASTRA und BAV inspiziert wird. Nach erfolgter Zulassung und Erweiterung der Verfügung (Versuchsbewilligung) auf den unteren Streckenabschnitt sehen wir vor, noch vor Ende 2018 die ganze Strecke in Betrieb nehmen zu können.

2.1 Betriebszeiten

Die Betriebszeiten sind von Montag bis Samstag zwischen 13:00 und 17:00 Uhr, an Sonntagen und Feiertagen zwischen 10:00 und 18:00 Uhr. Eine Begleitperson bedient den Shuttle jeweils für vier Stunden. Es wird zusätzlich je eine halbe Stunde Vor- und Nachrüstzeit eingeplant. An den Sonntagen/Feiertagen wird die Schicht bei einem kurzen Halt auf der Strecke um 14:00 Uhr gewechselt.

2.2 Fakten und Zahlen

Zwischen Ende März und Ende Juli 2018 hat Trapizio rund 10'000 Fahrgäste transportiert und ist eine Strecke von 1500 Kilometer gefahren. Durchschnittlich sind pro Werktag rund 64 Personen mitgefahren. An den Sonn- und Feiertage wurden durchschnittlich 155 Personen transportiert.

Aufgrund der Streckenerweiterung anfangs Juni wurde die durchschnittlich gefahrene Strecke an einem Werktag von ca. 8 km auf 14 km erhöht. Im Juli fuhren die Begleitpersonen an den Sonntagen eine Strecke von ca. 26 km.

Über die gesamte Dauer fährt das Shuttle mit einer Auslastung von rund 25 %. An Spitzentagen befördern wir in einem 8-stündigen Betrieb bis zu 270 Personen.

Zahlen und Fakten Total (Stand 31.07.2018)

Gefahrene Kilometer [km]	1504
Anzahl transportierte Personen [pers.]	9649
Gesamtauslastung [%]	24.4
Aufgefallene Tage [d] /Stunden [h]	3 / 8
Gefahrene Stunden [h]	592
Personen pro Kilometer [pers./km]	16.3

Zahlen und Fakten Detail
(Stand 31.07.2018)

	Feb. 18	Mär. 18	Apr. 18	Mai 18	Jun. 18	Jul. 18	Summe
Anzahl Tag im Mt. [d]	-	5	30	31	30	31	127
Anzahl Werktag im Mt. [d]	-	4	24	24	26	26	104
Anzahl Feiertage im Mt. [d]	-	1	6	7	4	5	23
Gefahrene Strecke im Mt. [km]	-	49	286	320	364	485	1504
Ø Strecke pro Tag [km]	-	9.8	9.4	10.3	12.1	15.7	11.5
Ø Strecke pro Werktag [km]	-	8.3	7.8	8.3	11.9	13.7	10.0
Ø Strecke pro Feiertag [km]	-	16.0	15.7	16.4	17.5	25.8	18.3
Anzahl Personen im Mt. [pers.]	-	535	2417	1933	1673	3091	9649
Ø Personen pro Tag [pers.]	-	107	81	62	56	100	81.1
Ø Personen pro Werktag [pers.]	-	81	61	43	51	84	63.8
Ø Personen pro Feiertag [pers.]	-	210	159	130	89	184	154.4
Minimum Pers. im Mt. [pers.]	-	50	18	13	0	29	0
Maximum Pers. im Mt. [pers.]	-	210	270	232	139	216	270
Auslastung im Mt. [%]	-	33.8	25.4	19.3	18.6	32.5	24.4

2.3 Nichtbetrieb – ausser Betrieb

Das Fahrzeug war von 127 Tagen (27.03.-31.07.2018) an drei Tagen nicht in Betrieb:

- Am Sonntag 10. Juni 2018 konnte die Begleitperson das Fahrzeug nicht korrekt starten. Nach mehreren Versuchen wurde der korrekte Batteriestand nicht angezeigt, was das Fahren im automatisierten Modus unmöglich machte. Die Begleitperson wurde nach Hause geschickt und am Montag wurde das Problem identifiziert. Die 12-Volt Batterie, welche den korrekten Batteriestand ans Fahrzeug übermittelt, wies eine zu geringe Spannung auf. Die Batterie wurde geladen und anschliessend war der Betrieb wieder möglich
- Am Montag 18. Juni und Dienstag 19. Juni 2018 war das Fahrzeug wegen eines defekten LIDAR-Sensors ausser Betrieb. Dieser musste durch Navya ausgetauscht und neu kalibriert werden.

2.4 Nichtbetrieb – frühzeitig eingestellt

Die Begleitpersonen mussten ihre Schicht vier Mal frühzeitig beenden. Die Gründe waren sehr unterschiedlich:

- Am Dienstag 15. Mai 2018 musste aufgrund von starkem Regen und Gewitter die Fahrt um 15:20 Uhr eingestellt werden.
- Am Sonntag 03. Juni 2018 war der Batteriestand bei 12 %, was, gemäss Vereinbarung mit Navya, die Rückfahrt zur Garage zwecks Laden erforderte.
- Am 27. Juni 2018 kam es zu einem Ereignis (Weiterfahrt des Fahrzeuges bei einer Haltelinie, ohne Abwarten des „GO“-Befehls durch die Begleitperson, siehe §4.2), woraufhin die Begleitperson die Schicht beendete.
- Am Samstag 30. Juni musste die Begleitperson aus privaten Gründen die Schicht frühzeitig beenden.

3 Konflikte mit anderen Verkehrsteilnehmern

Seit dem 27. März 2018 konnten zahlreiche Erfahrungen gesammelt werden. Eine grosse Problematik liegt bei ungeduldigen Verkehrsteilnehmern. Nach einem Halt auf der Strasse beschleunigt das Fahrzeug sehr langsam und andere Verkehrsteilnehmer überholen teilweise auf kritische Art und Weise. Laut Navya wird die Beschleunigung möglichst klein gehalten, damit jederzeit die Sicherheit gewährleistet wird.

Von Fussgänger und Velofahren, wie aber auch von Autofahren werden teilweise Provokationen ausgeübt. Andere Verkehrsteilnehmer bremsen das selbstfahrende Fahrzeug gewollt aus, missachten Rechtsvortritte oder treten absichtlich in den Weg, um das Fahrverhalten des Fahrzeugs zu testen. Einige erfreuen sich über das starke Bremsen des selbstfahrenden Fahrzeugs.

Eine weitere Problematik liegt bei den vielen Falschparkern (siehe Abbildung 3), welche illegaler Weise auf der Haltestellenfläche für längere Zeit parkieren. Die Begleitpersonen müssen die Falschparker oft bitten, die Haltestelle freizugeben.



Abbildung 3: Falschparker bei der Haltestelle Zentrum Nord

Die kritischen Situationen wurden bereits ans ASTRA durch die monatliche Berichterstattung übermittelt. Der Vollständigkeit halber werden diese hier nochmals, teilweise gekürzt, aufgeführt.

3.1 Schwierige Situationen bei Rechtsvortritt

(siehe Monatsbericht April 2018)

Das Shuttle fährt eine abgespeicherte Fahrspur ab. Auf dem Computer des Shuttles werden Geschwindigkeit, Rechtsvortritte (hierfür werden „Vortritts-Bereiche“ definiert; wenn sich ein Objekt in dieser Zone befindet, bleibt das Shuttle stehen oder hält an) und Blinker abgespeichert. Diese Konfiguration kann nur durch das Navya-Personal vor Ort angepasst werden.

Auf dem kleinen 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. Kein Fahrzeug befindet sich im Vortritts-Bereich.
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: Kein Fahrzeug befindet sich im Vortritts-Bereich

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.

Shuttle kontrolliert den Vortritts-Bereich mittels LIDAR-Sensoren und erkennt, dass sich ein Fahrzeug nähert und sich im Erfassungsbereich befindet. Shuttle reduziert Geschwindigkeit teilweise bis zum Stillstand und gewährt dem Fahrzeug Vortritt. 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 und sich im Erfassungsbereich befindet. Shuttle reduziert 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 still aufgrund der Fälle 2 und 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 hatte.

„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 Erschwerte Eingliederung in den fließenden Verkehr aus der Haltebucht

(siehe Monatsbericht April 2018)

An den Haltestellen Zentrum Nord und Zentrum Süd muss sich das Shuttle in den fließenden Verkehr eingliedern. Diese Eingliederung verläuft nicht immer reibungslos. Das Shuttle verhält sich wie ein übervorsichtiger Lernfahrer und hält bei jeder potentiellen Gefahr an.

Laut Verkehrsregelverordnung (Art. 17, Abs. 5, VRV) müssen die von hinten herannahenden Verkehrsteilnehmer die Wegfahrt eines Busses im Linienverkehr bei einer gekennzeichneten Haltestelle ermöglichen. Der Busführer bzw. hier das Shuttle darf die Richtungsblinker erst betätigen, wenn er zur Wegfahrt bereit ist und muss ggf. warten, wenn von hinten herannahende Fahrzeuge nicht rechtzeitig halten können. Deswegen wurde ein Vortritts-Bereich auf der Strasse links neben der Haltestelle eingerichtet. In diesem Bereich erkennt das Shuttle, ob ein Fahrzeug den stehenden Bus überholen wird und gewährt diesem Vortritt.

Bei hohem Verkehrsaufkommen erkennt das Shuttle ständig neue Fahrzeuge die sich nähern und überlässt diesen den Vortritt. Dies macht das Eingliedern fast unmöglich und die Begleitpersonen im Fahrzeug sind auf geduldige Verkehrsteilnehmer angewiesen. Die Wartezeit der anderen Verkehrsteilnehmer ist aber wesentlich höher als normal, was dazu führt, dass auch geduldige Verkehrsteilnehmer das Shuttle manchmal links überholen. Gründe für die lange Wartezeit sind einerseits, dass das Shuttle nach einem Halt auf der Strecke sehr langsam beschleunigt und andererseits, dass die Begleitpersonen die Fahrt mittels Go-Button auf dem Display starten müssen.

Steht nun das Shuttle teils auf der Strasse und teils in der Haltebucht, kann es sein, dass der Vortritts-Bereich noch aktiv ist und das Shuttle anhält, wenn sich ein Fahrzeug von Links nähert. Die Begleitpersonen möchten aber nicht allzu lange in dieser Situation verharren und geben den Go-Befehl sobald ein Verkehrsteilnehmer anhält. Durch das Betätigen der Go-Taste wird zu diesem Zeitpunkt der Vortrittsbereich aufgehoben. Aus dem normalen Strassenverkehr kennen wir Handzeichen und wissen, dass die anderen Verkehrsteilnehmer warten werden. Nun kann es sein, dass die ungeduldigen Verkehrsteilnehmer und das Shuttle gleichzeitig anfangen zu beschleunigen. Die anderen Verkehrsteilnehmer überholen links, halb auf dem Trottoir und halb auf der Strasse, um am Shuttle vorbeizukommen. Da das Shuttle bereits in Bewegung ist, greifen die Begleitpersonen manchmal ein, um eine verkehrskritische Situation zu vermeiden. Ob es zu einem Unfall gekommen wäre, kann hier schlecht beantwortet werden, da die Begleitpersonen immer aufmerksam waren.

Fazit:

Diese Situation kann immer wieder vorkommen, dabei spielt es keine Rolle wann, wo oder welche Wetter- bzw. Strassenverhältnisse vorhanden sind. Durch die aufmerksamen Begleitpersonen im Shuttle konnten jederzeit die verkehrskritischen Situationen vermieden werden.

3.3 Fussgänger testet Bremsverhalten des Shuttles

(siehe Monatsbericht Mai 2018)

Am Sonntag 13.05.2018 um 17:50 Uhr wird das Shuttle von einem mutigen Fussgänger getestet. Die Begleitperson im Fahrzeug fährt eine letzte Runde von der Haltestelle Zentrum Nord zur Haltestelle Zentrum Süd. Zum Zeitpunkt des Geschehens befindet sich das Shuttle im Sektor G.

Plötzlich tritt ein Fussgänger neben dem Fussgängerstreifen und ohne Vorwarnung von rechts auf die Strasse (siehe Bildreihenfolge). Das Shuttle leitet automatisch das Bremsmanöver ein und hält vor dem Fussgänger. Der Fussgänger vergewissert sich nochmals ob das Fahrzeug wirklich angehalten hat und macht wieder den Weg frei. Fahrgäste im Shuttle sowie der Fussgänger wurden nicht verletzt.

**Fazit:**

Auf den Bildern ist zu erkennen, dass der Fussgänger im grünen T-Shirt dieses Vorhaben vorsätzlich provozieren wollte. Glücklicherweise kommen solche Situationen nicht häufig vor, denn auch wenn das Shuttle bremst, ist die Situation unangenehm für die Fahrgäste und Begleitpersonen.

4 Heikle Manöver

4.1 Nach Austausch defekter 3D-Lidar Probleme mit der Fahrspur

(siehe Monatsbericht Juni/Juli 2018)

Am Montag 18. Juni 2018 musste der Betrieb wegen eines nicht funktionsfähigen 3D-Lidar Sensor eingestellt werden. Das Supervision Team von Navya hat per Ferndiagnose festgestellt, dass der Sensor defekt war und ausgetauscht werden musste.

Am nächsten Tag (19. Juni 2018) wurde der Sensor durch das Instandhaltungsteam von Navya ausgetauscht und neu kalibriert. Beim Testen auf der Teststrecke konnte ohne Probleme automatisiert gefahren werden. Die Sensoren haben auf alle Arten von Objekten reagiert und gebremst. Auf der Pilotstrecke selbst wurden keine Tests durchgeführt.

Der Betrieb wurde am Mittwoch 20. Juni 2018 wieder aufgenommen. Bei der automatisierten Fahrt auf der Pilotstrecke haben die Begleitpersonen einen Versatz zwischen der programmierten und der tatsächlichen Streckenführung festgestellt. Die Reaktion der Sensoren hat aber trotz Versatz einwandfrei funktioniert. Das Shuttle hat beispielsweise bei Fußgängern oder Autos regelkonform gebremst. Da die Platzverhältnisse beim Industrieplatz sehr eng sind, konnte aufgrund des Versatzes von rund 1 Meter nicht gewendet werden (Sektor J).

Am Montag 25. Juni 2018 hatte das Navya-Personal den 3D-Lidar Sensor nochmals neu kalibriert, was das Problem mit dem Versatz der Streckenführung behob.

Fazit:

Die automatische Kalibrierung des Sensors hat nicht funktioniert. Durch das manuelle Kalibrieren konnte der Versatz der Streckenführung behoben werden.

Beim nächsten Ersetzen einer Komponente muss noch genauer auf das Verhalten des Fahrzeugs auf der Teststrecke, wie auf der Pilotstrecke geachtet werden.

4.2 Eingriff Begleitperson in die automatisierte Fahrt

(siehe Monatsbericht Juni/Juli 2018)

Auf dem Streckenabschnitt vom Industrieplatz zur Haltestelle Zentrum Süd biegt das Shuttle auf die Industriestrasse ein (siehe Abbildung 4). Das Navya-Personal hat vor dem Einbiegen auf die Industriestrasse einen Zwangshalt programmiert. Bei diesem Zwangshalt wird die Begleitperson im Shuttle aufgefordert, die Situation abzuschätzen und den Befehl für die automatisierte Weiterfahrt („Go-Befehl“) zu erteilen.

Am Mittwoch 27.06.2018 um 15:54 Uhr bog das Shuttle eigenständig auf die Industriestrasse ein, ohne den Zwangshalt durchzuführen und ohne dass die Begleitperson den Go-Befehl gegeben hätte. Die Begleitperson im Shuttle betätigte umgehend die Bremse, um die vortrittsberechtigten Fahrzeuge passieren zu lassen.

Ähnliche Situationen kamen noch einige Male vor. Dank der aufmerksamen Begleitpersonen wurde sofort eingegriffen und es kam zu keiner kritischen Situation.

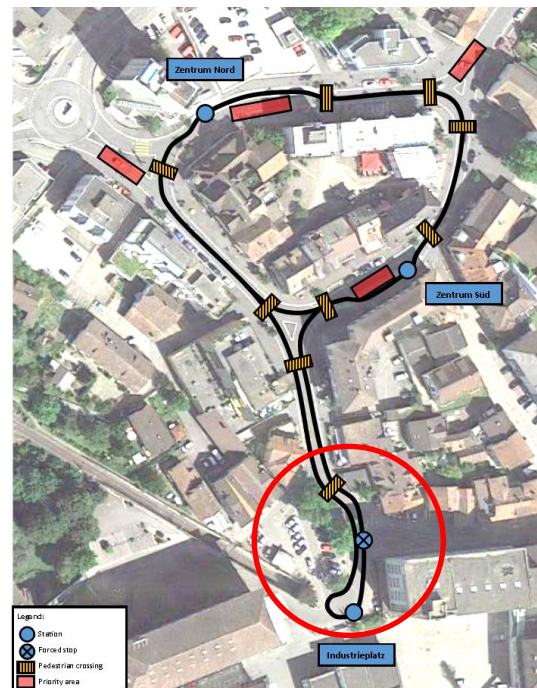


Abbildung 4: Oberer Streckenabschnitt mit Ausfahrt auf Industriestrasse

Fazit:

Es handelt sich um einen systematischen Software-Fehler, wie der Hersteller Navya bestätigt hat. Dieser Fehler kann überall auf der Strecke auftreten. Dieser kann wie folgt herbeigeführt werden:

1. die Begleitperson weicht manuell von der programmierten Strecke ab, z.B. wegen eines parkierten Fahrzeugs oder wegen einer Baustelle
2. das Fahrzeug erkennt dies und meldet den Fehler „Out of path“
3. die Begleitperson fährt manuell auf die Strecke zurück und lässt das Shuttle automatisiert weiterfahren

Jetzt führt das Shuttle den nächsten konfigurierten Zwangshalt zwar wie vorgesehen durch, fährt jedoch gleich wieder weiter, ohne dass die Begleitperson den Go-Befehl geben muss.

Das Problem kann gelöst werden, indem auf dem Display einmal die Stopp-Taste und danach die Go-Taste gedrückt wird.

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

5 Akzeptanz durch andere Verkehrsteilnehmer

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 liegt diesem Bericht als Anhang bei.

Aus Sicht der Projektbeteiligten (Begleitpersonen der VBSH, AMoTech) wurden sowohl das Fahrzeug Trapizio wie auch das Projekt Linie 12 von der lokalen Bevölkerung vollständig akzeptiert. Dies äussert sich sowohl im Verhalten der Verkehrsteilnehmer als auch in den Gesprächen, die im Fahrzeug geführt werden.

Einige der Verkehrsteilnehmer zeigen etwas mehr Geduld, andere weniger. Teilweise werden durch ungeduldige Verkehrsteilnehmer grenzwertige Überholmanöver verübt, teilweise sogar über das Trottoir. Andere wiederum warten neben der Haltebucht und blockieren so den Verkehr, bis das selbstfahrende Shuttle diese verlassen konnte.

Auch bei den Fussgängern gibt es grosse Unterschiede. Die lokale Bevölkerung hat sich daran gewöhnt und überquert den Fussgängerstreifen bereits bevor das Fahrzeug vollständig zum Stillstand gekommen ist. Touristen sind eher skeptisch und warten eher, bis das Fahrzeug steht. Einige Fussgänger testen auch gerne die Reaktion des Fahrzeugs. Sie springen kurz vor dem Fahrzeug auf die Strasse und zwingen es so zur Vollbremsung. In diesen Situationen reagiert das Fahrzeug äusserst zuverlässig.

Die Velofahrer haben sich an das Shuttle gewöhnt und überholen links und rechts. Bei jedem Überholmanöver wird das Shuttle zu einem Bremsmanöver gezwungen. Die Sensoren erkennen die von hinten kommenden Velofahrer und das Shuttle reduziert die Geschwindigkeit. Es ist häufig vorgekommen, dass die Velofahrer kurz nach dem Überholen gewollt vor dem Shuttle einbiegen und lachend zurückschauen. Denn jedes Mal bremst das Shuttle stark, weil die Velofahrer als Hindernisse erkannt werden.

Im Laufe des Projekts kann das Verhalten der anderen Teilnehmer noch weiter untersucht werden. Es ist mit Sicherheit aufschlussreich zu sehen, ob sich das Verhalten über die Zeit verändert.

6 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 synchronisiert mit dem 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. Diese ist im Leitsystem definiert und funktioniert so, 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 umgestiegenen Fahrgäste bis zum Industrieplatz (und zukünftig zum Rheinfall) weiterzubefördern.

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 konventionellen Bus warten und den automatisierten Betrieb unterbrechen. Ansonsten würde das Shuttle den konventionellen 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.

7 Erfahrungen zum Zweirichtungsbetrieb

Im ersten halben Jahr wurde nur der obere Streckenabschnitt befahren. Die Software für den Zweirichtungsbetrieb wurde noch nicht von Navya entwickelt. Geplant ist die Inspektion des neuen Shuttles inkl. der Software mit Bidirektionaler Funktion im Oktober 2018.

8 Problematische Infrastruktur

Änderungen an der Infrastruktur verursachen beim Betrieb des automatisierten Shuttles häufig Probleme. Die Begleitpersonen müssen eingreifen und manuell die Passagen umfahren.

8.1 Baustelle

In Neuhausen am Rheinflall werden im Jahr 2018 diverse bauliche Massnahmen umgesetzt. Auf der Hauptstrasse wird eine Fernwärmezuleitung verlegt. Dabei werden sequenziell Strassenabschnitte aufgerissen und Rohre verlegt. Nachdem ein Abschnitt fertig gestellt wurde, wird der nächste bearbeitet. Die Baustelle befindet sich teilweise auf der Strasse (siehe Abbildung 5, Nr. 1, 6 und 7) oder auf dem Trottoir (siehe Abbildung 5, Nr. 4). Zusätzlich wird im Jahr 2018 das SIG-Areal umgebaut. Die Gebäude werden renoviert, sowie der Vorplatz umgebaut.

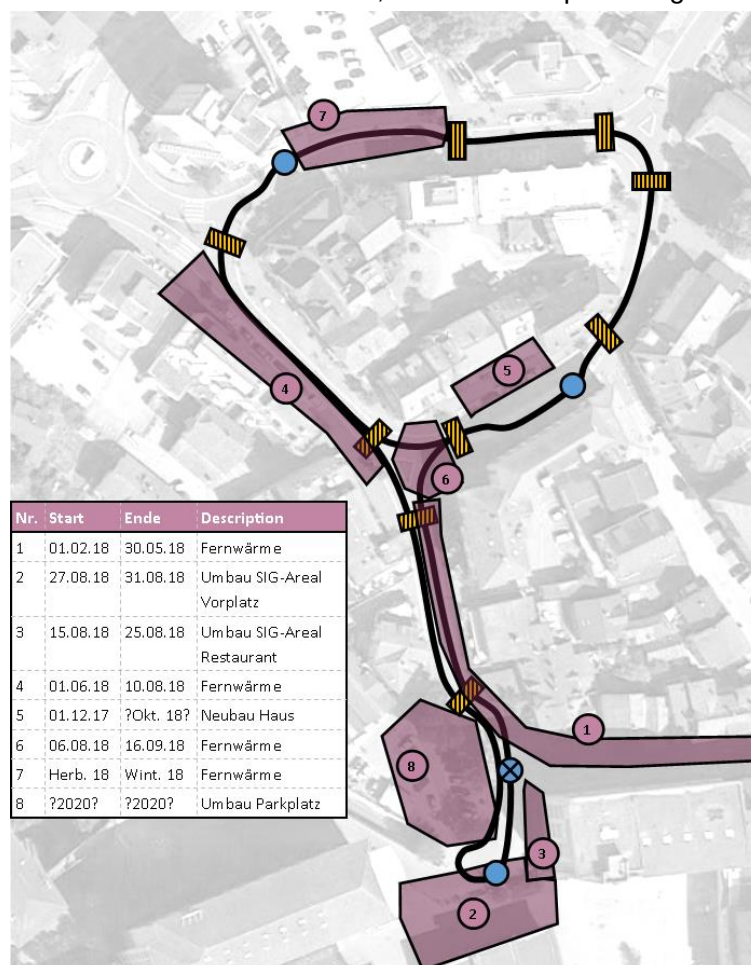


Abbildung 5: Baustellen in Neuhausen am Rheinflall

Durch die vielen Baustellen in Neuhausen mussten die Begleitpersonen vermehrt in die automatisierte Fahrt eingreifen. Die Baustellenabschrankungen ragten teilweise in die Strasse, sodass das Shuttle stoppte und nicht mehr weiterfuhr. Die Begleitpersonen mussten diese Passage manuell umfahren.

Fazit

Änderungen an der Strecke (dazu gehören auch temporäre Änderungen, z.B. Baustellen) führen dazu, dass der automatisierte Betrieb abschnittsweise nicht mehr funktioniert. Da der Übergang zwischen automatisiertem und manuellem Betrieb jedoch problemlos klappt, ist die Auswirkung auf den Fahrbetrieb klein.

8.2 Fussgängerstreifen

Dem Shuttle wurde im Dezember 2017 eine Strecke einprogrammiert. Die Streckenführung, Geschwindigkeiten, Rechtsvortritte, wie auch die Fussgängerstreifen wurden hierbei definiert. Das Shuttle fährt immer die gleiche Strecke mit den eingegebenen Parametern ab. Das Shuttle ist nicht selbstlernend und merkt sich demzufolge die wiederauftretenden Probleme nicht.

Die Erfassungsbereiche bei den Fussgängerstreifen werden auf der Software als Vortritts-Bereiche definiert. Befinden sich Objekte in diesem Bereich, hält das Fahrzeug an und wartet solange, bis dieser wieder frei ist.

Die Bereiche sind normalerweise deckungsgleich mit dem Fussgängerstreifen, umfassen jedoch auch einen kleinen „Wartebereich“ auf dem Trottoir. Befindet sich ein Fussgänger im Bereich, d.h. auf dem Zebrastreifen oder im Wartebereich, so hat dieser Vortritt und das Shuttle hält an.

Befinden sich jedoch unbewegliche Objekte (Strassenlaternen, Abfalleimer) nahe am Fussgängerstreifen oder im Wartebereich, so würde das Shuttle immer anhalten und erst dann weiterfahren, wenn die Go-Taste gedrückt wird.

Fazit

Dies ist momentan für dieses Fahrzeug und seine Software eine Systemgrenze, d.h. es existiert keine zufriedenstellende Lösung

8.3 Objekte am Strassenrand

Nicht nur sichtbare Objekte auf der Strasse stören den automatisierten Betrieb, sondern auch für das menschliche Auge unsichtbare. Im ersten Halbjahr des Betriebs traten immer wieder Situationen auf, in denen das Shuttle ohne von aussen ersichtlichen Grund bremste oder buzzerte.

Beispielsweise reagierte das Shuttle auf sich bewegende Fahnen an einer Laterne. Die Fahnen befinden ca. 3 Meter über Boden. Sie ragen nicht in das Lichtraumprofil des Shuttles, trotzdem bremst das Shuttle bei sich bewegender Fahne manchmal (siehe Abbildung 6).



Abbildung 6: Fahne an einer Laterne



Abbildung 7: Sonnenschirme beim Brauhaus

Auch Sonnenschirme oder andere Objekte am Strassenrand wurden teilweise als Hindernisse erkannt. Durch geringfügiges Verschieben der Sonnenschirme fuhr das Shuttle dann ohne zu Bremsen an den Objekten vorbei (siehe Abbildung 7).

9 Verhalten im Verkehr

Das Verhalten des Shuttles im Verkehr ist grundsätzlich gut. Das Einhalten der Verkehrsregeln (Rechtsfahrgebot, Vortritte, etc.) kann durch die Konfiguration der „virtuellen Schiene“ sowie zusätzliche Konfiguration (Vortrittsbereiche, Geschwindigkeiten, Haltepositionen) erreicht werden.

Natürlich muss die Konfiguration immer wieder angepasst werden, wenn sich die Umgebung temporär oder permanent ändert. Das Fahrzeug lernt nicht selbst und führt auch seine Karte nicht selber nach.

An den zahlreichen Fussgängerstreifen auf der Strecke hält das Shuttle sofern sich Personen auf dem Fussgängerstreifen sind, zuverlässig an.

Auf der Strecke sind Situationen anzutreffen, die dafür sorgen, dass das Fahrzeug seine programmierte Strecke nicht ohne Störung abfahren kann:

- Falschparker auf dem Trottoir;
- abgestellte Fahrzeuge auf der Bushaltestelle,
- Fahrzeuge die zwar in eingezeichneten Parkfeldern stehen, die aber zu Teil in die Fahrbahn ragen (Bank Clientis)

Das Fahrverhalten des Fahrzeugs ist sehr defensiv. Insbesondere wird das beim Ausfahren aus einer Haltestelle oder beim Abbiegen sichtbar. Durch defensives Fahrverhalten verhält sich das Fahrzeug zögerlich. Es bleibt nach einem Halt länger stehen und beschleunigt langsamer als herkömmliche Fahrzeuge.

Beim Linksabbiegen aus dem Industrieplatz wird ein Zwangshalt durchgeführt. Die Begleitperson gibt den Go-Befehl, um das Fahrzeug weiterfahren zu lassen. Dies wurde aus Sicherheitsgründen so konzipiert.

10 Technische Erkenntnisse

Aufgrund der in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Systemgrenzen ist klar ersichtlich, dass das Shuttle von Navya noch weiter entwickelt werden muss. Navya ist eine Software-Firma. Sowohl aus dem Blickwinkel „Autobau“ als auch aus dem Blickwinkel „öffentlicher Verkehr“ bestehen Mängel, wurden aus unserer Sicht ungünstig konzipiert oder unterliegen einem Denkfehler.

Beispielsweise ist das Prinzip der Türsteuerung 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.

Ein anderes Beispiel ist das Prinzip des Radeinschlags beim Wenden in sehr kleinen Radien. In der Theorie sollen die inneren Räder mehr einschlagen als die äusseren. Beim Navya Shuttle haben beide Räder den gleichen Einschlag. Dadurch werden die äusseren Räder über den Strassenbelag geschoben und verursachen Belagsschäden.

Weitere erwähnenswerte Punkte sind: Die Klimaanlage tropft ins Innere des Fahrzeugs und braucht sehr viel Strom. Die Bedienschalter für Klimaanlage, Scheibenwischer oder die Position der pneumatischen Federung sind nicht über Display ansteuerbar und umständlich montiert.

11 Vernetzung zur Leitstelle

Die Vernetzung zur Leitstelle erfolgt aktuell über die Smartphone-App „SmartVLU“. Nach Eingabe der Linie und des Kurses wird das Shuttle in der Leitstelle angemeldet (siehe Abbildung 8 und Abbildung 9) und hat eine Fahrplananlage.

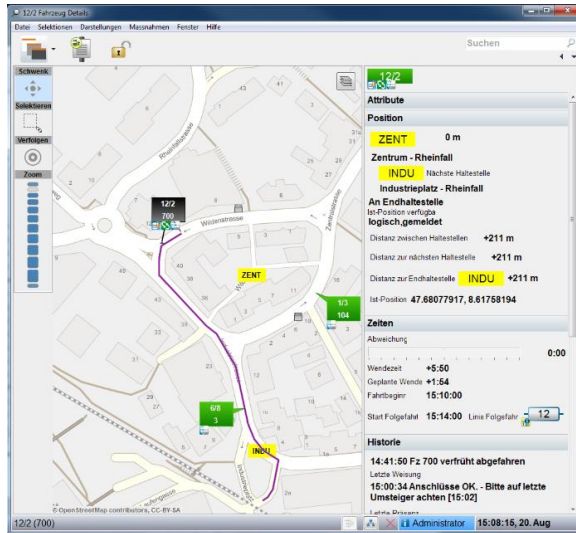


Abbildung 8: Fahrzeug Details Linie 12

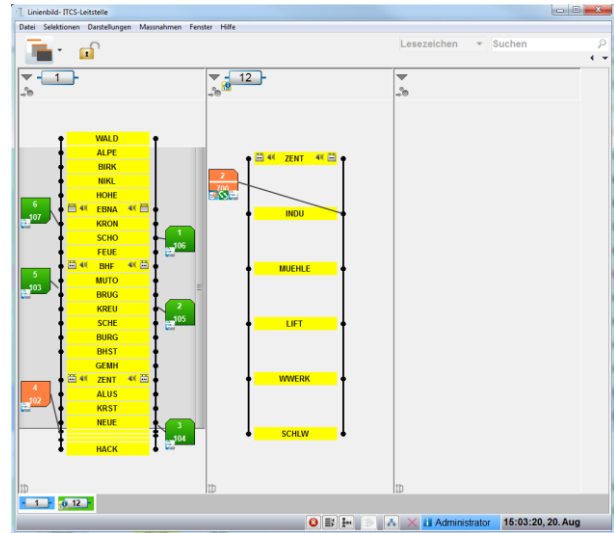


Abbildung 9: Liniebild der Linie 12

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

Verzögerungen im Fahrplan können verursacht werden durch Verkehrssituationen (Stau, Abendverkehr) oder grossen Fahrgastandrang (Touristengruppen, ...). Bei einer uneinholbaren Verspätung kann ein Umlauf ausgelassen werden.

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

Für die aus Schaffhausen ankommenden Fahrgäste der Linie 1 wurde eine Anschlusssicherung eingerichtet. 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 er losfahren kann. Diese Meldungen werden auch in der Leitstelle dargestellt (siehe Abbildung 10). Zur Linie 6, welche diese Haltestelle ebenfalls bedient, besteht keine Anschlusssicherung.

Die Haltestelle Zentrum Süd ist zu kurz, um Trapizio warten zu lassen. Trapizio muss weiterfahren, bevor der Bus der Linie 1 in die Haltestelle einfährt. Eine Anschlusssicherung ist hier deshalb nicht möglich.

Dieses Konzept und das Zusammenspiel der drei Linien klappen reibungslos.

Fahrzeugtafel: RCS-Linien

Daten

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 besteht
4	6/3	DE	0 m	Dienstfahrt	0:00	+30:30	Rivelli Valentino	
321	25/8	RHEM	+182 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	Bannaku Ismail	14:47:51 Anschlüsse OK - Bitte auf letzte Umsteiger achten [14:51]
21	6/1	ZENT	0 m	Falkeneck via Kantons	-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 228017000144911 SH 49090	12/2	INDU	0 m	LEER	-1:40	-1:40	Harlacher Monika	14:41:50 Fz 700 verfrüht abgefahren
	12	ZENT		Zentrum - Rheinfall			Soll Fahrer-ID	15:00:34 Anschlüsse OK - Bitte auf letzte Umsteiger achten [15:02]
Navya-Arma-DL4 SCHAFFHAUSEN BUS VB5H	1202	An Endhaltestelle		Zentrum - Rheinfall			Letzte Präsenz	15:05:44
	1202	Ist-Position verfügbar logisch gemeldet		Start Folgefahrt 15:10:00			Distanz zur Endhaltestelle +313 m	Letzte Sprechverbindung
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 Säntisstrasse	-0:50	-0:50	Gleichauf Wolfgang	14:44:07 Anschlüsse OK - Bitte auf letzte Umsteiger achten [14:47]

81/81

Administrator

15:05:55, 20. Aug

Abbildung 10: Fahrzeugtabelle inkl. Linie 12

Die Kamerabilder die im Fahrzeug und ausserhalb (vorne und hinten) erfasst werden (siehe Abbildung 11), werden in der Leitstelle dargestellt. So ist der Disponent zu jedem Zeitpunkt über die Situation im bzw. ausserhalb des Fahrzeugs 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.



Abbildung 11: Kamerabilder Trapezio