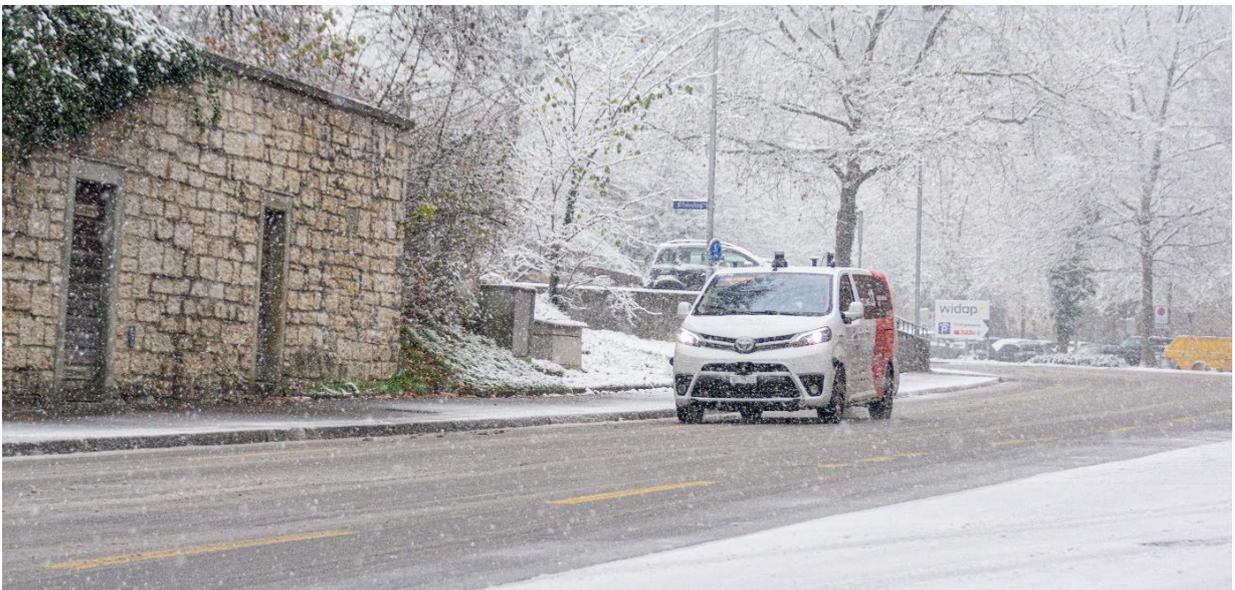


«STL Linie 13», Schaffhausen

Halbjahresbericht 2: Projektverlauf und Erkenntnisse im zweiten Halbjahr nach Bewilligung durch die Geschäfts- stelle des UVEK



Verfasser: A. Kaiser, C. Nägeli, C. Mauelshagen

Periode: September 2023 bis Februar 2024

Schaffhausen, 12.03.2024

Swiss Transit Lab

Freier Platz 10 | 8200 Schaffhausen | Switzerland

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	3
2 Das Projekt in Kürze	3
3 Übersicht der Meilensteine	4
4 Betrieb zwischen September 2023 und Februar 2024.....	5
4.1 Hervorragende technische Zuverlässigkeit trotz Ausfalltagen.....	5
4.2 Vereinzelte Systemstörungen	5
4.3 Insolvenz des Technologiepartners hindert Weiterentwicklungen.....	5
4.4 Entwicklungsbedarf bei Fahrspur, Überholmanövern, fallendem Laub und Schnee	6
4.5 Reibungsloses Miteinander zwischen Bus und Velofahrenden.....	6
4.6 Zwei technische Systemausfälle konnten schnell behoben werden.....	7
4.7 Zuverlässiges und motiviertes Fahrpersonal	7
4.8 Passagieraufkommen weiterhin auf bescheidenem Niveau	7
4.9 Testweiser Abendbetrieb und ein erster Schritt in Richtung «on-demand»	8
4.10 Projekt stösst auf reges Interesse bei Politik und Wirtschaft.....	9
5 Sicherheitsrelevante Vorkommnisse	10
6 Betriebskennzahlen Mai 2023 bis Februar 2024	10
7 Erkenntnisse aus dem Betrieb der «STL Linie 13»	12
7.1 Robustheit der Technologie bestätigt.....	12
7.2 Allwettertauglichkeit auch bei Schneefall und schneebedeckten Strassen.....	12
7.3 Herausfordernde Umgebungsbedingungen durch hohes Gras und fallende Blätter	12
7.4 Kein Fortschritt auf dem Bereich Fahrkomfort	13
7.5 Zusammengefasste Ergebnisse Akzeptanzstudie	13
7.6 Anzeichen der Etablierung der «STL Linie 13» im Mühlental.....	14
8 Ausblick.....	15

1 Einleitung

Dieser Bericht knüpft an den ersten Halbjahresbericht zur «STL Linie 13» vom 17. Oktober 2023 zuhänden des Bundesamts für Strassen (ASTRA) an und fasst die Ereignisse und Erkenntnisse des Betriebs zwischen September 2023 und Februar 2024 zusammen. Auf den Projektbescrieb und eine Übersicht der erreichten Meilensteine folgt ein umfassender Beschrieb des Pilotbetriebs in der betreffenden Periode. Dabei werden Projektverlauf, die Betriebskennzahlen, spezielle Vorkommnisse sowie aufgetretene Herausforderungen im Betrieb der «STL Linie 13» dargestellt.

2 Das Projekt in Kürze

Erstmals wird in der Schweiz ein automatisiertes Fahrzeug mit Dual-Mode-Technologie auf öffentlichen Strassen eingesetzt. Zum Einsatz kommt ein handelsübliches Elektrofahrzeug der Marke Toyota, aufgerüstet mit Sensor- und Aktor-Technologie für automatisiertes Fahren des finnischen Technologieanbieters Sensible4.

Mit der «STL Linie 13» erprobt das Swiss Transit Lab (STL) den Einsatz neuester Technologien im öffentlichen Strassenverkehr und die Anbindungen der ersten bzw. letzten Meile. Weiter liegt der Fokus auf der Nutzung und Entwicklung künftiger Mobilitätsdienstleistungen unter Berücksichtigung der Bedürfnisse der Fahrgäste. Zentral dabei sind Fragen der gesellschaftlichen Akzeptanz, Kommunikation und Beteiligung verschiedener Interessensgruppen. Das Pilotvorhaben wird direkt im Zentrum von Schaffhausen zwischen dem Bahnhof und dem neu entwickelten Areal Stahlgieserei realisiert. Mit an Bord ist immer auch eine Sicherheitsfahlerin oder ein Sicherheitsfahrer, welche/r die Fahrt überwacht und bei Bedarf eingreifen kann.

Für das Pilotprojekt wurden vier Forschungshypothesen aufgestellt, welche das STL mit dem Betrieb der «STL Linie 13» prüfen möchte:

- **Hypothese 1:** Die Dual-Mode-Technologie führt im Vergleich zu einem spezifischen automatisierten Shuttle zu einer besseren Einsatzfähigkeit mit weniger Ausfallzeiten, einfacher Manövrierfähigkeit und geringeren Betriebskosten.
- **Hypothese 2:** Der gewohnte «Look-and-Feel» sowie die Funktionsweise des OEM-Fahrzeugs wird die Akzeptanz und das Vertrauen bei den Passagieren und der Bevölkerung im Allgemeinen erhöhen.
- **Hypothese 3:** Der Dual-Mode-Minibus mit Sensible4-Technologie ist fähig, die programmierte Strecke hochautomatisiert (Level 4, ohne Eingriff des Sicherheitsfahrpersonals) zu befahren.
- **Hypothese 4:** Die Technologie unseres Partners Sensible4 ist in der Lage, unter allen in der Schweiz zu erwartenden widrigen Wetterbedingungen sicher zu funktionieren.

Am 29. April 2023 startete der Pilotbetrieb der «STL Linie 13». Per Ende August 2023 verfasste das STL den ersten Halbjahresbericht zuhänden des ASTRA. Dieser Bericht informierte zusammengefasst über folgende Vorkommnisse und Erkenntnisse seit Genehmigung des Pilotbetriebs:

- Die technische Verfügbarkeit des Busses lag bei 99%. Das Sensible4-System (Hardware und Software) erwies sich demnach als sehr robust.
- Für die Schulung des Sicherheitsfahrpersonals sind angemessene Zeitfenster einzuplanen, um sich mit dem Fahrzeug vertraut zu machen. Die Bedienung des Fahrzeugs, der Automatisierungs-Software sowie die Überwachung des Verkehrsgeschehens waren und sind nach wie vor anspruchsvoll.
- Hohe Gräser der ökologischen Ausgleichsflächen entlang der Pilotstrecke beeinflussten im Frühling 2023 das Fahrverhalten des Busses im automatisierten Modus. Dies führte teils zu knappen Überholmanövern durch andere Verkehrsteilnehmende.
- Die Fahrgastzahlen lagen unter den Erwartungen und konnten mit entsprechenden Bekanntmachungsmassnahmen nur bedingt erhöht werden.
- Die «STL Linie 13» sorgte national und international für Aufmerksamkeit – nebst Empfängen von Delegationen aus der Schweiz, Deutschland und China bestand auch seitens der Medien ein beachtliches Interesse.

Die automatisierte Buslinie «STL Linie 13» ist aktuell an Wochentagen und samstags zwischen 10.00 Uhr und 14.00 Uhr im Betrieb.

3 Übersicht der Meilensteine

Im ersten Jahr seit Erteilung der Bewilligung durch die Bundesämter (Februar 2023 bis Februar 2024), verlief das Projekt «STL Linie 13» entlang der folgenden Meilensteine. In den Zeitraum dieses Berichts fallen die Ereignisse zwischen September 2023 und Februar 2024 (in schwarz hervorgehoben).

Termin / Zeitraum	Meilenstein
03.02.2023	Erteilung der Verfügung für das Pilotprojekt «STL Linie 13 Schaffhausen» durch die Geschäftsstelle des UVEK
04.02.2023 bis 27.02.2023	Rekrutierung Sicherheitsfahrer und Sicherheitsfahrerinnen für die «STL Linie 13»
27.02.2023 bis 12.03.2023	Mapping Pilotstrecke Mühlerental durch Sensible4 und funktionale Testfahrten mit dem Fahrzeug
13.03.2023 bis 27.04.2023	Schulungen der neun Sicherheitsfahrer und Sicherheitsfahrerinnen auf dem Testgelände ZVS und im Mühlerental
24.03.2023	Launch Event «STL Linie 13» mit virtueller Fahrt in der Rhyality Immersive Art Hall in Neuhausen
28.04.2023	Offizielle Eröffnung der «STL Linie 13» mit ersten Fahrgästen auf Betriebsfahrt
29.04.2023 bis 31.08.2023	Ordentlicher Betrieb , Montag bis Samstag von 10:00 bis 14:00 Uhr; diverse Empfänge von Delegationen aus dem In- und Ausland
26.06.2023	Mitteilung des Technologiepartners Sensible4 zur Einleitung des Insolvenzverfahrens des Unternehmens Sensible4 .
31.08.2023	Vier Monate stabiler und reibungsloser Betrieb mit rund 770 Fahrgästen und 1900 gefahrenen Kilometern
17.10.2023	Erster Halbjahresbericht zuhanden des ASTRA
02.12.2023	Reibungsloser Betrieb bei Schneefall und schneebedeckter Strasse : Weitere Bestätigung der Hypothese «Allwettertauglichkeit»
27.12.2023	200 Betriebstage «STL Linie 13» ohne signifikante Zwischenfälle und Ausfallzeiten
31.12.2023	Erfolgreicher Abschluss des Förderprojekts durch die Regional- und Standortentwicklung (RSE) des Kantons Schaffhausen
31.12.2023	Abschluss Datenerhebung Akzeptanzstudie sowie Aufbereitung der Resultate für die Publikation
08.01.2024 bis 20.01.2024	Testweiser Abendbetrieb der «STL Linie 13» von 19:00 bis 22:00 Uhr (entsprechende Dokumentation und Ergebnisse in diesem Bericht)
29.02.2024	Zehn Monate stabiler und reibungsloser Betrieb mit rund 1'700 Fahrgästen und 4'700 gefahrenen Kilometern

4 Betrieb zwischen September 2023 und Februar 2024

Während der zweiten Berichtsperiode von September 2023 bis Februar 2024 lag der primäre Fokus auf der Fortsetzung des sicheren und stabilen Pilotbetriebs. Der Herbst und Winter standen im Zeichen der Überprüfung der Hypothese 4 («Allwettertauglichkeit»). Ebenfalls von Bedeutung waren statistische Erhebungen für die projektbegleitende Akzeptanzstudie, der weitere Wissenstransfer zu den diversen Anspruchsgruppen sowie versuchsweise Weiterentwicklungen des Betriebsangebots. Alle Aktivitäten und Erkenntnisse sind in den folgenden Unterkapiteln zusammengefasst.

4.1 Hervorragende technische Zuverlässigkeit trotz Ausfalltagen

Insgesamt verlief der Betrieb im Betrachtungszeitraum September 2023 bis Februar 2024 sehr gut. Die «STL Linie 13» war in diesem Zeitraum 600 Stunden im ordentlichen Einsatz (seit Betriebsbeginn total 1'000 Stunden). An 9 Tagen fiel der Betrieb aus technischen Gründen aus (siehe Kapitel 4.6). Mechanische Probleme am Fahrzeug gab es keine. Am 8. September 2023 ereignete sich während des Betriebs ein Auffahrunfall (siehe Kapitel 5). Das Fahrzeug wurde leicht beschädigt und konnte nach einem eingehenden Funktionstest weiter betrieben werden. Ein paar Tage später befand es sich für einen Tag in Reparatur und war damit ausser Betrieb. Unter Einbezug dieser Ausfälle ergibt sich nach wie vor eine technische Verfügbarkeit von über 95%. Alle Ausfälle wurden auf der Website des STL kommuniziert.

4.2 Vereinzelte Systemstörungen

Im Normalfall kann der automatisierte Modus nach einem Bremsmanöver oder nach manuellem Eingriff durch die Sicherheitsfahrperson problemlos wieder aktiviert werden. Vereinzelt stellen die Sicherheitsfahrerinnen und Sicherheitsfahrer allerdings Systemfehler fest, welche den automatisierten Betrieb kurzzeitig beeinträchtigen können. Dabei muss die Begleitperson das Fahrzeug nach einem der manuellen Eingriffe im manuellen Modus zur Stahlgiesserei fahren und dort die Sensible4-Software neustarten. Zum jetzigen Zeitpunkt ist noch unklar, was die Systemfehler verursacht. Die Fehler treten in unregelmässigen Abständen und im Durchschnitt etwa einmal pro Woche auf. In seltenen Fällen berichteten die Begleitfahrerinnen und -fahrer zudem von Notbremsungen ohne erkennbaren Grund. Das heisst, der Bus bremst abrupt ab, ohne dass sich ein Objekt in der Kollisionszone (sogenannte rote Zone) befindet. Das Fahrpersonal kann diesen Bremsungen aufgrund derer Unvorhersehbarkeit nicht vorbeugen. Über einen «Record-Button» auf dem Bildschirm können sie die Situation jedoch rapportieren, sodass später theoretisch eine Auswertung möglich ist. Zudem sind sie als Gegenmassnahme seit Beginn des Betriebs darauf sensibilisiert, zu kontrollieren, dass die Passagiere die Sicherheitsgurte tragen. Eine Häufung der Vorkommnisse ist nicht erkennbar, das STL sieht daher im Moment keinen Handlungsbedarf. Eine Fehleranalyse ist zurzeit aufgrund des Insolvenzverfahrens des Technologieproviders Sensible4 nicht möglich.

4.3 Insolvenz des Technologiepartners verhindert Weiterentwicklungen

Im ersten Halbjahresbericht hat das STL über den Umstand des Insolvenzverfahrens des finnischen Technologieproviders Sensible4 berichtet. An diesem Umstand hat sich bis dato nichts geändert. Das Konkursverfahren von Sensible 4 läuft noch und daher gibt es für den Verein STL derzeit keine Nachfolgegesellschaft, welche für den Support oder die Weiterentwicklung von Software und System zuständig ist. Die früheren Kontaktpersonen und Fachexperten von Sensible4 haben das Projekt «STL Linie 13» bei Bedarf jedoch weiterhin remote bei der Fehlerbehebung unterstützt, auch wenn diese heute für andere Firmen im vergleichbaren Technologieumfeld tätig sind.

Dieser Umstand wirkt sich wie folgt auf das Projekt «STL Linie 13» aus. Der Komfort und die Funktionalität des Fahrzeugs auf der Strecke entsprechen weiterhin nicht den durch das STL formulierten Anforderungen – keiner dieser Punkte ist jedoch sicherheitsrelevant. Das Pilotprojekt hätte von geplanten Optimierungen und Weiterentwicklungen des Sensible4-Systems profitieren sollen. Ob sich dieser Umstand nach der Beendigung des Insolvenzverfahrens ändern wird, ist weiter

ungewiss. Es ist positiv hervorzuheben, dass die Insolvenz kaum Einfluss auf den laufenden Betrieb der «STL Linie 13» hat.

4.4 Entwicklungsbedarf bei Fahrspur, Überholmanövern, fallendem Laub und Schnee

Aufgrund der erwähnten Insolvenz von Sensible4, erfolgten keine Anpassungen und Weiterentwicklungen an der Fahrspur, dem Fahrverhalten und allgemeinen Systemfunktionalitäten. Der grösste Handlungsbedarf besteht weiterhin bei Überholmanövern durch andere Verkehrsteilnehmende. Spürt ein überholendes Fahrzeug knapp vor dem Bus wieder ein, vollzieht der Bus ein abruptes Bremsmanöver. Die Software ist damit weiterhin nicht in der Lage sich vom Fahrzeug entfernende Objekte und deren geringes Risikopotenzial zu interpretieren. Die Sicherheitsfahrerinnen und Sicherheitsfahrer können diese Manöver abwenden, indem sie vorausschauend manuell abbremsen und so den Abstand zum überholenden Fahrzeug vergrössern. Vollständig verhindern lässt sich das starke Bremsverhalten jedoch nicht, weshalb dies weiterhin ein Risiko für nachfolgende Verkehrsteilnehmende darstellen kann. So führte ein solches Bremsmanöver am 8. September 2023 zu einem Zwischenfall mit einem hinter dem Bus fahrenden Personenwagen (siehe Kapitel 5).

Im Frühjahr 2023 verschärfen die am Strassenrand wachsenden Gräser und Büsche die Problematik der Überholmanöver (siehe erster Halbjahresbericht). Seit die Gräser Mitte Juni zurückgeschnitten wurden, traten keine Probleme mehr auf. Ein neues Phänomen zeigte sich jedoch im Herbst 2023, als es während rund zwei Wochen starken Laubfall gab. Die Hälfte der Fahrstrecke wird von einer Allee gesäumt. Grosse Blätter oder durch Windböen verursachte «Laubwolken» wurden durch die Sensoren erfasst und vom System als Objekte in der Gefahrenzone interpretiert. Je nach Distanz und Position zum Fahrzeug verursachten sie Brems- oder gar Stopp-Manöver. Da diese Stopps für die Fahrerinnen und Fahrer schwierig vorhersehbar waren, konnten sie in der Regel nicht präventiv eingreifen, obschon sie kurzfristig darauf sensibilisiert wurden. Das Problem beschränkte sich auf wenige Tage, weshalb das STL keine mittel- und längerfristigen Massnahmen ergriff. Das Verhalten wurde entsprechend dokumentiert, damit diese Erkenntnisse in spätere Projekte einfließen können.

Ebenfalls saisonal und meteorologisch bedingt ist die Fahrfähigkeit im Winter. Die «STL Linie 13» konnte an allen Schneetagen ohne Einschränkungen im automatisierten Betrieb verkehren. Einziges Hindernis bildeten Schneehaufen, welche vereinzelt durch die Strassenräumung entstanden waren. Erreichten diese Haufen ein zu grosses Ausmass (bezüglich Höhe), wurden sie durch die Sensoren erfasst und vom Bus als Objekt in der Gefahrenzone erkannt. Die Fahrerinnen und Fahrer mussten in der Folge das Fahrzeug manuell um diese Haufen herum chauffieren und danach wieder in den automatisierten Modus umschalten. Das kam insbesondere bei der Haltebucht bei der Busstation am Bahnhof Nord vor.

Das Brems-, Steuer- und Beschleunigungsverhalten sowie die Geschwindigkeit sind im Vergleich mit trockener Strasse unverändert. Das System ist nicht in der Lage seine Fahrweise den geänderten Strassenverhältnissen automatisch anzupassen. Mit den maximal möglichen 30 km/h sowie den programmierten Sicherheitsabständen stellte sich dieser Mangel im Fall der «STL Linie 13» nicht als problematisch heraus. Es ist für zukünftige Projekte und insbesondere bei höheren Geschwindigkeiten zu berücksichtigen, ob respektive dass die entsprechende automatisierte Fahrzeugtechnologie ihre Fahrweise automatisch den Umständen anpassen kann.

4.5 Reibungsloses Miteinander zwischen Bus und Velofahrenden

Im September 2023 wurden die Fahrradstreifen im Mühlental verbreitert. Auf das Fahrverhalten des Busses hatte diese Verbreiterung keinen Einfluss. Aufgrund der bestehenden Sondererlaubnis für «prinzipielles Fahren auf dem Radstreifen» des ASTRA musste die programmierte Fahrspur nicht angepasst werden. Auch führte die Verbreiterung nicht dazu, dass entgegenkommende Fahrzeuge zu weit in der Strassenmitte verkehren und die Fahrspur bzw. die Sicherheitszone der «STL Linie 13» kreuzen.

Die Sondererlaubnis des ASTRA erlaubt der «STL Linie 13» permanent rechts auf dem Radstreifen zu fahren, so dass der Bus rechts nicht überholt wird. In der Folge kommt es in seltenen Fällen vor, dass ein Fahrrad oder E-Bike links überholt. Das Begleitpersonal bremst in diesen Situationen aus Sicherheitsgründen manuell ab, um den Velofahrenden genügend Raum zum Einspuren zu lassen und gleichzeitig einem Stopp des Busses vorzubeugen. Weiterhin stellten die Sicherheitsfahrerinnen und Sicherheitsfahrer keine Störungen mit Fahrradfahrenden fest.

4.6 Zwei technische Systemausfälle konnten schnell behoben werden

Im Oktober und November führten zwei technische Systemfehler zu Betriebsausfällen von sieben bzw. zwei Tagen.

Am 7. Oktober 2023 liess sich die Software nach einem Neustart des Computers nicht mehr aufstarten. Der Sicherheitsfahrer konnte den automatisierten Betrieb nicht plangemäss aufnehmen und musste das Fahrzeug zur Garage fahren. Da kein IT-Support durch den früheren Technologieprovider Sensible4 möglich war, versuchte das STL mit Unterstützung der Verkehrsbetriebe Schaffhausen (VBSH) den Fehler zu finden und zu beheben. Dabei beschränkten sich die Möglichkeiten auf mechanische Ursachen. Als diese ausgeschlossen werden konnten, nahm das STL Kontakt mit ehemaligen Mitarbeitenden von Sensible4 auf, um das Problem zu lokalisieren und lösen. Einer der früheren Entwickler stellte fest, dass gewisse Dateien automatisch gesperrt worden waren und dies das Aufstarten der Software blockierte. Dieses Problem war in ähnlicher Form bereits früher bei der Sensible4-Software aufgetreten. Innerhalb eines Tages konnte der Entwickler die Sperrung beheben. Nach sieben Tagen Ausfall war der Bus wieder einsatzbereit. In dieser Zeit war der Betrieb der «STL Linie 13» eingestellt.

Zu einem zweiten Ausfall kam es am 7. November 2023. Der Computer liess sich nach der Mittagspause nicht mehr starten. Dieses Mal war der Fehler dank Hinweisen des früheren Sensible4-Entwicklers rasch behoben. Ein Linux-Speicher-Medium war vollgelaufen und musste geleert werden. Danach konnten der Computer und die Software wieder normal gestartet werden. Nach zwei Tagen war der Bus wieder in Betrieb. Da sich der Linux-Speicher automatisch füllt, muss davon ausgegangen werden, dass das Problem erneut auftreten kann. Das STL hat eine Anleitung erstellt, wie der Speicher geleert werden kann. Die Leerung wird in Abständen von zwei Monaten regelmässig vorgenommen werden, um Betriebsausfällen vorzubeugen.

Beide Vorfälle hatten keinerlei Einfluss auf die Sicherheit des Fahrzeugs oder des Betriebs. Weitere technische Probleme traten während der Berichtsperiode keine auf.

4.7 Zuverlässiges und motiviertes Fahrpersonal

Seit August 2023 stehen die gleichen sieben Sicherheitsfahrerinnen und Sicherheitsfahrer im Einsatz und gewährleisten den lückenlosen Betrieb der «STL Linie 13». Nebst sicherheitsrelevanten Aufgaben haben sie eine wichtige Kommunikationsfunktion. Sie geben Auskunft zum Fahrzeug und repräsentieren das STL gegenüber der lokalen Bevölkerung und Interessierten. Gleichzeitig rapportieren sie Ereignisse und Erkenntnisse an das STL und leiten wichtige Rückmeldungen aus der Bevölkerung weiter. Alle zwei Monate findet ein Austausch mit den Begleitpersonen statt. Diese dienen dem einfachen und effizienten Kommunikationsfluss und ermöglichen es dem Verein STL, Fragen zu beantworten und Kritik und Anregungen aufzunehmen. Der Austausch entstand auf Wunsch der Begleitpersonen und hat sich seit September 2023 etabliert.

4.8 Passagieraufkommen weiterhin auf bescheidenem Niveau

Das Passagieraufkommen liegt weiterhin trotz ergriffener Massnahmen zur Erhöhung der Bekanntheit des Transportangebots unter den Erwartungen (siehe Tabelle 1). Gemäss unterschiedlicher Beobachtungen und Rückmeldungen des Begleitpersonals sind die tiefen Passagierzahlen einerseits auf die kurze Pilotstrecke zurückzuführen. Viele Anwohnende und Pendlerinnen und Pendler

gehen diese Distanz zu Fuss und sind nicht unbedingt auf eine Buslinie angewiesen. Daran änderte auch das kältere und nässere Wetter im Herbst und Winter nichts.

Andererseits schränken die Betriebszeiten von 10:00 bis 14:00 Uhr die Mitfahrmöglichkeiten ein. Mit den Sicherheitsfahrerinnen und Sicherheitsfahrern wurde daher eine Anpassung der Betriebszeiten besprochen. Ein Betrieb während der Stosszeiten ist gemäss allseitiger Einschätzung ausgeschlossen, da das höhere Verkehrsaufkommen das automatisierte Fahren stark beeinträchtigen würde. Dagegen ging aus der Konsultation der Entscheid für einen testweisen Betrieb zwischen 19:00 und 22:00 Uhr hervor (siehe Kapitel 4.9). Die zwei Testwochen im Januar 2024 waren mit Blick auf die Passagierzahlen überraschend erfolgreich. Das Busangebot wurde rege genutzt und geschätzt. Aus verschiedenen Gründen (Verfügbarkeit des Fahrpersonals, Überschneidung mit Randzeit-Dienstleistungen der VBSH) ist eine permanente Ausweitung der Betriebszeiten auf die Abende zurzeit jedoch nicht vorgesehen. Das STL hält weiter an den Betriebszeiten von Montag bis Samstag über Mittag fest.

4.9 Testweiser Abendbetrieb und ein erster Schritt in Richtung «on-demand»

Im Januar 2024 weitete das STL den Betrieb während zwei Wochen (8. bis 19. Januar 2024) testweise auf den Abend aus. An insgesamt 12 Tagen war der Bus zusätzlich zu den gewohnten Mittagszeiten von 19:00 Uhr bis 22:00 Uhr im Einsatz. Neu war auch, dass die «STL Linie 13» an den Abenden nicht nach einem Fahrplan verkehrte, sondern nach Bedarf. Der Bus stand am Bahnhof Nord bereit und fuhr los, sobald mindestens ein Fahrgast zugestiegen war. Mit diesem Versuch tastete sich das STL – ohne aufwendige und teure technische Lösung – in Richtung eines On-Demand-Angebots vor und erprobte damit eines der zentralen Elemente von Mobility-as-a-Service (MaaS). Ziel des Abendbetriebs war einerseits, zu erkennen, ob um diese Zeit eine Nachfrage besteht bzw. das Angebot genutzt wird. Die Durchführung im Winter ermöglichte es dem STL zudem, die Auswirkungen von Dunkelheit auf das Fahrgefühl und das Verhalten der Sicherheitsfahrerinnen und Sicherheitsfahrern zu ermitteln.

Nach den zwei Testwochen wurden die Passagierzahlen ausgewertet und eine Umfrage bei den Begleitpersonen durchgeführt. Die wichtigsten Resultate aus der Umfrage sind in Abbildung 1 dargestellt. Die Daten aus der Zählung sind in Kapitel 6 enthalten. Die Ergebnisse sind nicht statistisch repräsentativ, sondern zeigen ein Stimmungsbild der Begleitpersonen.

Was das persönliche Sicherheitsgefühl angeht, stellten die Begleitpersonen keine grossen Unterschiede zwischen Tageslicht und Dunkelheit fest. Weiter ergab die Umfrage, dass fünf von sechs Fahrerinnen und Fahrern keinen Einfluss der Dunkelheit auf das eigene Verhalten feststellten. Bei den Einflüssen von Dunkelheit auf die Sensible4-Technologie haben alle Sicherheitsfahrerinnen und -fahrer keinerlei Einfluss wahrgenommen.

Die Begleitpersonen konnten in der Umfrage auch Angaben über veränderte/andersartige Reaktionen und Rückmeldungen von Passagieren zum Abendangebot (Modus auf Abruf) und der Abendbedingungen (Dunkelheit) machen. Etwas weniger als die Hälfte der Sicherheitsfahrerinnen und Sicherheitsfahrer erhielten positive bis sehr positive Rückmeldungen zum Angebotsmodus. Negative Reaktionen wurden keine registriert. Die Mehrheit der Begleitpersonen erhielt jedoch keinerlei spezifischen Rückmeldungen von Passagieren hinsichtlich des Abendbetriebs oder zum automatisierten Fahren in der Dunkelheit.

Zuletzt waren die Sicherheitsfahrerinnen und Sicherheitsfahrer aufgefordert, ihr persönliches Fazit zu den Abendfahrten und zum bedarfsorientierten Betrieb mitzuteilen. Die Rückmeldungen fielen gemischt aus. Der Grossteil bewertete den Betrieb nach Bedarf weder besser noch schlechter als den Fahrplanbetrieb, bevorzugt aber aus persönlichen Gründen den Fahrmodus nach Fahrplan wie bisher über Mittag. Zudem bevorzugten die Befragten zur Mehrheit grundsätzlich die Arbeitszeiten über Mittag. Die subjektiven Bedürfnisse und Präferenzen der Sicherheitsfahrpersonen decken sich dabei nicht automatisch mit denjenigen der Fahrgäste – sind gar gegenläufig.

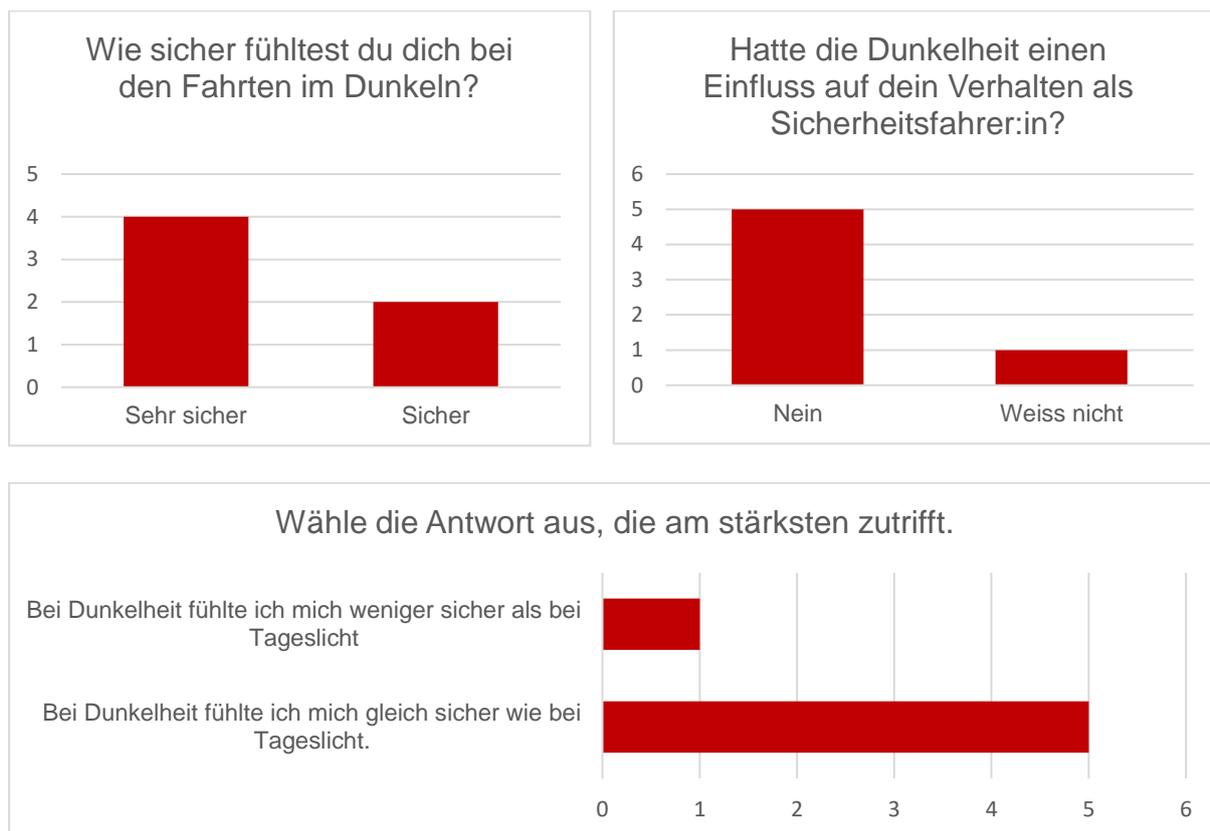


Abbildung 1: Sicherheitsgefühl und Verhalten bei Dunkelheit (6 von 7 Fahrer:innen haben teilgenommen)

Das Passagieraufkommen an den Abenden war unterschiedlich. Die meisten Fahrerinnen und Fahrer absolvierten ein bis zwei Abendschichten. Wer an ihren/seinen Abenden wenige Passagiere hatte, bewertete in der Folge den Nutzen eines Abendbetriebs eher negativ.

4.10 Projekt stösst auf reges Interesse bei Politik und Wirtschaft

Das überregionale Interesse am Projekt «STL Linie 13» war auch im zweiten Halbjahr weiterhin hoch. Das STL stellte jedoch eine Verschiebung des Interessensfokus fest. Im zweiten Halbjahr empfing das STL vermehrt Delegationen aus dem öffentlichen Sektor, welche an planerischen Erkenntnissen interessiert waren. So führte der Planungsdachverband Zürich (RZU) im September im Mühlental eine Weiterbildung zum Thema «Automatisierte Fahrzeuge» durch und absolvierte eine Probefahrt mit der «STL Linie 13». Die Raumplanungsexpertinnen und -experten hatten die Gelegenheit sich aus erster Hand über die Erkenntnisse aus dem Pilotbetrieb zu informieren. Das STL profitierte vom profunden Wissen der Gäste und lernte eine neue Sichtweise auf das autonome Fahren kennen.

Auch die Wirtschaftsförderung Zürich machte mit der Netzwerkveranstaltung «Autonome Systeme mit Bodenkontakt» Halt in Schaffhausen. In einem Workshopformat diskutierten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer zusammen mit dem STL die heutigen technologischen und regulatorischen Herausforderungen für automatisiertes und autonomes Fahren und machten sich ebenfalls mit der «STL Linie 13» vertraut.

Um ähnliche Themen ging es beim Besuch des Innovationsteams der Verkehrsbetriebe Zürich im November 2023 sowie eines Workshops mit dem TCS im Dezember 2023. Auf internationaler Bühne empfing das STL Delegationen aus Brasilien und China – hier lag der Fokus insbesondere auf funktionalen und konzeptionellen Aspekten der Technologie.

5 Sicherheitsrelevante Vorkommnisse

Am Freitag, 8. September 2023 um 10:15 Uhr ereignete sich im Mühlental auf der «STL Linie 13» ein Auffahrunfall. Am Bus entstand ein leichter Sachschaden an der Stossstange hinten links (siehe Abbildung 2), Personen sind dabei nicht zu Schaden gekommen. Gemäss Sicherheitsprotokoll und der Verfügung des ASTRA stufte das STL den Vorfall als Ereignis der Kategorie B2 ein (leichter Sachschaden, kein Personenschaden). Gemäss Kommunikationskonzept wurden die entsprechenden Stakeholder (unter anderem das Bundesamt ASTRA) informiert.

Ereignishergang:

Der Sicherheitsfahrer war mit dem Bus stadtauswärts im automatisierten Modus unterwegs, als ein Fahrzeug von hinten überholte und knapp vor dem Bus wieder einspurte. Aufgrund des knappen Abstandes zum einspurenden Fahrzeug bremsete der Bus ab. Der Fahrzeugführer des dahinterfahrenden Autos reagierte zu spät und touchierte den Bus leicht an der linken Stossstange.



Abbildung 2: Sachschaden hinten links am Fahrzeug



Abbildung 3: Aufschrift "Abstand halten" Heck

teilnehmer zum Abstandhalten auf (siehe Abbildung 3).

Folge und Massnahme:

Am umgerüsteten Dual-Mode-Fahrzeug sind auf Höhe der Stossstange keine für den automatisierten Betrieb relevanten Sensoren verbaut, welche direkt beschädigt hätten werden können. Das STL führte zusammen mit dem Sicherheitsfahrer im Anschluss an den Unfall Testfahrten durch, um sicherzustellen, dass das automatisierte System weiterhin einwandfrei funktionierte. Der Betrieb der «STL Linie 13» konnte noch am selben Tag wieder aufgenommen werden. Die Stossstange sowie ein dahinter angebrachter Rückfahr sensor (Basisfahrzeug und System von Toyota, keine Verbindung zur Sensible4-Software) wurden zu einem späteren Zeitpunkt durch den lokalen Garagisten ersetzt. Zudem gestaltete das STL die Rückseite des Fahrzeugs neu und fordert mit einem entsprechenden Hinweis andere Verkehrsteilnehmer zum Abstandhalten auf (siehe Abbildung 3).

6 Betriebskennzahlen Mai 2023 bis Februar 2024

Der Betrieb der «STL Linie 13» wurde am 29. April 2023 aufgenommen. Bis zum 29. Februar 2024 war die Linie 13 an 253 Tagen in Betrieb. Tabelle 1 fasst die Kennzahlen aus diesen zehn Monaten Betrieb zusammen. Ebenfalls enthalten sind Informationen zum Abendbetrieb im Januar 2024.

Tabelle 1: Übersicht Kennzahlen Betrieb "STL Linie 13"

	Total	1. Halbjahresbericht						2. Halbjahresbericht					
		Mai 23	Jun 23	Jul 23	Aug 23	Sep 23	Okt 23	Nov 23	Dez 23	Jan 24 (T)	Jan 24 (A)	Feb 24	
Anzahl Betriebstage	253	24	26	25	26	26	26	26	24	25	12	25	
Betriebsstunden pro Tag	n.a.	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	
Anzahl Fahrten pro Tag	n.a.	11	11	11	11	11	11	11	11	11	n.a.	11	
Geplante Betriebsstunden	1048	96	104	100	104	104	104	104	104	100	36	100	
Effektive Betriebsstunden	995	91	104	96	104	104	104	100	96	96	36	100	
total	53	5	0	4	0	4	0	4	8	8	0	0	
tp	43	3	0	0	0	4	0	4	8	8	0	0	
p	10	2	0	4	0	0	0	0	0	0	4	0	
Ausfalltage	13	1	0	1	0	1	0	1	2	1	0	0	
total	4727	448.5	522.3	459.9	478.9	565.5	350.1	465.2	444.2	546.6		445.8	
a	3676.1	356.5	384.4	327.9	368.6	427.9	274.1	371.7	354.3	460.7		350.0	
m	1050.9	92.0	137.9	132.0	110.3	137.6	76.0	93.5	89.9	85.9		95.8	
Anteil automatisierte Distanz	78%	79%	74%	71%	77%	76%	78%	80%	80%	84%		79%	
Anzahl beförderte Passagiere im ordentlichen Betrieb	1498	189	220	142	122	160	72	137	81	143	84	148	
Durchschn. Anzahl Passagiere pro Fahrt im ordentlichen Betrieb	0.53	0.75	0.77	0.54	0.43	0.58	0.34	0.52	0.31	0.54	n.a.	0.54	
Anzahl Fahrer:innen im Einsatz	n.a.	8	8	8	7	7	7	7	7	7	6	7	
Anzahl Delegationen	23	4	4	1	2	6	0	4	2	0	0	0	
Anzahl Extrafahrten für Delegationen	53	11	9	0	3	17	0	7	6	0	0	0	
Anzahl Passagiere Extrafahrten	230	50	30	0	15	80	0	30	25	0	0	0	
Anzahl Passagiere Total	1728	239	250	142	137	240	72	167	106	143	84	148	

1 tp = Technische Probleme; p = Personalausfall

2 a = automatisiert; m = manuell

T = Tagesschicht

A = Abendschicht

7 Erkenntnisse aus dem Betrieb der «STL Linie 13»

Während der vergangenen sechs Betriebsmonate bzw. der Berichtsperiode sammelte das STL weitere wertvolle Erkenntnisse, welche in diesem Kapitel erläutert werden. Einige davon geben Hinweise zu den vier Hypothesen, welche das STL im Rahmen der Projektentwicklung «STL Linie 13» formuliert hat. Sie werden zur Erinnerung deshalb hier wiederholt.

- **Hypothese 1:** Die Dual-Mode-Technologie führt im Vergleich zu einem spezifischen automatisierten Shuttle zu einer besseren Einsatzfähigkeit mit weniger Ausfallzeiten, einfacher Manövrierfähigkeit und geringeren Betriebskosten.
- **Hypothese 2:** Der gewohnte «Look-and-Feel» sowie die Funktionsweise des OEM-Fahrzeugs wird die Akzeptanz und das Vertrauen bei den Passagieren und der Bevölkerung im Allgemeinen erhöhen.
- **Hypothese 3:** Der Dual-Mode-Minibus mit Sensible4-Technologie ist fähig, die programmierte Strecke hochautomatisiert (Level 4, ohne Eingriff des Sicherheitsfahrpersonals) zu befahren.
- **Hypothese 4:** Die Technologie unseres Partners Sensible4 ist in der Lage, unter allen in der Schweiz zu erwartenden widrigen Wetterbedingungen sicher zu funktionieren.

7.1 Robustheit der Technologie bestätigt

Weiterhin funktionierte die Dual-Mode-Technologie von Sensible4 im Beobachtungszeitraum sehr zuverlässig. Trotz der zwei erwähnten technischen Ausfälle lag die Verfügbarkeit bei über 95%. Mit diesem Verdikt ergibt sich eine eindruckliche Bestätigung der **Hypothese 1**.

7.2 Allwettertauglichkeit auch bei Schneefall und schneebedeckten Strassen

In der ersten Berichtsperiode (März bis August 2023) konnte die Dual-Mode-Technologie von Sensible4 ihre Tauglichkeit bei Starkregen und Hagel unter Beweis stellen. Diese Funktionalität basiert auf der Software, welche bei der Sensordatenverarbeitung mit Wahrscheinlichkeiten operiert.

Im aktuellen Beobachtungszeitraum (September 2023 bis Februar 2024) konnten weitere Wetterphänomene beobachtet werden. So war die «STL Linie 13» Anfang Dezember 2023 und im Januar 2024 mehrfach Schneefall und einer schneebedeckten Fahrbahn ausgesetzt. Das STL kann somit aus dem praktischen Pilotbetrieb die Allwettertauglichkeit für Wetterbedingungen in allen Jahreszeiten der Schweiz bestätigen (**Hypothese 4**).

Die Liste der bewältigbaren natürlichen Randbedingungen kann zudem durch «Dunkelheit» erweitert werden. Während der zwei Wochen Testbetrieb am Abend von 19:00 bis 22:00 Uhr wurden keinerlei Einschränkungen des automatisierten Betriebs festgestellt.

An dieser Stelle sei angemerkt, dass ein für die Technologie des automatisierten Fahrens relevante Wetterbedingung – starker Nebel – in den bisherigen zehn Monaten Pilotbetrieb nicht aufgetreten ist und das STL darüber (noch) keine Aussage machen kann. Nebel ist insbesondere für die im Fahrzeug der «STL Linie 13» verwendete Sensortechnologie Lidar eine Herausforderung, die auf der Reflexion von Lichtstrahlen (Laser) basiert.

7.3 Herausfordernde Umgebungsbedingungen durch hohes Gras und fallende Blätter

In der ersten Berichtsperiode (März bis August 2023) wurde die Herausforderung von hochgewachsenem Gras am Streckenrand und der damit verbundenen Geschwindigkeitsminderungen eingehend thematisiert. Im aktuellen Beobachtungszeitraum (September 2023 bis Februar 2024) wurde mit fallenden Blättern von Bäumen am Strassenrand eine weitere herausfordernde Umgebungsbedingung beobachtet. Im Gegensatz zu Regentropfen oder Schneeflocken, welche aufgrund des besagten Wahrscheinlichkeits-Algorithmus (siehe Kapitel 7.2) ausgeblendet werden, sind fallende Blätter teilweise zu grossflächig, um ignoriert zu werden.

7.4 Kein Fortschritt auf dem Bereich Fahrkomfort

Es ist festzustellen, dass die auf der «STL Linie 13» eingesetzte Softwaretechnologie Mängel bezogen auf Fahrkomfort (ruppiges Bremsen und Anfahren) und Fahrfunktionalität in anspruchsvollen Situationen (bspw. Überholmanöver, Kreisel) aufweist. Infolge der Insolvenz des Technologiepartners Sensible4 konnte in diesem Bereich keine Verbesserung erzielt werden. Der weitere Verlauf ist nach wie vor offen.

7.5 Zusammengefasste Ergebnisse Akzeptanzstudie

Begleitend zum Pilotprojekt «STL Linie 13» wurde im Berichtszeitraum die projektbegleitende Akzeptanzstudie abgeschlossen. Die Studie startete bereits vor Betriebsstart mit umfassenden qualitativen Interviews verschiedenster Stakeholdergruppen. Auf Basis der Interviewergebnisse wurden Anforderungen an das Projekt und den Betrieb der Linie ermittelt sowie entsprechende Hypothesen für die weiterführende quantitative Befragung vor Ort in Schaffhausen formuliert.

Die Studie wird in enger Zusammenarbeit mit dem STL-Mitglied und Projektpartner UNITY Schweiz AG aus Zürich durchgeführt. Für die quantitative Befragung wurden im Herbst 2023 Umfragen vor Ort am Bahnhof Schaffhausen durchgeführt. Mit der Datenerhebung wurde ein Marktforschungsinstitut beauftragt.

Die Veröffentlichung der umfassenden Studienresultate zur Akzeptanz der «STL Linie 13» inkl. entsprechender Handlungsempfehlungen ist separat geplant und aktuell in Arbeit. Die folgenden Abbildungen zeigen den Fragebogen und die wichtigsten Erkenntnisse.

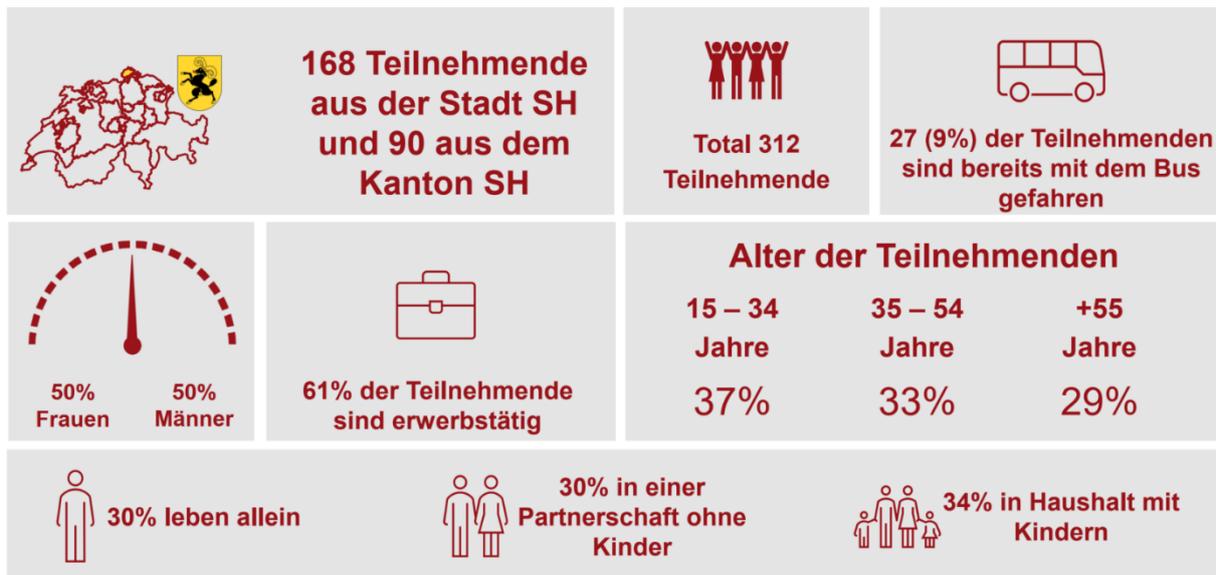


Abbildung 4: Demographie der Stichprobe zur quantitativen Befragung im Herbst 2023.

Info	Autor: Sebastian Löw, UNITY Schweiz Datum: 16.08.2023 Ziel: Eine quantitative (statistisch signifikante) Akzeptanzstudie mit dem Fokus automatisierte Mobilität und neue Mobilitätslösungen durchführen. Dazu werden Face-to-Face (F2F) Umfragen vor Ort in Schaffhausen durchgeführt.		Skalierung F1 – F5: Spezial (Spez.) Skalierung gemäss Frage F6 – F18: (1) ich stimme überhaupt nicht zu (2) ich stimme eher nicht zu (3) ich stimme eher zu (4) ich stimme voll und ganz zu (5) Weiss nicht (6) Keine Antwort
	Wahrnehmung STL Linie 13: F1-F5		
Mit Blick auf den selbstfahrenden Bus, für mich ist wichtig, dass...	F1	Ich bin bereits mit der STL Linie 13 mitgefahren.	Spez.
	F2	Ich kenne den selbstfahrenden Bus STL Linie 13.	Spez.
	F3	Ich fühle mich gut informiert über die STL Linie 13.	Spez.
	F4	Ich verstehe den Nutzen der STL Linie 13 als Pilotprojekt für zukünftige Mobilität.	Spez.
	F5	Ich finde es gut, dass der selbstfahrende Bus STL Linie 13 in Schaffhausen fährt.	Spez.
	Akzeptanzfördernde und hemmende Faktoren: F6-F18		
	F6	... ich verstehe, wie die Technologie hinter dem automatisierten Fahren funktioniert.	1 - 6
	F7	... der Bus häufig fährt (z.B. alle 10 Minuten).	1 - 6
	F8	... der Bus pünktlich fährt.	1 - 6
	F9	... ein Mensch bzw. Sicherheitsfahrer mit an Board ist, der jederzeit eingreifen kann.	1 - 6
	F10	... der Bus flüssig im Verkehr fährt (Fahrerlebnis nahe am menschlichen Fahren, wenig ruckartig).	1 - 6
	F11	... deutlich erkennbar ist, dass der Bus Teil des ÖV ist.	1 - 6
	F12	... der Zugang zum Bus einfach ist (klare Beschriftungen/Beschilderungen und Infos zur Nutzung).	1 - 6
	F13	... die Sicherheit der Fahrgäste und anderer Verkehrsteilnehmender gewährleistet ist.	1 - 6
	F14	... automatisiertes Fahren weiter erprobt wird, bevor ich selbst mitfahre.	1 - 6
	F15	... die Möglichkeit besteht, mit jemandem Kontakt aufzunehmen während der Fahrt.	1 - 6
	F16	... meine Privatsphäre während der Fahrt geschützt wird (z.B. genug Sitzabstand zu anderen Fahrgästen).	1 - 6
	F17	... der Bus von einem mir bekannten Unternehmen betrieben wird, (z.B. lokaler Verkehrsbetrieb).	1 - 6
F18	... ich einen Bus als Teil einer längeren Fahrstrecke buchen kann (z.B. in einer App kombiniert mit Zug, Bus, e-Scooter, Velos, Taxis etc.).	1 - 6	
Offene Frage F19: Welchen Wunsch an die Betreiber möchten Sie gerne äussern?			

Abbildung 5: Fragebogen zur quantitativen Akzeptanzstudie «STL Linie 13».



Abbildung 6: Zusammengefasst die wichtigsten Erkenntnisse aus der qualitativen Akzeptanzbefragung zur «STL Linie 13» am Bahnhof Schaffhausen.

7.6 Anzeichen der Etablierung der «STL Linie 13» im Mühlental

Die Fahrgastzahlen bleiben verglichen mit der «STL Linie 12» (2018 und 2019, am Rheinfluss) nach wie vor auf tiefem Niveau. Dennoch etabliert sich das Angebot im Mühlental. Rückmeldungen der Sicherheitsfahrerinnen und Sicherheitsfahrer zeigen auf, dass bestimmte Passagiere regelmässig mit der «STL Linie 13» mitfahren und das Angebot als zusätzlichen ÖV-Service wahrnehmen und nutzen. Die Passagierzahlen der zur «STL Linie 13» parallel verkehrenden «VBSH-Linie 23» zeigen auch, dass die Nutzung des ÖV im Mühlental über Mittag generell tief ist. Bislang ist kein Muster zwischen den Fahrgastzahlen und den Wochentagen erkennbar. Die Verteilung ist stochastisch.

Beachtlich sind aus Sicht des STL die Passagierzahlen aus den beiden Testwochen mit Abendbetrieb im Januar 2024. Eine Differenzierung zwischen nutzenorientierten Passagieren (Personen, die auf ihrem effektiven Mobilitätspfad tatsächlich vom Bahnhof Nord in die Stahlgiesserei fahren wollten) oder aus Neugierde mitfahrenden «Technologie-Touristen», ist nicht möglich. Letzterer Anteil könnte erheblich sein, da mit den Abendfahrten zusätzlichen Personengruppen eine Fahrmöglichkeit geboten werden konnte.

8 Ausblick

Die «STL Linie 13» wird per Ende April 2024 ein Jahr Betriebserfahrung aufweisen können. Dies wäre ein grosser Erfolg, denn zum ersten Mal in der Schweiz ist dann ein automatisiertes Fahrzeug ein ganzes Jahr ohne witterungsbedingten Unterbruch unterwegs.

Im Verlauf des Monats März 2024 wird die «STL Linie 13» um ein Teilprojekt mit neuer Technologie zur Fahrgastkommunikation erweitert. In Zusammenarbeit mit der Technologiefirma Commend aus Fehraltorf wird ein System zur automatisierten und maschinellen Ansprache und Information der Fahrgäste mittels eines Bots installiert. Mit dieser Innovation soll ein weiterer Schritt in Richtung fahrerlose Mobilitätsdienstleistungen erprobt werden. Im Rahmen der Akzeptanzforschung wurde die Herausforderung der «Fahrgastkommunikation bei Abwesenheit eines Fahrers» mehrfach angesprochen.

Das Förderprojekt des Kantons Schaffhausen «STL Linie 13» lief per Ende Jahr 2023 aus. Trotzdem soll das Pilotprojekt «STL Linie 13» nach Möglichkeit bis Ende Jahr 2024 weitergeführt werden und dabei weitere Erkenntnisse generieren. Die Finanzierung ist u.a. durch Sponsoren wie Toyota bis Mitte des Jahres 2024 gesichert. Darüber hinaus sind weitere finanzielle Mittel notwendig und entsprechende Partnerschaftsanfragen sehr willkommen.